



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE U SPLITU

INDUSTRIJSKE RAČUNALNE MREŽE

Silvano Jenčić

SPECIJALISTIČKI STRUČNI STUDIJ ELEKTROTEHNIKE

Split, rujan 2015.

Sadržaj

Sadržaj	I
Popis slika	XII
Popis tablica	XX
Predgovor.....	1
1. Uvod	3
1.1. Hijerarhija industrijske automatizacije.....	3
1.1.1. Razina senzora i aktuatora	3
1.1.2. Razina automatizacijskih sustava upravljanja.....	4
1.1.3. Razina procesne automatizacije	4
1.1.4. Razina upravljanja proizvodnjom	5
1.1.5. Razina korporacijskog upravljanja.....	5
Literatura.....	6
2. OSI referentni model	7
2.1. Arhitektura ISO/OSI referentnog modela	7
2.2. Primjer primjene OSI referentnog modela kod WEB pretraživača	10
Literatura.....	11
3. Teorija serijskog prijenosa	12
3.1. Topologije mreže	13
3.1.1. Isprepletena topologija	13
3.1.2. Zvjezdasta topologija	13
3.1.3. Linearna topologija	14
3.1.4. Prstenasta topologija	14
3.2. Mrežna oprema	15
3.3. Upravljanje pristupom mediju	16
3.3.1. Metoda prozivanja.....	16
3.3.2. Token passing	17
3.3.3. CSMA/CD	17
3.4. Linijsko kodiranje	18
3.4.1. Tipovi kodiranja.....	19
3.4.1.1. NRZ kod	19
3.4.1.2. RZ kod	20
3.4.1.3. Manchester kod	21
3.4.1.4. Diferencijalni Manchester kod	21

3.4.1.5. Blok Kodiranje	21
3.4.1.5.1. 4B/5B	22
3.5. Brzina prijenosa podataka	22
3.6. Modulacije digitalnog signala	23
3.6.1. ASK modulacija.....	24
3.6.2. FSK modulacija	25
3.6.3. PSK modulacija	25
3.6.3.1. 4-PSK i 8-PSK Modulacija.....	26
3.6.4. QAM modulacija	27
3.7. Prijenosne metode.....	28
3.7.1. Asinkroni prijenos	28
3.7.2. Sinkroni prijenos	29
3.8. Detekcija greške	30
3.8.1. Provjera pariteta	30
3.8.2. Ciklička kontrola pogrešaka - CRC	31
3.8.3. Provjera sume	32
Literatura.....	32
4. Uzroci smetnji u industrijskim mrežama	33
4.1. Načini utjecaja električnih smetnji.....	33
4.1.1. Smetnje uzrokovane kapacitivnom vezom	33
4.1.2. Smetnje uzrokovane induktivnom vezom	34
4.1.3. Smetnje uzrokovane impedancijskom vezom.....	36
4.2. Smetnje uslijed refleksije signala	37
4.3. Uzemljenje	39
Literatura.....	41
5. Prijenosni mediji.....	42
5.1 Klasični kabeli	42
5.1.1. Standardizacija.....	42
5.1.2. Kabel sa upletonom paricom.....	44
5.1.3. Konektori i načini spajanja	46
5.1.4. Kabelski parametri	48
5.1.4.1. Specifikacija najvažnijih parametara	49
5.2. Koaksijalni kabel	50
5.3. Svjetlovodni kabeli	51
5.3.1. Oznake dimenzija kabela	53
5.3.2. Parametri svjetlovodnih kabela.....	54

5.3.3. Specifikacije svjetlovodnih kabela.....	55
5.3.4. Vrste konektora.....	56
5.3.5. Prednosti i nedostaci.....	57
5.4. Bežični prijenos	58
Literatura.....	60
6. Serijska sučelja.....	61
6.1. Simetrični i nesimetrični prijenos	61
6.1.1. Nesimetričan prijenos.....	61
6.1.2. Simetrični prijenos	62
6.2. EIA/TIA-232	63
6.2.1. Električke karakteristike signala	63
6.2.2. Mehaničke karakteristike sučelja	65
6.2.3. Funkcijski opis komunikacijskih krugova	65
6.2.4. Null modem	68
6.2.5. Konektor s povratom petljom	69
6.3. EIA/TIA-423	69
6.4. EIA/TIA-422	70
6.5. EIA/TIA-485	72
6.5.1. Predpolarizacija EIA-485 linije	75
6.5.2. Konfiguracije 2-žičnih i 4-žičnih mreža	76
6.5.3. Komunikacija u EIA-485 mreži.....	78
6.6. Strujna petlja.....	79
6.6.1. Strujna petlja 20 mA	79
6.6.2. Analogna strujna petlja 4-20 mA	81
Literatura.....	83
7. IEEE-488 (GPIB)	84
7.1. Topologija GPIB mreže	85
7.2. Fizički sloj	86
7.3. Vrste GPIB uređaja.....	87
7.4. Struktura GPIB sabirnice	88
7.4.1. Linije podataka	89
7.4.2. Sinkronizacijske linije	89
7.4.3. Upravljačke linije.....	90
7.5. GPIB sinkronizacija	90
7.6. Adresiranje uređaja	92
7.6.1. GPIB naredbe.....	93

7.6.1.1. Naredbe za adresiranje.....	94
7.6.1.2. Servisni upiti	95
7.6.1.2.1. Serijsko prozivanje	96
7.6.1.2.2. Paralelno prozivanje.....	96
7.6.1.3. IEEE 488.2 naredbe opće namjene.....	97
7.7. HS488 protokol.....	97
Literatura.....	99
8. Industrijski Ethernet	100
8.1. CSMA/CD protokol	101
8.1.1. Algoritam slanja Ethernet okvira nakon kolizije	102
8.2. Struktura Ethernet okvira	104
8.2.1. Duljina okvira	105
8.2.2. Adresiranje.....	106
8.3. Pregled Ethernet standarda.....	107
8.3.1. Standardni Ethernet	107
8.3.2. Fast Ethernet	108
8.3.3. Gigabit Ethernet	109
8.3.4. 10-Gigabit Ethernet.....	111
8.4. IP Adresiranje.....	111
8.4.1. IPv4 adrese	111
8.4.1.1. Adresiranje po klasama.....	112
8.4.1.1.1. Maska mrežne adrese	114
8.4.1.1.2. Privatne i javne IP adrese	115
8.4.1.1.3. Kreiranje mrežnih podgrupa.....	116
8.4.1.1.3.1. Primjer izračuna mrežnih podgrupa	116
8.4.1.2. Neklasificirano adresiranje	117
8.4.1.2.1. Maska mrežne adrese	118
8.4.1.2.1.1. Kreiranje mrežnih podgrupa	118
8.4.1.2.1.1.1. Primjer 1 - kreiranje mrežnih podgrupa iste veličine	118
8.4.1.2.1.1.2. Primjer 2 - kreiranje mrežnih podgrupa različite veličine	119
8.4.1.2.1.1.3. Primjer 3 – određivanje mrežne adrese.....	122
8.4.1.2.1.1.4. Primjer 4 – određivanje adresnog opsega	122
8.4.2. IPv6 adrese	123
Literatura.....	126
9. HART protokol	127
9.1. HART topologije mreže	127

9.2. HART i OSI Model.....	129
9.3. Fizički sloj	130
9.3.1. Instalacija kabela.....	131
9.4. Podatkovni Sloj.....	131
9.4.1. Struktura telegrama	131
9.5. Aplikacijski sloj	134
9.6. DDL podrška	135
Literatura.....	136
10. Foundation Fieldbus	137
10.1. Foundation Fieldbus i OSI Model.....	138
10.2. Fizički sloj	139
10.2.1. H1 Fieldbus.....	139
10.2.1.1. Kodiranje signala i naponske razine	141
10.2.2. HSE Fieldbus	143
10.3. Podatkovni Sloj.....	144
10.3.1. Upravljanje pristupom sabirnici	144
10.3.1.1. Adresiranje uređaja.....	145
10.3.1.2. Ciklička komunikacija - Scheduled	146
10.3.1.3. Aciklička komunikacija - Unscheduled	147
10.3.1.4. LAS komunikacija.....	147
10.4. Aplikacijski sloj	148
10.4.1. FAS podsloj	148
10.4.2. FMS podsloj.....	149
10.4.2.1. Opisi objekata.....	149
10.4.2.2. VFD - Virtualni uređaji.....	150
10.5. Korisnički sloj.....	150
10.5.1. Funkcijski blokovi.....	151
10.5.2. Opisi uređaja	153
10.5.3. Konfiguriranje sustava.....	154
Literatura.....	155
11. PROFIBUS.....	156
11.1. PROFIBUS i OSI model	158
11.2. Fizički sloj	160
11.2.1. RS-485 prijenos	160
11.2.1.1. Kodiranje i naponske razine signala	160
11.2.1.2. Zaključenje linije	162

11.2.1.2.1. Zaključeni član u konektoru	163
11.2.1.2.2. Aktivni terminator.....	163
11.2.1.3. Ogranci na liniji.....	164
11.2.1.4. Prijenosni medij.....	164
11.2.1.5. PROFIBUS konektor	165
11.2.1.6. RS-485 obnavljači	167
11.2.1.6.1. Dijagnostički obnavljači.....	168
11.2.1.7. Topologija RS-485 mreže	169
11.2.2. Optički prijenos.....	171
11.2.2.1. OLM – optički moduli	172
11.2.2.2. OBT – optički terminali	174
11.2.2.3. OLP – optički konektori	176
11.2.2.4. Složene mrežne topologije	177
11.2.3. MBP prijenos	178
11.2.3.1. Kodiranje MBP signala.....	179
11.2.3.2. Zaključenje linije	180
11.2.3.3. Ogranci	180
11.2.3.4. Prijenosni medij.....	181
11.2.3.5. MBP konektori	181
11.2.3.6. Topologija PROFIBUS-PA mreže	182
11.3. Podatkovni sloj	183
11.3.1. Kodiranje i prijenos signala	183
11.3.2. Struktura telegrama	184
11.3.3. Prijenos poruka	186
11.3.3. SAP usluge	186
11.3.4. Detekcija greške.....	187
11.3.5. Upravljanje pristupom sabirnici	187
11.3.5.1. Tipovi uređaja	188
11.3.5.2. Master-slave metoda pristupa.....	189
11.3.5.3. Token metoda pristupa.....	190
11.3.5.3.1. Dodavanje i uklanjanje uređaja na mreži	191
11.3.6. Komunikacija DPM1 sa slave uređajima	191
11.3.6.1. Uključenje i inicijalizacija slave uređaja	192
11.3.6.2. Parametrizacija slave uređaja	192
11.3.6.3. Konfiguracija slave uređaja.....	193
11.3.6.4. Faza prijenosa podataka.....	193

11.3.6.5. Zaštitni mehanizmi u prijenosu podataka	194
11.3.6.6. Sigurnosni način rada	194
11.3.7. GSD datoteke	195
11.3.8. Funkcijske verzije DP protokola	196
11.3.8.1. DP-V1 protokol	196
11.3.8.2. DP-V2 protokol	197
11.4. Aplikacijski sloj	198
11.4.1. FMS	198
11.4.2. LLI sučelje	199
11.4.3. FMA 7	200
Literatura.....	200
12. ASI-Bus	201
12.1. AS-interface i OSI model	203
12.2. Sučelja AS-i sustava.....	204
12.3. Fizički Sloj	204
12.3.1. Prijenosni medij	204
12.3.2. AS-i napajanje.....	206
12.3.3. APM modulacija	207
12.3.4. Topologije AS-i mreže	208
12.3.4.1. Obnavljači.....	209
12.3.4.2. Producivači	210
12.3.4.3. Pasivni terminatori.....	211
12.3.5. AS-i slave uređaji.....	212
12.4. Podatkovni Sloj.....	214
12.4.1. Metoda pristupa sabirnici	214
12.4.2. Struktura AS-i poruke	214
12.4.3. Detekcija greške u prijenosu signala	216
12.4.4. Prijenos analognih signala	216
12.5. Aplikacijski Sloj	216
12.5.1. Profili uređaja	217
12.5.2. AS-i naredbe	218
12.5.3. AS-i master uređaji.....	220
12.5.4. Faze rada master uređaja	223
12.5.4.1. Faza inicijalizacije	223
12.5.4.2. Faza podizanja sustava.....	224
12.5.4.3. Faza cikličke komunikacije.....	225

12.5.4.3.1. Faza razmjene podataka	225
12.5.4.3.2. Upravljačka faza	225
12.5.4.3.3. Faza uključivanja	226
12.5.4.5. Automatsko adresiranje	226
12.6. AS-i sustav sigurnosti u radu.....	227
Literatura.....	228
13. ModBus.....	229
13.1. Modbus komunikacija.....	230
13.2. Modbus i OSI model.....	231
13.3. Fizički sloj	231
13.4. Struktura Modbus poruke	233
13.4.1. Adresa uređaja	234
13.4.2. Funkcijski kod.....	234
13.4.3. Polje podataka	234
13.4.4. Provjera greške.....	235
13.5. Vrste Modbus serijskog prijenosa.....	235
13.5.1. ASCII	235
13.5.2. RTU.....	236
13.6. Metode provjere greške.....	238
13.6.1. Provjera pariteta	238
13.6.2. LRC.....	238
13.6.3. CRC.....	239
13.7. Modbus struktura registara.....	240
13.8. Modbus funkcijски kodovi.....	241
13.9. Modbus kodovi grešaka	241
13.10. Primjeri serijske Modbus komunikacije.....	242
13.10.1. Čitanje statusa digitalnih izlaza.....	242
13.10.2. Čitanje holding registara.....	243
13.11. Modbus TCP.....	244
13.11.1. Modbus TCP i OSI model	245
13.11.2. Struktura Modbus TCP poruke	246
13.12. Primjeri Modbus TCP komunikacije.....	248
13.12.1. Uspostava veze u Modbus TCP-u	248
13.12.2. Čitanje holding registara u Modbus TCP-u	249
13.13. Modbus PLUS	249
13.13.1. Modbus PLUS topologija	250

Literatura.....	252
14. KNX.....	253
14.1. Topologija KNX TP1 mreže.....	254
14.2. KNX i OSI model	256
14.3. KNX TP1 instalacija	257
14.3.1. Izvor napajanja.....	258
14.3.2. Struktura KNX uređaja.....	259
14.4. KNX TP1 prijenos signala	261
14.5. KNX TP1 struktura telegrama	262
14.6. Adresiranje	266
14.6.1. Individualna ili fizička adresa.....	266
14.6.1.1. Programiranje individualne adrese	267
14.6.2. Grupna ili logička adresa	267
14.6.2.1. Grupni objekt	268
14.6.2.2. Tablice filtera	269
14.7. Primjer KNX komunikacije.....	270
14.7.1. Komunikacija unutar linije	270
14.7.2. Komunikacija između linija	271
14.7.3. Komunikacija između zona	272
14.8. KNX Powerline PL 110	272
14.9. KNX PL 110 topologija	273
14.10. KNX PL 110 prijenos signala	274
14.11. KNX PL 110 struktura telegrama	275
14.11.1. KNX PL 110 telegram odgovora	276
14.12. KNXnet IP mreža.....	276
Literatura.....	277
15. LON Works	278
15.1. LonWorks uređaji	279
15.1.1. Neuron čip	279
15.1.2. Komunikacijsko sučelje.....	280
15.2. LonTalk protokol i OSI model	281
15.3. Prijenosni mediji i topologije	283
15.3.1. TP/FT-10 slobodna topologija	284
15.3.2. TP/FT-10 zaključenje	284
15.4. Metoda pristupa liniji	285
15.5. LonTalk adresiranje	286

15.5.1. Fizička adresa	286
15.5.2. Adresa uređaja	286
15.5.3. Grupna adresa	288
15.6. LonTalk poruke	289
15.7. LonTalk mrežne varijable	290
Literatura.....	291
16. CAN Bus.....	292
16.1. CAN i OSI model	293
16.2. Fizički sloj	294
16.2.1. Topologija i zaključenje linije.....	294
16.2.2. CAN signal	296
16.2.3. Umetanje bita.....	297
16.2.4. Struktura bita.....	298
16.2.5. Sinkronizacija	301
16.2.5.1. Resinkronizacija bita i fazna greška	302
16.2.6. CAN konektor	303
16.2.7. Standardi fizičkog sloja	304
16.3. Podatkovni sloj	305
16.3.1. Struktura CAN okvira	305
16.3.1.1. Struktura osnovnog okvira	306
16.3.1.2. Struktura proširenog okvira.....	307
16.3.2. Vrste okvira	308
16.3.3. Detekcija i signalizacija greške.....	311
16.3.4. Arbitraža na sabirnici	312
16.4. Identifikatori poruka	313
Literatura.....	314
17. FlexRay	315
17.1. Struktura uređaja.....	315
17.2. FlexRay i OSI model.....	316
17.3. Fizički sloj	317
17.3.1. Topologija mreže	317
17.3.1.1. Topologija pasivne linearne sabirnice	318
17.3.1.2. Topologija pasivne zvijezde.....	318
17.3.1.3. Topologija aktivne zvijezde	318
17.3.1.4. Topologija kaskadne aktivne zvijezde	319
17.3.1.5. Hibridna topologija.....	319

17.3.2. Prijenosni medij i zaključenje linije	320
17.3.3. FlexRay signal	321
17.3.4. Kodiranje i sinkronizacija.....	322
17.4. Podatkovni sloj	322
17.4.1. FlexRay komunikacijski ciklus	322
17.4.1.1. Statički segment	323
17.4.1.2. Dinamički segment.....	323
17.4.1.3. Prozor simbola	325
17.4.1.4. Mrežna pauza	325
17.4.1.5. Konfiguracije komunikacijskog ciklusa	326
17.4.1.6. Sinkronizacija.....	326
17.4.2. Struktura okvira	327
17.4.3. Wakeup i Startup usluge.....	330
17.4.3.1. Wakeup usluga	330
17.4.3.2. Startup usluga.....	330
Literatura.....	331

Popis slika

Slika 1.1. Hjерархија индустријске аутоматизације	3
Slika 2.1. Слојеви OSI реверентног модела	7
Slika 2.2. Архитектура OSI реверентног модела	8
Slika 2.3. Пријенос података у OSI моделу	9
Slika 3.1. <i>Point-to-point</i> i <i>multidrop</i> комуникација	12
Slika 3.2. Mesh топологија	13
Slika 3.3. Звјездаста топологија	14
Slika 3.4. Топологија сабирнице	14
Slika 3.5. Прстенаста топологија	15
Slika 3.6. Кодирање са и без истосмјерне компоненте	18
Slika 3.7. NRZ-L и NRZ-I кодирање	20
Slika 3.8. RZ кодирање	20
Slika 3.9. Manchester кодирање	21
Slika 3.10. Диференцијално Manchester кодирање	21
Slika 3.11. Блок кодирање	22
Slika 3.12. Кодирање сигналса више рazine	23
Slika 3.13. ASK модулација	24
Slika 3.14. FSK модулација	25
Slika 3.15. PSK модулација	26
Slika 3.16. 4-PSK модулација	26
Slika 3.17. 4-PSK и 8-PSK фазни дијаграми	27
Slika 3.18. 8-QAM модулација	27
Slika 3.19. 8-QAM фазни дијаграм	28
Slika 3.20. Асинхрони пријенос	28
Slika 3.21. Оквир код Ethernet протокола	30
Slika 4.1. Утицај капаситивне везе код сигнала смртње	33
Slika 4.2. Смањење утицаја капаситивне везе склапањем вodiča	34
Slika 4.3. Утицај индуктивне везе код сигнала смртње	35
Slika 4.4. Пrikaz смањења индуктивне везе уплитanjem парова vodiča	35
Slika 4.5. Пrikaz смањења индуктивне везе склапањем кабела	36
Slika 4.6. Impedancijska веза	36
Slika 4.7. Смањење impedancijske везе примјеном симетричног kruga	37
Slika 4.8. Пријеносни сигнал a) са закљућењем b) без закљућења	37
Slika 4.9. Закљућење линије на једном kraju	38

Slika 4.10. Zaključenje linije na oba kraju	38
Slika 4.11. AC zaključenje linije	39
Slika 4.12. Konfiguracije uzemljenja	40
Slika 5.1. Tipovi kabela sa upletonim paricama	45
Slika 5.2. Konstrukcijski akronimi za simetrične bakrene kable	45
Slika 5.3. RJ-45 konektor i modul	46
Slika 5.4. GG-45 konektor i modul	
Slika 5.5. TERA konektor i modul	46
Slika 5.6. Spajanje 4-paričnog kabela na konektore	47
Slika 5.7. EIA/TIA 568A i 568B spajanja 4-paričnih kabela	47
Slika 5.8. Spajanje uređaja primjenom ravnog i križnog kabela	48
Slika 5.9. Prostiranje svjetlosne zrake kroz svjetlovodno vlakno	51
Slika 5.10. Vrste svjetlovodnih vlakana	52
Slika 5.11. Dimenzije svjetlovodnih vlakana	53
Slika 5.12. FC-konektor	57
Slika 5.13. ST-konektor	57
Slika 5.15. FDDI-konektor	57
Slika 5.14. SC-konektor	57
Slika 5.16. LC-konektor	57
Slika 5.17. AD_HOC mreža	59
Slika 5.18. Mreža s primjenom pristupne točke	59
Slika 6.1. Nesimetrični prijenos	61
Slika 6.2. Simetrični prijenos	62
Slika 6.3. EIA-232 naponske razine	64
Slika 6.4. DB-9 konektor	
Slika 6.5. DB-25 konektor	65
Slika 6.6. Null modem sa softverskim upravljanjem	68
Slika 6.7. Null modem sa loop-back hardverskim upravljanjem	68
Slika 6.8. Null modem sa parcijalnim hardverskim upravljanjem	69
Slika 6.9. Null modem sa potpunim hardverskim upravljanjem	69
Slika 6.10. EIA-232 DB-9 loopback	
Slika 6.11. EIA-232 DB-25 loopback	69
Slika 6.12. EIA-423 nesimetrična linija	70
Slika 6.13. EIA-422 simetrična linija	71
Slika 6.14. EIA-485 2-žična konfiguracija	73
Slika 6.15. EIA-485 4-žična konfiguracija	74
Slika 6.16. EIA-485 2-žična konfiguracija sa 2-žičnim uređajima	76
Slika 6.17. EIA-485 2-žična konfiguracija sa 4-žičnim master uređajem	76
Slika 6.18. EIA-485 2-žična konfiguracija sa 4-žičnim master uređajem	77

Slika 6.19. EIA-485 4-žična konfiguracija sa jednim master uređajem.....	77
Slika 6.20. EIA-485 4-žična konfiguracija sa više master uređaja	78
Slika 6.21. EIA-485 komunikacija.....	79
Slika 6.22. Strujna petlja 20 mA simpleks	80
Slika 6.23. Strujna petlja 20 mA izvedba	80
Slika 6.24. Strujna petlja 20 mA – dupleks	80
Slika 6.25. Analogna strujna petlja 4-20 mA	81
Slika 6.26. Utjecaj otpora linije kod analogne strujne petlje 4-20 mA	82
Slika 6.27. Tipovi spajanja (konfiguracije) analogne strujne petlje 4-20 mA	82
Slika 7.1. Povezivanje uređaja u GPIB topologiji	85
Slika 7.2. Topologije GPIB mreže	85
Slika 7.3. Raspored priključaka 24-polnog IEEE-488 konektora	86
Slika 7.4. Prikaz IEEE-488 konektora u muškoj i ženskoj izvedbi.....	87
Slika 7.5. Struktura GPIB sabirnice	88
Slika 7.6. <i>Tri-state</i> spajanje uređaja na GPIB liniju.....	89
Slika 7.7. GPIB sinkronizacija.....	91
Slika 7.8. Statusni bajt GPIB uređaja.....	96
Slika 7.9. HS488 sinkronizacija.....	98
Slika 8.1. Detekcija sudara kod CSMA/CD metode	101
Slika 8.2. Struktura IEEE 802.3 okvira	104
Slika 8.3. Minimalna i maksimalna duljina IEEE 802.3 okvira	105
Slika 8.4. MAC adresa	106
Slika 8.5. Kodiranje i prijenos signala kod 100Base-T4	109
Slika 8.6. Kodiranje i prijenos signala kod 1000Base-T	110
Slika 8.7. IPv4 adresa.....	112
Slika 8.8. Klase adresa u binarnom i decimalnom obliku	112
Slika 8.9. Struktura mrežnih adresa i adresa uređaja kod adresiranja po klasama.....	113
Slika 8.10. Strukturiranje ISP adresnog bloka na mrežne podgrupe različitih veličina	122
Slika 8.11. IPv6 struktura adresiranja	123
Slika 8.12. Skraćeni format IPv6 adresa	124
Slika 9.1. HART <i>point-to-point</i> konfiguracija.....	128
Slika 9.2. HART konfiguracija sa multiplekserom.....	128
Slika 9.3. HART multidrop konfiguracija	129
Slika 9.4. HART protokol i OSI model.....	129
Slika 9.5. HART signal i FSK modulacija	130
Slika 9.6. Struktura HART telegrama	132

Slika 9.7. Formati HART adresa	132
Slika 9.8. Klase HART naredbi	134
Slika 10.1. Topologija Foundation Fieldbus mreže	137
Slika 10.2. Foundation Fieldbus i OSI model.....	138
Slika 10.3. Topologija H1 mreže sa ograncima	140
Slika 10.4. Manchester Bifazno-L kodiranje.....	141
Slika 10.5. Valni oblik Foundation Fieldbus signala	141
Slika 10.6. Strujno-naponski Foundation Fieldbus signal.....	142
Slika 10.7. Izvor napajanja sa prilagodnim RL sklopom	142
Slika 10.8. HSE protokoli i OSI model	143
Slika 10.9. Topologija Foundation Fieldbus HSE i H1 mreže	144
Slika 10.10. Struktura okvira podatkovnog sloja.....	144
Slika 10.11. Ciklički prijenos podataka.....	147
Slika 10.12. Aciklički prijenos podataka.....	147
Slika 10.13. LAS komunikacija.....	148
Slika 10.14. Formiranje Foundation Fieldbus paketa prema fizičkom sloju	151
Slika 10.15. Procesna petlja sa primjenom funkcijskih blokova	152
Slika 10.16. Povezivanje funkcijskih blokova za kaskadno upravljanje	154
Slika 11.1. PROFIBUS i OSI model	158
Slika 11.2. Naponske razine signala na PROFIBUS liniji	161
Slika 11.3. RS-485 segment i zaključenje linije	162
Slika 11.4. Prikaz izvedbe zaključnog člana unutar konektora D-tipa.....	163
Slika 11.5. Aktivni terminator	164
Slika 11.6. Spajanje PROFIBUS konektora u mrežu	166
Slika 11.7. Siemens obnavljač RS-485 tip 6ES7 972-0AA02-0XA0	167
Slika 11.8. Dijagnostički obnavljač	169
Slika 11.9. Mrežna topologija sa jednim segmentom	170
Slika 11.10. Mrežna topologija sa dva segmenta. Zaključenje je ostvareno na	170
Slika 11.11. Mrežna topologija sa obnavljačima i aktivnim terminotorima	170
Slika 11.12. Siemens optički pretvarači	172
Slika 11.13. Linearna mrežna topologija.....	173
Slika 11.14. Zvjezdasta mrežna topologija.....	173
Slika 11.15. Prstenasta mrežna topologija.....	174
Slika 11.16. Prstenasta mrežna topologija sa redundancijom.....	174
Slika 11.17. Linearna mrežna topologija sa OBT terminalima	175
Slika 11.18. Mrežna topologija sa OBT terminalima i OLM modulima.....	175

Slika 11.19. Mrežne topologije sa OLP konektorom	176
Slika 11.20. Linearna mrežna topologija sa dvije linije proširena na veći broj segmenata	177
Slika 11.21. Konfiguracija mreže sa više topologija.....	177
Slika 11.22. MBP prijenos signala sa Manchester II kodom	179
Slika 11.23. Zaključenje PROFIBUS-PA linije.....	180
Slika 11.24. Moguće konfiguracije zaključenja PROFIBUS-PA linije	180
Slika 11.25. Topologija PROFIBUS-PA mreže	182
Slika 11.26. Struktura PROFIBUS telegrama	184
Slika 11.27. Formati PROFIBUS telegrama	185
Slika 11.28. Vremenska sekvenca prijenosa PROFIBUS poruka	186
Slika 11.29. Master-slave konfiguracija i adresiranje uređaja	189
Slika 11.30. Master-master konfiguracija	190
Slika 11.31. Dodavanje novih uređaja	191
Slika 11.32. Faze komunikacije sa <i>slave</i> uređajima	192
Slika 11.33. Ciklička i aciklička komunikacija u DP-V1	196
Slika 11.34. Struktura DP-V1 <i>slave</i> uređaja	197
Slika 11.35. Komunikacija između podređenih uređaja (<i>slave-to-slave</i>)	198
Slika 12.1. Konfiguracije AS-i mastera.....	201
Slika 12.2. AS-i komponente i sučelja	204
Slika 12.3. AS-i prijenosni model kabela	205
Slika 12.4. AS-i plosnati kabel sa modulom za spajanje.....	205
Slika 12.5. AS-i izvor napajanja	206
Slika 12.6. APM modulacija.....	207
Slika 12.7. Odstupanja signala kod APM modulacije.....	208
Slika 12.8. Topologije AS-i mreže.....	209
Slika 12.9. Topologija AS-i mreže sa jednim obnavljačem	209
Slika 12.10. Topologija AS-i mreže sa dva obnavljača	210
Slika 12.11. Topologija AS-i mreže sa četiri obnavljača i <i>master</i>	210
Slika 12.12. Topologija AS-i mreže sa produživačem	210
Slika 12.13. Kombinirana topologija AS-i mreže sa produživačem i obnavljačem.....	211
Slika 12.14. Topologija AS-i mreže sa pasivnim terminatorom.....	211
Slika 12.15. Topologija AS-i mreže sa obnavljačima i pasivnim terminatorom	212
Slika 12.16. Senzor ili aktuator sa integriranim AS-i <i>slave</i> uređajem	212
Slika 12.17. AS-i <i>slave</i> modul 2I/2O za spajanje senzora i aktuatora.....	213
Slika 12.18. Raspored priključaka za konektore M8 i M12	213
Slika 12.19. Struktura AS-i poruke	214

Slika 12.20. Siemens DP/AS-i Link 20E 6GK1 415-2AA01	220
Slika 12.21. Memorijска структура поља и листа	222
Slika 12.22. Фазе рада <i>master</i> уредјаја.....	223
Slika 12.23. Блок шема рада <i>master</i> уредјаја а) фаза детекције, б) фаза активације	224
Slika 12.24. Аутоматско адресирање	227
Slika 12.25. Сигурносне и стандардне компоненте у AS-i мрежи.....	228
Slika 13.1. Modbus мрежна архитектура.....	229
Slika 13.2. Modbus комуникациони стог	230
Slika 13.3. Modbus комуникација	230
Slika 13.4. Modbus EIA-485 двојица комуникација	232
Slika 13.5. Modbus EIA-485 четворо-žičна комуникација.....	232
Slika 13.6. Modbus циклус Upita i Odgovora	233
Slika 13.7. Структура оквира ASCII знака са и без паритета	236
Slika 13.8. Структура ASCII поруке	236
Slika 13.9. Структура RTU оквира са и без паритета	237
Slika 13.10. Структура RTU поруке	237
Slika 13.11. LRC провјера.....	239
Slika 13.12. CRC провјера	240
Slika 13.13. Читање статуса дигиталних излаза	243
Slika 13.14. Читање holding регистара	244
Slika 13.15. Клијент- сервер конфигурација Modbus TCP модела.....	245
Slika 13.16. Структура ethernet поруке у Modbus TCP	246
Slika 13.17. Modbus TCP ADU	247
Slika 13.18. Modbus TCP успостављање везе	248
Slika 13.19. Структура Modbus PLUS поруке	250
Slika 13.20. Топологија Modbus PLUS мрежног сегмента.....	250
Slika 13.21. Топологија Modbus PLUS са два кабела	251
Slika 13.22. Топологија Modbus PLUS мреже	251
Slika 14.1. KNX инсталација	253
Slika 14.2. Топологија KNX линије са обновљачима	255
Slika 14.3. Топологија KNX TP1 мреже	255
Slika 14.4. KNX зелени кабел	258
Slika 14.5. KNX извор напајања	259
Slika 14.6. KNX Bus спрјечник	260
Slika 14.7. Пријеносни модул KNX комуникационог спрјечника	261
Slika 14.8. KNX пријеносни сигнал	261

Slika 14.9. Vremenski ciklus prijenosa signala	262
Slika 14.10. Struktura KNX telegrama	262
Slika 14.11. Kontrolno polje KNX telegrama	263
Slika 14.12. Izvorišna adresa KNX telegrama.....	263
Slika 14.13. Odredišna adresa KNX telegrama	264
Slika 14.14. 5 bajt KNX telegrama (<i>Routing Counter</i> i duljina podataka).....	265
Slika 14.15. Individualne adrese u KNX TP1 topologiji.....	266
Slika 14.16. Grupni objekti	268
Slika 14.17. Primjer upravljanja rasvjetom	270
Slika 14.18. Komunikacija unutar linije.....	270
Slika 14.19. Komunikacija između linija	271
Slika 14.20. Komunikacija između zona	272
Slika 14.21. Instalacija KNX PL mreže	273
Slika 14.22. Topologija KNX PL sa sistemskim/medijskim sprežnicima.....	274
Slika 14.23. KNX PL 110 prijenos signala	275
Slika 14.24. Struktura KNX PL 110 telegrama	275
Slika 14.25. Struktura KNX PL 110 telegrama odgovora.....	276
Slika 14.26. KNXnet/IP mreža	277
Slika 15.1. LonWorks mreža u WAN okruženju	278
Slika 15.2. Struktura LonWorks uređaja	279
Slika 15.3. Topologija mreže.....	283
Slika 15.4. TP/FT-10 podržane topologije	284
Slika 15.5. Zaključenje TP/TF-10 mrežnog segmenta za neoklopljeni kabel	285
Slika 15.6. Zaključenje TP/TF-10 mrežnog segmenta za oklopljeni kabel	285
Slika 15.7. Konfiguracija podmrežnih grupa na istom kanalu.....	287
Slika 15.8. Konfiguracija podmrežne grupe na dva kanala sa obnavljačem	287
Slika 15.9. Konfiguracija podmrežnih grupa povezanih usmjernikom	287
Slika 15.10. Konfiguracija mreže sa dvije grupne adrese	288
Slika 16.1. CAN mreža u automobilu	292
Slika 16.2. CAN i OSI model	294
Slika 16.3. CAN topologija	295
Slika 16.4. Zaključenje CAN linije a) razdijeljeno, b) prednaponsko razdijeljeno.....	295
Slika 16.5. CANBus signal.....	296
Slika 16.6. Izlazni stupanj CANBus sučelja (CAN <i>transceiver</i> PCA82C250).....	297
Slika 16.7. Struktura bita.....	298
Slika 16.8. Vrijeme propagacijskog kašnjenja između dva čvora	300

Slika 16.9. Idealni takt bita i fazne greške.....	302
Slika 16.10. Resinkronizacija bita kod pozitivne fazne greške	303
Slika 16.11. Resinkronizacija bita kod negativne fazne greške	303
Slika 16.12. Standardni CAN okvir: 11-bitni identifikator	306
Slika 16.13. Prošireni CAN okvir: 29-bitni identifikator	307
Slika 16.14. CAN okvir greške.....	309
Slika 16.15. CAN okvir preopterećenja	310
Slika 16.16. CANBus arbitraža na sabirnici.....	313
Slika 17.1. Struktura FlexRay uređaja	316
Slika 17.2. FlexRay i OSI model	317
Slika 17.3. Konfiguracije sa dva kanala	317
Slika 17.4. Topologija pasivne linearne sabirnice	318
Slika 17.5. Topologija pasivne zvijezde.....	318
Slika 17.6. Topologija aktivne zvijezde	319
Slika 17.7. Topologija kaskadne aktivne zvijezde	319
Slika 17.8. Hibridna topologija.....	320
Slika 17.9. Zaključenje linije	320
Slika 17.10. Zaključenje linije razdjelnim impedancijama a) za slučaj elektromagnetskih smetnji b) za slučaj elektrostatičkih pražnjenja	321
Slika 17.11. FlexRay signal.....	321
Slika 17.12. Dekodiranja signala u FlexRay protokolu.....	322
Slika 17.13. Komunikacijski ciklus	323
Slika 17.14. FlexRay statički i dinamički segment	325
Slika 17.15. FlexRay konfiguracije komunikacijskog ciklusa	326
Slika 17.16. FlexRay sinkronizacijski taktovi	327
Slika 17.17. Struktura FlexRay Okvira	328

Popis tablica

Tablica 3.1. Provjera pariteta	31
Tablica 3.2. Longitudinalni paritet	31
Tablica 5.1. Podjela kabela po klasama	43
Tablica 5.2. Podjela kabela po kategorijama.....	43
Tablica 5.3. AWG tablica presjeka vodiča.....	44
Tablica 5.4. Raspored vodiča na RJ-45	47
Tablica 5.5. Kategorije i klase svjetlovodnih kabela	56
Tablica 5.6. Pregled standarda IEEE 802.11.....	58
Tablica 6.1. Funkcijski opis priključaka za DB-25 konektor.....	66
Tablica 6.2. Funkcijski opis priključaka za DB-9 konektor.....	66
Tablica 7.1. GPIB protokol adresiranja	92
Tablica 7.2. Listen i Talk ASCII adresni kodovi	93
Tablica 7.3. Pregled GPIB naredbi	94
Tablica 7.4. Pregled GPIB naredbi opće namjene	97
Tablica 8.1. Vrijeme detekcije sudara okvira i duljine mrežnih segmenata.....	102
Tablica 8.2. Vrijednosti vremenskih odsječaka u funkciji broja sudara (kolizija)	103
Tablica 8.3. Primjene 10-Gigabitnog Etherneta	111
Tablica 8.4. Maska mrežne adrese.....	114
Tablica 8.5. Privatne IP adrese.....	115
Tablica 8.6. Adrese 6 mrežnih podgrupa za mrežnu adresu 200.10.10.0 klase C	116
Tablica 8.7. Blok od 16 adresa dobiven postupkom neklasificiranog adresiranja	117
Tablica 8.8. Struktura od 4 mrežne podgrupe za blok adresa 125.45.23.64 /26.....	119
Tablica 8.9. Struktura grupe 1 u neklasificiranom adresiranju	120
Tablica 8.10. Struktura grupe 2 u neklasificiranom adresiranju.....	121
Tablica 8.11. Struktura grupe 3 u neklasificiranom adresiranju.....	121
Tablica 8.12. Tipovi IPv6 adresa.....	124
Tablica 9.1. Vrijeme prijenosa HART telegrama.....	133
Tablica 9.2. HART naredbe	135
Tablica 10.1. Foundation Fieldbus duljine ogranaka	140
Tablica 10.2. Foundation Fieldbus tipovi kabela	140
Tablica 10.3. Nod adrese na Fieldbus segmentu	145
Tablica 10.4. Standardni funkcijski blokovi – FF 891 FB Part 2	152
Tablica 11.1. EN 50170-2 PROFIBUS standard.....	156
Tablica 11.2. Podjela unutar IEC 61158.....	157

Tablica 11.3. Adresiranje uređaja.....	158
Tablica 11.4. PROFIBUS tehnologije prijenosa (fizički sloj).....	160
Tablica 11.5. Naponske razine signala na PROFIBUS liniji	161
Tablica 11.6. Dozvoljene duljine ograna na PROFIBUS liniji.....	164
Tablica 11.7. Specifikacija PROFIBUS RS-485 kabela tipa A i B	165
Tablica 11.8. Duljine kabela u ovisnosti o brzini prijenosa	165
Tablica 11.9. Raspored priključaka za PROFIBUS konektor	166
Tablica 11.10. Duljine segmenta u ovisnosti o brzini prijenosa za RS-485 obnavljač	168
Tablica 11.11. Tipovi svjetlovodnih kabela u PROFIBUS mreži	171
Tablica 11.12. Standardni izvori napajanja za PROFIBUS-PA segmente i MBP prijenos	179
Tablica 11.13. Preporučene duljine ograna u PROFIBUS-PA	181
Tablica 11.14. PROFIBUS-PA specifikacija kabela	181
Tablica 11.15. Raspored priključaka M12-5 A konektora.....	182
Tablica 11.16. PROFIBUS usluge prijenosa.....	186
Tablica 12.1. AS-i i OSI model.....	203
Tablica 12.2. Struktura AS-i upita i odgovora	215
Tablica 12.3. Struktura AS-i upita u proširenom adresnom modu	215
Tablica 12.4. Profili AS-i uređaja.....	217
Tablica 12.5. I/O konfiguracija <i>slave</i> uređaja	218
Tablica 12.6. Master upiti u proširenom adresnom modu	219
Tablica 13.1. Modbus slojevi i OSI model	231
Tablica 13.2. Modbus struktura registara.....	240
Tablica 13.3. Modbus funkcijski kodovi	241
Tablica 13.4. Modbus kodovi grešaka	242
Tablica 13.5. Modbus TCP i OSI model.....	246
Tablica 14.1. KNX komunikacijski stog.....	256
Tablica 14.2. Provjera greške KNX telegrama.....	265
Tablica 14.3. Zastavice grupnog objekta	269
Tablica 15.1. LonTalk i OSI model	282
Tablica 15.2. Vrste LonTalk kanala	283
Tablica 15.3. Kodovi LonWorks poruka	290
Tablica 15.4. SNVT primjeri tipova varijabli	291
Tablica 16.1. CANBus sabirnica i brzine prijenosa podataka.....	296
Tablica 16.2. Duljine segmenata u vremenskim kvantima	299
Tablica 16.3. Preporučene vremenske vrijednosti signala u CAN mreži.....	301
Tablica 16.4. CAN D-tip raspored priključaka	303

Predgovor

Fieldbus tehnologija je od svog nastanka značajno utjecala na razvoj i performanse sustava automatizacije u svim područjima primjene. Danas praktično ne možemo zamisliti niti jedan suvremeni sustav automatizacije u proizvodnoj industriji, distribuciji energije, upravljačkim procesima, zgradarstvu, automobilskoj i zrakoplovnoj industriji ili željezničkom prometu bez primjene ove mrežne tehnologije.

Na *Sveučilišnom odjelu za stručne studije Split* studenti se mogu upoznati sa fieldbus protokolima na prvoj godini specijalističkog studija elektrotehnike u sklopu kolegija *Industrijske Računalne Mreže*.

Predložena nastavna materija osobito je korisna studentima koji žele ostvariti širi uvid u razmatranu problematiku, a također može poslužiti i studentima koji su odabrali ovaj kolegij kao izborni predmet s drugih modula i studija (studenti drugih modula na *Specijalističkom diplomskom stručnom studiju elektrotehnike*, *Specijalističkog diplomskog stručnog studija Informacijske tehnologije i Konstrukcijskog strojarstva*). Poglavlja skripte 2, 3, 4, 5 i 8 se mogu koristiti i u sklopu predmeta Računalne mreže i Lokalne i pristupne mreže jer obogaćuju pristup ovoj problematici uz primjere konkretne primjene Senzorske mreže. Također može poslužiti i kao temeljna literatura za sve koji su zainteresirani za detaljniji uvid u tehnologije industrijskih mreža. Za problematiku vezanu uz senzorske mreže naročito su interesantna poglavlja 9, 10, 11 i 12. Dijelovi većine poglavlja koja se odnose na kodove i njihove primjene mogu se koristiti u sklopu kolegija Zaštitno kodiranja signala.

Skripta je podijeljena tematski u 4 dijela. U prvom dijelu su objašnjene osnovne karakteristike i metode serijskog prijenosa, uzroci smetnji koje se mogu pojaviti u prijenosu signala i kako ih možemo ukloniti te karakteristike i vrste prijenosnih medija. Također je dan pregled najznačajnijih standarda serijskih sučelja EIA-232, EIA-423, EIA-422 i EIA-485 te paralelnog sučelja IEEE-488 koji se koristi u komunikaciji sa mjernom instrumentacijom. Kao zadnje poglavlje iz ovog dijela je obrađen Ethernet uz poseban naglasak na IP adresiranje uređaja i načine kreiranja mrežnih podgrupa.

U ostala tri dijela skripte objašnjeni su fieldbus protokoli koji su tematski podijeljeni na područja primjene. Od protokola koji se koriste u industrijskoj automatizaciji u drugom dijelu skripte objašnjeni su HART, Foundation Fieldbus, Profibus, AS-i i ModBus. Treći dio se odnosi na protokole sustava automatizacije zgrada i poslovnih objekata, a objašnjen je način rada KNX-a i LONWorks-a kao najzastupljenijih tehnologija iz ovog područja. U posljednjem dijelu iz područja automobilske industrije pojašnjen je način rada CAN Bus i FlexRay protokola.

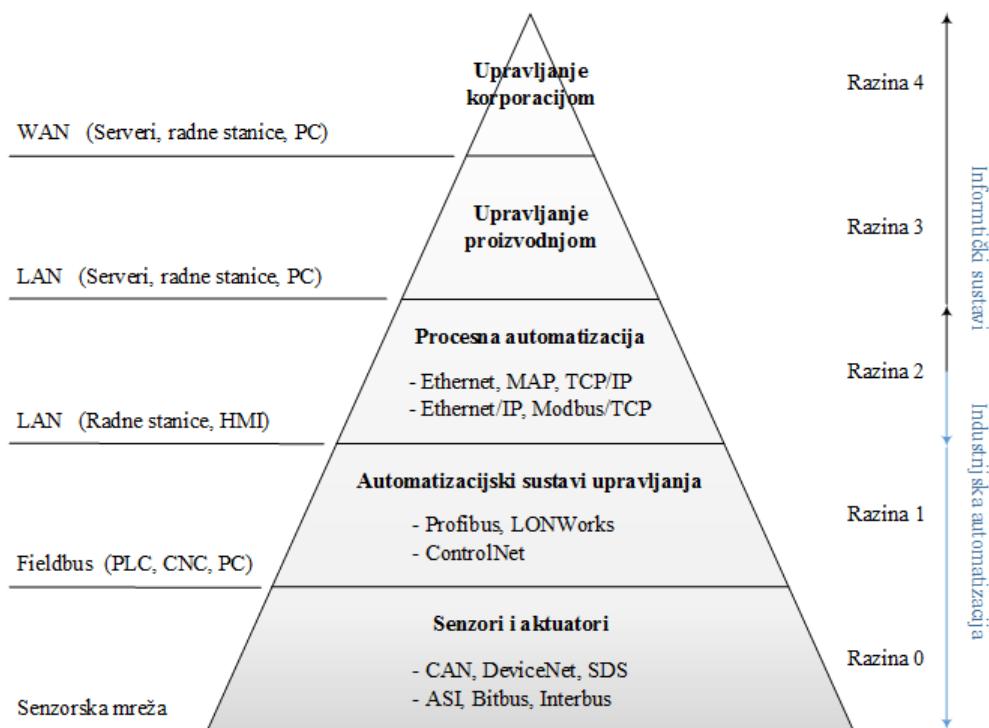
Fieldbus protokoli su konceptualno prezentirani u skladu sa OSI referentnim modelom koji se kod ovih protokola sastoји само od tri sloja: fizičkog, podatkovnog i aplikacijskog. Na razini fizičkog sloja su objašnjene topologije i način konfiguriranja mreže, metode kodiranja i prijenosa signala te načini provjere ispravnosti prijenosa podataka. Također su detaljno prikazana i sučelja uređaja za spajanje na mrežu. U sklopu podatkovnog sloja pojašnjena je struktura telegrama i način prijenosa signala te metode detekcije i korekcije greške kod prijenosa. Aplikacijski sloj je uglavnom zadužen za slanje predefiniranih naredbi ili kao sučelje prema korisničkom programu pa su u ovisnosti o protokolu dana odgovarajuća pojašnjenja.

Autor

1. Uvod

Razvoj *fieldbus* tehnologija 1980-tih godina omogućio je povezivanje uređaja u polju preko zajedničke sabirnice, veće brzine prijenosa podataka te mogućnost konfiguriranja i dijagnosticiranja samih uređaja tijekom rada na mreži. Distribuiranim upravljanjem primjenom pametnih uređaja ostvarena je fleksibilnost u primjeni centralne i distribuirane kontrole uz poboljšanje performansi i pouzdanosti.

Integracijom *fieldbusa* sa postojećim računalnim mrežama na razini proizvodnog pogona, tvornice ili korporacije omogućena je bolja analiza, planiranje i optimizacija proizvodnih procesa. Zbog svoje složenosti industrijski automatizacijski sustavi su obično strukturirani u nekoliko hijerarhijskih razina. Svaka od ovih hijerarhijskih razina koristi odgovarajuću razinu komunikacije koja postavlja određene zahtjeve na komunikacijsku mrežu. Primjer hijerarhije kod sustava industrijske automatizacije je prikazan na sl. 1.1.



Slika 1.1. Hijerarhija industrijske automatizacije

1.1. Hijerarhija industrijske automatizacije

1.1.1. Razina senzora i aktuatora

Ovo je najniža razina automatizacijske hijerarhije koja uključuje uređaje u polju kao što su aktuatori, senzori, I/O moduli, pretvarači i sl. Zadaća je uređaja na ovoj razini prijenos podataka

(mjernih vrijednosti, kontrolnih statusa, ...) kontroleru odnosno PLC-u koji upravlja opremom. Daljnji prijenos podataka se odvija između samih kontrolera ili prema višoj procesnoj razini. Podaci sa uređaja u polju mogu biti digitalni ili analogni. Komunikacija sa uređajima u polju ostvarena je kroz paralelna ili serijska sučelja, kao što je na primjer 20 mA strujna petlja koja se nekad najčešće koristila. U današnje vrijeme se koriste serijski komunikacijski standardi kao što su EIA-232, EIA-422 i EIA-485 kao i paralelni komunikacijski standard IEEE-488. Direktna ili *point-to-point* komunikacija je zamijenjena sabirnicom (*engl. bus*) čime su se postigle veće brzine i udaljenosti. Bus tehnologija omogućila je povezivanje više uređaja na istu sabirnicu, a time i smanjenje troškova instalacije. Industrijske mreže u polju razlikuju se prije svega od ostalih mreža manjom duljinom poruke i vremenom odziva. S obzirom da se informacije moraju obraditi u vrlo kratkom vremenu (10 µs – 100 ms) prijenos podataka se ostvaruje ciklički, a podaci moraju biti što kraći da bi se smanjilo vrijeme prijenosa na sabirnici. Preko mrežne komunikacije također je omogućena dijagnostika i konfiguracija pametnih uređaja te pojednostavljeno održavanje uređaja. Uređaji se mogu zamijeniti u tijeku procesa proizvodnje bez utjecaja na komunikaciju.

Komunikacija na ovoj razini ostvarena je senzorskim mrežama kao što su na primjer ASI, CAN, DeviceNet, Interbus-S ili SDS, a u novije vrijeme sa razvojem novih pametnih uređaja i *fieldbus* mrežama.

1.1.2. Razina automatizacijskih sustava upravljanja

Na ovoj razini se nalaze grupe uređaja ili strojevi koji se koriste u procesu izrade jednog ili više proizvoda. Uređajima i strojevima se upravlja preko programabilnih logičkih kontrolera (PLC-a) na osnovu informacija dobivenih od senzora. U proizvodnom pogonu gdje su uređaji i strojevi grupirani po funkcionalnosti svakoj grupi je pridružen jedan kontroler. Kontroleri su međusobno povezani *fieldbus* mrežama kao što su Profibus, LONWorks, ControlNet, itd.

1.1.3. Razina procesne automatizacije

Razina 2 upravlja procesom proizvodnje pomoću predefiniranih profila koji sadrže postavke za rad strojeva (količina utroška energije ili materijala, vrijeme rada, temperatura obrade, ...) u određenim fazama proizvodnog procesa. Ova razina obično se sastoji od serverske stanice te operatorskih i procesnih stanica. Unutar ove razine ostvarena je i vizualizacija podataka dobivenih od uređaja u polju pomoću računalnih sustava koji se koriste kao HMI-i (*engl. Human Machine Interface*). Sastavni dio ovih računalnih sustava su SCADA-e (*engl. Supervisory Control And Data Aquisition*), odnosno posebne aplikacije koje imaju mogućnost komunikacije (ili razmjene podataka) sa kontrolerima. Na taj način pored vizualizacije aktualnih vrijednosti i statusa u polju u koje su uključeni i svi alarmi, daju mogućnost operateru i upravljanje opremom u ručnom ili automatskom modu.

Server stanica sadrži baze podataka za potrebe proizvodnje te obavlja komunikaciju sa PLC kontrolerima, laboratorijem, operatorskim i procesnim stanicama, računalnom mrežom više razine i slično.

Operatorska radna stanica omogućuje pregled svih događaja u procesu, ručno unošenje procesnih podataka (ulaznih podataka o materijalu prije proizvodnje, izmjena rasporeda proizvodnog programa, ...), pokretanje i zaustavljanje proizvodnog procesa, generiranje izvješća o proizvodnom procesu određenog pogona, itd.

Procesna radna stanica omogućuje operatoru da održava proizvodnu bazu podataka na serveru, mijenja raspored programa proizvodnje (ako ne postoji razina upravljanja proizvodnjom), pregled svih informacija o proizvodnom procesu u svim pogonima tvornice te mogućnost generiranja izvješća o proizvodnim procesima za sve pogone tvornice.

Komunikacija na ovoj razini ostvarena je u LAN okruženju primjenom Ethernet standarda sa TCP/IP protokolom.

1.1.4. Razina upravljanja proizvodnjom

Na ovoj razini vrši se komunikacija između menadžmenta i proizvodnog postrojenja preko računala umreženih u LAN. U sklopu ove razine se koriste poslovni i inženjerski programi, programi za poslovnu komunikaciju i slični. Poslovni program koji se koristi u industriji naziva se programom za planiranje proizvodnih resursa ili MRP (*engl. Manufacturing Resource Planning*). Ovaj program se koristi za unos narudžbi, evidenciju sirovina, i sl., te se na osnovu ovih informacija planira i organizira proizvodnja, naručuju sirovine i komponente.

U novije vrijeme se na ovoj razini vrši i optimizacija rada tvornice. Podaci se automatski prikupljaju u proizvodnim postrojenjima, direktno sa strojeva i operatorskih terminala, te se obrađuju, analiziraju i koriste kako bi se utvrdili načini za povećanje kvalitete proizvoda i produktivnosti na razini cijele tvornice.

1.1.5. Razina korporacijskog upravljanja

Razina korporacijskog upravljanja vodi računa o finansijskom poslovanju, tržištu, narudžbama, dugoročnom planiranju proizvodnje, ljudskim resursima, administraciji te koordinaciji rada između dislociranih proizvodnih postrojenja. Na ovoj razini se koristi Ethernet WAN mreža za potrebe globalnog povezivanja korporacijskih ograna.

Literatura

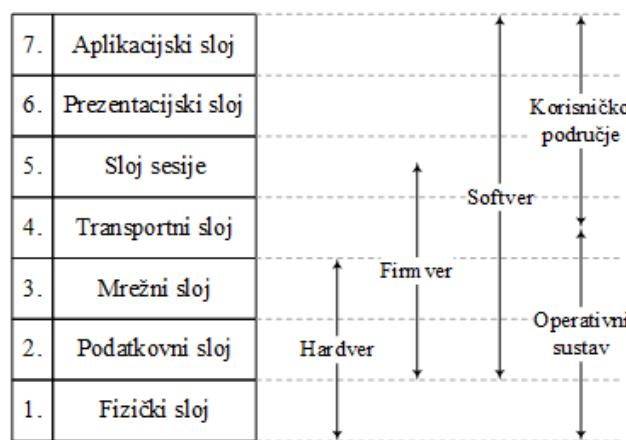
- [1] Sen, S.K, (2014.) *Fieldbus and Networking in Process Automation*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [2] Omer, A.I., Taleb, M.M. (2014.) *Architecture of Industrial Automation Systems*, European Scientific Journal, January 2014, vol. 10, No. 3, ISSN 1857-7881.
- [3] Dietrich, R. (2004.) *Industrial Ethernet*, Germany: Espelkamp, HARTING Electric GmbH & Co. KG.

2. OSI referentni model

Rastući problemi u komunikaciji zbog nekompatibilnosti mreža (opreme i protokola) različitih proizvođača doveli su 1984. god. do stvaranja OSI referentnog modela od strane međunarodne organizacije za standardizaciju ISO (*engl. International Organization for Standardization*). ISO/OSI referentni model (*engl. Open Systems Interconnection Reference Model*) specificiran je od CCITT i ISO kao standard ISO/IEC 7498. OSI model je apstraktan, slojeviti model koji pruža stručnjacima važne smjernice i preporuke u razvoju mrežnih protokola. Mrežni komunikacijski protokol predstavlja skup određenih pravila (za prikaz podataka, signalizaciju, autorizaciju i otkrivanje pogrešaka) koja su potrebna da bi se podaci mogli prenijeti preko komunikacijskog kanala.

2.1. Arhitektura ISO/OSI referentnog modela

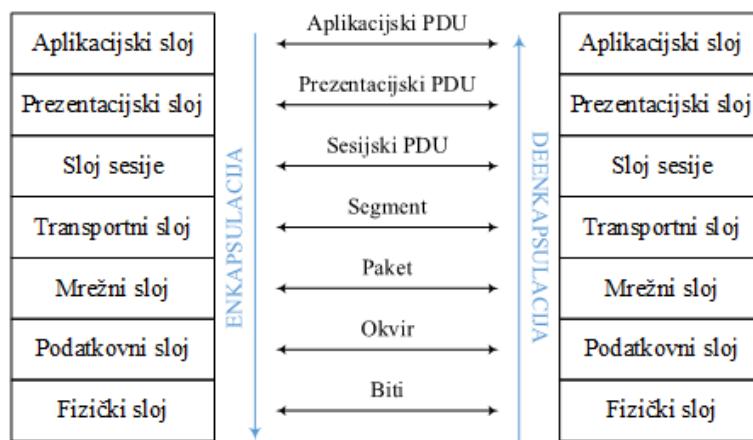
OSI model je podijeljen u sedam slojeva, a svaki sloj opisuje skup funkcija i usluga koje su neophodne da bi se mogla ostvariti komunikacija između uređaja. Podjelom na slojeve omogućeno je da se, pridržavanjem smjernica, protokoli za pojedini sloj razvijaju neovisno o protokolima drugih slojeva. Na sl. 2.1. prikazani su slojevi OSI referentnog modela i njihova primjena.



Slika 2.1. Slojevi OSI referentnog modela

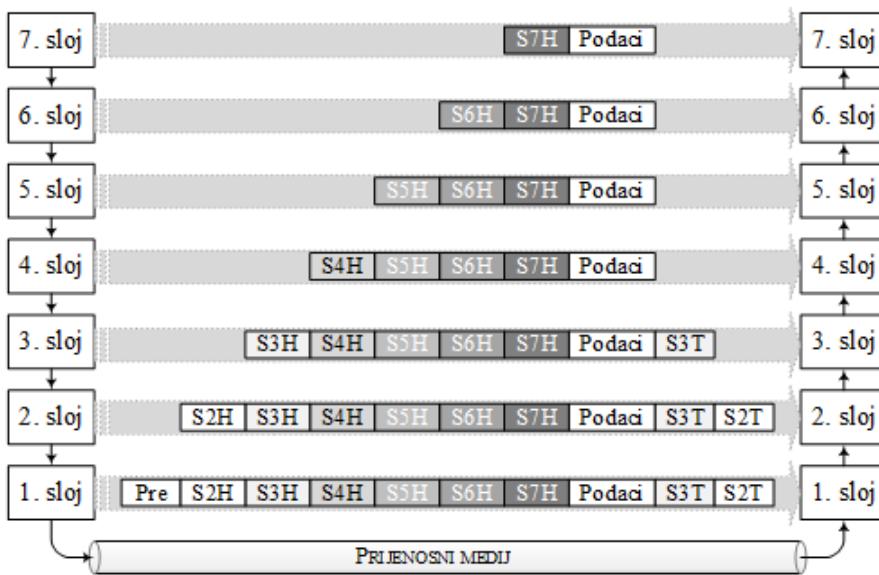
Unutar istog uređaja odnosno OSI modela slojevi su poredani u vertikalnoj hijerarhiji jedan iznad drugog. Svaki sloj može preko sučelja komunicirati samo sa višim ili nižim susjednim slojem na način da viši slojevi uvijek koriste usluge nižih slojeva. Točka u kojoj protokol višeg sloja može pristupiti uslugama nižeg sloja se naziva SAP (*engl. Service Access Points*). SAP možemo pojednostavljeno promatrati kao memorijsku lokaciju na kojoj viši sloj može preuzeti podatke sa nižeg sloja. Svakom SAP-u je dodijeljena jedinstvena adresa.

U komunikaciji između dva uređaja slojevi OSI modela su povezani u tzv. *peer-to-peer* komunikaciji. Naime svaki sloj jednog uređaja komunicira samo sa istim slojem drugog uređaja. Fizički prijenos podataka ostvaren je na način da se podaci iz viših slojeva prosljeđuju nižim slojevima kroz postupak enkapsulacije te se tako zapakirani šalju preko komunikacijskog kanala. Svaki sloj OSI modela prije prosljeđivanja podataka nižem sloju dodaje i dio upravljačkih informacija protokola svog sloja kroz posebno zaglavljje, sl. 2.3. Upravljačke funkcije iz zaglavlja omogućuju pozivanje odgovarajućih funkcija i usluga protokola određenog sloja. Podaci zajedno sa zaglavljem se nazivaju PDU (*engl. Protokol Data Unit*) i predstavljaju oblik pakiranja podataka za određeni sloj, kao što je prikazano na sl. 2.2. Na nižim slojevima se iza PDUsa dodaju i polja za označavanje kraja bitova podataka te polje za provjeru ispravnosti prijenosa podataka.



Slika 2.2. Arhitektura OSI referentnog modela

Enkapsulacija se ovisno o protokolu na višim slojevima obično ne koristi. Na nižim slojevima umjesto naziva PDU se koristi naziv 'segment' za PDU transportnog sloja, 'paket' za PDU mrežnog sloja i 'okvir' za PDU podatkovnog sloja. Na fizičkom sloju nema pakiranja podataka već se okviri primljeni od podatkovnog sloja šalju preko prijenosnog medija kao niz bita. Na prijemnoj strani se vrši obrnuti postupak deenkapsulacije u kojem se na razini svakog sloja najprije procesiraju upravljačke informacije pripadajućeg zaglavlja, a zatim se zaglavljje uklanja prije prosljeđivanja podataka višem sloju. Prijenos podataka primjenom OSI referentnog modela je prikazan na sl. 2.3.



*S-sloj, H-zaglavje, T-završni dio paketa, Pre- preambula

Slika 2.3. Prijenos podataka u OSI modelu

Uloge slojeva OSI referentnog modela:

Aplikacijski sloj omogućuje korisničkim programima pristup mreži ali ne opisuje sučelje programa prema korisniku. Primjer protokola ovog sloja su prijenos datoteka preko mreže (FTP), usluge elektroničke pošte (POP3, SMTP), pristup internetu (HTTP), upravljanje mrežom (Telnet) i drugo. Podatke i zahtjeve korisničkih programa aplikacijski sloj proslijedi prezentacijskom sloju.

Prezentacijski sloj vodi računa o sintaksi i formatu podataka aplikacijskog sloja kako bi se omogućila njihova razumljivost na odredištu neovisno o korisničkom programu. Također prezentacijski sloj vodi računa o kodiranju i kompresiji podataka. Primjeri formata podataka su tekst (ASCII, RTF, EBCDIC,...), glazba (MP3, WAV,...), slike (GIF, JPG, TIF,...) i video (AVI, MPEG, MOV,...).

Sloj sesije je odgovoran za uspostavljanje, održavanje i prekid komunikacijske veze između uređaja. U slučaju pada komunikacijske veze (sesije) sloj će pokušati obnoviti prekinutu vezu. Prijenos podataka u sesiji može biti ostvaren u simpleksu, poludupleksu i dupleksu. Sloj sesije vodi računa također o sinkronizaciji i segmentiranju paketa u mrežnoj vezi.

Aplikacijski, prezentacijski i sesijski sloj se obično nazivaju višim slojevima, a protokoli koji se koriste u ovim slojevima se nazivaju višim protokolima. Viši protokoli su općenito implementirani u softver i ne koriste se isključivo za određeni sloj već se pojedini protokoli mogu koristiti u više slojeva. Preostali slojevi se obično nazivaju nižim slojevima. U niže slojeve spadaju transportni, mrežni, podatkovni i fizički sloj.

Transportni sloj je zadužen za pouzdan prijenos podataka između uređaja. Podaci se šalju u velikom broju fragmenata koji se na prijemu ujedinjuju u originalnu poruku. Ovaj sloj provjerava i ispravlja greške u prijenosu te traži ponovno slanje fragmenata po potrebi. U prijenosu podataka transportni sloj može koristiti vezu sa ili bez uspostave poziva. Kod veze sa uspostavom poziva za svaki primljeni paket uređaj mora poslati potvrdu prijema. Jedan od važnijih protokola na ovom sloju su TCP (*engl. Transmission Control Protocol*) i UDP (*engl. User Datagram Protocol*). TCP koristi vezu sa uspostavom poziva, a UDP bez uspostave poziva.

Mrežni sloj se koristi kada se komunikacija odvija preko više mreža. Za slučaj samo jedne mreže ovaj sloj nije potreban. Sloj pruža usluge povezivanja i odabira najbolje putanje za paket podataka budući podaci do odredišta mogu putovati različitim putanjama. Razmjena podataka je ostvarena primjenom logičkog adresiranja bez da sloj vodi računa o tome da li su podaci stigli na odredište. Ta zadaća je ostavljena protokolima viših slojeva (TCP). Najčešće korišteni protokol je IP (*engl. Internet Protokol*) i IPX (*engl. Internetwork Packet Exchange*).

Podatkovni sloj je zadužen za kreiranje okvira od podataka viših slojeva, njihovo slanje preko prijenosnog medija te prijem na odredišnom uređaju. Ovaj sloj također vrši upravljanje brzinom protoka podataka, provjeru i korekciju ispravnosti primljenih okvira, te fizičko adresiranje uređaja dodavanjem odgovarajućih polja u zaglavje ili završni dio okvira. Podatkovni sloj podijeljen je na dva podsloja: LLC (*engl. Logical Link Control*) i MAC (*engl. Media Access Control*). LLC podsloj predstavlja sučelje prema protokolima mrežnog sloja, a odgovoran je za upravljanje komunikacijom i provjeru grešaka u prijenosu. MAC podsloj upravlja pristupom prijenosnom mediju. Primjer protokola ovog sloja su: IEEE 802.3 (Ethernet), IEEE 802.11 (bežični prijenos), FDDI (*engl. Fiber Distributed Data Interface*), Frame Relay,...

Fizički sloj vrši pretvorbu podataka u digitalni signal koji se šalje na prijenosni medij. Ovaj sloj definira tip prijenosnog medija (bakreni vodič, svjetlovod, radio signal), sučelje između uređaja i prijenosnog medija, električne karakteristike signala, postupke kodiranja i modulacije, topologiju mreže, itd.

2.2. Primjer primjene OSI referentnog modela kod WEB pretraživača

Na aplikacijskom sloju WEB pretraživač koristi se kao korisničko sučelje za pristup web stranicama. Web pretraživač u ovom slučaju ne predstavlja aplikacijski sloj. Stvarni pristup između web pretraživača i web servera definiran je HTTP protokolom.

Format podataka kojima se pristupa na web stranicama određen je funkcijama prezentacijskog sloja. Uobičajeni formati korišteni na internetu su HTML, XML, JPEG, PHP, GIF, itd. Također kodiranje i kompresija podataka koji se koriste određeni su funkcijama ovog sloja.

Sloj sesije odgovoran je za uspostavljanje, održavanje i prekid komunikacije između računala i web servera te da li će se komunikacija ostvariti u poludupleksu ili dupleksu.

TCP protokol kao sastavni dio transportnog sloja osigurava pouzdani prijenos podataka između web servera i klijent računala.

Logička adresa (u ovom slučaju IP) konfiguirana na klijent i server računalu su dio funkcija mrežnog sloja. U sklopu ovog sloja se definira i najbolja putanja prijenosa podataka primjenom usmjerivača. Budući se podaci ne mogu slati direktno na logičku adresu na podatkovnom sloju IP adrese se translatiraju u fizičke adrese. Podaci se zatim pakiraju u okvire i šalju na prijenosni medij.

Kabelska instalacija, bežična veza, mrežne kartice, koncentratori i ostali uređaji koji osiguravaju fizičku vezu između klijent računala i web servera rade na fizičkom sloju.

U odnosu na OSI referentni model karakteristično je da Fieldbus mreže koriste u svom radu samo 1,2 i 7 sloj. Razlog je struktura i organizacija mreže. Naime kod Fieldbus mreža nema kodiranja i interpretacije podataka odnosno prilagodbe formata poruke korisniku što se inače ostvaruje u prezentacijskom sloju. Sloj sesije se ne koristi jer nema potrebe vršiti uspostavu veze budući su svi uređaji stalno spojeni na prijenosni medij. Podaci se stoga ne moraju fragmentirati, dok je pouzdanost prijenosa umjesto na razini transportnog sloja riješena na razini podatkovnog sloja. Isto tako se ne koristi ni mrežni sloj jer je struktura mreže fiksna tako da nema potrebe slati pakete različitim putanjama.

Literatura

- [1] Sen, S.K, (2014.) *Fieldbus and Networking in Process Automation*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [2] Reynders, D., Wright, E. (2003.) *Practical TCP/IP and Ethernet Networking*, Elsevier-Newnes.
- [3] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B., Sinković V. (2003.) *Osnovne arhitekture mreža*, Zagreb: Element.
- [4] CARNet, *Računalne mreže – OSI referentni model* (2008.), <http://sistemac.carnet.hr/node/352>
- [5] Balchunas, A. (2012.) *OSI Referentni Model v.1.31*, <http://www.routeralley.com/>

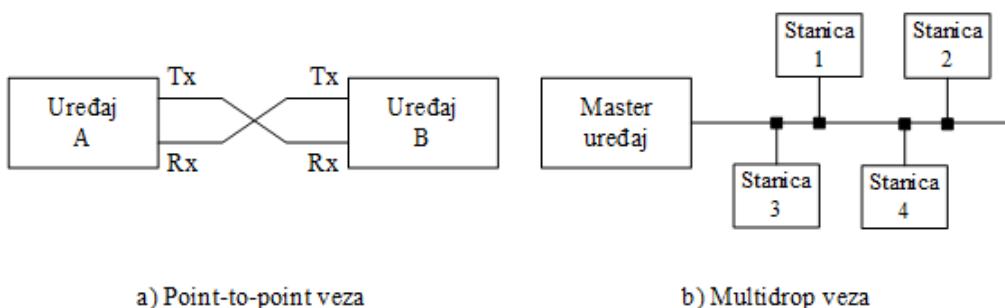
3. Teorija serijskog prijenosa

Serijski prijenos podataka ostvaren je slanjem bitova u nizu jedan iza drugoga na komunikacijskoj liniji. U odnosu na paralelni prijenos ovaj način omogućuje komunikaciju na znatno većim udaljenostima te korištenje različitih prijenosnih medija: bakrenih i svjetlovodnih kabela ili radio veze. Povezivanje uređaja na prijenosni medij definiran je standardima serijskih sučelja, dok je prijenos podataka upravljan protokolom odnosno skupom pravila koji određuju formate i pravila slanja i detekcije signala kao i način provjere greške u prijenosu podataka.

S obzirom na način i smjer protoka podataka možemo općenito razlikovati 3 načina komunikacije:

- **Simpleks** - prijenos podataka samo u jednom smjeru.
- **Poludupleks (engl. half-duplex)** - prijenos podataka u oba smjera ali ne istovremeno.
- **Dupleks (engl. full-duplex)** - istovremeni prijenos podataka u oba smjera.

Komunikacija između uređaja u mreži može biti ostvarena kao usmjerena veza (*engl. point-to-point*) ili kao više spojna veza (*engl. multipoint* ili *multidrop*). Usmjerena veza se koristi kod direktnog povezivanja dva uređaja i uglavnom je ostvarena pomoću dvije odvojene linije koje su međusobno povezane na način da je prijemna linija jedne strane spojena na predajnu liniju druge strane i obratno, sl. 3.1a. Komunikacijom se u ovakovom sustavu upravlja programski ili pomoću upravljačke linije. Usmjerena veza može biti trajna ili dinamička odnosno komutacijska. Kod komutacijske veze se kod svakog prijenosa vrši uspostava nove veze i njen prekid nakon završenog prijenosa. Više spojna veza koristi zajednički komunikacijski medij kojeg dijeli više uređaja istovremeno ili pojedinačno, sl. 3.1b. Ovaj način komunikacije karakterističan je za *fieldbus* mreže.



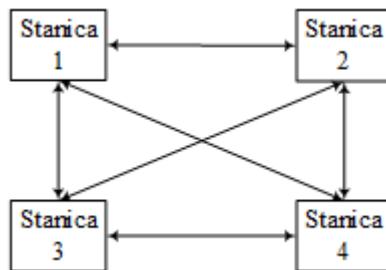
Slika 3.1. *Point-to-point* i *multidrop* komunikacija

3.1. Topologije mreže

Topologija predstavlja strukturu povezivanja više uređaja ili stanica u mreži. Može biti logička ili fizička. Logička topologija ukazuje na koji način je ostvaren prijenos podataka između uređaja na mreži, a određena je općenito mrežnim protokolima. Fizička topologija prikazuje fizički raspored uređaja na mreži i njihovu povezanost. Fizičke topologije možemo podijeliti na 4 osnovna tipa: isprepletena, zvezdasta, linearna i prstenasta.

3.1.1. Isprepletena topologija

U isprepletenoj topologiji (*engl. Mesh*) svaki uređaj je povezan usmjerrenom vezom sa svim ostalim uređajima, sl. 3.2. Za potpunu dvosmjernu komunikaciju između svih uređaja u ovoj topologiji potrebno je realizirati $n(n-1)/2$ fizičkih veza za n uređaja. Da bi podržao toliko veza svaki uređaj na mreži mora sadržavati $n-1$ ulaznih i izlaznih priključaka. U odnosu na ostale topologije ova topologija ima niz prednosti. Veze između uređaja su neovisne jedna o drugoj tako da neispravnost rada pojedinih veza ne utječe na ukupni rad sustava čime je znatno pojednostavljeno otkrivanje grešaka. Kao dodatna prednost je sigurnost i privatnost sustava jer se prijenos podataka odvija samo između uređaja koji su direktno povezani.

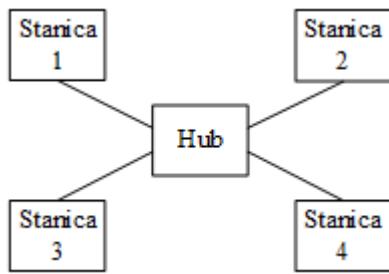


Slika 3.2. *Mesh* topologija

Nedostatak je velika kabelska instalacija koja zauzima dosta prostora kao i korištenje velikog broja ulazno/izlaznih priključaka na uređajima. Spajanje novih uređaja na mrežu je složeno i skupo jer zahtjeva instalaciju dodatne opreme i kabela. Iz ovog razloga se isprepletena topologija koristi samo u posebnim slučajevima, npr. kod povezivanja glavnog računala na sabirnicu hibridne mreže koja može uključivati nekoliko drugih topologija.

3.1.2. Zvezdasta topologija

U zvezdastoj topologiji (*engl. star*) svaki uređaj je povezan usmjerrenom vezom sa središnjim uređajem kao što je npr. koncentrator ili preklopnik, sl. 3.3. Između samih uređaja ne postoji direktna veza već se sva komunikacija odvija preko središnjeg uređaja. Neispravnost pojedine veze ne utječe na rad ostalih veza u sustavu.

**Slika 3.3.** Zvjezdasta topologija

Budući je spajanje svakog uređaja na središnji uređaj ostvaren preko samo jednog priključka troškovi instalacije su znatno manji a konfiguracija sustava pojednostavljena. Povezivanjem više koncentratora može se ostvariti tzv. distribuirana zvjezdasta topologija. Zvjezdasta topologija se najčešće koristi u LAN mrežama.

3.1.3. Linearna topologija

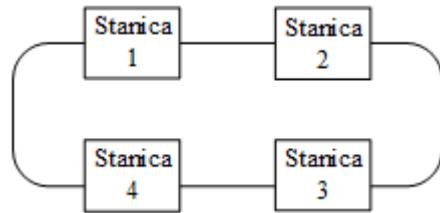
Linearna topologija ili sabirnica (*engl. bus*) predstavlja više spojnu vezu u kojoj su na sabirnicu paralelno spojeni svi uređaji, sl. 3.4. Sabirnica treba biti zaključena na oba kraja karakterističnom impedancijom kako bi se smanjile refleksije signala a time i smetnje u prijenosu. Broj uređaja je ograničen brzinom prijenosa i duljinom sabirnice. Komunikacija je kod ove topologije ostvarena u poludupleksu, a uređaji se mogu spajati i odspajati sa sabirnice bez utjecaja na komunikaciju ostalih uređaja. Prekid kabela na sabirnici dovodi do prestanka komunikacije između svih uređaja što otežava otkrivanje greške. Topologija sabirnice se koristi u svim *fieldbus* mrežama.

**Slika 3.4.** Topologija sabirnice

3.1.4. Prstenasta topologija

U prstenastoj topologiji (*engl. ring*) svaki uređaj je povezan usmjerenom vezom sa uređajem koji mu prethodi i koji slijedi iza njega, sl. 3.5. Prijenos signala se odvija duž prstena u jednom smjeru, od uređaja do uređaja, dok ne stigne na odredište. Neispravnost rada bilo kojeg uređaja dovodi do prekida komunikacije cijelog sustava tako da to otežava uključivanje ili isključivanje uređaja na mreži. Ovo se može prevladati korištenjem topologije dvostrukog prstena. Broj

uređaja i duljina prstena ograničena je brzinom prijenosa i prijenosnim medijem. Komunikacija između uređaja u prstenastoj topologiji ostvarena je metodom *token passing*.



Slika 3.5. Prstenasta topologija

Pored osnovnih tipova u praksi se često koriste i hibridne topologije koje zapravo predstavljaju kombinacije osnovnih. Jedna od najčešćih je stablo koja predstavlja kombinaciju prstena i sabirnice.

3.2. Mrežna oprema

U većini slučajeva uređaji i aplikacije u velikim postrojenjima komuniciraju preko različitih mrežnih struktura i protokola. Da bi se ovo ostvarilo koriste se posebni mrežni uređaji kao što su obnavljači, usmjerivači, premosnici, poveznici, koncentratori, preklopnići i slično.

Obnavljač (*engl. Repeater*) je uređaj koji omogućuje pojačanje dolaznog električnog signala. Primjenom ovog uređaja moguće je dodatno povećati duljinu mrežnog segmenta kao i broj uređaja spojenih na mrežu. Obnavljač radi na razini fizičkog sloja OSI modela. Također omogućuje međusobno povezivanje različitih fizičkih medija, npr. paričnih kabela na svjetlovodni kabel.

Usmjerivač (*engl. Router*) vrši usmjeravanje komunikacijskih paketa između različitih mrežnih segmenata koji koriste isti protokol. Putanja paketa određuje se na osnovu mrežne adrese i ostalih informacija definiranih u zaglavljku okvira. Usmjerivač je uređaj koji radi na razini mrežnog sloja. Naročito se koristi u povezivanju mreža na WAN.

Premosnik (*engl. Bridge*) je mrežni uređaj koji omogućuje segmentiranje lokalne mreže. Veza između dva mrežna segmenta može imati različite električne karakteristike i protokole. Premosnik radi na razini podatkovnog sloja odnosno MAC protokola. Uredaj provjerava MAC zaglavje svakog okvira kojeg prima i njegovu ispravnost. Sve MAC adrese se registriraju u odnosu na pošiljatelja i spremaju u posebnu tablicu. U tablici su adrese pridružene po priključcima (*engl. ports*) tako da se okviri proslijeđuje na drugi segment samo ako je MAC adresa odredišta različita od adrese pošiljatelja.

Poveznik (*engl. Gateway*) slično kao i premosnik omogućuje komunikaciju između sabirnica različitog tipa i protokola. Međutim za razliku od premosnika može raditi na razini od 4 do 7 sloja OSI modela.

Koncentrator (*engl. Hub*) je uređaj koji radi na razini fizičkog OSI sloja, što znači da nema mogućnost usmjeravanja paketa već samo prosljeđuje dolazne pakete sa određenog priključka na sve ostale priključke. Ovisno o tipu koncentratora prosljeđivanje paketa može biti ostvareno sa ili bez pojačanja signala. Koncentratori se koriste u mrežama koje su izvedene sa paričnim kabelima. Razlikuju se uglavnom po broju priključaka, a nalazimo ih u raznim varijantama od 4 do 24 priključka. Nedostatak u njegovom radu je da u slučaju istovremenog slanja paketa od dvaju ili više uređaja dolazi do kolizije (sudaranja paketa) na koncentratoru što dovodi do prestanka komunikacije. Uredaji mogu ponovno početi sa slanjem paketa tek nakon vremena koje je za svaki uređaj određen algoritmom protokola.

Preklopnik (*engl. Switch*) je mrežni uređaj koji može raditi na razini podatkovnog i mrežnog sloja OSI modela što znači da ima mogućnost usmjeravanja paketa po MAC i IP adresama. Današnji preklopnici omogućuju dvosmjernu komunikaciju na svojim priključcima, te podršku za VLAN (*engl. Virtual Local Area Network*). VLAN podrška omogućuje logičko segmentiranje mreže neovisno o fizičkoj topologiji koja se može dinamički mijenjati. Povezivanje na određeni VLAN može biti ostvareno kroz konfiguraciju priključaka na preklopniku ili na osnovu MAC ili IP adrese.

Pretvornik za medij (*engl. Media Converter*) predstavlja aktivni uređaj za povezivanje različitih fizičkih medija istog protokola. Najčešće se koristi za pretvorbu signala iz svjetlovodnog u parični medij i obratno.

3.3. Upravljanje pristupom mediju

U industrijskim mrežama komunikacija između uređaja ostvarena je najčešće preko zajedničkog prijenosnog medija tako da se prijenos podataka odvija u poludupleksu. Kod ove vrste prijenosa samo je jednom uređaju dozvoljeno slanje podataka u određenom trenutku dok svi ostali mogu te podatke primati. Protokoli koji podržavaju ovu vrstu komunikacije zasnivaju se na tri osnovne metode: prozivanje, *token-passing* i CSMA/CD.

3.3.1. Metoda prozivanja

Metoda prozivanja (*engl. polling*) često se naziva i *master-slave* jer se u ovoj vrsti komunikacije koristi samo jedan aktivni uređaj dok su ostali pasivni. Aktivni ili nadređeni uređaj (*engl. master*) šalje ciklički poruke adresiranim uređajima (*engl. slaves*) na koje oni trebaju odgovoriti potvrdom ili slanjem podataka koje je tražio nadređeni uređaj. Poruke se unutar svakog ciklusa svim pasivnim uređajima šalju u različitim vremenskim odsjećcima u

skladu sa adresnom listom uređaja koja je konfigurirana na *master* uređaju. Komunikacija između pasivnih uređaja nije moguća.

3.3.2. Token passing

Token-passing metoda komunikacije koristi se u mrežama gdje postoji više nadređenih uređaja koji su povezani u logički prsten kreiran u skladu sa rastućim nizom njihovih adresa. Komunikacija je ostvarena na način da se poseban telegram tzv. *token* prosljeđuje između nadređenih uređaja uvijek u smjeru od uređaja sa nižom adresom prema uređaju sa višom adresom neovisno o njegovoj fizičkoj lokaciji. Nakon uređaja s najvišom adresom *token* se ponovno prosljeđuje na uređaj sa najnižom adresom. *Token* omogućuje svakom uređaju pristup mediju za određeni vremenski odsječak u kojem uređaj može poslati poruku nekom drugom nadređenom uređaju ili ostvariti cikličku komunikaciju sa pasivnim uređajima koji su mu konfiguracijom dodijeljeni. Ako uređaj želi poslati poruku nekom drugom nadređenom uređaju označiti će *token* kao rezerviran te ga zajedno sa podacima poslati na adresu tog uređaja. Poruka sa *token-om* se zatim prosljeđuje između uređaja do adresiranog uređaja koji će na nju odgovoriti. Tek nakon primljenog odgovora uređaj koji je poslao poruku će osloboditi *token* i proslijediti ga dalje da ga za slanje nove poruke može koristiti drugi uređaj.

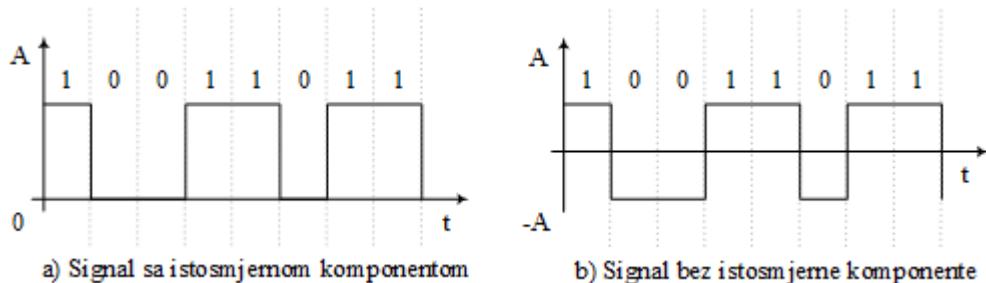
3.3.3. CSMA/CD

CSMA/CD (*engl. Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*) je protokol koji se koristi u Ethernet mreži. Za razliku od prethodne dvije metode u kojima je pristup prijenosnom mediju svakog uređaja točno određen definiranim vremenskim odsjećcima kod CSMA/CD metode svaki uređaj može početi sa slanjem poruke proizvoljno čim detektira neaktivnost na liniji. Naime kod ovog protokola svi uređaji na mreži osluškuju liniju komunikacije i ukoliko detektiraju neaktivnost u određenom vremenu mogu početi sa slanjem poruke. Zbog različitih udaljenosti između uređaja uslijed propagacijskog kašnjenja signala na liniji može se desiti da dva ili više uređaja u isto vrijeme detektiraju neaktivnost linije i počnu istovremeno sa slanjem podataka. U tom slučaju dolazi do kolizije (sudaranja) okvira podataka. Uređaj koji detektira koliziju poslati će na liniju signal ometanja (*engl. jam signal*) kojim će signalizirati svim uređajima da je došlo do kolizije. To će uzrokovati prekid komunikacije i odbacivanje primljenih podataka koji su poslani u trenutku nastanka kolizije. Nakon kolizije svakom uređaju se primjenom metode odstupanja (*engl. exponential backoff*) dodjeljuje različito vrijeme čekanja prije nego može ponoviti slanje poruke. Kolizije su normalna pojava na Ethernet mreži i predviđene su u dizajnu mreže. Razina kolizije će biti veća što je veći broj uređaja na Ethernet mreži pa o tome treba voditi računa jer će to utjecati na smanjenje ukupnog frekvenčijskog opsega mreže zbog povećanog prijenosa podataka.

3.4. Linijsko kodiranje

Linijsko kodiranje je postupak koji se vrši uvijek prije slanja signala na liniju. Kodiranje predstavlja proces pretvorbe binarnih podataka u digitalni signal pogodan za prijenos preko određenog prijenosnog medija. Naime karakteristike prijenosnog medija kao što su otpor, kapacitet i induktivitet utječu na slabljenje i frekvencijski opseg signala što ograničava udaljenost i brzinu prijenosa signala. Izborom odgovarajućeg koda i modulacijskog postupka omogućeno je oblikovanje spektra digitalnog signala kao i mogućnost povećanja ili smanjenja brzine prijenosa signala za dani frekvencijski opseg. Linijskim kodiranjem možemo također omogućiti bolju detekciju i korekciju pogrešno primljenih bita, smanjiti razinu istosmjerne komponente signala te poboljšati sinkronizaciju bita između predajnika i prijemnika.

Kodirani signali ovisno o metodi mogu u sebi sadržavati istosmjernu komponentu što ima za posljedicu dva nedostatka. Jedan je izobličenje signala na izlazu sklopa koji ne dozvoljava prolaz istosmjerne komponente (npr. transformator). Drugi je da ova komponenta predstavlja dodatnu potrošnju na liniji koja je nepotrebna. Signal bez istosmjerne komponente ima srednju vrijednost jednaku nuli tako da se može prenositi zajedno sa drugim signalima a da ne utječe na njihovu vrijednost. Na ovaj način mogu se istovremeno prenijeti podaci preko linija koje se ujedno koriste za napajanje uređaja (kao što je to slučaj kod AS-i) ili linija u kojima se i analogni signal koristi za prijenos informacija (npr. strujna petlja 4-20 mA kod HART uređaja). Usporedba kodiranog signala sa i bez istosmjerne komponente je prikazana na sl. 3.6.



Slika 3.6. Kodiranje sa i bez istosmjerne komponente

Što se tiče sinkronizacije takta između predajnika i prijemnika ona je neophodna da bi se ostvarila ispravna detekcija binarnog niza na strani prijemnika. Problem u sinkronizaciji naročito je uzrokovani prisutnošću dugog niza nula u binarnom nizu što dovodi do gubitka sinkronizma jer prijemnik nije više u stanju ispravno detektirati vrijeme nailaska svakog bita. Utiskivanjem takta u linijski kod signala prijemnik može uskladiti takt svog rada sa nadolazećim signalom.

Linijsko kodiranje općenito možemo podijeliti u tri grupe: unipolarno, polarno i bipolararno. Razlika je napravljena u odnosu na razinu signala kojom su definirana logička stanja „0“ i „1“.

Unipolarno kodiranje koristi dvije razine signala, pri čemu je obično logičko stanje „1“ predstavljeno pozitivnim vrijednošću, a logičko stanje „0“ sa nulom. Ovaj tip kodiranja danas se rijetko primjenjuje jer sadrži istosmjernu komponentu i nema ugrađen sinkronizacijski takt.

Polarno kodiranje koristi dvije razine signala, pozitivnu i negativnu. Na ovaj način smanjena je njegova srednja vrijednost na liniji i utjecaj istosmjerne komponente koja je bila prisutna kod unipolarnog kodiranja. Najznačajniji tipovi polarnih kodova su: NRZ (*engl. No-Return-To-Zero*), RZ (*engl. Return-To-Zero*), *Manchester* i Diferencijalni *Manchester*.

Bipolarno kodiranje koristi tri razine signala: pozitivnu, negativnu i nulu. Nula predstavlja logičko stanje „0“, a logička „1“ je predstavljena izmjenom pozitivnog i negativnog impulsa. U slučaju da je prvi bit „1“ predstavljen pozitivnim impulsom, sljedeći bit „1“ će biti predstavljen sa negativnim impulsom, treći bit „1“ ponovno sa pozitivnim impulsom i tako redom neovisno o tome da li bitovi sa stanjem „1“ slijede jedan iza drugog ili ne. Najznačajniji tip bipolararnog koda je: AMI (*engl. Alternate Mark Inversion*).

Budući je u praksi vrlo česta situacija da se oba logička stanja „0“ i „1“ mogu predstaviti ili visokom ili niskom razinom signala napravljena je podjela na pozitivnu i negativnu logiku signala:

- Kod pozitivne logike „0“ je predstavljena niskom razinom, a „1“ visokom razinom signala
- Kod negativne logike „0“ je predstavljena visokom razinom, a „1“ niskom razinom signala

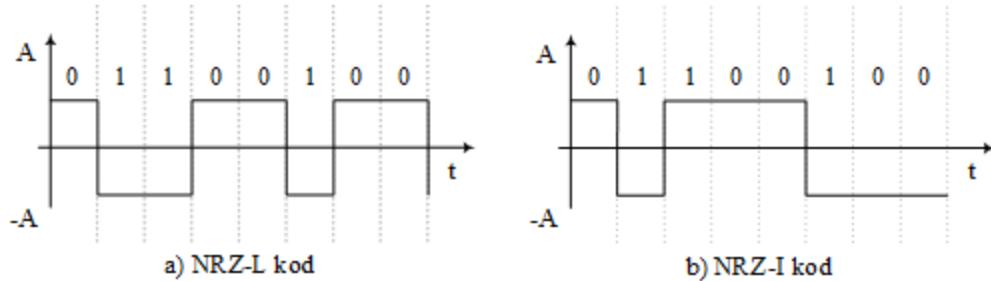
3.4.1. Tipovi kodiranja

3.4.1.1. NRZ kod

Kod NRZ (*engl. No-Return-To-Zero*) kodiranja bitovi su predstavljeni pozitivnom i negativnom razinom signalom. Razlikujemo dvije vrste NRZ koda, NRZ-L (*engl. NRZ-level*) i NRZ-I (*engl. NRZ-invert*) koji su prikazani na sl. 3.7.

U NRZ-L kodiranju logička „0“ najčešće je predstavljena pozitivnom razinom signala, a logička „1“ negativnom razinom. Problem može nastati kada podaci sadrže dugi niz „0“ ili „1“ jer prijemnik očitava konstantnu amplitudu signala tako da broj poslanih bita može odrediti samo na osnovu svog takta koji može ali ne mora biti sinkroniziran sa taktom predajnika.

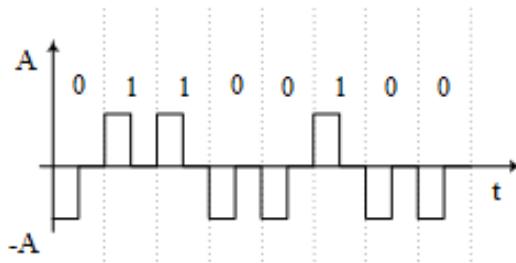
U NRZ-I kodiranju brid promjene razine signala između pozitivnog i negativnog predstavlja logičko stanje „1“, a signal bez promjene predstavlja logičko stanje „0“. Na ovaj način u signal je ugrađen sinkronizacijski takt sa svakom promjenom razine signala. Sinkronizacija je moguća sa bitom „1“ ali za slučaj dužeg niza bitova „0“ može doći do problema sinkronizacije. Ovo je ipak rjeđe jer pojava bitova „0“ u dužem nizu nije česta. Vrijednost istosmjerne komponente kod ove vrste kodiranja mijenja se ovisno o sekvenci bita. NRZ kod koristi se na razini fizičkog sloja u PROFIBUS-DP i CANBus mreži.



Slika 3.7. NRZ-L i NRZ-I kodiranje

3.4.1.2. RZ kod

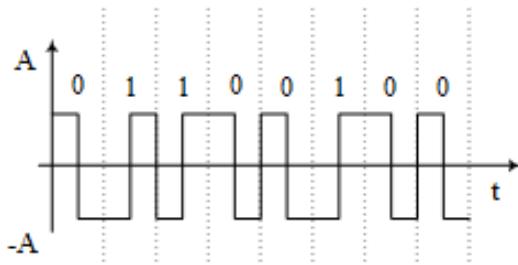
Gubitak sinkronizacije pojavom niza „0“ u prethodnom slučaju je ispravljen kod RZ (*engl. Return-To-Zero*) kodiranja uvođenjem tri razine signala: pozitivne, negativne i nule. Kod RZ kodiranja signal mijenja razinu za vrijeme trajanja bita, sl. 3.8. Logičko stanje „1“ predstavljeno je promjenom amplitude od pozitivne razine na nulu, a logičko stanje „0“ sa promjenom od negativne razine na nulu. Nedostatak ovog kodiranja je što se razina signala mijenja dva puta unutar vremenskog trajanja jednog bita što uzrokuje da signal zauzima veći frekvencijski opseg. Vrijednost istosmjerne komponente i kod ove vrste kodiranja mijenja se ovisno o sekvenci bita.



Slika 3.8. RZ kodiranje

3.4.1.3. Manchester kod

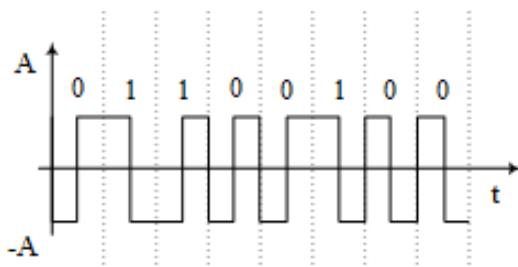
Karakteristika ovog koda je da je informacija bita uključena u fazu signala. Pozitivan rast signala u sredini bita predstavlja logičko stanje „1“, a pad razine signala logičko stanje „0“, sl. 3.9. Izmjena razine signala omogućuje sinkronizaciju čak i za slučajeve dugih nizova istih bita budući se razina signala mijenja za svaki bit. Međutim potrebni frekvencijski opseg je iz tog razloga dvostruko veći nego kod RZ kodiranja. Srednja vrijednost Manchester koda je nula tako da nema istosmjerne komponente. Ovaj tip kodiranja se koristi kod Ethernet LAN-a., PROFIBUS-PA i ASI mreža.



Slika 3.9. Manchester kodiranje

3.4.1.4. Diferencijalni Manchester kod

Kod ovog kodiranja promjena razine signala u sredini bita se koristi kao takt sinkronizacije, a prisutnost ili odsutnost promjene signala na početku vremenskog intervala bita označava logičko stanje bita. Logičko stanje „0“ označeno je promjenom razine signala, a logičko stanje „1“ bez promjene. Ovaj tip kodiranja zastupljen je kod *token ring* LAN-ova.

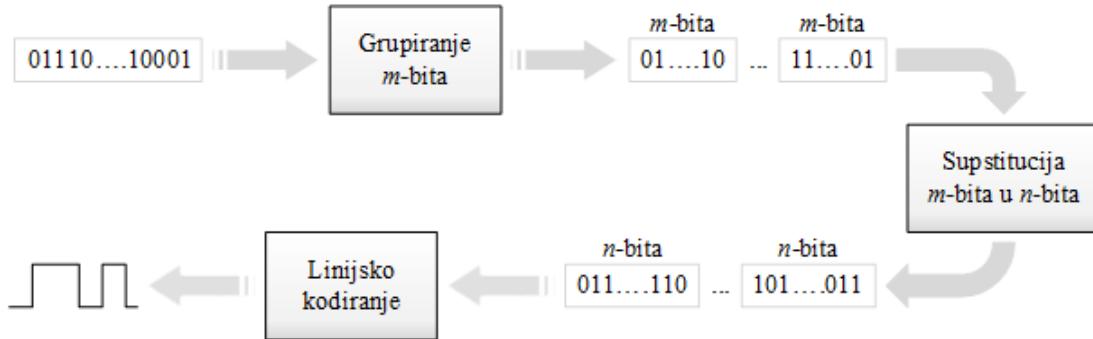


Slika 3.10. Diferencijalno Manchester kodiranje

3.4.1.5. Blok Kodiranje

Blok kodiranjem poboljšane su karakteristike linijskog kodiranja utiskivanjem redundantnih bita. Na ovaj način postignuta je bolja sinkronizacija i detekcija greške na prijemu. Postupak blok kodiranja ostvaren je na način da se dolazni binarni niz najprije dijeli u grupe od m bita, zatim se u postupku supstitucije svaka grupa od m bita zamjenjuje kodnom grupom od n bita,

te se tako dobiveni niz linjski kodira nekim od prethodno objašnjениh kodova. Kod blok kodiranja često su supstitucija i linijsko kodiranje integrirani zajedno. Postupak blok kodiranja prikazan je na sl. 3.11.



Slika 3.11. Blok kodiranje

U postupku supstitucije vrijedi da je $m < n$ što znači da nakon supstitucije dobijemo veći broj kodnih kombinacija koje možemo iskoristiti za bolju sinkronizaciju i detekciju greške. Da bi se ostvarila bolja sinkronizacija n -bitni kod se može iskoristiti na način npr. da se koriste samo one kodne riječi u kojima nemamo više od tri uzastopne „0“ ili „1“. Kod detekcije greške može se iskoristiti činjenica da se koristi samo dio n -bitnih kodova za prijenos informacija tako da primitak neke druge kodne riječi označava pogrešku u prijenosu. Od blok kodova mogu se izdvojiti 4B/5B, 8B/10B i 8B/6T koji se koriste u Ethernetu za prijenosne brzine veće od 10 Mbit/s.

3.4.1.5.1. 4B/5B

Kod 4B/5B kodiranja 4-bitni podaci su kodirani u 5-bitne kodove. Izbor 5-bitnog koda je takav da svaki kod može imati samo jednu početnu „0“ te najviše dvije uzastopne „0“ na kraju. Kada se 5-bitni kodovi šalju u nizu ne smiju se uzastopno pojaviti tri „0“ u nizu. 5-bitni kod je obično linijski kodiran sa NRZ-I kodom. Ovakav način kodiranja omogućuje brzine prijenosa od 100 Mbit/s uz frekvencijski opseg od 125 MHz. Ista brzina prijenosa bi primjenom Manchester koda zahtjevala frekvencijski opseg od 200 MHz što se ne može koristiti kod paričnih kabela kategorije 5.

3.5. Brzina prijenosa podataka

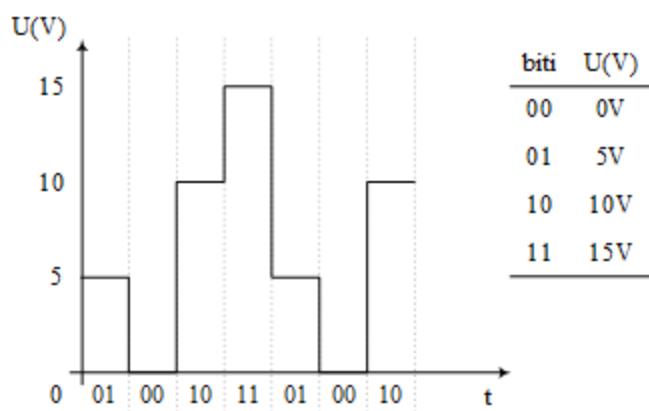
Brzina prijenosa podataka predstavlja jedan od važnih kriterija za određivanje efikasnosti komunikacije. U digitalnim komunikacijama se za brzinu prijenosa koriste dva termina, bitska brzina i brzina u baudima. Bitska brzina je definirana brojem bita u sekundi (bit/s), a brzina u baudima brojem promjena stanja elementarnog signala u sekundi (npr. napona ili frekvencije).

Što je manje promjena stanja signala to je sustav efikasniji i manji je frekvencijski opseg potreban za prijenos većeg broja bita.

Kada se želi omogućiti veće brzine prijenosa, čak i uz ograničen frekvencijski opseg, više bita se može grupirati i kodirati zajedno. Slika 3.12. pokazuje kako se četiri različita stanja signala (naponske razine) mogu koristiti za slanje niza dibita (grupa od 2 bita). Ova metoda smanjuje promjenu stanja signala za pola i time smanjuje prijenosnu frekvenciju. Broj bita pridruženih svakom elementarnom stanju signala može se odrediti prema relaciji $2^N = M$, gdje je M broj stanja signala a N broj bita pridružen svakom stanju. Odnos između brzina u bitima i baudima izražen je relacijama:

$$\begin{aligned} \text{Bitska brzina} &= (\text{Baud brzina}) \times (\text{broj bita predstavljenih promjenom signala}) \\ \text{Baud brzina} &= (\text{Bitska brzina}) / (\text{broj bita predstavljenih promjenom signala}) \end{aligned}$$

Bitska brzina uvijek je veća ili jednaka brzini u baud-ima.



Slika 3.12. Kodiranje signala sa više razina

3.6. Modulacije digitalnog signala

Digitalni signali zauzimaju vrlo veliki frekvencijski opseg koji se ne može prenijeti u cijelosti preko prijenosnog medija. Naime svaki medij ima ograničeni frekvencijski opseg čime je ograničen i frekvencijski opseg prijenosnog signala a time i njegova maksimalna brzina prijenosa. Najveća dopuštena brzina prijenosa na mediju može se odrediti iz *Shannon-ove* relacije:

$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M \text{ (bit/s)} \quad (3.1.)$$

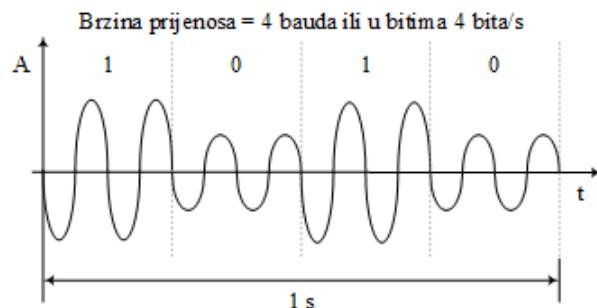
gdje je: B – frekvencijski opseg u Hz
 M – broj različitih stanja signala

Da bi se omogućile velike brzine prijenosa digitalnih signala čak i slučajevima ograničenog frekvencijskog opsega koriste se modulacijski postupci sa kojima se vrši transformacija digitalnih signala u analogne. Analogni signali po svojoj prirodi zauzimaju znatno manji frekvencijski opseg i jednostavno ih je generirati. Modulacija je postupak u kojem se amplituda, frekvencija i faza osnovnog signala mijenja u skladu sa digitalnim. Pri tom možemo razlikovati nekoliko osnovnih načina digitalne modulacije:

- Amplitudna modulacija - ASK (*engl. Amplitude Shift Keying*),
- Frekvencijska modulacija – FSK (*engl. Frequency Shift Keying*),
- Fazna modulacija – PSK (*engl. Phase Shift Keying*),
- Kvadraturno amplitudna modulacija - QAM (*engl. Quadrature Amplitude Modulation*).

3.6.1. ASK modulacija

Kod ASK modulacije se amplituda signala prijenosne frekvencije mijenja u skladu sa digitalnim signalom, sl. 3.13. Razina amplitude poprima dvije vrijednosti koje odgovaraju bitovima „0“ i „1“. Najčešće se koristi metoda OOK (*engl. ON/OFF Keying*) u kojoj je bit „0“ predstavljen naponom nula čime je smanjena ukupna snaga prijenosa.



Slika 3.13. ASK modulacija

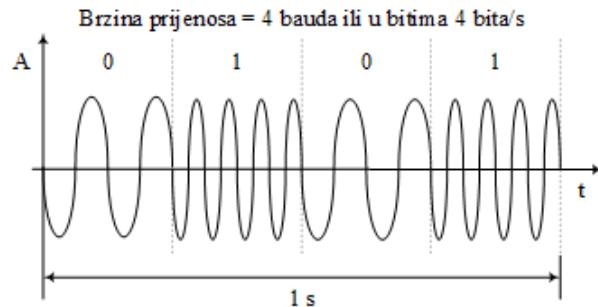
Nedostatak ASK modulacije je velika osjetljivost na smetnje koje uzrokuju varijacije amplitude signala na prijemu uslijed čega dolazi do pogrešne detekcije bita. Osjetljivost na smetnje se može smanjiti povećanjem razlike između razina signala koja definiraju logička stanja, ali se proporcionalno povećanju amplitude povećava i potrošnja snage. Frekvencijski opseg ASK signala može se odrediti prema izrazu:

$$B_{ASK} = (1 + m) \cdot v_{Baud} \quad (3.2.)$$

gdje je m indeks modulacije (minimalna vrijednost je 0), a v_{Baud} brzina izražena u baudima. Prema izrazu 3.2. minimalna širina frekvencijskog opsega za prijenos signala je jednaka brzini u baudima.

3.6.2. FSK modulacija

FSK modulacija koristi dvije različite frekvencije prijenosnog signala za razlikovanje binarnih stanja, sl. 3.14. Budući je kod ove modulacije amplituda signala uvijek konstantna znatno je smanjen utjecaj smetnji na prijenos signala. Isto tako FSK modulirani signal ne sadrži istosmjernu komponentu jer mu je srednja vrijednost jednaka nuli pa se često koristi za prijenos podataka na liniji preko koje se istovremeno napajaju uređaji (HART komunikacija).



Slika 3.14. FSK modulacija

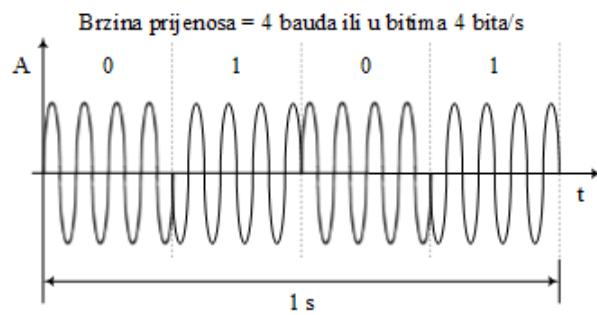
Frekvencijski opseg FSK signala može se odrediti prema izrazu:

$$B_{FSK} = (f_{p1} - f_{p0}) + v_{Baud} \quad (3.3.)$$

gdje su f_{p1} i f_{p0} modulacijske frekvencije, a v_{Baud} brzina izražena u baudima. Prema izrazu 3.3. minimalna širina frekvencijskog opsega za prijenos signala je jednaka brzini u baudima uvećanoj za razliku modulacijskih frekvencija..

3.6.3. PSK modulacija

Kod PSK modulacije binarni signali „0“ i „1“ su ostvareni promjenom faze prijenosnog signala uz istu amplitudu i frekvenciju, sl. 3.15. Ova se metoda često naziva 2-PSK ili Binarna-PSK budući se faza signala mijenja između 0^0 i 180^0 .



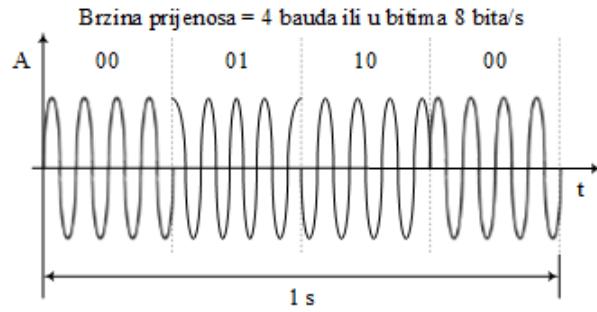
Slika 3.15. PSK modulacija

PSK modulirani signal je također zbog konstantne amplitude neosjetljiv na varijacije signala, a budući se koristi samo jedna prijenosna frekvencija ima i manji frekvencijski opseg od FSK signala. To omogućuje pouzdanu detekciju faze signala čak i uz vrlo male promjene. Zato se kod PSK modulacije vrlo često koriste postupci sa više diskretnih stanja faze kojima se može pridružiti kodna riječ od više bita. Broj bita pridružen svakom stanju faze određen je izrazom $N = \log_2 M$ ili $2^N = M$, gdje je M broj stanja faze PSK signala a N broj bita pridružen svakom stanju faze.

Najčešće se u praksi koriste metode 4-PSK i 8-PSK dok se modulacijski postupci sa 16 i više diskretnih stanja faze rjeđe upotrebljavaju zbog velike osjetljivosti moduliranog signala na smetnje i šum. S porastom broja faznih stanja se i smanjuje mogućnost razlučivanja malih razlika u fazama što ograničava brzinu prijenosa.

3.6.3.1. 4-PSK i 8-PSK Modulacija

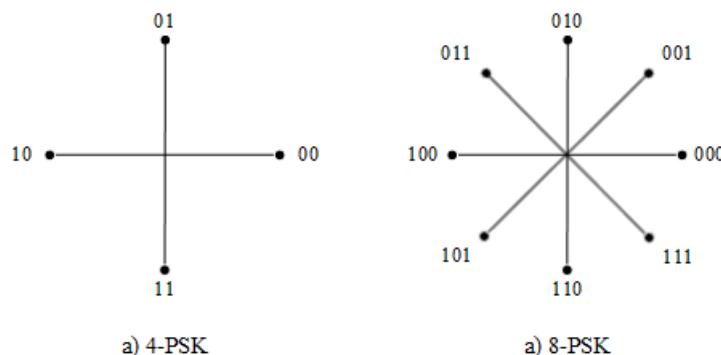
4-PSK modulacija naziva se još i Q-PSK (kvaternarna PSK). Kod ove modulacije imamo četiri diskretna stanja faze 0° , 90° , 180° i 270° koji predstavljaju parove bita ili dibite. Valni oblik 4-PSK signala prikazan je na, sl. 3.16.



Slika 3.16. 4-PSK modulacija

Kod 8-PSK svaka faza predstavlja binarni kod od 3 bita, trabit. Fazni dijagrami za 4-PSK i 8-PSK modulaciju prikazani su na sl.3.17. PSK modulacijom sa više diskretnih stanja ostvarena

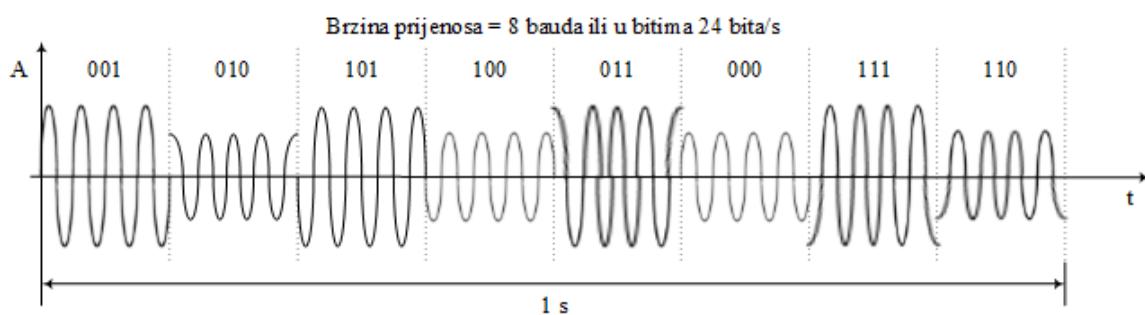
je veća bitska brzina prijenosa za dva i više puta u odnosu na ASK signal uz isti minimalni frekvencijski opseg i brzinu prijenosa u baudima.



Slika 3.17. 4-PSK i 8-PSK fazni dijagrami

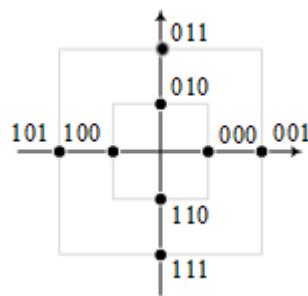
3.6.4. QAM modulacija

QAM modulacijom ostvarena je istovremeno promjena amplitudne i faze prijenosnog signala što je omogućilo u odnosu na PSK veći broj različitih diskretnih stanja signala uz manju osjetljivost na smetnje. Budući su promjene amplitudne osjetljivije na smetnje pogotovo ako su razlike u amplitudama male uobičajeno je kod ove metode da je broj faznih stanja veći od broja amplitudnih stanja. Na slikama 3.18. i 3.19. prikazani su valni oblik i fazni dijagram za 8-QAM signal.



Slika 3.18. 8-QAM modulacija

Minimalni frekvencijski opseg za prijenos QAM signala je ostao isti kao u ASK i PSK ali je zato znatno povećana bitska brzina prijenosa. QAM modulacija koristi se danas u WLAN bežičnoj komunikaciji (16-QAM 802.11 b, 64-QAM 802.11 g/n, 256-QAM 802.11 ac), mobilnim UMTS i LTE sustavima (QAM, 16-QAM i 64-QAM), kabelskim UHDTV sustavima (1024-QAM), itd.



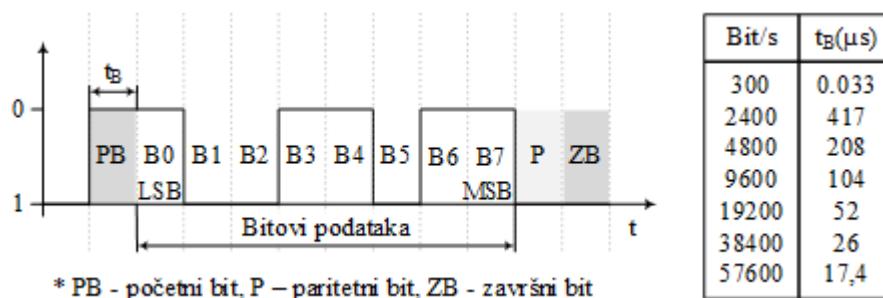
Slika 3.19. 8-QAM fazni dijagram

3.7. Prijenosne metode

Da bi se ostvario ispravan prijenos podataka između dva uređaja neophodno je da oni budu sinkronizirani. Sinkronizacija predstavlja usklađivanje takta slanja niza bita na liniju sa taktom detekcije tih bita na prijemu. Da bi to bilo moguće prijemnik mora poznavati vrijeme trajanja svakog bita kao i strukturu okvira poruke koja se šalje. S obzirom na način sinkronizacije možemo razlikovati dvije vrste prijenosa, asinkroni i sinkroni.

3.7.1. Asinkroni prijenos

Kod asinkronog prijenosa podaci se prenose kao znakovi koji su kodirani kao niz impulsa odnosno bita. Tzv. UART znak koji se koristi za ovu svrhu definiran je po njemačkom standardu DIN 66022/66203. Znakovi se prenose neovisno jedan o drugom, a vremenski interval između dva susjedna znaka može biti promjenljiv. Svaki znak čini do 8 bitova podataka, paritetni bit i dva bita, početni i završni, za označavanje trajanja znaka. Na sl. 3.20. prikazan je asinkroni prijenos jednog znaka. Vrijeme trajanja svakog bita odgovara recipročnoj vrijednosti bitske brzine. Kada nema prijenosa signal se nalazi u stanju logičke „1“.



Slika 3.20. Asinkroni prijenos

Početni bit (*engl. start bit*) svakog znaka definiran je logičkim stanjem „0“. Ovaj bit ujedno predstavlja indikator prijemniku da iza njega slijede bitovi podataka. Bitovi podataka sadrže najčešće 8 bita, ali se također može koristiti 5,6 ili 7 bita što odgovara ASCII kodu. Prijenos bitova podataka je ostvaren slanjem od najmanje značajnog (*engl. LSB*) ka najznačajnijem (*engl. MSB*) bitu. Iza bitova podataka šalje se po potrebi paritetni bit koji se koristi za detekciju greške. Kraj prijenosa znaka se označava sa jednim ili više završnih bita (*engl. stop bit*). Moguće je koristiti 1, 1.5 ili 2 završna bita. Opcija sa 1.5 bitom se koristi samo kad je broj bita podataka manji od 7. U tom slučaju ne mogu se slati ASCII znakovi tako da se ova opcija vrlo rijetko koristi. Završni bit ima dvije funkcije. Jedna je da osigura minimalni vremenski razmak između slanja dva znaka, a druga je da u kombinaciji sa početnim bitom osigura promjenu razine signala na početku svakog znaka koja se koristi za sinkronizaciju. Danas se uglavnom koristi 1 završni bit. Primjena dva završna bita potječe iz vremena teleprinterja jer je to vrijeme bilo potrebno da se kodni valjak vrati na početnu poziciju prije početka slanja novog znaka. Format znaka definiran je u komunikacijskim postavkama svakog uređaja. Postavke moraju biti iste za sve uređaje, a najčešće se koristi format oblika: 1 početni bit, 8 bitova podataka, 1 paritetni bit i 1 završni bit uz naznačenu brzinu prijenosa u bit/s, tipu signalizacije i načinu detekcije greške (parni ili neparni paritetni bit).

Kod asinkronog prijenosa frekvencija predajnika i prijemnika ne mora biti ista. Prijemnik se sinkronizira sa poslanom porukom na osnovu početnog bita svakog primljenog znaka. Detekcija početnog bita (logičko stanje „0“) ostvarena je uzorkovanjem bita u sredini intervala u odnosu na prvi brid impulsa. Da bi se precizno odredila sredina bita frekvencija uzorkovanja prijemnika je obično 16 ili više (32, 64,...) puta veća od bitske brzine. Vrijeme trajanja bita određeno je u postavkama komunikacije za asinkroni prijenos na osnovu bitske brzine. Nakon detekcije početnog bita također se i svi ostali biti uzorkuju u sredini intervala. Da bi se osigurala ispravna detekcija bita razlika između frekvencija takta predajnika i prijemnika ne smije biti veća od 3%. Na razini svakog uređaja to znači maksimalno odstupanje frekvencije oscilatora od 1.5% što je u današnjim uređajima zadovoljeno s obzirom na primjenu kvarcnih oscilatora čija je točnost u granicama $< 0.1\%$.

Poseban slučaj asinkrone komunikacije predstavlja izokroni prijenos. Razlika je samo u činjenici da su frekvencije predajnika i prijemnika identične. Da bi se to postiglo sinkronizacija se postiže primjenom PLL (*engl. Phase-Locked Loop*) metode kod koje se iz primljenog niza bitova izdvaja taktna frekvencija i sinkronizira prijemni oscilator.

Asinkroni prijenos se obično koristi do brzina od 56 kbit/s korištenjem modema u telefonskoj mreži, a kod *point-to-point* veza moguće su i brzine od 64 kbit/s za udaljenosti do 15 m.

3.7.2. Sinkroni prijenos

Kod sinkronog prijenosa znakovi se grupiraju u blokove i prenose u kontinuiranom nizu. Svakom bloku podataka se pridružuju znaci za sinkronizaciju koji zajedno sa podacima čine

okvir. Okviri se sinkroniziraju na način da se takt signala može slati odvojeno ili se izdvajati iz odaslanog binarnog niza kao što je to objašnjeno u poglavlju o linijskim kodovima. Neovisno od toga kako je ostvaren takt signala predajnik i prijemnik uvijek rade na istoj frekvenciji što omogućuje znatno veće bitske brzine u odnosu na asinkroni prijenos. Na sl. 3.21. prikazan je primjer okvira koji se koristi u Ethernet protokolu.

Preambula	Start Delimiter	Odredišna adresa	Izvořišna adresa	Duljina podataka	Podaci	CRC
7 bajta	1 bajt	6 bajta	6 bajta	2 bajta	46-1500 bajta	4 bajta

Slika 3.21. Okvir kod Ethernet protokola

Na početku okvira nalazi se polje od 7 bajtova naizmjeničnih „0“ i „1“ koji omogućuje prijemniku sinkronizaciju takta sa dolaznim okvirom. Nakon toga slijede bitovi u kojima su naznačene odredišna i izvořišna adresa poruke te duljina podataka koji slijede. Kraj okvira koristi se za detekciju grešaka u prijenosu.

3.8. Detekcija greške

Pogrešna detekcija bita na prijemniku najčešće je posljedica utjecaja elektromagnetskih smetnji na prijenos signala što dovodi do krive interpretacije primljenih podataka. Da bi se osigurao ispravan prijenos podataka preko linije koristi se niz metoda za detekciju greške. Reakcija sustava na detektiranu grešku ovisi o protokolu i prijenosnom sustavu. Kod složenijih sustava kodiranja koji koriste veliki broj redundantnih bita moguće je izvršiti i korekciju pogrešaka. U mrežnim komunikacijama se najčešće kod prijema pogrešne poruke traži ponavljanje slanja te poruke ili šalje odgovor da poruka nije primljena ispravno.

3.8.1. Provjera pariteta

Metoda provjere pariteta koristi se najčešće na razini znaka odnosno bajta. Kod provjere pariteta dodaje se iza bitova podataka redundantni paritetni bit pomoću kojeg se provjerava parni ili neparni broj jedinica u znaku. Parni (*engl. EVEN*) paritet označava da je broj jedinica unutar bitova podataka zajedno sa paritetnim bitom uvijek paran, a neparni (*engl. ODD*) paritet označava da je broj jedinica uvijek neparan. Primjer provjere pariteta prikazan je u tablici 3.1.

Parni paritet	$\Sigma '1' = \text{pama}$		Neparni paritet	$\Sigma '1' = \text{neparna}$	
Bitovi podataka	Paritetni bit	$\Sigma '1'$	Bitovi podataka	Paritetni bit	$\Sigma '1'$
01011011	1	6	01011011	0	5
01010011	0	4	01010011	1	5

Tablica 3.1. Provjera pariteta

Paritet se provjerava na strani predajnika i prijemnika. Ako prijemnik detektira grešku paritetnog bita (npr. primljena „0“ umjesto „1“) primljeni znak se odbacuje, a slanje znaka se ponavlja. Provjerom pariteta može se detektirati uvijek greška jednog bita. Kod većeg broja pogrešno prenesenih bita njihov broj mora biti neparan da bi se detektirala greška pariteta.

Metodom longitudinalnog pariteta moguće je izvršiti provjeru cijelog bloka znakova kao što je to prikazano u tablici 3.2. U ovom slučaju blokovi bita su organizirani u obliku tablice u kojoj svaki red predstavlja jedan znak. Na kraju svakog znaka se dodaje paritetni bit znaka, a na kraju bloka svih znakova se dodaje longitudinalni paritet odnosno dodatni bajt koji je predstavljen paritetnim bitovima dobivenim na osnovu pariteta stupaca svih znakova.

Bitovi podataka	Paritetni bit
0 1 0 1 1 0 1 1	1
1 1 0 0 1 0 1 0	0
0 0 0 1 1 0 0 1	1
1 0 0 1 1 0 1 1	1
0 0 0 1 0 0 1 1	1
Longitudinalni paritet	
010110111 110010100 000110011 100110111 000100111	
Blok znakova nakon izvršene provjere longitudinalnog pariteta	

Tablica 3.2. Longitudinalni paritet

Ako prijemnik detektira grešku bilo kojeg bita u bajtu longitudinalnog pariteta cijelokupni blok znakova se odbacuje. Ovom metodom omogućena je detekcija pogrešnog prijenosa većeg broja bita.

3.8.2. Ciklička kontrola pogrešaka - CRC

CRC metoda (*engl. Cyclic Redundancy Check*) omogućuje detekciju grešaka za poruke proizvoljne duljine sa vrlo visokom točnošću. Poruka se interpretira neovisno od njezine duljine kao binarni broj koji se dijeli sa određenim polinomom. Ostatak nakon dijeljenja

predstavlja CRC i on se upisuje u bajtove na kraju poruke. Postupak CRC se provodi na predajniku i prijemniku. Poruka se na prijemu smatra ispravnom ako se podaci mogu podijeliti sa istim polinomom bez ostatka, u suprotnom se poruka ne prihvata. Broj grešaka koji se mogu detektirati zavisi od upotrijebленог полинома. U većini LAN mreža koristi se 32-bitna CRC metoda.

3.8.3. Provjera sume

Metoda provjere sume (*engl. Checksum*) ostvarena je na način da se svi bitovi podataka podijele na jednake segmente od n bita (najčešće 16). Svi segmenti se zatim binarno zbroje, a prijenosi se odbacuju tako da rezultat ima također n bita. Dobivena suma se nakon toga pretvoriti u jedinični komplement koji se upisuje u polje *checksum* na kraju poruke. Na strani prijemnika vrši se ista provjera s tom razlikom da se nakon podijele bitova podataka na jednake segmente ukupnom zbroju dodaje i polje *checksum*. Ako vrijednost jediničnog komplementa ukupnog zbroja nije jednak nuli znači da je poruka primljena sa greškom. Poruka se u tom slučaju ne prihvata. Provjerom sume mogu se detektirati sve greške u prijenosu neparnih pogrešnih bita i većina grešaka parno prenesenih pogrešnih bita.

Literatura

- [1] Samson AG. (1999.) *Serial Data Transmission, Part 1 Fundamentals L153 EN*, Germany: Samson AG.
- [2] Forouzan, B.A. (2004.) *Data Communications and Networking*, 3. Izdanje, USA: McGraw-Hill Higher Education.
- [3] Strangio, C.E., *Data Communications Basics*, USA: CAMI Research Inc., Acton, Massachusetts, http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/data_com_tutorial.html
- [4] Sen, S.K, (2014.) *Fieldbus and Networking in Process Automation*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [5] Reynders, D., Wright, E. (2003.) *Practical TCP/IP and Ethernet Networking*, Great Britain: Elsevier, Newnes.

4. Uzroci smetnji u industrijskim mrežama

Utjecaj smetnji u industrijskim mrežama ovisno o intenzitetu može osim porasta grešaka u prijenosu podataka dovesti i do povremenog ili stalnog prekida komunikacije. Općenito najveći problem predstavlja povremeni prekid komunikacije jer je uzrok teže dijagnosticirati i riješiti. Uzroci smetnji dominantno su posljedica elektromagnetskih zračenja koje generiraju visokonaponski vodovi ili uređaji u okruženju osobito u industriji gdje se koriste uređaji velikih snaga (npr. elektromotori ili uređaji za zavarivanje). Elektromagnetske smetnje mogu nastati uslijed iskrenja na četkicama motora, preklapanja naponskih i strujnih sklopki, uključivanja velikih induktivnih opterećenja, grijачa ili fluorescentnih lampi, aktiviranja releja, atmosferskih pražnjenja, ili čak zbog elektrostatskih pražnjenja između ljudskog tijela i uređaja. Sve ove smetnje će posljedično utjecati na izobličenje kako komunikacijskog signala tako i samog signala izvora napajanja što može dovesti i do kvara uređaja.

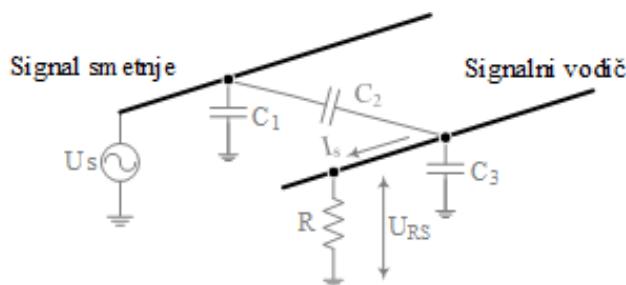
4.1. Načini utjecaja električnih smetnji

Elektromagnetske smetnje se na uređaj ili komunikacijsku liniju mogu prenijeti na tri osnovna načina pomoću:

- kapacitivne veze zbog utjecaja elektrostatskog polja,
- induktivne veze zbog utjecaja magnetskog polja,
- impedancijske veze zbog prijenosa više signala preko zajedničkog referentnog vodiča.

4.1.1. Smetnje uzrokovane kapacitivnom vezom

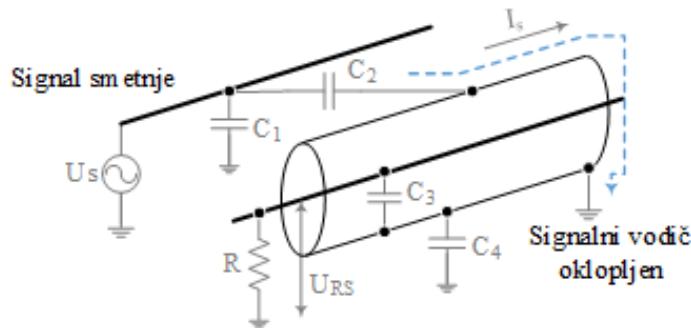
Utjecaj električnog polja izvora koji generira smetnju prenosi se na susjedne signalne vodiče ili električne krugove zbog utjecaja kapaciteta (*engl. capacitive coupling*) koji postoji između njih. Primjer kapacitivne veze je prikazan na sl. 4.1.



Slika 4.1. Utjecaj kapacitivne veze kod signala smetnje

U ovom slučaju utjecaj kapaciteta C_1 možemo zanemariti budući je napon na njemu jednak naponu izvora smetnje U_s , a radi pojednostavljenja možemo pretpostaviti da je otpor R puno manji od impedancije X_{C_3} pa će i utjecaj kapaciteta C_3 biti zanemariv. Napon smetnje U_{RS} na otporniku će tada biti proporcionalan kapacitetu C_2 preko kojeg se prenosi smetnja i veličini promjene napona smetnje dU_s/dt . Vrijednost U_{RS} će biti veća što je veća amplituda i frekvencija napona smetnje, zatim što je veća duljina signalnog vodiča i što je manja udaljenost signalnog vodiča u odnosu na izvor smetnje.

Smetnje se kod utjecaja kapacitivne veze najdjelotvornije mogu smanjiti povećanjem udaljenosti signalnih vodiča u odnosu na izvor smetnje ili oklapanjem signalnih vodiča. Oklop u tom slučaju mora biti uzemljen samo na jednom kraju, jer više točaka uzemljenja može uzrokovati kreiranje strujnih petlji. Primjer kapacitivne veze sa oklopljenim vodičem je prikazan na sl. 4.2.

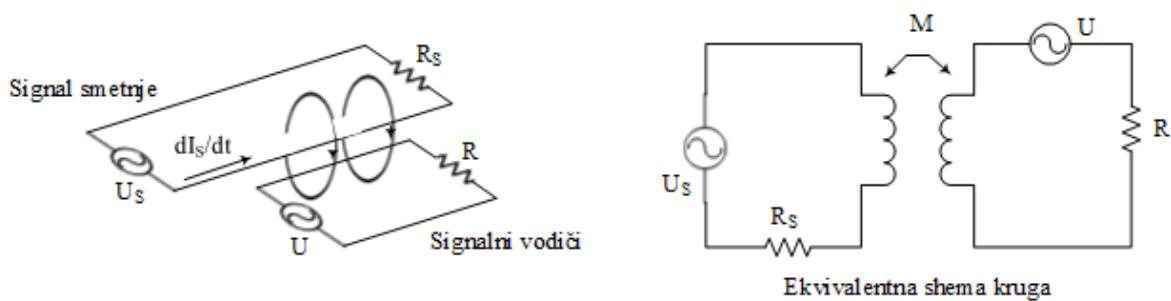


Slika 4.2. Smanjenje utjecaja kapacitivne veze oklapanjem vodiča

Na ovaj način struje generirane uslijed naponske smetnje protječu donjim dijelom oklopa gdje je impedancija manja nego duž signalnog vodiča.

4.1.2. Smetnje uzrokovane induktivnom vezom

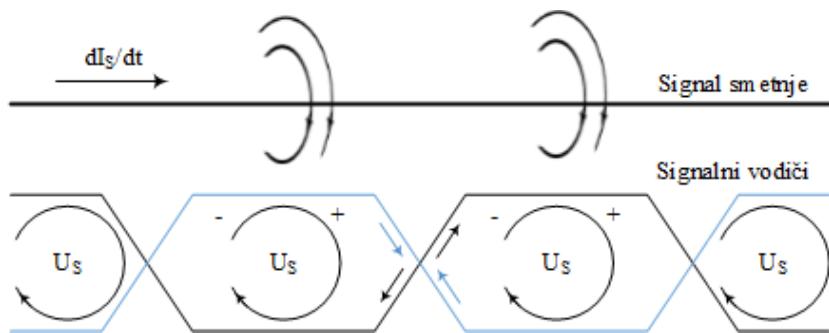
Svaki vodič protjecan strujom stvara oko sebe magnetsko polje koje djeluje na susjedne vodiče i električne krugove tako da se na njima inducira napon. Inducirani napon proporcionalan je brzini promjene strujnog signala dI_s/dt i iznosu međuinduktiviteta. Primjer induktivne veze je prikazan na sl. 4.3.



Slika 4.3. Utjecaj induktivne veze kod signala smetnje

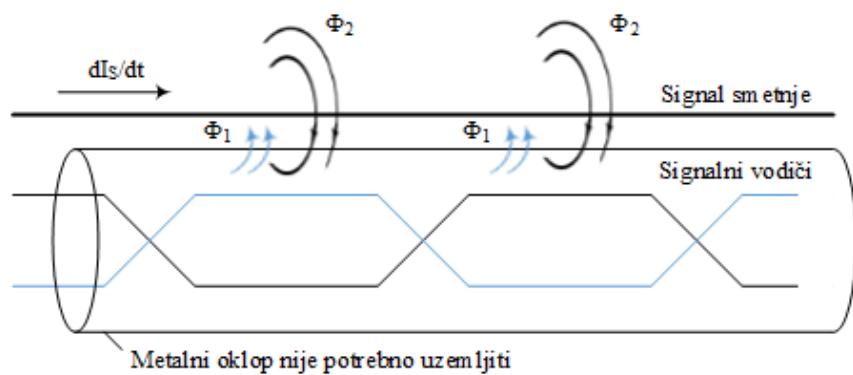
Vrijednost induciranih napona smetnje će biti veća što je veća amplituda i frekvencija strujnog signala, veća površina signalnih vodiča koja je obuhvaćena magnetskim tokom, manja udaljenost signalnih vodiča u odnosu na izvor smetnje i veća visina na kojoj su instalirani vodiči u odnosu na ravninu uzemljenja.

Najjednostavniji način smanjenja induciranih napona može se ostvariti uplitanjem parova signalnih vodiča, sl. 4.4. Ovo rezultira manjim smetnjama zbog smanjenja površine svake petlje. U tom slučaju manji magnetski tok protjeće kroz svaku petlju tako da je inducirani napon manji. Nadalje, napon smetnje koji se inducira u svakoj petlji poništava naponske smetnje inducirane u slijedećoj petlji. Ako imamo parni broj petlji tada će doći do međusobnog poništavanja napona smetnje duž cijelog kabela.



Slika 4.4. Prikaz smanjenja induktivne veze uplitanjem parova vodiča

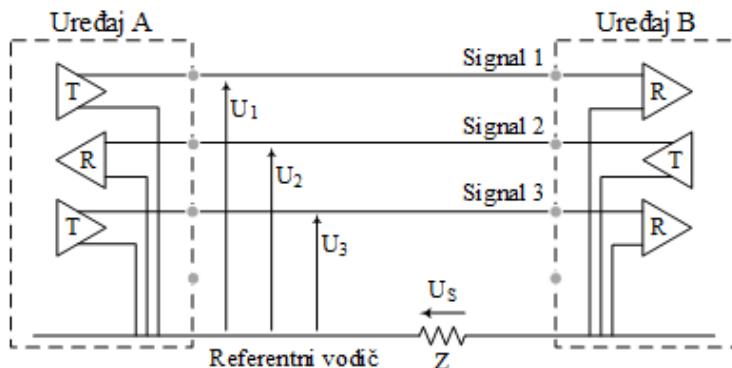
Drugi pristup je korištenje zaštitnog omotača oko signalnih vodiča, sl. 4.5. Magnetski tok kojeg generira izvor smetnji u tom slučaju inducira male vrtložne struje u metalnom omotaču. Ove vrtložne struje formiraju magnetski tok Φ_1 koji je suprotnog smjera u odnosu na magnetski tok izvora smetnji Φ_2 tako da je ukupni tok koji djeluje na signalne vodiče smanjen ($\Phi_2 - \Phi_1$). Za ovu namjenu je dovoljno koristiti metalnu kanalicu ili cijev, a za posebne slučajeve se preporuča čelični omotač visoke permeabilnosti. Zaštitni omotač se ne mora uzemljiti.



Slika 4.5. Prikaz smanjenja induktivne veze oklapanjem kabela

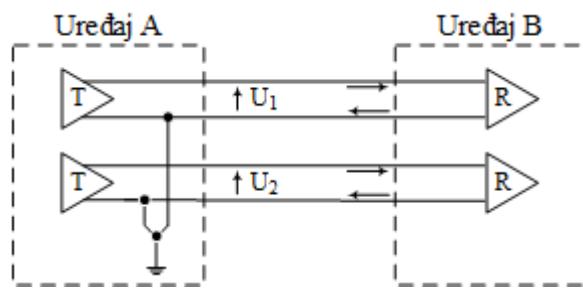
4.1.3. Smetnje uzrokovane impedancijskom vezom

Ovaj oblik smetnji karakterističan je za nesimetrične sustave prijenosa kod kojih se povratni signal više električnih krugova prenosi preko zajedničkog referentnog vodiča, sl. 4.6. Ovo rezultira stvaranjem dodatnog pada napona zbog otpora, kapaciteta i induktiviteta povratnog vodiča koji se superponira izvornom signalu.



Slika 4.6. Impedancijska veza

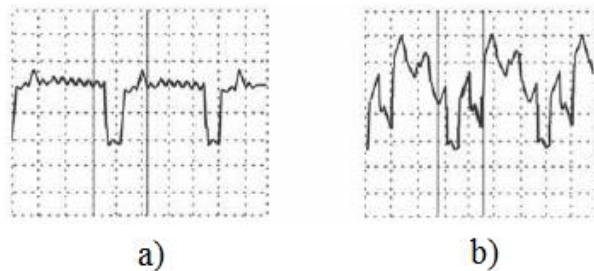
Efekt impedancijske veze se može smanjiti smanjenjem impedancije referentnog vodiča ili u najboljem slučaju primjenom simetrične veze u kojoj svaki signal ima zasebni povratni vodič kao što je prikazano na sl. 4.7.



Slika 4.7. Smanjenje impedancijske veze primjenom simetričnog kruga

4.2. Smetnje uslijed refleksije signala

Duž bakrenog vodiča signal putuje brzinom koja je jednaka približno $2/3$ brzine svjetlosti ili 2×10^8 m/s (200 m/ μ s). Ako krajevi kabela nisu zaključeni signal će se svaki put kada dođe do kraja linije reflektirati sa jednakom fazom. Slično je i ako su krajevi kabela umjesto otvorene linije spojeni u kratki spoj samo će reflektirani signal biti fazno zakrenut za 180° . Refleksija signala će se ponavljati na oba kraja sve dok se amplituda reflektiranog signala zbog otpora vodiča ne smanji na zanemarivu vrijednost. Prisustvo reflektirajućeg signala na liniji zajedno sa izvornim signalom dovodi do superpozicije ta dva signala što uzrokuje neželjene varijacije amplitude odnosno izobličenje izvornog signala, sl. 4.8. Prijemnici koji su spojeni duž linije neće u tom slučaju ispravno detektirati prijenosni signal.

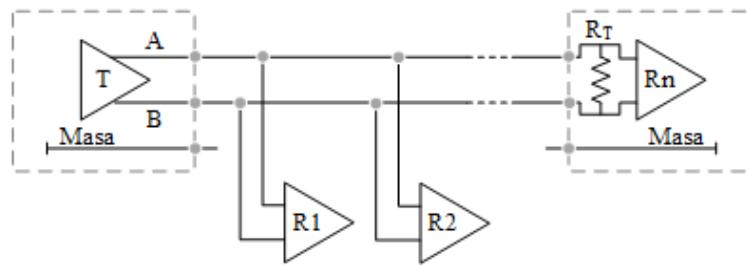


Slika 4.8. Prijenosni signal a) sa zaključenjem b) bez zaključenja

Da bi se eliminirao utjecaj refleksije kabel se na krajevima mora zaključiti otpornikom čija je vrijednost jednaka karakterističnoj impedanciji kabela. Signal koji dođe do zaključnog otpornika u tom slučaju se neće reflektirati već će se u potpunosti transformirati u toplinsku energiju.

Općenito prijelazne pojave nastale uslijed refleksije nemaju utjecaja ako su trajanja manjeg od 10% trajanja bita prijenosnog signala. Ovo je obično zadovoljeno kod malih brzina prijenosa podataka ili kod manjih udaljenosti tako da u takvim slučajevima nije potrebno vršiti zaključenje linije.

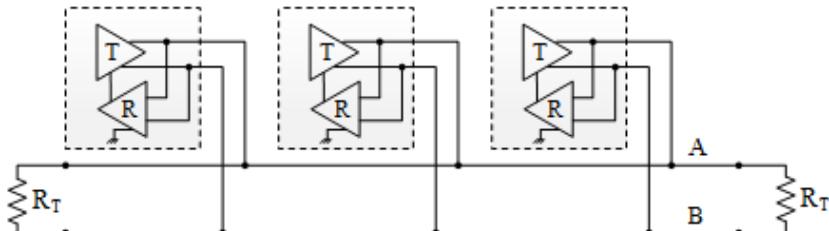
Način zaključivanja linije zavisi o njenoj duljini i načinu na koji je ona izvedena. Kod mreža koje koriste samo jedan predajnik (npr. EIA-422) koristi se samo jedan zaključni otpornik. Predajnik se u tom slučaju nalazi na jednom kraju, a zaključni otpornik na drugom, sl. 4.9. Zaključni otpornik jednak je karakterističnoj impedanciji prijenosne linije. Što je veća karakteristična impedancija to je manja disipacija snage na zaključnom otporu pa je dovoljno koristiti otpornike $\frac{1}{2}$ W ili $\frac{1}{4}$ W.



Slika 4.9. Zaključenje linije na jednom kraju

Većina kabela sa upletenom paricom ima karakterističnu impedanciju u rasponu od 100 – 130 Ω , dok je kod koaksijalnih kabela to od 50 – 100 Ω . Karakteristična impedancija zavisi od promjera kabela, položaju vodiča unutar kabela i izolacijskom materijalu.

Kod mreža koje koriste veći broj predajnika (npr. EIA-485) zaključni otpornici se stavljaju na oba kraja linije budući se signal šalje u oba smjera, sl. 4.10. Predajnici u tom slučaju mogu biti postavljeni bilo gdje na mreži.



Slika 4.10. Zaključenje linije na oba kraju

Kod mreža kod kojih se preko linije istovremeno prenosi signal komunikacije i DC napajanja koristi se metoda AC zaključenja linije, 4.11. Kod ove metode zaključni član se sastoji od otpornika i kondenzatora. Uloga kondenzatora je blokiranje istosmjerne komponente kako bi se smanjila disipacija snage na zaključnim otpornicima. Zaključni član se ovdje ponaša kao RC filter. Vrijednost otpornika R_T jednak je karakterističnoj impedanciji kabela, a vrijednost kondenzatora C_T se obično uzima da bude jednaka omjeru vremena jednog obilaska signala na kabelu i iznosa karakteristične impedancije kabela. Ukupno vrijeme trajanja RC konstante treba biti manje ili jednako 10% vremena trajanja bita signala. RC konstanta međutim ograničava i brzinu komunikacijskog signala tako da se ovaj oblik zaključenja linije koristi

samo kod mreža sa manjim brzinama prijenosa (npr. Foundation Fieldbus 31.25 kbit/s). Tipične vrijednosti kod EIA-485 su $R_T=120 \Omega$ i $C_T=100 \text{ nF}$.



Slika 4.11. AC zaključenje linije

4.3. Uzemljenje

Utjecaj smetnji na komunikaciju i rad samih uređaja, pouzdanost rada samih uređaja kao i sigurnost korisnika u radu s uređajima u velikoj mjeri zavise o ispravno provedenom uzemljenju. Uzemljenje je definirano kao zajednička referentna točka nultog potencijala za sve signale u uređajima. Idealno uzemljenje predstavlja sama zemlja koja može prihvatiti neograničenu količinu energije bez promjene potencijala. Za električne krugove u osnovi postoji tri načina uzemljivanja:

- Prvi je zajednička masa ili zemlja koja se odnosi na zajednički spojni dio električne pločice ili kruga u odnosu na koji se gleda referentni potencijal.
- Drugi je zaštitno uzemljenje ili uzemljenje kućišta. Masa električnog kruga treba da bude spojena na uzemljenje kućišta direktno ili preko otpornika koji ograničavaju razinu struje koja može teći zbog razlike potencijala.
- Treći je energetsko uzemljenje koje je spojeno direktno na zemlju. Ovaj tip uzemljenja je potpuno ispravan samo ako je spojen u najbližoj trafostanici.

Usprkos različitim standardima koji se koriste u državama obično se uzemljenje dijeli na dva segmenta:

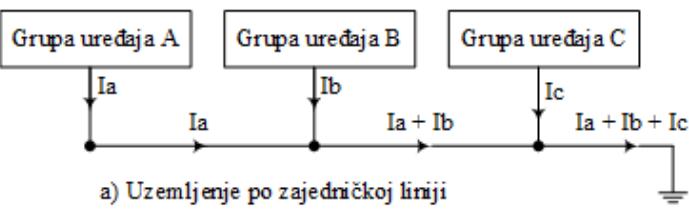
- Uzemljenje uređaja opće namjene,
- Uzemljenje komunikacijskih i instrumentacijskih uređaja.

Cilj razdvajanja sustava uzemljenja je:

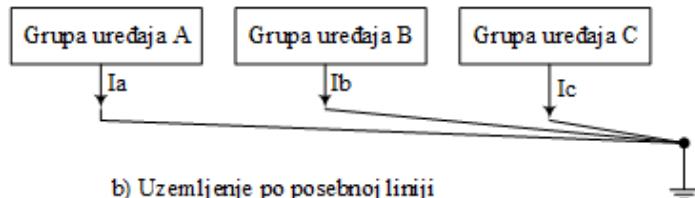
- Minimizirati električne smetnje u sustavu,
- Smanjiti efekte struja uslijed kvara ili dozemnih strujnih petlji na instrumentacijskom sustavu,
- Minimizirati opasne napone na uređajima koji su posljedica električnih kvarova.

U praksi se najčešće koriste tri konfiguracije uzemljenja prikazane na sl. 4.12. Uzemljenje po zajedničkoj liniji sl. 4.12.a. se koristi najčešće, ali je preporučljivo koristiti uzemljenje sa posebnim linijama sl. 4.12.b. pogotovo kada želimo odvojiti uzemljenja različitih grupa signala kao što su:

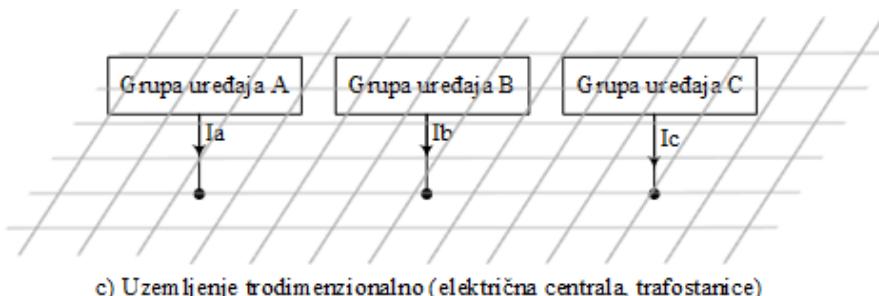
- Sigurnosno i uzemljenje snage,
- Uzemljenje signala (instrumentacije) niske razine,
- Uzemljenje signala (motora) visoke razine,
- Uzemljenje zgrade



a) Uzemljenje po zajedničkoj liniji



b) Uzemljenje po posebnoj liniji



c) Uzemljenje trodimenzionalno (električna centrala, trafostanice)

Slika 4.12. Konfiguracije uzemljenja

Literatura

- [4] Reynders, D., Mackay. S., Wright, E. (2005.) *Practical Industrial Data Communications*, Elsevier-Newnes.
- [5] Mackay. S., Park, J. (2004.) *Practical Industrial Data Networks*, Elsevier-Newnes.
- [6] Cassiolato. C. (2011.) *How shielding can help minimize noises*,
<http://www.smar.com/en/technicalarticles>
- [7] Cassiolato. C. (2011.) *Electronagnetic Interference in industrial installation and much more...*, <http://www.smar.com/en/technicalarticles>
- [8] Cassiolato. C. (2011.) *Inductive coupling and how to minimize their effects in Industrial Installations*, <http://www.smar.com/en/technicalarticles>
- [9] Cassiolato. C. (2011.) *Tips on shielding and grounding in Industrial Automation*,
<http://www.smar.com/en/technicalarticles>
- [10] Texas Instruments (2013.) *AN-903 – A Comparision of Differential Termination Techniques, Application Report SNLA034B*, USA: Dallas, Texas Instruments.

5. Prijenosni mediji

Kod izbora medija za serijsku komunikaciju moramo voditi računa o nekoliko faktora:

- cijeni i vremenu instalacije
- sigurnosti prijenosa
- osjetljivosti na smetnje i grananje
- maksimalnu brzinu prijenosa
- udaljenost i topografski raspored uređaja...

S obzirom na karakteristike možemo ih podijeliti u tri osnovne grupe: klasične kabele, svjetlovodne kabele i bežičnu vezu.

5.1 Klasični kabeli

Ovoj skupini pripadaju kabeli sa bakrenim vodičima od kojih su najznačajniji u primjeni kabel sa upletenom paricom i koaksijalni kabel. Njihova velika prednost su niže cijene kabela i komponenata za spajanje, te jednostavna montaža. Razvojem tehnologije proizvodnje bakrenih kabela i uređaja za digitalni prijenos signala omogućene su brzine od 100 Mbit/s, 1000 Mbit/s, 10 Gbit/s, pa sve do 40 Gbit/s što ih približava karakteristikama svjetlovodnih kabela. Međutim postoje nedostaci u pogledu ograničenja duljine, osjetljivosti na mehanička oštećenja, osjetljivosti na razliku potencijala i elektromagnetske smetnje, te gubitke signala u ovisnosti o frekvenciji. Ovi nedostaci uzrokovani su ne samo tipom kabela već i specifikacijom sučelja (format podataka, razine signala itd.).

5.1.1. Standardizacija

Standardiziranjem industrijske mrežne opreme uvode se početkom 1990-tih standardi koji definiraju performanse mrežne opreme i njihovu kategorizaciju odnosno klasifikaciju.

Američki standard EIA/TIA-568, kao prvi prihvaćeni, uveo je podjelu po kategorijama kabelskih komponenata prema vrsti kabela koji se koristi za podršku rada aplikacija do određene širine propusnog pojasa. Kategorizacija obuhvaća neoklopljene bakrene kabele sa upletenim paricama te višemodne i jednomodne svjetlovodne kabele.

Međunarodni standard ISO/IEC 11801 definira klase kojima se specificiraju performanse veze između dviju točaka povezivanja, obuhvaćajući i sve pripadne komponente koje ispunjavaju zahtjeve za podršku rada aplikacija do određene širine propusnog pojasa. U ovom standardu definiraju se dvije vrste bakrenih kabela sa upletenim paricama, oklopljeni i neoklopljeni, dvije vrste višemodnih svjetlovodnih kabela, 62.5/125 μm i 50/125 μm , te jednomodni 9/125 μm svjetlovodni kabeli.

Europski standard EN 50173 obuhvatio je oba standarda a primjenjuje se u zemljama Europske zajednice.

KLASA	FREKVENCIJSKI OPSEG
A	< 100 kHz
B	1 MHz
C	16 MHz
D	100 MHz
E	500 MHz
E _A	600 MHz
F	600 MHz
F _A	1000 MHz

*A – Augmented (proširen)

Tablica 5.1. Podjela kabela po klasama

KATEGORIJA	FREKV. OPSEG	PRIMJENA
1*	1 MHz	Analogni prijenos
2*	4 MHz	Analogni i digitalni prijenos
3	16 MHz	Token Ring 4 Mbit/s, 10Base-T, 100Base-T4
4	20 MHz	LAN
5	100 MHz	Token Ring 16 Mbit/s, Token Ring 100 Mbit/s, ATM 25 Mbit/s, ATM 155 Mbit/s, 100Base-TX, 1000Base-T
5e	100 MHz	LAN(poboljšana kategorija 5, stroži zahtjevi u pogledu preslušavanja i slabljenja)
6	250 MHz	1000Base-TX, ATM LAN 1200 Mbit/s
6 _A	500 MHz	10Gbase-T
7	650 MHz	1000Base-TX2
7 _A	1000 MHz	10Gbase-T, Broadband CATV

*A – Augmented (proširen), Kategorija 1 i 2 se više ne koristi

Tablica 5.2. Podjela kabela po kategorijama

Kabeli na vanjskom omotaču sadrže oznake koje osim podataka o proizvođaču, vrsti kabela, kategoriji, testu, potvrdi i oznaci duljine sadrže i oznaku o poprečnom presjeku AWG-u (*engl. American Wire Gauge*). Što je brojčani podatak AWG-a manji to je veći poprečni presjek vodiča, kabel je deblji, ima bolje fizičke osobine ali je i teži. Primjer za najčešće korištene presjeke je dan u tablici 5.3.

AWG N°	PROMJER MM	PRESJEK MM ²
22	0,644	0,325
23	0,573	0,259
24	0,511	0,205
25	0,455	0,163
26	0,405	0,128

Tablica 5.3. AWG tablica presjeka vodiča

5.1.2. Kabel sa upletenom paricom

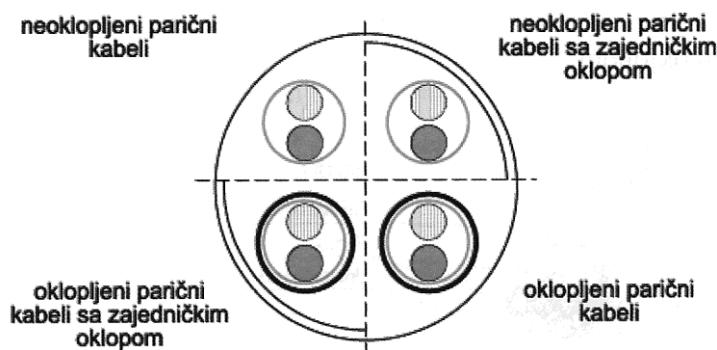
Uvijanjem parica smanjuje se utjecaj smetnji i preslušavanja na prijemnom kraju. Struje koje teku kroz vodiče jedne parice jednake su po iznosu, ali suprotnog smjera. Na taj način se smanjuje emitirana energija koja je uzrok preslušavanja kod drugih parica unutar kabela, a smanjuje se i osjetljivost na vanjske smetnje.

Smanjenjem koraka uvijanja povećava se otpornost na smetnje. Valna duljina magnetskog polja u tom je slučaju puno veća od koraka uvijanja i u vodičima se induciraju struje jednakog iznosa ali suprotnog smjera, koje diferencijalni prijemnik ne detektira kao smetnje. Međutim duljina koraka uvijanja je ograničena mehanički. Na frekvencijama višim od 40 MHz uvijanje više nije dovoljna zaštita od elektromagnetskih smetnji, pa je u tom slučaju potrebno koristiti oklopljene kabele. Parametar koji određuje kvalitetu oklapanja je prijenosna impedancija oklopa. Što je vrijednost prijenosne impedancije oklopa manja, to je oklop bolji.

Kao i svaki drugi vodič, oklop se ponaša kao antena, pretvarajući elektromagnetsku smetnju u struju koja teče oklopom ukoliko nije propisno uzemljen. Ta struja inducira, s druge strane, struje u vodičima parica unutar kabela. Sve dok su struje simetrične prijemnik neće zamijetiti nikakvu smetnju. Oklopljeni kabel je efikasan u smanjenju smetnji samo ako je propisno uzemljen.

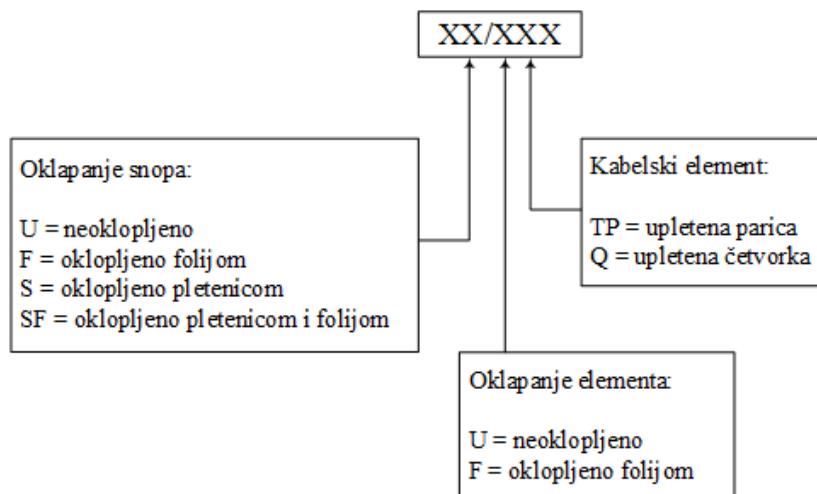
Kabele sa upletenim paricama prema sl. 5.1. možemo podijeliti na:

- neoklopljene parične kabele
- neoklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom
- oklopljene parične kabele
- oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom



Slika 5.1. Tipovi kabela sa upletenim paricama

Konstrukcijske izvedbe kabela ovise o načinu na koji je izведен oklop i da li su parice upletene u dvojke ili četvorke. Konstrukcijski akronimi za simetrične kabele po standardu HRN EN 50173-1 su dani na sl. 5.2.



Slika 5.2. Konstrukcijski akronimi za simetrične bakrene kabele

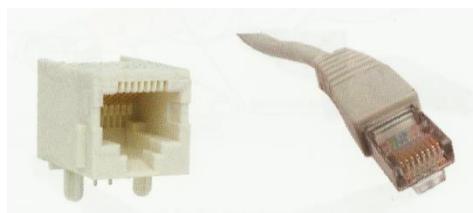
Pregled kraćih naziva:

- **U/UTP** (stara oznaka UTP – *engl. Unshielded/Unscreened Twisted Pair*) – naziv koji se najviše koristi za neoklopljene parične kabele, iako ga neki proizvođači koriste i za neoklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom.
- **F/UTP** (stara oznaka FTP – *engl. Foil screened/Unshielded Twisted Pair*) – naziv koji se koristi za neoklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom, najčešće izveden od aluminijске folije.

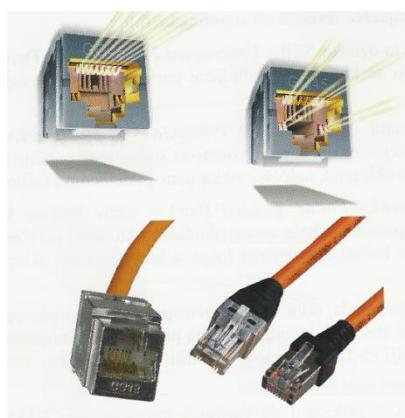
- **U/FTP** (stara oznaka STP – *engl. Unscreened/Foil screened Twisted Pair*) – naziv koji se koristi za oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom.
- **SF/UTP** (stara oznaka S-STP – *engl. Braid&Foil screened/Unscreened Twisted Pair*) – naziv koji se koristi za oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom, najčešće oklopljene pletenicom i folijom.
- **S/FTP** (*engl. Shielded/Foiled Twisted Pair*) – naziv koji se koristi za oklopljene parične kabele sa zajedničkim oklopom, pri čemu se za oklop parica koristi aluminijска folija, a kao generalni oklop bakrena pletenica.

5.1.3. Konektori i načini spajanja

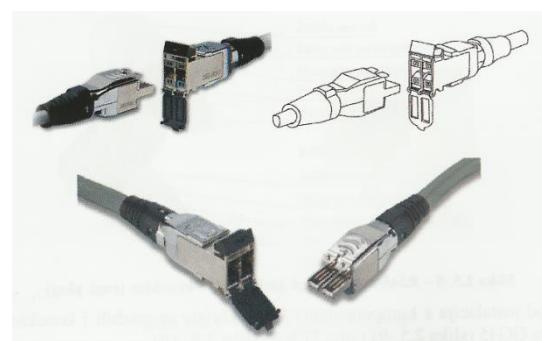
Za povezivanje kabela kategorije 5e, 6 i 6_A najčešće se koriste modul i konektor tipa RJ-45 (sl. 5.3.), a za kabele kategorije 7 moduli i konektori tipa GG-45 i TERA (sl. 5.4. i 5.5).



Slika 5.3. RJ-45 konektor i modul

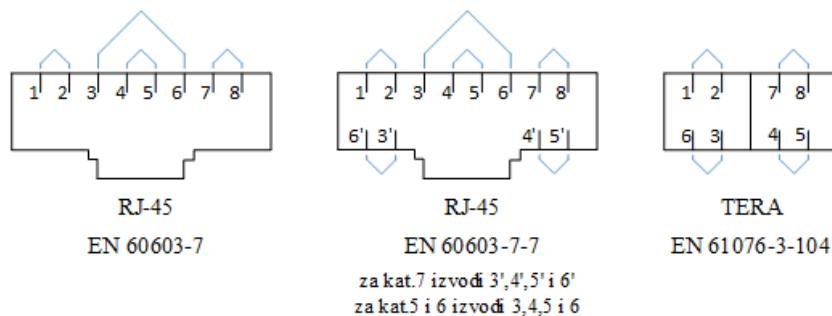


Slika 5.4. GG-45 konektor i modul



Slika 5.5. TERA konektor i modul

Način spajanja vodiča kabela sa 4 parice za sve konektore prikazan je na sl. 5.6.

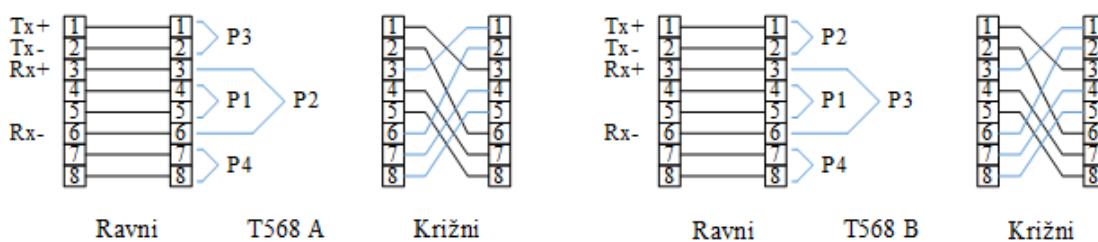


Slika 5.6. Spajanje 4-paričnog kabela na konektore

Način spajanja vodiča 4-paričnog kabela na konektor RJ-45 moguće je izvesti na dva načina prema standardima TIA/EIA T568A i T568B, sl. 5.7. Koji od standarda koristiti zavisi od prihvaćenih lokalnih standarda, a funkcionalno su oba ista. Obje sheme razlikuju se samo po bojama za koje su invertirane parice 2 i 3 ali su spojevi po brojčanim priključcima isti.

IZVOD NA RJ-45	VODIČ U 4-PARIČNOM KABELU	
	T568A	T568B
1	Bijelo / zelena	Bijelo / narančasta
2	Zelena	Narančasta
3	Bijelo / narančasta	Bijelo / zelena
4	Plava	Plava
5	Bijelo / plava	Bijelo / plava
6	Narančasta	Zelena
7	Bijelo / smeđa	Bijelo / smeđa
8	Smeđa	Smeđa

Tablica 5.4. Raspored vodiča na RJ-45



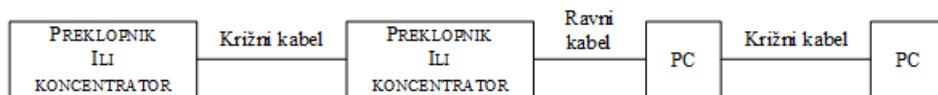
Slika 5.7. EIA/TIA 568A i 568B spajanja 4-paričnih kabela

Kod instalacije kabela se preporuča spajanje svih 8 vodiča da bi se ostvarila kompatibilnost za buduće potrebe ali je to neophodno samo ako koristimo 100Base-T4 standard odnosno kable kategorije 3,4 i 5. Kod primjene standarda 100Base-TX (kategorija kabela 5, 5e ili više) ili 100Base-T vodiči 4 i 5 (parica 1) i vodiči 7 i 8 (parica 4) se ne koriste u normalnom radu LAN-a. Ovo vrijedi kod primjene ravnog i križnog kabela. Ponekad se ove parice koriste za telefoniju ili posebne namjene (npr. dodatno napajanje - *engl. Power-over-Ethernet*).

Za nove instalacije preporuča se upotreba kabela kategorije 5e ili 6 koji podržavaju brzine rada 10 Mbit/s, 100 Mbit/s ili 1 Gbit/s. Za brzine veće od 10 Gbit/s i udaljenosti veće od 100 m potrebno je koristiti kabel kategorije 6a.

Maksimalna duljina segmenta za parične kable je 100 m. Primjenom koncentratora (*engl. hubs*) ova udaljenost se može povećati. Za 10Base-T standard moguće je povezati koncentratore u 5 uzastopnih segmenata duljine 500 m, a kod 100BaseT/Tx udaljenost između koncentratora može biti do 200 m. Moderni komutacijski preklopnići (*engl. switch*) mogu dodatno povećati ove udaljenosti (ovisno o tipu i proizvođaču).

Uređaji u mreži mogu biti povezani ravnim (*engl. Straight ili Patch*) i križnim (*engl. Crossover*) kabelima ovisno o njihovoj primjeni kao što je prikazano na slici 5.8.



Slika 5.8. Spajanje uređaja primjenom ravnog i križnog kabela

Ravni kabeli koriste se za povezivanje DTE↔DCE uređaja, a križni za vezu DTE↔DTE i DCE↔DCE uređaja. Da bi se izbjegla upotreba križnih kabela većina proizvođača na koncentratorima i komutacijskim preklopnicima koristi *UPLINK* priključke koji omogućuju međusobno povezivanje sa ravnim kabelom. Križni kabeli se danas praktično koriste samo za uređaje starijeg datuma jer svi moderni uređaji imaju ugrađenu automatsku funkciju prepoznavanja spojenog kabela (*engl. auto-sense*) tako da se mogu koristiti obje vrste kabela.

5.1.4. Kabelski parametri

Kvaliteta i karakteristike prijenosa određenog prijenosnog medija određene su kabelskim parametrima i njihovom usporedbom sa teoretskim vrijednostima. Parametri, njihove granične vrijednosti, mjerna procedura kao i minimalna točnost opreme koja se u postupku koristi definirani su međunarodnim standardima. Parametri dani u specifikacijama i podaci dobiveni mjernim instrumentima izraženi su u dB i predstavljaju uvijek omjere napona, a ne snage. Najvažniji kabelski parametri koji utječu na kvalitetu prijenosa signala su slabljenje i preslušavanje, pri čemu valja upamtiti da je prijenosni medij bolji što mu je slabljenje manje u

decibelima, dok za preslušavanje vrijedi suprotna logika tj. prijenosni medij ima manje preslušavanje što mu je vrijednost u decibelima veća.

5.1.4.1. Specifikacija najvažnijih parametara

- **Slabljenje signala** (*engl. Attenuation*) predstavlja gubitak signala uzrokovan prolaskom kroz prijenosni medij. Slabljenje amplitude signala izražava se vrijednošću u dB po jedinici dužine.
- **Preslušavanje** (*engl. Crosstalk*) se pojavljuje kod kabela sa više upletenih parica. Preslušavanje predstavlja vrijednost signala koji se pojavljuje u susjednoj parici. Što je veća vrijednost u dB pojedinog parametra preslušavanja to je bolja izolacija od preslušavanja među paricama i to je kabel kvalitetniji.
- **NEXT** (*engl. Near End Cross Talk*) – signal preslušavanja na bližem kraju koji se pojavljuje kao posljedica signala u susjednoj parici.
- **PS NEXT** (*engl. Power Sum Near End Cross Talk*) – signal preslušavanja koji se pojavljuje u određenoj parici kao posljedica signala u svim susjednim paricama na bližem kraju.
- **FEXT** (*engl. Far End Cross Talk*) – signal preslušavanja na daljem kraju kabela koji se pojavljuje kao posljedica signala u susjednoj parici.
- **ELFEXT** (*engl. Equal Level Far End Cross Talk*) – parametar koji pokazuje odnos vrijednosti FEXT-signala i oslabljenog korisnog signala na daljem kraju parice.
- **PS ELFEXT** (*engl. Equal Level Far End Cross Talk*) – predstavlja zbroj ELFEXT-signala preslušavanja sa svih parica u kabelu.
- **ACR** (*engl. Attenuation to Crosstalk Ratio*) – parametar koji prikazuje odnos slabljenja signala i parametra preslušavanja na najslabijoj parici na određenoj frekvenciji. Normama su određene minimalno dozvoljene vrijednosti ACR-parametara za pojedine aplikacije.
- **PS ACR** (*engl. Power Sum Attenuation to Cross Talk Ratio*) – odnos slabljenja signala i gubitaka zbog preslušavanja više izvora smetnji.
- **Karakteristična impedancija i gubitak zbog povratnog signala** (*engl. Characteristic Impedance and Return Loss*) – karakteristična impedancija predstavlja idealnu vrijednost impedancije određenog prijenosnog kruga pri određenoj frekvenciji. Povezivanjem krugova sa nejednakim vrijednostima impedancije ima za posljedicu pojavu refleksije signala, odnosno slabljenje korisnog signala.

- **Kašnjenje zbog propagacije signala** (*engl. Propagation Delay*) – predstavlja omjer dužine prijenosnog medija prema brzini prijenosa signala u dotičnom mediju, a karakterizirana je vrijednošću za paricu s najvećim kašnjenjem.
- **Nesimetričnost brzine propagacije** (*engl. Delay Skew*) – predstavlja razliku u kašnjenjima propagacije signala između dvije parice.

Razvojem sve većih brzina prijenosa na višim frekvencijama (preko 250 MHz) i sve složenijeg kodiranja, dolaze do izražaja sve više i neželjena preslušavanja između samih kabela. Takva preslušavanja i međudjelovanja nazivaju se stranim preslušavanjem (*engl. Alien Crosstalk*), i predstavljaju neželjeni utjecaj signala smetnji od parica jednog ili više kabela na parice drugog kabela. Iz tog razloga se za kabelske sustave klase E_A i F_A definiraju novi kabelski parametri kako bi se osigurala funkcionalnost prijenosa (npr. za aplikacije 10Gbase-SX):

- **PS ANEXT_{avg}** (*engl. Power Sum Alien Near End Crosstalk*) – predstavlja srednji zbroj neželjenih stranih preslušavanja koji se pojavljuje u određenoj parici kao posljedica signala u paricama susjednog kabela na bližem kraju.
- **PS AACR-F_{avg}** (*engl. Power Sum Attenuation to Alien Crosstalk Ratio at Far End*) – predstavlja srednji zbirni omjer slabljenja signala i stranog preslušavanja na daljem kraju.

5.2. Koaksijalni kabel

Koaksijalni kabel se sastoji od jezgre bakrenog vodiča unutar sloja izolatora oko kojeg se nalazi metalni oklop (aluminijska folija i/ili bakrena pletenica). Oklop služi kao drugi vodič ali i kao zaštita od smetnji. S vanjske strane kabel je zaštićen slojem plastike.

Koaksijalni kabeli kategorizirani su po RG (*engl. Radio Goverment*) specifikaciji. Svaki RG broj predstavlja jedinstveni skup fizičkih specifikacija uključujući promjer središnjeg vodiča, debljinu i tip unutrašnjeg izolatora, izvedbu zaštitnog oklopa te veličinu i tip vanjskog plašta.

Postoje različite izvedbe koaksijalnih kabela, od kojih se u lokalnim mrežama najviše primjenjuju:

- RG-11 50Ω debeli koaksijalni kabel – debeli Ethernet (*engl. Thick Ethernet*)
- RG-58 50Ω kabel – tanki Ethernet (*engl. Thin Ethernet*)
- RG-59 75Ω (TV/CATV, *engl. Broadband Ethernet*)
- RG-62 (ARC-Net, IBM 3270)

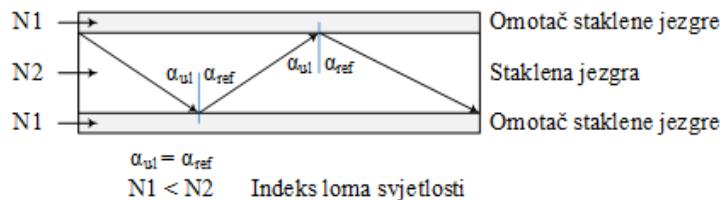
Koaksijalni kabel se zbog svojeg znatno većeg frekvencijskog opsega počeo koristiti u analognim telefonskim mrežama jer je omogućavao prijenos do 10000 kanala. Kasnije je našao

primjenu i u digitalnom prijenosu za brzine do 600 Mbit/s, ali se danas uglavnom zamjenjuje svjetlovodnim kabelima posebno u telefoniji.

U digitalnom prijenosu koristio se u ranim verzijama Ethernet LAN-a. 10base-2 ili *Thin Ethernet* je koristio koaksijalni kabel RG-58 za prijenos podataka na brzinama od 10 Mbit/s i udaljenostima do 185 m. 10Base-5 ili *Thick Ethernet* koristio je kabel RG-11 za prijenos od 10 Mbit/s i udaljenostima do 5000 m.

5.3. Svjetlovodni kabeli

Svjetlovodni kabel sastoji se od svjetlovodnih vlakana položenih unutar staklene jezgre obložene plastičnim omotačem. Svjetlost se unutar vlakna rasprostire uslijed refleksije koja nastaje na graničnim dijelovima medija budući staklena jezgra ima indeks loma veći od indeksa loma omotača, sl. 5.9.



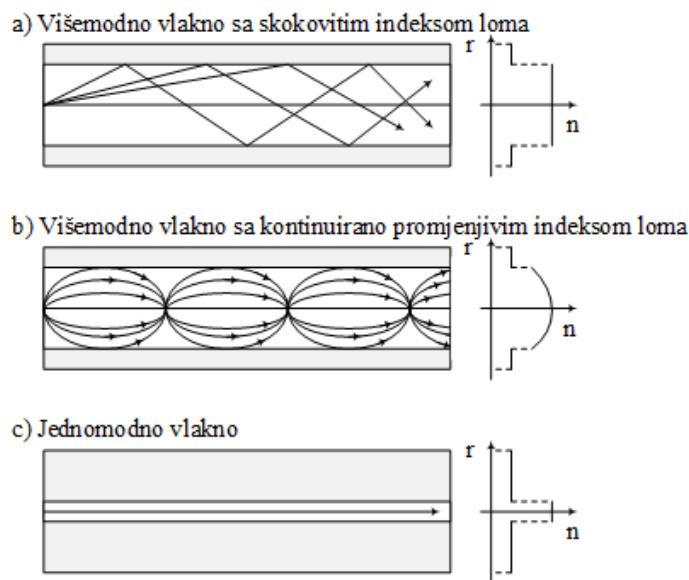
Slika 5.9. Prostiranje svjetlosne zrake kroz svjetlovodno vlakno

Po jednom svjetlovodnom vlaknu se može prostirati više elektromagnetskih valova, a broj valova ili modova određen je valnom duljinom svjetlosti, indeksom loma jezgre i omotača, te promjerom jezgre. S obzirom na broj modova koji se šire vlaknom, razlikujemo:

- Višemodna ili multimodna (*engl. multimode fiber*) vlakna koji mogu podržavati širenje nekoliko tisuća modova.
- Jednomodna ili monomodna (*engl. singlemode fiber*) vlakna kroz koje se može širiti samo jedan mod.

S obzirom na geometrijske karakteristike svjetlovodnih vlakana, odnosno način širenja svjetla unutar jezgre, možemo ih podijeliti u tri osnovne skupine, sl. 5.10.

- Višemodna vlakna sa skokovitim indeksom loma (*engl. multimode step index fiber*)
- Višemodna vlakna sa kontinuirano promjenjivim indeksom loma (*engl. multimode graded index fiber*)
- Jednomodna vlakna (*engl. monomode fiber*)



Slika 5.10. Vrste svjetlovodnih vlakana

Kod višemodnog vlakna promjer jezgre je znatno veći od valne duljine svjetlosti koja se širi jezgrom ($2r = 25\text{-}150 \mu\text{m}$), pa se kroz njih može istodobno širiti više stotina modova. Svjetlost se kroz jezgru u odnosu na os vlakna širi pod različitim kutovima, što odgovara različitim dužinama puta i vremenu dolaska na mjesto prijema. Ovakvo širenje po višestrukim putanjama dovodi do proširenja impulsa tj. disperzije, što ograničava maksimalnu moguću brzinu prijenosa signala. Za višemodna vlakna se obično koristi promjer od 50 i 62.5 μm .

Kod višemodnih vlakana sa kontinuirano promjenjivim indeksom tzv. gradijentnih vlakana disperzija je manja jer se indeks loma jezgre mijenja postupno u koncentričnim kružnicama. Jezgra ima višeslojnu strukturu, a indeks loma se mijenja ovisno o njezinom polumjeru. Na taj se način zrake ne odbijaju u diskretnoj točci, nego bivaju postupno zakrivljene te prate gotovo sinusoidalnu putanju u vlaknima. Zbog manjeg indeksa loma u područjima dalje od centra, zrake koje putuju pod većim kutom imaju veću brzinu od onih koje propagiraju u središnjem dijelu vlakna. Zbog male disperzije kod ovih vlakana se signali mogu prenositi sa puno većom brzinom.

Kod jednomodnih vlakana jezgra je promjera reda veličine valne duljine svjetla pa se može širiti samo jedan mod. Zbog toga je disperzija signala, a time i slabljenje signala puno manje (obično manje od 0.5 dB/km) što omogućuje velike brzine prijenosa reda 50 Gbit/s. Jednomodna vlakna se izrađuju sa jezgrom od 9 μm .

S obzirom na materijal od kojih su proizvedena, vlakna se dijele na:

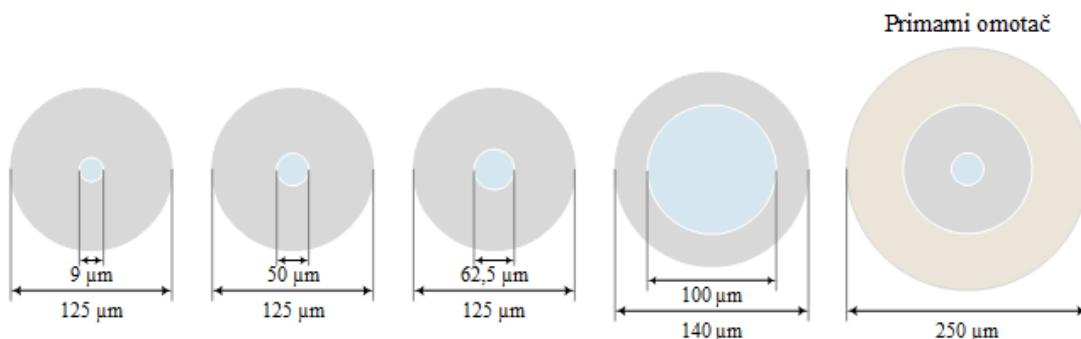
- Staklena vlakna – ova vlakna su u najširoj upotrebi, a kao materijal se koristi ultračisti, ultratransparentni silicijev dioksid (SiO_2), kojem se dodaju nečistoće da bi se postigao željeni indeks loma. Tako npr. germanij i fosfor povećavaju indeks loma, dok ga bor i fluor smanjuju.
- Stakleno-plastična vlakna (*engl. PSC- Plastic-Clad Silica*) – imaju staklenu jezgru i plastični omotač.
- Plastična vlakna – imaju plastičnu jezgru i omotač. U usporedbi s ostalim vrstama ova vlakna imaju lošije karakteristike što se tiče slabljenja signala i širine prijenosnog pojasa, međutim zbog niske cijene i jednostavnosti instalacije često se koriste.

U svjetlovodnim sustavima koriste se dva tipa izvora svjetlosti LED (*engl. Light Emitting Diode*) i LASER. Valne duljine zračenja koje se koriste u svjetlovodnim sustavima su 820 nm, 1300 nm i 1550 nm. Za upotrebu u višemodnim kabelima LED emitiraju zračenje u „prozorima“ 820 nm do 850 nm (GaAlAs) i 1300 nm (GaInAs). 1550 nm svjetlovodna vlakna koriste se isključivo za prijenos na velikim udaljenostima u jednomodnim sustavima uz korištenje LASER-a.

Općenito su LED jeftinije, temperaturno stabilnije, dužeg vijeka trajanja i zahtijevaju manje složenu elektroniku nego LASER. S druge strane LASER ima puno bolja svojstva u pogledu emitiranog zračenja. Izlazni snop LASER-a je usmjereniji, svjetlost je koherentna, a zračenje monokromatsko.

5.3.1. Oznake dimenzija kabela

Svjetlovodna vlakna definirana su s dvije brojčane oznake od kojih se prva odnosi na promjer jezgre, a druga na promjer omotača, sl. 5.11.



Slika 5.11. Dimenzije svjetlovodnih vlakana

Oznake dimenzija kabela su:

- 9/125 μm
- 50/125 μm
- 62.5/125 μm
- 100/140 μm

Osim promjera vlakna u specifikaciju kabela ulazi i vanjski promjer plašta. Standardizirane vrijednosti su promjeri od 250 μm i 900 μm . Također su definirane i boje vanjskog plašta svjetlovodnog kabela prema dimenzijama svjetlovodnih vlakana. Najčešće se koriste slijedeće boje:

- 50/125 – Narančasta
- 62.5/125 – Siva
- 100/140 – Zelena
- Jednomodni – Žuta

Svetlovodni kabeli za vanjsko polaganje najčešće imaju vanjski omotač crne boje.

5.3.2. Parametri svjetlovodnih kabela

- **Numerička apertura NA** (ili numerička otvorenost) – predstavlja mjernu sposobnost skupljanja svjetlosti u svjetlovodu, a izračunava se prema formuli:

$$\text{NA} = n_0 \cdot \sin \alpha_{\max}$$

n_0 – indeks loma medija iz kojeg pada zraka na poprečni presjek vlakna

α_{\max} – upadni kut zrake

- **Disperzija** – označava promjenu amplitude i oblika impulsa svjetlosti koji prolazi kroz svjetlovodno vlakno.

Razlikujemo tri vrste disperzije:

- *Modalna disperzija* – nastaje uslijed različitog vremena propagiranja svjetlosnih zraka. Ova vrsta disperzije ne postoji kod jednomodnih vlakana.
- *Disperzija materijala* – nastaje zbog razlike u brzinama propagiranja različitih valnih duljina svjetlosti. Efekt je jače izražen kod LED izvora koji imaju širok spektar emitiranja, dok je kod LASERA značajnije smanjen. Isto tako na disperziju materijala utječe i centralna frekvencija emitiranja jer je u različitim „prozorima“ emitiranja različita i promjena brzine propagacije s valnom duljinom.

- *Disperzija uslijed vođenja valova* – nastaje u jednomodnim vlaknima zbog razlike u prijenosnim karakteristikama jezgre i plašta.
- **Slabljenje signala** – predstavlja gubitak ili smanjenje snage svjetlosnog signala u prijenosu. Kod prostiranja modova dio energije gubi se zbog rasipanja i absorpcije svjetlosti u jezgri svjetlovodnog kabela. Vrijednosti parametra variraju od 300 dB/km za plastična vlakna do 0.21 dB/km za jednomodna. Slabljenje signala također ovisi i o valnoj duljini. Najmanji su gubici u dijelu spektra od 829 nm do 850 nm, 1300 nm, te 1550 nm.
- **Širina propusnog opsega** – određena je područjem frekvencija u kojima se amplituda ne smanjuje više od polovice.

Proizvođači često ne specificiraju disperziju nego daju podatak umnoška širine prijenosnog područja i dužine kabela u MHz/km. Tako npr. podatak od 400 MHz/km znači da kabel može prenijeti signal frekvencije 400 MHz na udaljenost od jednog kilometra, odnosno 200 MHz na dva kilometra ili 800 MHz na 500 m.

- **Jakost vlakna** – predstavlja mehaničko svojstvo, odnosno čvrstoću vlakna na istezanje. Ovaj parametar zavisi od načina proizvodnje vlakna čija površina mora biti izrađena bez pogrešaka, a samo vlakno bez mikropukotina. Mikropukotine se pod povećanim opterećenjem šire te mogu izazvati puknuće vlakna. Svjetlovodna vlakna imaju ograničenja u savijanju te se definira minimalni dopušteni polumjer savijanja samog kabela koji ne smije biti manji od 10 polumjera. Savijanjem se uz opasnost od mehaničkog oštećenja povećava efekt slabljenja signala.

5.3.3. Specifikacije svjetlovodnih kabela

Jednomodni i višemodni kabeli specificirani su unutar standarda ISO/IEC IS1 1801, CENELEC EN 50173 te ANSI/TIA/EIA-568-C.3. Za prijenosnu karakteristiku svjetlovodnog kabela bitno je slabljenje signala i širina prijenosnog pojasa. Standardi ISO/IEC IS1 1801 i CENELEC EN 50173 uveli su nove parametre: kategoriju kabela i klasu kanala, prikazanu u tablici 5.5.

KATEGORIJA SVJETLOVODA	KLASA KANALA	MAKSIMALNA DULJINA (M)
Višemodni		
OM1/OM2/OM3	OF-300	300
	OF-500	500
	OF-2000	2000
Jednomodni		
OS1/OS2	OF-300	300
	OF-500	500
	OF-2000	2000
OS2*	OF-5000	5000
	OF-10000	10000

Tablica 5.5. Kategorije i klase svjetlovodnih kabela

Stakleni kabeli kategorije OM1 i OM2 mogu imati promjer jezgre 62.5 ili 50 μm , a kabeli kategorija OM3 mogu imati promjer jezgre samo od 50 μm . Njihovi prijenosni parametri specificirani su na valnim duljinama 850 nm i 1300 nm.

Stakleni jednomodni kabeli kategorija OS1 i OS2 mogu imati promjer jezgre 10 μm . Njihovi prijenosni parametri specificirani su na valnim duljinama 1310 nm, 1383 nm i 1550 nm.

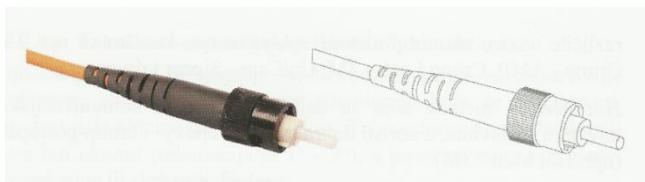
Plastični višemodni kabeli kategorije OP1 mogu imati promjer jezgre 975 μm a prijenosni parametri su im specificirani na valnoj duljini 650 nm, dok višemodni kabeli kategorije OP2 mogu imati promjer jezgre 200 μm ali su im prijenosni parametri specificirani na valnim duljinama 650 nm, 850 nm i 1300 nm.

Parametri koji određuju prijenosne karakteristike kod višemodnih kabela su maksimalno dozvoljeno slabljenje (dB/km), minimalna širina prijenosnog područja (MHz/km) i maksimalno propagacijsko kašnjenje (ns/m), dok su parametri kod jednomodnih kabela maksimalno dozvoljeno slabljenje (dB/km) i maksimalno propagacijsko kašnjenje (ns/m).

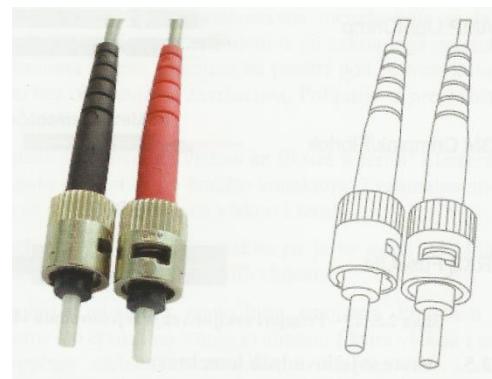
Klase svjetlovodnih kanala OF-xx definiraju maksimalno dozvoljene dužine kanala do koje će biti podržana određena aplikacija.

5.3.4. Vrste konektora

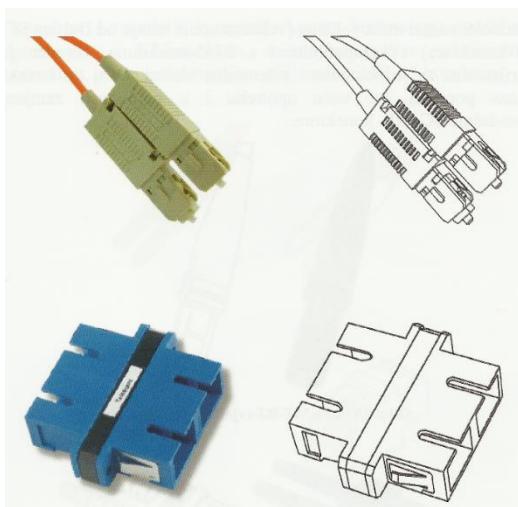
Konektori koji se danas primjenjuju za povezivanje svjetlovodnih kabela su prikazani na slikama 5.12. – 5.16. Najveći gubici signala prema važećim standardima ne smiju preći 0.75 dB za par konektora, 0.3 dB za spojeve u LAN-ovima i 1-3 dB za jeftine aplikacije.



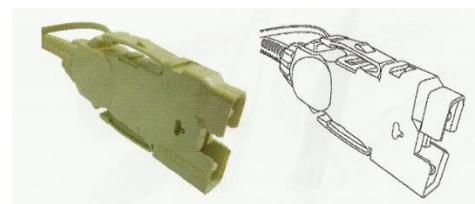
Slika 5.12. FC-konektor



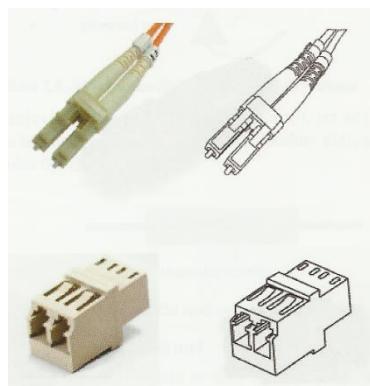
Slika 5.13. ST-konektor



Slika 5.14. SC-konektor



Slika 5.15. FDDI-konektor



Slika 5.16. LC-konektor

5.3.5. Prednosti i nedostaci

Primjena svjetlovodnih kabela donosi niz prednosti kao što su:

- električna izolacija između prijemne i predajne strane
- neosjetljivost na elektromagnetske smetnje
- veću širinu propusnog pojasa
- veće dužine prijenosnog segmenta
- veću sigurnost i tajnost prijenosa signala
- male gubitke, neovisne o frekvenciji
- manje dimenzije i težinu
- ne prouzrokuju elektromagnetske smetnje
- prikladni su za upotrebu u eksplozivnim područjima

Međutim još uvjek je cijena instalacije skuplja za 15-20% od klasičnih kabela, a također su skuplje i komponente aktivnih uređaja 2-3 puta. Instalacija je puno složenija jer zahtjeva stručnu osposobljenost i primjenu posebnih alata.

5.4. Bežični prijenos

Za povezivanje mreža u lokalnu mrežu moguće je koristiti bežične komunikacije koje su definirane IEEE standardima kao što je pokazano u tablici 5.6.

STANDARDI	802.11b	802.11a	802.11g	802.11n
Max. brzina (Mbit/s)	11	54	54	600
Stvarna brzina (Mbit/s); 3m	6	25	25	
Stvarna brzina (Mbit/s); 30m	6	12	20	
Frekvencija (GHz)	2.4	5	2.4	2.4 ili 5
Modulacija	DSSS, DCK	OFDM	DSSS, DCK, OFDM	DSSS, DCK, OFDM+
Širina kanala (MHz)	20	20	20	20 ili 40

Tablica 5.6. Pregled standarda IEEE 802.11

Prijenos signala i utjecaj smetnji u ovoj tehnologiji ovisi o frekvenciji i kapacitetu kao i postupku modulacije koji se koristi. Elektromagnetsko zračenje ovih frekvencija prodire kroz čvrste tvari kao što su zidovi, prozori, i sl. omogućujući da uređaji mogu biti smješteni na bilo kojem mjestu.

Prijenosne udaljenosti WLAN-a (*engl. Wireless LAN*) su uvjetovane brojnim faktorima. Usmjerene antene omogućuju prijenos na udaljenosti od nekoliko kilometara, dok neusmjereni zračenje u zgradama omogućuje domet od 30-tak metara. Metalni omotači, izvori smetnji, neželjene refleksije, i sl. bitno smanjuju brzine prijenosa.

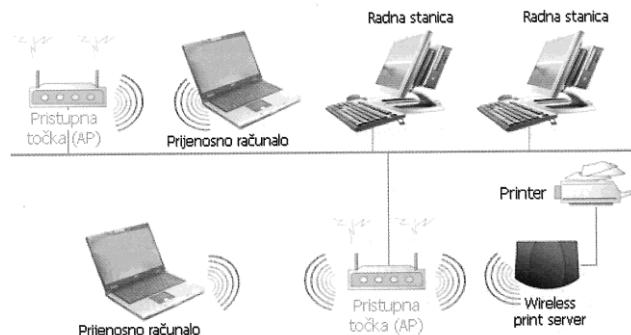
Povezivanje mreža moguće je ostvariti na dva osnovna načina:

- Korištenjem AD-HOC mreža, sl. 5.17., kada želimo povezati dva ili više računala izravno bez središnje pristupne točke (*engl. Access Point = AP*).
- Korištenjem infrastrukturnih mreža, sl. 5.18., gdje se komunikacija između bilo koja dva uređaja odvija posredstvom pristupne točke (AP). Na taj način moguće je slagati i složenije infrastrukture, gdje se koriste dva ili više AP-a. Pri tome pojedini AP-ovi se mogu koristiti :
 - a) samo kao pristupne točke za krajnje korisnike.

- b) isključivo za bežično povezivanje dviju udaljenih lokacija (primjena AP-a kao most).
- c) kao uređaji koji povezuju dvije udaljene lokacije i istovremeno omogućavaju klijentima bežični pristup.



Slika 5.17. AD_HOC mreža



Slika 5.18. Mreža s primjenom pristupne točke

Za uspostavu bežičnih mreža potrebno je podnijeti zahtjev Hrvatskom zavodu za telekomunikacije (za Hrvatsko područje). Odobrenje i dozvola za rad Hrvatski zavod za telekomunikacije izdaje u obliku koncesije. Za određeno frekvencijsko područje, ISM-područje (*engl. Industrial Scientific and Medical*), nije potrebno tražiti koncesiju. Radi se o područjima u opsegu frekvencija:

- 902 MHz – 928 MHz
- 2.4 GHz – 2.4835 GHz
- 5.725 GHz – 5.850 GHz

Literatura

- [1] FER-Zavod za elektroničke sustave i obradu informacija/Laboratorij za sustave i signale (2004.) *Strukturno kabliranje – Planiranje, projektiranje, izvođenje i održavanje*, Zagreb: Kigen d.o.o.
- [2] Reynders, D., Mackay, S., Wright, E. (2005.) *Practical Industrial Data Communications – Best Practice Techniques*, Elsevier, Newnes.
- [3] Forouzan, B.A. (2007.) *Data Communications and Networking*, 4. Izdanje, USA: McGraw-Hill Higher Education.

6. Serijska sučelja

Standardima serijskih sučelja definirane su električke i mehaničke karakteristike sučelja odnosno fizički način povezivanja uređaja. Način prijenosa podataka međutim nije specificiran ovim standardima već je to zadatak komunikacijskih protokola. Specifikacije standardnih sučelja definirala je EIA (*engl. Electronic Industries Association*) od kojih su najznačajniji:

- EIA-232
- EIA-423
- EIA-422
- EIA-485

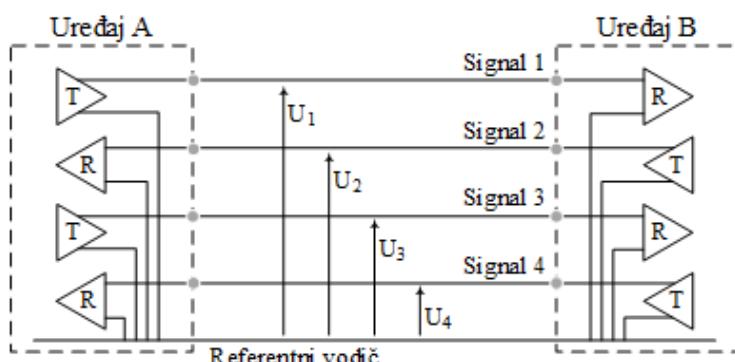
Također se kao poseban oblik serijskih sučelja vrlo često u industriji koriste digitalna (20 mA) i analogna (4-20 mA) strujna petlja posebno za povezivanje mjerne instrumentacije i senzora. Digitalna i analogna strujna petlja nisu specificirane određenim standardom tako da kod njihove primjene korisnik za svaku vezu treba poznavati tehničke detalje sučelja uređaja kojeg koristi.

6.1. Simetrični i nesimetrični prijenos

U ovisnosti o izboru sučelja ovisi i način prijenosa signala između uređaja. Općenito možemo razlikovati dva osnovna načina prijenosa: nesimetrični i simetrični.

6.1.1. Nesimetričan prijenos

Kod nesimetričnog prijenosa (*engl. Unbalanced*) signali se prenose zasebnim vodičima unutar višežilnog kabela. Signal svakog vodiča je definiran u odnosu na zajednički referentni vodič, kao što je to prikazano na sl. 6.1.

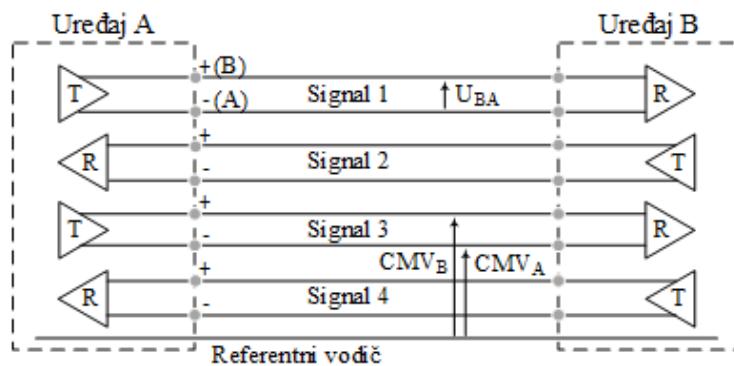


Slika 6.1. Nesimetrični prijenos

U praksi nesimetrični prijenos je pogodan samo za komunikaciju na manjim udaljenostima jer su struje signala i impedancija zajedničkog vodiča mali. Budući zajednički vodič ima iste karakteristike kao i signalni vodiči (otpor, induktivitet i kapacitet) ne predstavlja idealnu referentnu točku. Za veće udaljenosti zajednički vodič je podložan smetnjama zbog kojih se inducira napon koji se pridodaje postojećem. Napon tako nije jednak „0“ u svim točkama vodiča što utječe na varijacije amplituda signala na ulazu u prijemnik. Smanjenje utjecaja smetnji može se ostvariti primjenom kabela sa zaštitnim omotačem. Međutim vrlo često se ovaj omotač u praksi koristi kao zajednički vodič što treba izbjegavati budući je podložan utjecaju smetnji kao i referentni vodič. Nesimetrični sustavi se koriste kod standarda EIA-232 i EIA-423.

6.1.2. Simetrični prijenos

Kod simetričnog prijenosa (*engl. Balanced*) svaki signal se prenosi sa dva odvojena vodiča, kao što je to prikazano na sl. 6.2. Napon na prijemniku se u ovom slučaju mjeri kao razlika napona između dva vodiča pa se često naziva diferencijalnim prijenosom. Nedostatak je kod ovog sustava što za prijenos više signala trebamo veći broj vodiča.



Slika 6.2. Simetrični prijenos

Prednost simetričnog sustava je što je manje osjetljiv na smetnje tako da je moguće ostvariti veće brzine prijenosa na većim udaljenostima. Otpornost na smetnje zasniva se na prepostavci da vodiči imaju slične karakteristike tako da je i učinak smetnji na oba vodiča jednak. U slučaju smetnje napon svakog vodiča u odnosu na referentni vodič će istovremeno jednako rasti i padati tako da bi razlika napona simetrične linije trebala ostati ista. To međutim ne znači da smetnje ne postoje u simetričnom sustavu.

Napon između signalnih vodiča i zajedničkog vodiča se naziva CMV (*engl. Common Mode Voltage*) i predstavlja indikaciju induciranih napona ili šuma na komunikacijskom kanalu. U idealnom slučaju CMV će se između dva vodiča poništiti. Što je veći CMV veća je vjerojatnost izobličenja napona i oštećenja uređaja. Utjecaj smetnji na signal se mjeri kao odnos napona koji prođe kroz prijemnik i CMV-a, a naziva se CMRR (*engl. Common Mode Rejection Ratio*):

$$\text{CMRR (dB)} = 20 \log [\text{dV out} / \text{dVCM}] \quad (6.1)$$

Simetrični prijenos se koristi u većini brzih sučelja kao što su EIA-422 i EIA-485.

6.2. EIA/TIA-232

Standard EIA-232 je inicijalno razvijen za povezivanje terminala i modema, odnosno serijsku komunikaciju DTE (*engl. Data Terminal Equipment*) i DCE (*engl. Data Communication Equipment*) uređaja. DTE uređaj predstavlja uređaj (npr. računalo) koji upravlja protokom podataka prema krajnjem uređaju ili vrši pretvorbu korisničkih informacija u signal i obratno. DCE predstavlja krajnji uređaj (npr. modem) koji može preuzeti poslane podatke te ih poslati preko komunikacijskog kanala drugom DCE uređaju.

Prva verzija standarda izdana je u SAD-u 1969. god. od strane EIA (*engl. Electronic Industries Association*) pod nazivom RS-232 (*engl. Recommended Standard*). Standard je ubrzo nakon manjih izmjena ponovno izdan pod nazivom RS-232C koji se i danas vrlo često koristi u literaturi. Prefiks naziva standarda RS zamijenjen je sa EIA/TIA 1988. god., a sa verzijom EIA/TIA-232E standard je 1991. god. usklađen sa međunarodnim standardima ITU V.24, ITU V.28 i ISO 2010. Trenutna verzija standarda TIA-232F izdana je 1997. god. Potpuni naziv standarda glasi *TIA-232F Interface Between Data Terminal Equipment and Data Circuit-Terminating Equipment Employing Serial Binary Data Interchange*.

EIA-232 standard sadržava tri osnovna dijela:

- Električke karakteristike signala
- Mehaničke karakteristike sučelja
- Funkcijski opis komunikacijskih krugova

6.2.1. Električke karakteristike signala

U dijelu električnih karakteristika EIA-232 standarda definirane su naponske razine signala, njihova brzina promjene te impedancija linije.

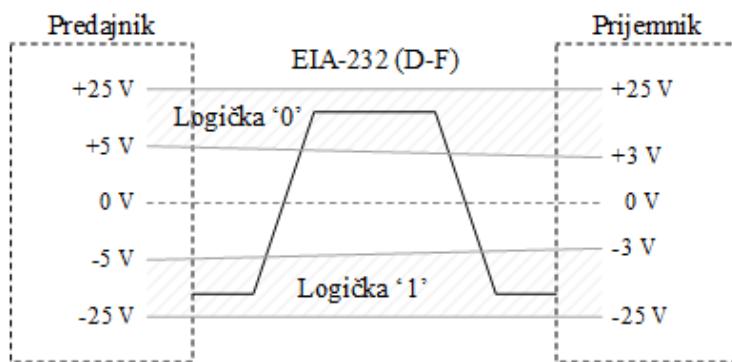
Naponi koje generira EIA-232 predajnik moraju biti u opsegu od +/- 5V do +/- 25V tako da za logička stanja signala podataka vrijedi:

- Logička „1“: -5V do -25V
- Logička „0“: +5V do +25V
- Nedefinirani logički prag: +5V do -5V

Za EIA-232 prijemnik definirani su naponski signali:

- Logička „1“: -3V do -25V
- Logička „0“: +3V do +25V
- Nedefinirani logički prag: -3V do +3V

Maksimalna vrijednost napona od +/- 25V je uvedena sa verzijom EIA-232D u odnosu na +/- 15V koliko je bilo specificirano do verzije EIA-232C. Napon donjeg praga EIA-232 predajnika je nešto viši da bi se kompenzirao pad napona na liniji. Prag prijemnika od +/- 3V osigurava određenu otpornost na smetnje. Naponske razine signala prikazane su na sl. 6.3.



Slika 6.3. EIA-232 naponske razine

Za signalizaciju odnosno prijenos upravljačkih signala koriste se iste razine napona kao i za prijenos podataka, ali suprotnog polariteta:

- Logička „1“: +5V do +25V za predajnik odnosno +3V do +25V za prijemnik.
- Logička „0“: -5V do -25V za predajnik odnosno -3V do -25V za prijemnik.

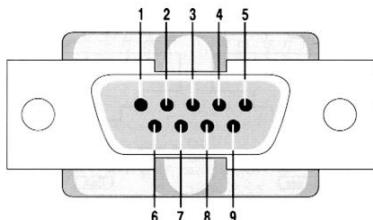
Uredaji koji su danas u primjeni najčešće koriste mikroprocesore koji tipično rade na naponu TTL logike od 0-5V što nije kompatibilno sa EIA-232 standardom. Stoga je za uređaje koji podržavaju ovaj standard neophodno integrirati dodatne pretvarače napona za serijsko sučelje, najčešće +/- 12V. Moderna PC napajanja npr. koriste standardno napajanje +12V koji se može koristiti za linijski signal.

Standardom je definirana i maksimalna brzina promjene razine signala (*engl. slew rate*) radi smanjenja preslušavanja između linija. Ovo preslušavanje je manje što je sporiji uspon i pad signala pa je kao maksimalna dozvoljena brzina promjene definirana vrijednost od $30 \text{ V}/\mu\text{s}$. Također je u cilju smanjenja preslušavanja definirana maksimalna brzina prijenosa podataka od 20 kbit/s. Ovo ne znači da se ne mogu postići veće brzine već one nisu uključene u standard. Prijenosna karakteristika signala je s porastom brzine prijenosa ovisna najviše o kapacitetu kabela koji se povećava sa njegovom duljinom. Duljina kabela je ograničena dozvoljenim ukupnim brojem grešaka koje se mogu pojaviti za vrijeme prijenosa podataka. EIA-232 D&E

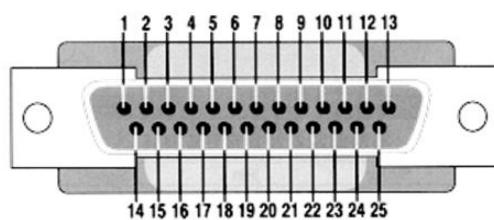
verzijom standarda specificirana je umjesto maksimalne duljine kabela od 15 m vrijednost ukupnog kapaciteta kabela u iznosu od 2500 pF. Sa tipičnom vrijednošću kapaciteta kabela od 160 pF/m do 50 pF/m koji se danas proizvode maksimalna duljina kabela je na ovaj način povećana sa 15 m na 50 m. Izlazna impedancija predajnika i ulazna impedancija prijemnika moraju biti u rasponu od 3 kΩ do 7 kΩ.

6.2.2. Mehaničke karakteristike sučelja

Za fizičko povezivanje uređaja EIA-232 standardom je specificiran 25-polni konektor u skladu sa funkcijskim opisom priključaka. Iako je konektor DB-25 (25-polni, D-tip) bio u skladu sa ovom specifikacijom službeno je standardiziran tek sa verzijom EIA-232D. Standardom je definirano da se sučelje mora sastojati od utikača i utičnice koja uvijek mora biti na strani DCE uređaja. Sa verzijom E specificiran je novi 26-polni konektor poznatiji kao ALT-A konektor. Ovaj konektor podržava svih 25 signala podržanih od EIA-232. ALT-A je fizički manji konektor, a priključak 26 se trenutno ne koristi. Za uređaje manjih dimenzija uobičajena je za EIA-232 primjena manjeg DB-9 konektora (9-polni, D-tip) koji je prihvaćen kao *de facto* standard. DB-9 konektor uveo je IBM s pojmom PC računala budući se za većinu namjena koristi samo 9 signala. Raspored priključaka koji se koriste kod konektora DB-9 i DB-25 prikazani su na sl. 6.4. i 6.5.



Slika 6.4. DB-9 konektor



Slika 6.5. DB-25 konektor

6.2.3. Funkcijski opis komunikacijskih krugova

EIA-232 standard definira 25 električnih veza koje su podijeljene u 4 grupe linija: podatkovne, upravljačke, vremenske i sekundarne linije. Funkcijski opis priključaka za DB-25 i DB-9 konektor prikazan je u tablicama 6.1. i 6.2.

Standardom je protok podataka definiran iz perspektive DTE sučelja. Podaci se šalju preko priključka 2, a primaju preko priključka 3 DB-25 konektora. Funkcije priključaka 2 i 3 su za konektor DB-9 obrnute.

PIN BR.	DB-25 SIGNAL	OPIS - NAMJENA
1	PG	Zaštitno uzemljenje
2	TxD	Slanje podataka
3	RxD	Prijem podataka
4	RTS	Zahtjev za slanje podataka
5	CTS	Uredaj spremjan za prijem podataka
6	DSR	DCE uređaj spremjan za rad
7	GND	Masa signala
8	DCD	Signalizacija uspostave veze
9*		Priklučak za potrebe testiranja
10*		Priklučak za potrebe testiranja
11		
12*	DCD	Signalizacija uspostave veze
13*	CTS	Uredaj spremjan za prijem podataka
14*	TxD	Slanje podataka
15*		Signal takta predajnika (DCE)
16*	RxD	Prijem podataka
17*		Signal takta prijemnika
18		
19*	RTS	Zahtjev za slanje podataka
20	DTR	DTE uređaj spremjan za rad
21*		Detekcija kvalitete signala
22	RI	Signalizacija zvonjenja
23*		Detekcija brzine prijenosa podataka
24*		Signal takta predajnika (DTE)
25		

*Sekundarne linije

Tablica 6.1. Funkcijski opis priključaka za DB-25 konektor

PIN BR.	DB-9 SIGNAL	OPIS - NAMJENA
1	DCD	Signalizacija uspostave veze
2	RxD	Prijem podataka
3	TxD	Slanje podataka
4	DTR	DTE uređaj spremjan za rad
5	GND	Masa signala
6	DSR	DCE uređaj spremjan za rad
7	RTS	Zahtjev za slanje podataka
8	CTS	Uredaj spremjan za prijem podataka
9	RI	Signalizacija zvonjenja

Tablica 6.2. Funkcijski opis priključaka za DB-9 konektor

Upravljačke linije se koriste za obostranu kontrolu uređaja (*engl. handshaking*). One određuju način protoka podataka duž sučelja, a najčešće su u upotrebi 4 upravljačke linije:

- **RTS** (*engl. Request To Send*) – signalizira drugom uređaju zahtjev za slanje podataka
- **CTS** (*engl. Clear To Send*) – signalizira uređaju koji šalje podatke da je spreman za prihvatanje podataka
- **DSR** (*engl. Data Set Ready* (ili *DCE Ready* u EIA-232D/E)) – označava da je DCE uređaj spreman za rad
- **DTR** (*engl. Data Terminal Ready* (ili *DTE Ready* u EIA-232D/E)) – označava da je DTE uređaj spreman za rad

Upravljanje preko ovih linija se često naziva hardverskim upravljanjem ili RTS/CTS kontrolom. Kada DTE uređaj (računalo) želi poslati podatke on aktivira liniju RTS, a DCE uređaj (modem) ako je spreman za prihvatanje podataka će aktivirati liniju CTS te će računalo početi slati podatke. Deaktiviranjem linije CTS prekida se prijenos podataka. Uobičajeno je za većinu DTE uređaja da kod uključenja aktiviraju DTR signal, a za DCE uređaje da aktiviraju DSR signal kod uključenja i DCD signal kod uspostave veze. DTE koristi DTR signal kao indikaciju da je spreman prihvati podatke, dok DCE koristi u istu svrhu signal DSR. DCD se ne koristi direktno za upravljanje protokom već kao indikacija uspostavljene komunikacijske veze između dva modema.

Upravljanje protokom podataka može biti ostvareno i softverski. U postavkama se često ovaj način kontrole naziva X_{ON}/X_{OFF}. Upravljanje je u ovom slučaju ostvareno pomoću dva znaka pri čemu se znak ASCII 17 koristi kao X_{ON}, a znak ASCII 19 kao X_{OFF}. Ako je modem spreman za prijem podataka poslati će X_{ON} znak računalu za slanje ili X_{OFF} za prestanak slanja. Prednost ovog načina je da ne koristi dodatno ožičenje ali zato usporava komunikaciju s obzirom da se znakovi šalju preko podatkovnih linija, a svaki znak je predstavljen sa 11 bita.

Hardversko upravljanje je često uzrok većine problema kod sučelja. Proizvođači naime ponekad izostave upravljačke linije na EIA-232 sučelju ili im pridruže posebne funkcije što dovodi do 'smrzavanja' aplikacija koje ih koriste u radu. Stoga većina aplikacija ne koristi hardversko upravljanje već softversko sa samo 3 linije na sučelju: TxD, RxD i GND. Kontrola protoka podataka je tada sastavni dio aplikacijskog programa. Softverski način upravljanja se vrlo često koristi kod upravljanja uređaja ili komunikaciji sa mjernim instrumentima.

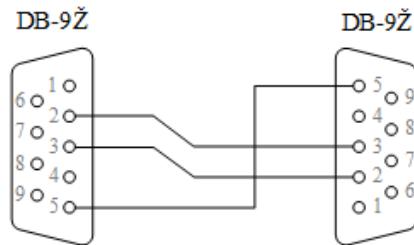
Sekundarne linije omogućuju dodatni kanal za kontrolu i prijenos podataka ali na nižim brzinama od onih koje se koriste u normalnom radu. Ove linije se vrlo rijetko koriste, a proizvođači ih često koriste za posebne namjene. Najčešće se koriste za daljinsku kontrolu modema, promjenu brzine prijenosa u toku rada ili ponavljanje prijenosa podataka za slučaj detektirane greške u prijenosu.

Podaci se kod EIA-232 uglavnom šalju kao ASCII znakovi. Za prijenos podataka se koristi asinkrona komunikacija kod koje je svaki znak sastavljen od 7 ili 8 bita podataka, paritetnog te početnog i završnog bita.

6.2.4. Null modem

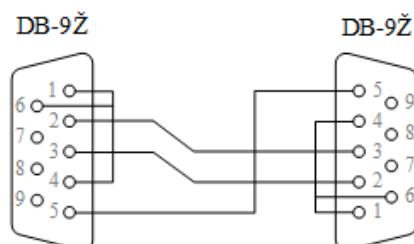
Null modem predstavlja poseban oblik EIA-232 sučelja koji se koristi kod povezivanja dva uređaja istog tipa (npr. DTE ↔ DTE ili DCE ↔ DCE,...). Protok podataka je u ovom slučaju ostvaren križnim povezivanjem upravljačkih i podatkovnih linija.

Najjednostavniji i najčešće korišteni oblik *Null modem* veze je softversko upravljanje protokom gdje se koriste samo linije podataka i masa signala kao što je prikazano na slici 6.6. Primjer je dan za konektor DB-9, ali se isto tako može primijeniti i za konektor DB-25.

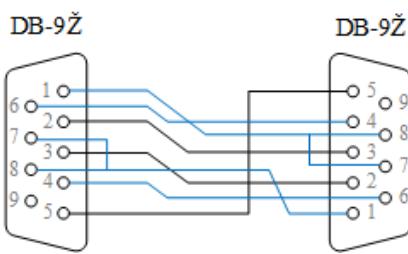


Slika 6.6. Null modem sa softverskim upravljanjem

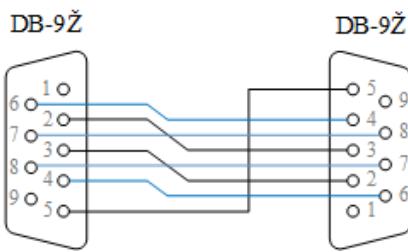
Null modemi sa hardverskim upravljanjem (sl. 6.7., 6.8. i 6.9.) omogućuju veće brzine komunikacije ali i složeniji softver odnosno protokol prijenosa podataka. Ukoliko softver nije napisan za odgovarajuću konfiguraciju hardverskih linija može doći često do blokiranja njegovog rada.



Slika 6.7. Null modem sa loop-back hardverskim upravljanjem



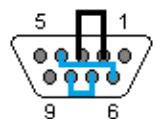
Slika 6.8. Null modem sa parcijalnim hardverskim upravljanjem



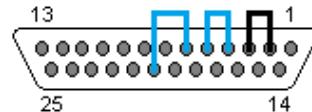
Slika 6.9. Null modem sa potpunim hardverskim upravljanjem

6.2.5. Konektor s povratom petljom

Konektor sa povratnom petljom (*engl. Loopback*) kreira se od standardnih DB-9 i DB-25 konektora formiranjem povratne petlje između prijemnih i predajnih podatkovnih i upravljačkih linija, sl. 6.10. i 6.11. Ovo je jedan od načina brze provjere ispravnog rada serijskog sučelja bez spajanja drugog uređaja.



Slika 6.10. EIA-232 DB-9 loopback



Slika 6.11. EIA-232 DB-25 loopback

*Crne linije označavaju povratnu vezu bez hardverske kontrole, a plave linije kada se koristi hardverska kontrola upravljanja.

6.3. EIA/TIA-423

Ovaj standard definira nesimetrično sučelje slično EIA-232 uz određena poboljšanja:

- povećana je udaljenost komunikacije između dva uređaja do 1200 m,
- poboljšana je brzina prijenosa podataka na 100 kbit/s,

- omogućeno je istovremeno spajanje do 10 prijemnika na jedan predajnik.

Poboljšanja u performansama su ostvarena smanjenjem naponskih razina signala.

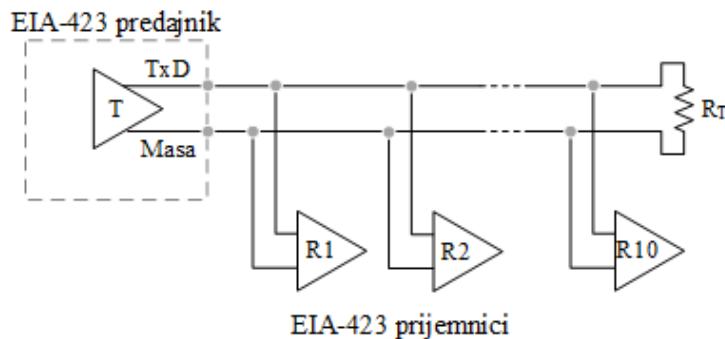
Za predajnik su definirani naponski signali:

- Logička „1“: -3.6V do -6V
- Logička „0“: +3.6V do +6V

Za prijemnik su definirani naponski signali:

- Logička „1“: -0.2V do -6V
- Logička „0“: +0.2V do +6V

U usporedbi sa EIA-232 ukupna promjena napona je smanjena 4 puta, od 50V na 12V. Smanjenjem raspona promjene napona smanjen je i utjecaj kapaciteta kabela na prijenosnu karakteristiku signala čime su omogućene veće brzine prijenosa. Kao i kod EIA-232 sučelja komunikacijska linija je nesimetrična i zahtjeva 3 vodiča za ostvarenje dvosmjernog prijenosa, sl. 6.12. EIA-423 standard ne specificira mehaničke veze niti definira funkcije priključaka. Za povezivanje uređaja koriste se konektori DB-37 ili DB-25 sa priključcima specificiranim kao u EIA-232. EIA-423 sučelje primjenjuje se najčešće u tehnologiji integriranih krugova.



Slika 6.12. EIA-423 nesimetrična linija

6.4. EIA/TIA-422

EIA-422 standard predstavlja poboljšanje EIA-423 standarda. Standard koristi simetrično ili diferencijalno komunikacijsko sučelje za prijenos podataka što omogućuje još veće brzine prijenosa te bolju otpornost na smetnje. Prednosti EIA-422 sučelja su:

- komunikacija između uređaja je moguća na udaljenostima do 1200 m sa brzinom do 100 kbit/s (kao i EIA-423),
- za udaljenosti do 15 m moguće su brzine prijenosa do 10 Mbit/s,

- na liniji se može koristiti samo jedan predajnik,
- na predajnik je moguće spojiti do 10 prijemnika.

Naponske razine signala su za predajnik:

- Logička „1“: -2V do -6V
- Logička „0“: +2V do +6V

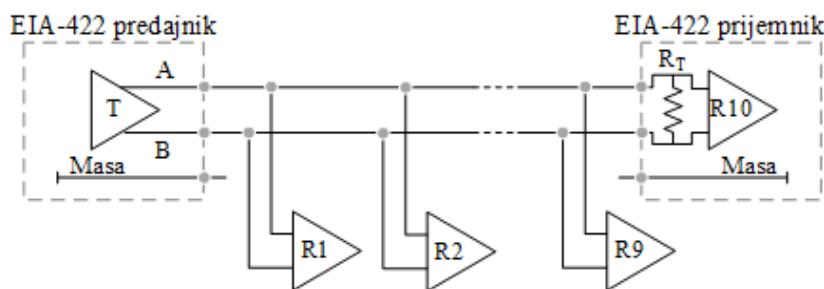
Za prijemnik:

- Logička „1“: -0.2V do -6V
- Logička „0“: +0.2V do +6V

Maksimalni dozvoljeni napon svakog vodiča u odnosu na zajednički vodič (masu) je +/- 7V. Svaki signal se prenosi na jednom paru vodiča i predstavlja razliku napona između njih. Najčešće se na liniji koristi diferencijalni napon od +/- 5V koji je uobičajen u današnjim računalima. Dva signalna stanja na liniji su definirana tako da:

- kada je 'A' vodič negativan u odnosu na vodič 'B' linija je u logičkom stanju „1“.
- kada je 'A' vodič pozitivan u odnosu na vodič 'B' linija je u logičkom stanju „0“.

Prikaz EIA-422 komunikacijske linije je ilustriran na sl. 6.13. Simetrična linija je obično zaključena na kraju sa otpornikom koji je jednak karakterističnoj impedanciji linije kako bi se smanjio utjecaj refleksije signala na njegov prijenos. Naime zbog refleksije signala dolazi do izobličenja signala pri prijenosu što dovodi do pogreške u detekciji signala na prijemniku. Tipična vrijednost karakteristične impedancije linije je oko 120Ω za kabel sa upletonom paricom.



Slika 6.13. EIA-422 simetrična linija

EIA-422 standard također ne specificira mehaničke veze ni funkcionalno značenje priključaka. Uobičajena je praksa koristiti raspored priključaka standarda EIA-449 za DB-37 konektor. Upotreba EIA-422 je smanjena u praksi uvođenjem standarda EIA-485 tako da se danas najčešće koristi kao pretvarač EIA-232 sučelja sa nesimetrične na simetričnu liniju čime se poboljšava otpornost na smetnje i povećava udaljenost komunikacije.

6.5. EIA/TIA-485

EIA-485 standard omogućuje kao i EIA-422 iste udaljenosti i prijenosne brzine uz mogućnost spajanja većeg broja predajnika i prijemnika na liniju. Uređaji se na liniju spajaju u tzv. *multidrop* ili paralelnoj konfiguraciji. Osnovne karakteristike EIA-485 sučelja su:

- komunikacija između uređaja moguća je na udaljenostima do 1200 m sa brzinom do 100 kbit/s,
- za udaljenosti do 15 m moguće su brzine prijenosa do 10 Mbit/s,
- na liniju je moguće istovremeno spojiti do 32 uređaja (predajnika ili prijemnika). Za spajanje većeg broja uređaja od 32 moraju se koristiti obnavljači.

Vodiči na simetričnoj liniji se često u specifikaciji proizvođača označavaju sa A(-) i B(+). Napon svakog vodiča u odnosu na referentni zajednički vodič (masu) ne smije biti veći od -7V do +12V kako ne bi došlo do pregaranja ulaznog kruga prijemnika. Obrnuta polarizacija kod spajanja vodiča neće uzrokovati oštećenja uređaja ali komunikacija neće raditi. Logička stanja signala na liniji određena su razlikom napona između vodiča. Za predajnik su definirani:

- Logička „1“: ako razlika napona A vodiča u odnosu na B vodič iznosi -1.5V do -6V.
- Logička „0“: ako razlika napona A vodiča u odnosu na B vodič iznosi +1.5V do +6V.

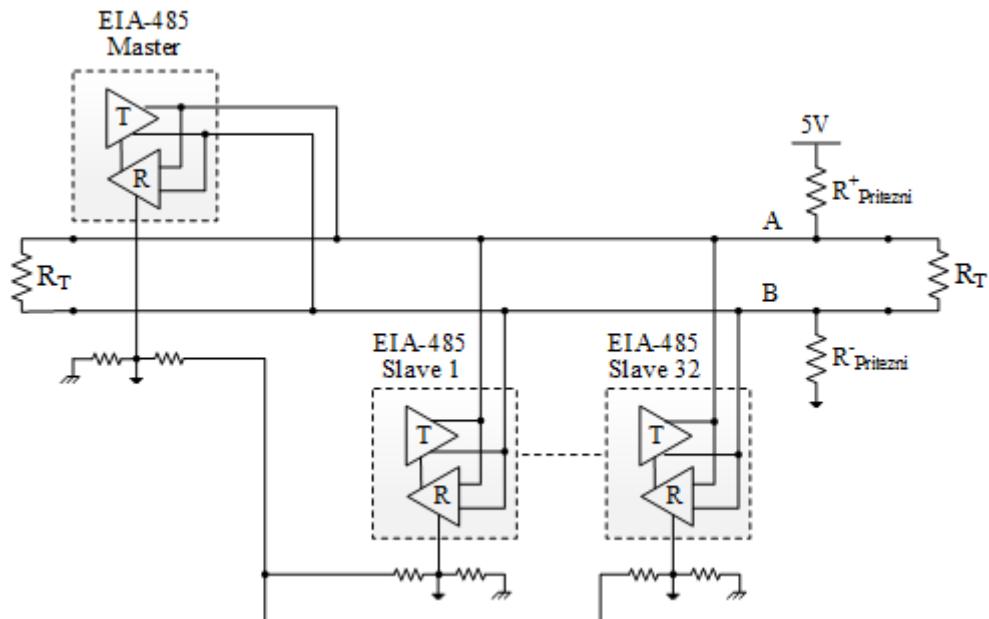
Za prijemnik:

- Logička „1“: ako razlika napona A vodiča u odnosu na B vodič iznosi -0.2V do -6V.
- Logička „0“: ako razlika napona A vodiča u odnosu na B vodič iznosi +0.2V do +6V.

U praksi je uobičajena primjena diferencijalnog napona na liniji od +/- 5V zbog njegove primjene u računalima. Jedno od najvažnijih poboljšanja standarda je da predajnici mogu pored dva osnova stanja '0' i '1' zauzeti i stanje visoke impedancije (*engl. tristate*) kada ne šalju podatke. U stanju visoke impedancije predajnik predstavlja zanemarivo opterećenje tako da prema liniji izgleda kao da ga nema. Ovime je omogućeno da na liniji može biti spojeno istovremeno 32 prijemnika ili predajnika ali samo jedan predajnik može biti aktivan u svakom trenutku. Ovakav način komunikacije se naziva *master-slave*. Nadređeni uređaj (*engl. master*) šalje upite prema svim ostalim uređajima (*engl. slaves*) koji mogu samo primati ili odgovarati na poruke nadređenog. Podređeni uređaji ne mogu komunicirati između sebe niti slati upite. Pozicija nadređenog uređaja može biti bilo gdje u mreži. Svaki uređaj mora imati jedinstvenu adresu. Adresa nije uvjetovana fizičkom lokacijom uređaja.

Mreža u EIA-485 standardu može biti konfiguirana kao 2-žična (sl. 6.14.) ili 4-žična (sl. 6.15.). Kod obje konfiguracije se koristi poludupleksna komunikacija, samo je kod 4-žične konfiguracije ostvarena dvosmjerna komunikacija ali na odvojenim linijama. Jedan par vodiča se koristi za slanje upita nadređenog uređaja, a drugi par vodiča za prijem odgovora sa

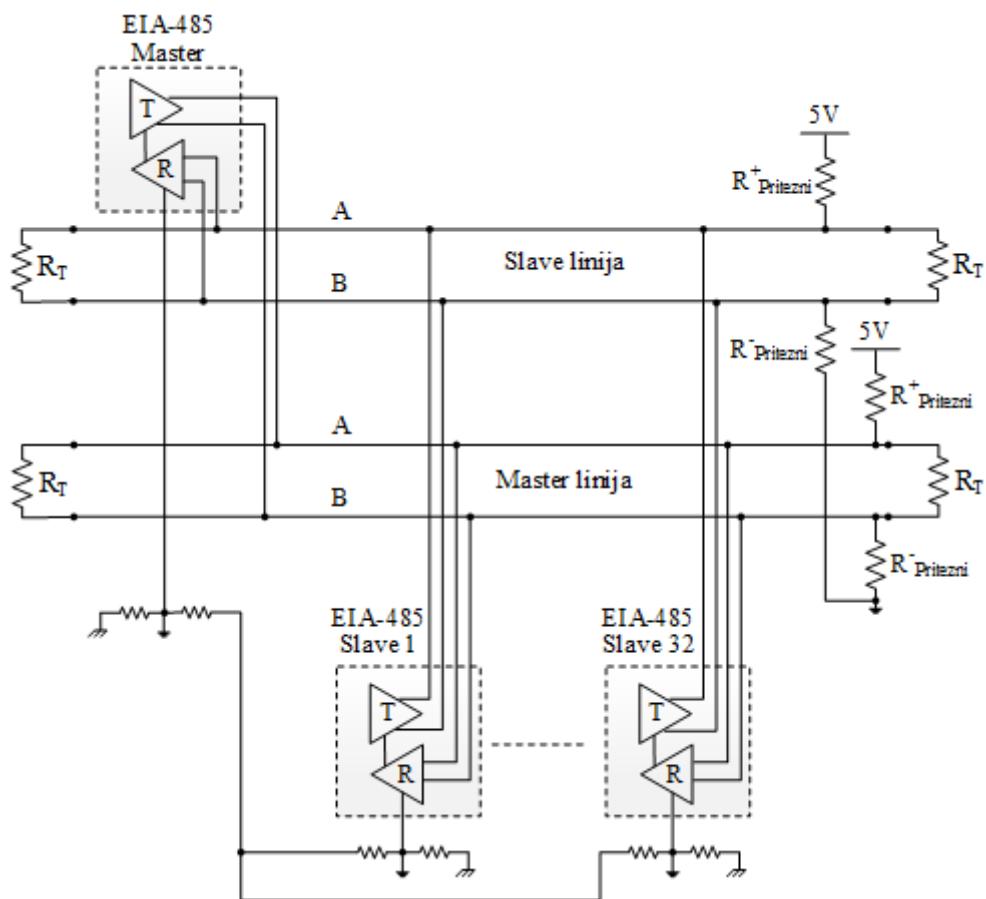
podređenih uređaja. Iako postoje dvije linije na svakoj liniji je dozvoljeno samo jednom uređaju slanje podataka u istom trenutku.



Slika 6.14. EIA-485 2-žična konfiguracija

Uloga otpornika od $100 \Omega \frac{1}{2} W$ koji su spojeni između zaštitne mase signala i uzemljenja je da ograniče vrijednost struje u slučaju nastanka veće razlike potencijala između točaka uzemljenja. EIA-485 linija je zaključena na oba kraja otpornicima kako bi se sprječila refleksija signala. Vrijednost zaključnog otpornika na svakom kraju treba biti jednaka karakterističnoj impedanciji kabela. Ovo je tipično 120Ω za kabel sa upletenom paricom.

Činjenica da li linija treba biti zaključena ili ne zavisi od duljine kabela i brzine prijenosa signala. Zaključivanje linije je neophodno za duge linije i velike brzine prijenosa, dok za manje brzine i kraće linije nije potrebno. Kao pravilo se obično uzima da zaključenje linije nije potrebno ako je propagacijsko kašnjenje linije puno manje od vremena trajanja bita. Ovo se zasniva na pretpostavci da će se signal refleksije značajno smanjiti nakon što prođe linijom nekoliko puta. Budući UART prijemnik uzorkuje podatke u sredini bita važno je da razina signala u tom trenutku bude stabilna.



Slika 6.15. EIA-485 4-žična konfiguracija

Na primjeru kalkulacije koji slijedi može se vidjeti kako zaključivanje linije nije potrebno za sporije brzine, npr. 9600 bit/s. Propagacijsko kašnjenje možemo izračunati po formuli:

$$\text{Propagacijsko kašnjenje} = \text{duljina kabela} \times \text{propagacijska brzina kabela} \quad (6.1)$$

Propagacijska brzina kabela je specificirana od proizvođača i iznosi obično od 66% do 75% brzine svjetlosti.

Za liniju dugu 600 m, brzinu od 9600 bit/s i propagacijsku brzinu kabela $0.66 \cdot c$ dobijemo:

- ukupna duljina puta signala da kraja linije i nazad je 1200 m
- c (brzina svjetlosti) = 299 792 458 m/s ~ 300 000 000 m/s
- propagacijska brzina kabela = $0.66 \cdot c = 198 000 000$ m/s
- vrijeme propagacije = $1200 \text{ m} / 198 000 000 \text{ m/s} = 6.06 \mu\text{s}$

Ako prepostavimo da će utjecaj refleksije signala nestati nakon tri obilaska linije to znači da će se signal stabilizirati $18.2 \mu\text{s}$ nakon početka uspona brida bita. Budući na brzini 9600 bit/s

širina bita iznosi $104 \mu s$, s obzirom da se uzorkovanje vrši u sredini bita (nakon $52 \mu s$) zaključenje linije nije potrebno jer se signal stabilizira znatno prije.

6.5.1. Predpolarizacija EIA-485 linije

Za vrijeme normalnog rada postoje periodi kada na EIA-485 mreži nema komunikacijske aktivnosti (*engl. idle*). Svi uređaji se tada nalaze u prijemnom modu dok su izlazi predajnika u stanju visoke impedancije. Ukoliko je diferencijalni signal na liniji manji od $+/- 200 \text{ mV}$ prijemnik uređaja ga neće biti u mogućnosti ispravno interpretirati. U ovim uvjetima linije su također podložne smetnjama koje se mogu interpretirati kao slučajni znakovi na komunikacijskoj liniji.

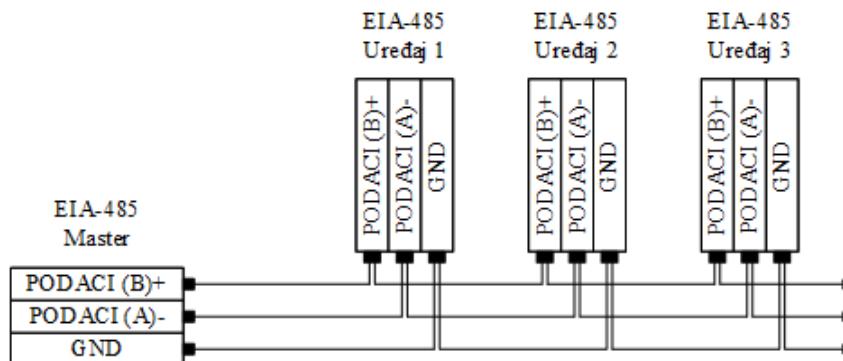
Da bi se osiguralo da u uvjetima neaktivnosti linija uvijek ima definiranu naponsku razinu na nju se spajaju predpolarizacijski (*engl. Bias*) otpornici R^+_{Pritezni} i R^-_{Pritezni} , sl. 6.14. i 6.15. Ovi otpornici zajedno sa zaključnim otpornicima R_T tvore naponsko dijelilo koje osigurava da napon između vodiča A i B bude minimalno $+/- 200 \text{ mV}$. Vrijednosti predpolarizacijskih otpornika ovise o vrijednostima zaključnih otpornika i broju uređaja na mreži.

Ako uzmemo primjer zaključnih otpornika od 120Ω uz predpolarizacijski napon od $+5V$ koji se najčešće koristi pritezni otpornici bi trebali biti reda 673Ω za slučaj 15 priključenih uređaja. Ovo slijedi na osnovu slijedećeg izračuna:

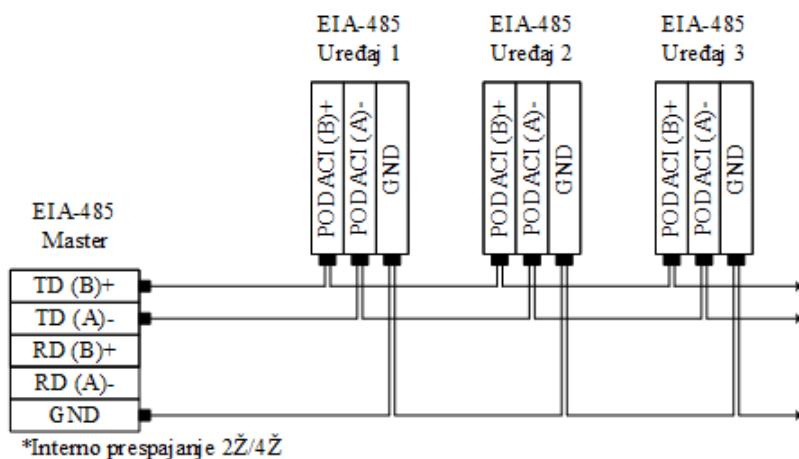
- Ulazna impedancija svakog EIA-485 uređaja jednaka je $12 \text{ k}\Omega$. Za 15 uređaja spojenih u paralelu to nam daje ukupnu impedanciju od 800Ω .
- Dva zaključna otpornika od 120Ω zajedno sa ukupnom impedancijom svih uređaja predstavlja opterećenje linije od 56Ω .
- Da bi osigurali napon linije od 200 mV struja opterećenja mora iznositi $200 \text{ mV} / 56 \Omega = 3.57 \text{ mA}$.
- Uz napon predpolarizacije od $+5V$ ukupni otpor treba iznositi $5 \text{ V} / 3.57 \text{ mA} = 1401 \Omega$.
- Budući je u iznosu ukupnog otpora uključeno već izračunato opterećenje linije vrijednost svakog priteznog otpornika će biti jednaka polovici vrijednosti koju dobijemo nakon što od ukupne vrijednosti otpora odbijemo opterećenje linije: $(1401 \Omega - 56 \Omega) / 2 = 673 \Omega$.

6.5.2. Konfiguracije 2-žičnih i 4-žičnih mreža

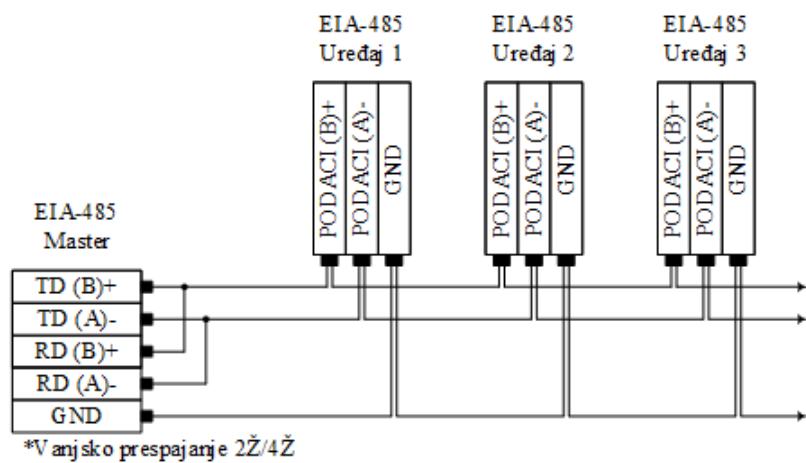
EIA-485 uređaji mogu biti interno ili izvana konfiguirani na 2-žičnu konfiguraciju mreže. Kod interne konfiguracije uređaj ima samo izvode A(-) ili B(+) za vodiče. Za 4-žične konfiguracije uređaji imaju posebne izvode za prijemnu i predajnu liniju koje korisnik može prespojiti i na taj način kreirati 2-žičnu konfiguraciju. Kod označavanje priključaka koriste se ponekad umjesto oznaka A i B oznake RD i TD, Rx i Tx, TxRx+ i TxRx- ili Dx+ i Dx-. Za EIA-485 sučelje nije standardiziran konektor niti priključci tako da se koriste različite verzije konektora. Primjer 2-žičnih i 4-žičnih konfiguracija je prikazan na slikama 6.16. do 6.20.



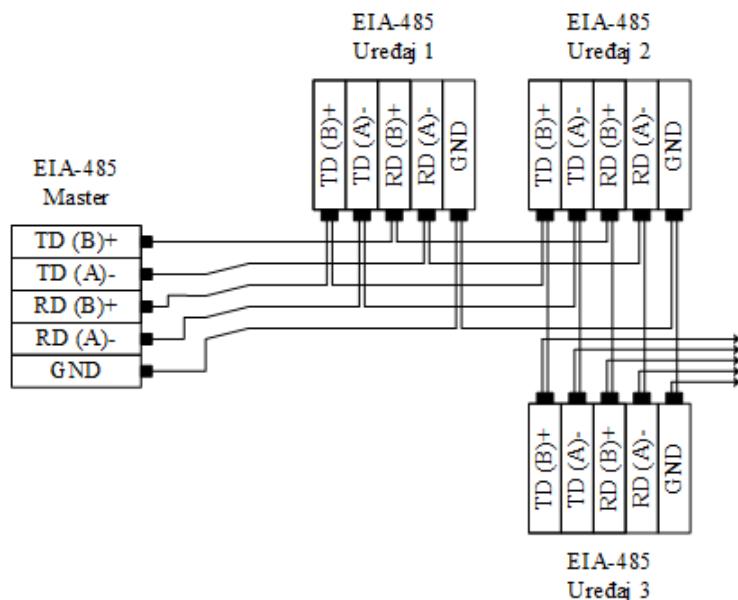
Slika 6.16. EIA-485 2-žična konfiguracija sa 2-žičnim uređajima



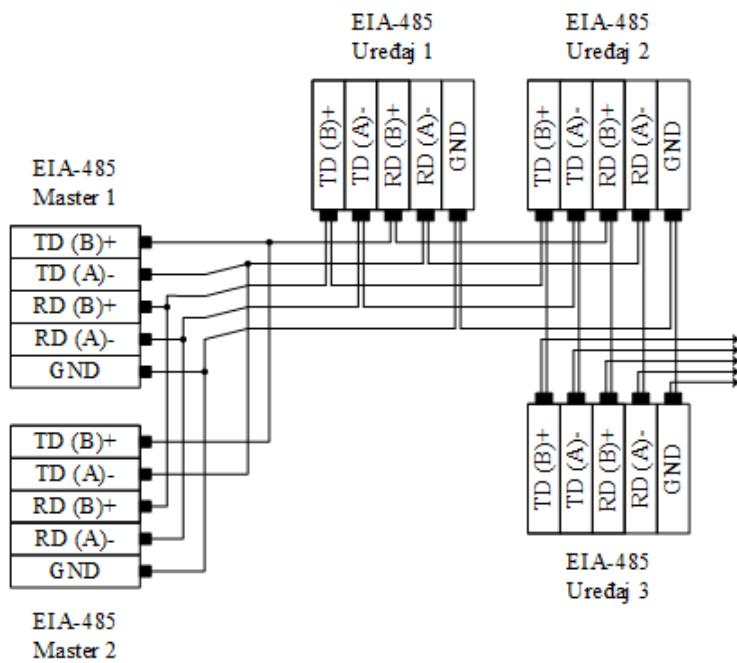
Slika 6.17. EIA-485 2-žična konfiguracija sa 4-žičnim master uređajem (interno prespajanje)



Slika 6.18. EIA-485 2-žična konfiguracija sa 4-žičnim master uređajem (vanjsko prespajanje)



Slika 6.19. EIA-485 4-žična konfiguracija sa jednim master uređajem

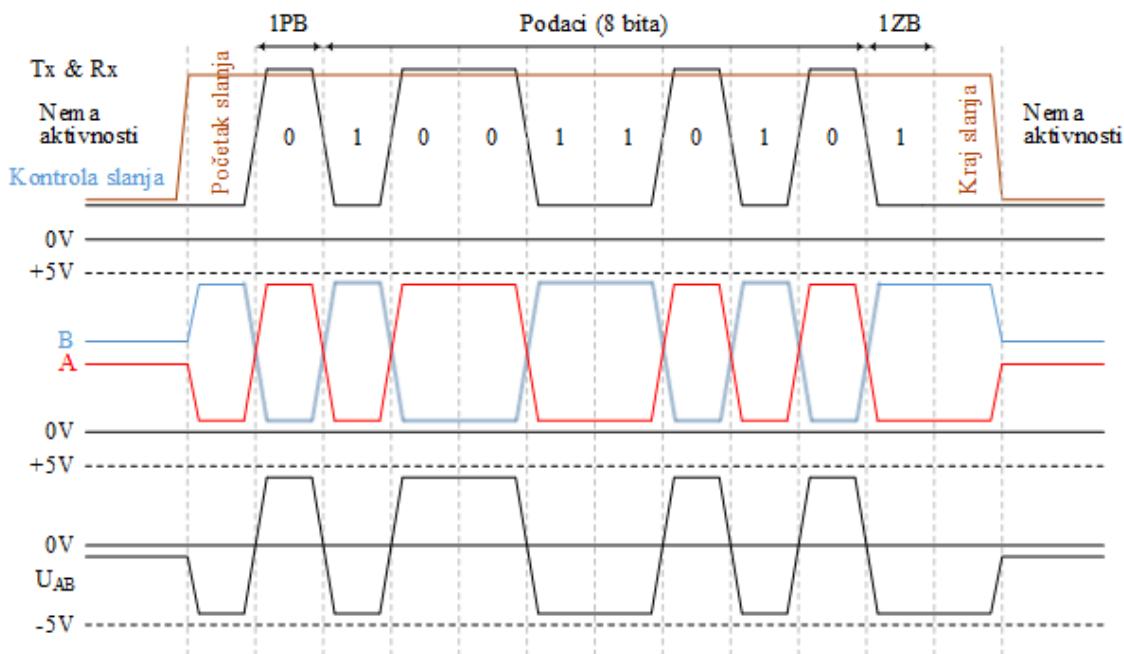


Slika 6.20. EIA-485 4-žična konfiguracija sa više master uređaja

6.5.3. Komunikacija u EIA-485 mreži

Na slici 6.21. prikazan je primjer asinkrone komunikacije na EIA-485 liniji. Diferencijalni signal definiran je kao razlika potencijala između vodiča A(-) i B(+). Logička „1“ jednaka je diferencijalnom signalu od približno -5V ($A < B$), a logička „0“ diferencijalnom signalu od približno +5V ($A > B$). Vrijednost napona na vodičima A i B je definirana u odnosu prema 0V referentnog vodiča.

Podaci se šalju kao asinkrona sekvenca sastavljena od početnog, završnog i 8 podatkovnih bita. Prije i nakon prijenosa podataka se može vidjeti da je linija u stanju neaktivnosti koje je definirano pomoću predpolarizacijskih otpornika na -200 mV. Kod uređaja nekih proizvođača predajnik prije početka slanja podataka šalje signal da je spreman za prijenos tako da liniju postavi u logičko stanje „1“ ($A < B$). Ostali uređaji na liniji znaju po tome da slijedi slanje podataka pa se postavljaju u prijemni način rada. Kraj prijenosa podataka označen je završnim bitom nakon čega slijedi određeni vremenski interval u kojem predajnik još uvijek drži kontrolu nad mrežnom linijom slanjem logičke „1“. Razlog zadržavanja kontrole je da bi se spriječilo ostale uređaje da započnu slanje kako ne bi došlo do kolizije podataka dok sekvenca bita još uvijek putuje do udaljenih dijelova mreže. Nakon određenog vremena signal kontrole prijenosa (*engl. transmit enable*) je deaktiviran, a linija prelazi u neaktivno stanje.



Slika 6.21. EIA-485 komunikacija

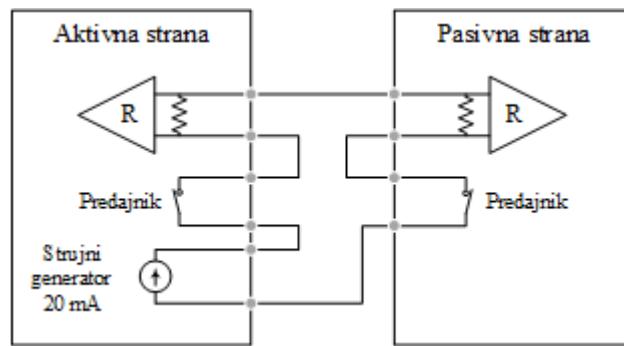
6.6. Strujna petlja

Kao poseban oblik serijskih sučelja vrlo često se u industriji koriste digitalna (20 mA) i analogna (4-20 mA) strujna petlja posebno za povezivanje mjerne instrumentacije i senzora. Digitalna i analogna strujna petlja nisu specificirane određenim standardom niti protokolom tako da kod njihove primjene korisnik za svaku vezu treba poznavati tehničke detalje sučelja uređaja kojeg koristi.

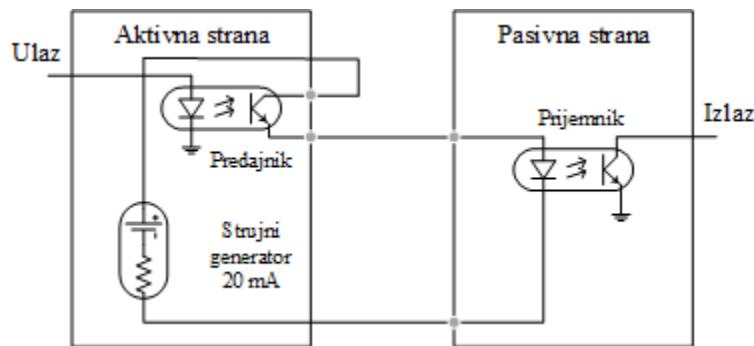
6.6.1. Strujna petlja 20 mA

Prijenos podataka kod strujne petlje od 20 mA je ostvaren prekidanjem strujnog kruga tako da odsutnost struje u petlji predstavlja pauzu ili logičko stanje „0“, a prisutnost struje impuls ili logičko stanje „1“. Prijenos podataka može biti jednosmjeran ili dvosmjeran ovisno o tome da li postoji jedan ili dva strujna generatora. Strujna petlja omogućuje brzinu prijenosa podataka od 19.2 k bauda za udaljenosti do 600 m, a za brzine od 300 bauda i do nekoliko kilometara. Na slikama 6.22. do 6.24. prikazane su izvedbe strujne petlje u jednosmjernom i dvosmjernom prijenosu.

Strujna petlja sastoji se od aktivne jedinice koja sadrži strujni generator i pasivne jedinice koja predstavlja prijemnik signala. U simpleks prijenosu može se u strujnoj petlji naći više predajnika i prijemnika povezanih u seriju. U tom slučaju slanje podataka u svakom trenutku može vršiti samo jedan predajnik dok prijem signala mogu ostvariti svi prijemnici, sl. 6.22.

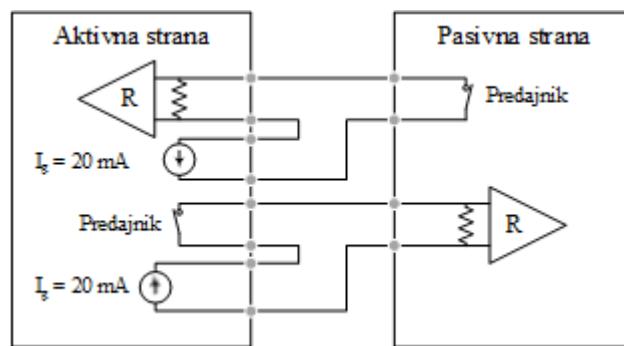


Slika 6.22. Strujna petlja 20 mA simpleks



Slika 6.23. Strujna petlja 20 mA izvedba sa opto-izolatorom

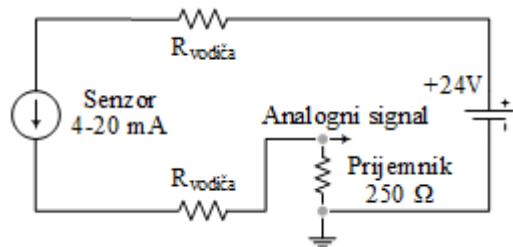
Kod dvosmjernog prijenosa podataka u isto vrijeme moraju postajati dva strujna generatora na jednoj ili na obje strani i dva prijemnika.



Slika 6.24. Strujna petlja 20 mA – dupleks

6.6.2. Analogna strujna petlja 4-20 mA

Uloga analogne strujne petlje je prijenos signala od analognog senzora pomoću struje. Dvožilni kabel u ovom slučaju se vrlo često koristi za slanje analognog signala i za napajanje senzora. Obično se za napajanje koristi napon 12-24 V. Senzor regulira struju u odnosu na vrijednost koju mjeri. Serijski otpornik na strani izvora napajanja pretvara struju u napon koji se koristi za transformaciju struje u mjerenu veličinu u skladu sa mjernim opsegom. Uz dani otpornik od $250\ \Omega$ na sl. 6.25. napon od 1V će odgovarati struci od 4 mA, a napon od 5V strui petlje od 20 mA.



Slika 6.25. Analogna strujna petlja 4-20 mA

U većini slučajeva 4 mA predstavlja 0%, a vrijednost od 20 mA 100% mjerene veličine. Ponekad se koristi i obratna logika. Struja 0 mA se koristi kao alarm prekida linije.

Izbor strujne petlje umjesto prijenosa naponskog signala ima svoje prednosti. Ukoliko se ne koriste uređaji sa visokom ulaznom impedancijom prijenos napona na veće udaljenosti dovodi do njegovog smanjenja duž linije zbog padova napona uzrokovanim otporima na liniji. Pored toga instrumenti sa visokom impedancijom su osjetljivi na smetnje budući se signalni kabeli obično nalaze u blizini električnih instalacija. Smanjenje smetnji se može ostvariti korištenjem oklopljenih kabela ali oni poskupljuju instalaciju.

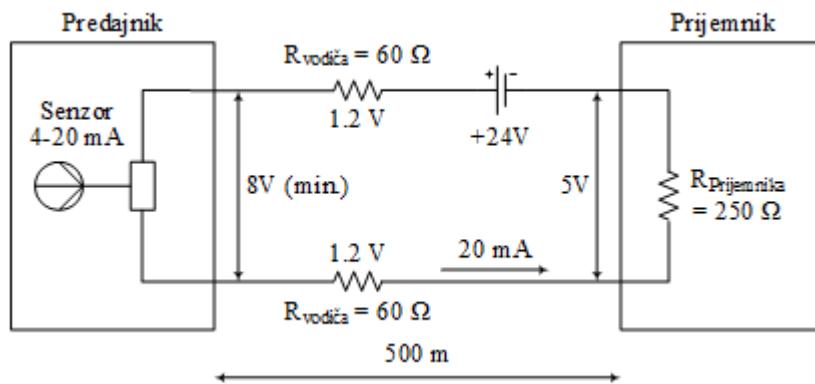
S druge strane strujna petlja također ima padove napona proporcionalne otporima linije ali ovi padovi napona ne utječu na smanjenje struje 4-20 mA sve dok izvor napajanja to može kompenzirati. U tehničkim podacima senzora najčešće su specificirani maksimalni otpor petlje kod kojeg se može još uvijek postići puni opseg signala (20 mA), te minimalni radni napon.

Na slici 6.26. je prikazan jednostavan primjer utjecaja komponenti unutar strujne petlje. Ako pretpostavimo da otpor vodiča kabela duljine 500 m iznosi $60\ \Omega$, pad napona kabela u oba smjera za maksimalnu struju od 20 mA će iznositi:

$$U = 0.020\text{ A} \times 120\ \Omega = 2.4\text{ V}$$

Uzmemimo li u obzir da se za procesiranje signala koristi pad naponu od 5V, te da je za ispravan rad senzora potrebno minimalno 8V slijedi da napajanje mora osigurati minimalni napon od 15.4V za ispravno funkcioniranje strujne petlje.

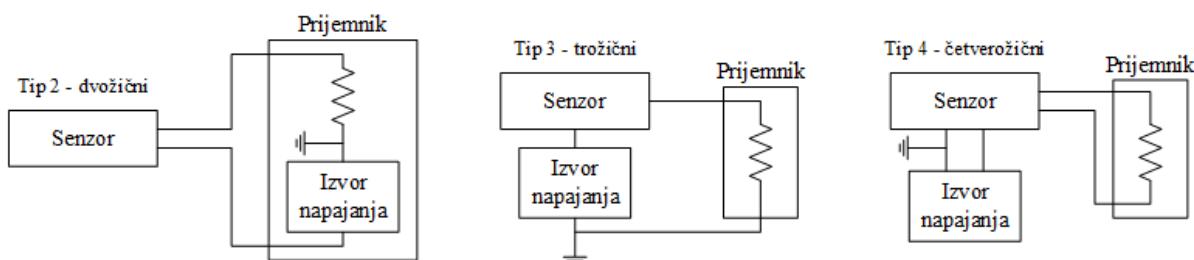
$$U_{\text{izvora}} = 2.4 + 5 + 8 = 15.4 \text{ V}$$



Slika 6.26. Utjecaj otpora linije kod analogne strujne petlje 4-20 mA

ANSI/ISA standardom S50.1 specificirana su tri načina spajanja analogne strujne petlje, sl. 6.27. Brojčana oznaka tipa odnosi se na broj žica neophodnih za spajanje senzora (predajnika).

- Tip 2 je dvožični spoj senzora koji ujedno služi i kao linija za napajanje. Izvor napajanja se nalazi na strani prijemnika.
- Tip 3 je trožična veza. Vanjsko napajanje se nalazi na strani senzora uz zajednički vodič (masu) između senzora i prijemnika.
- Tip 4 je četverožična veza u kojoj je senzor napajan od vanjskog izvora na strani senzora. Izvor može biti izmjenični i istosmjerni. Senzor predstavlja izvor za strujnu petlju spojenu na prijemnu stranu.



Slika 6.27. Tipovi spajanja (konfiguracije) analogne strujne petlje 4-20 mA

Moderna varijanta analogne strujne petlje koja je raširena u inteligentnim uređajima je HART.

Literatura

- [1] Mackay. S., Wright. E., Reynders. D., Park. J. (2004.) *Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting*, Great Britain: Elsevier, Newnes.
- [2] Mackay. S., Wright. E., Reynders. D. (2005.) *Practical Industrial Data Communications: Best Practice Techniques*, Great Britain: Elsevier, Newnes.
- [3] Dallas Semiconductor: *Application Note 83, Fundamentals of RS-232 Serial Communications*.
- [4] Radio-Electronics.com:http://www.radio-electronics.com/info/telecommunications_networks/
- [5] Kugelstadt T. (2008) *Application Report SLLA272B, The RS-485 Design Guide*, USA: Dallas, Texas Instruments.
- [6] Texas Instruments. (2002) *Interface Circuits for TIA/EIA -232-F, Design Notes SLLA037A*, USA: Dallas, Texas Instruments.
- [7] B&B Electronics Mfg Co. Inc. (2006) *RS-422 and RS-485 Application Note – Revised 2506*, USA: Ottawa, Illinois.
- [8] Boston Technology Pty Ltd. (2003) *Physical Serial Communication Standards*, Australia.
- [9] B&B Electronics Mfg Co. Inc. (2006) *RS-422 and RS-485 Application Note – Revised 2506*, USA: Ottawa, Illinois.
- [10] B&B Electronics Mfg Co. Inc. (1995) *Current Loop Application Note 1495*, USA: Ottawa, Illinois.
- [11] Dataforth Corp. *4 – 20 mA Transmitters, Application Note 104*, USA: Tuscon, Arizona, <http://www.dataforth.com/>
- [12] DATEL Inc. *4 – 20 mA Current Loop Primer, DMS Application Note 20*, USA: Mansfield, Massachuttets, <http://www.datel.com/>
- [13] BAPI – Building Automation Products Inc. (2006) *Understanding 4 – 20 mA Current Loops, Application Note Rev. 10/05/06*, USA: Gays Mills, <http://www.bapihvac.com/>

7. IEEE-488 (GPIB)

IEEE-488 ili GPIB sučelje koristi se za komunikaciju između upravljačkog uređaja (najčešće PC-a) i instrumentacijskih uređaja kao što su npr. brojači, voltmetri, generatori funkcija, osciloskopi, sistemi za prikupljanje podataka (*engl. Data Acquisition Systems*) i slično.

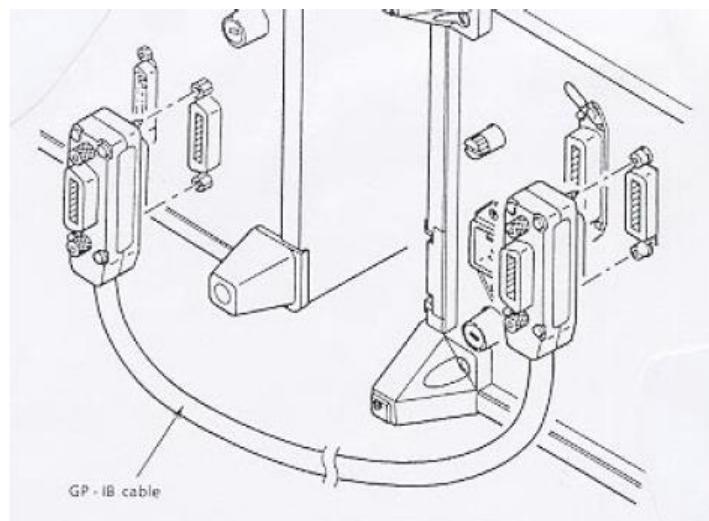
GPIB standard je razvio Hewlett-Packard krajem 1960-ih pod nazivom HP-IB (*engl. Hewlett-Packard Interface Bus*). Standard je prihvaćen i od drugih proizvođača ali ne i ime tako da je u SAD-u uveden novi naziv GPIB (*engl. General Purpose Interface Bus*). Godine 1975. GPIB je objavljen kao IEEE-488 standard pod nazivom *IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation*, a sadržavao je električke, mehaničke i funkcionalne specifikacije sučelja. IEEE-488 je nadograđen 1978. više kao pojašnjenje s dopunama, a 1980. je izdan kao međunarodni standard IEC-625-1 koji je i uobičajen naziv za GPIB u Europi.

Budući da originalni IEEE-488 dokument nije sadržavao smjernice o sintaksi i formatu podataka koji se razmjenjuju, da bi se poboljšala kompatibilnost i konfigurabilnost između instrumentacijskih uređaja različitih proizvođača 1987. god. izdan je dodatak standarda IEEE-488.2. Standard je izdan pod nazivom *Codes, Formats, Protocols, and Common Commands*, i koristi se zajedno sa IEEE-488 koji je preimenovan u IEEE-488.1. IEEE-488.2 definira minimalne uvjete za uređaje koji podržavaju ovo sučelje, opći skup kodova i formate podataka, protokole, skup opće potrebnih naredbi za uređaje i novi model izvješćivanja o statusu.

God. 1990. IEEE-488.2 specifikacija je dopunjena sa SCPI (*engl. Standard Commands for Programmable Instrumentation*) dokumentom. SCPI definira posebne naredbe koje svaka klasa instrumenata (obično uključuju instrumente različitih proizvođača) mora podržavati. SCPI jamči potpunu kompatibilnost sistema između ovih instrumenata. Nije potrebno više učiti naredbe različitih proizvođača već je u SCPI sistemu dovoljno zamijeniti instrument jednog proizvođača sa instrumentom drugog.

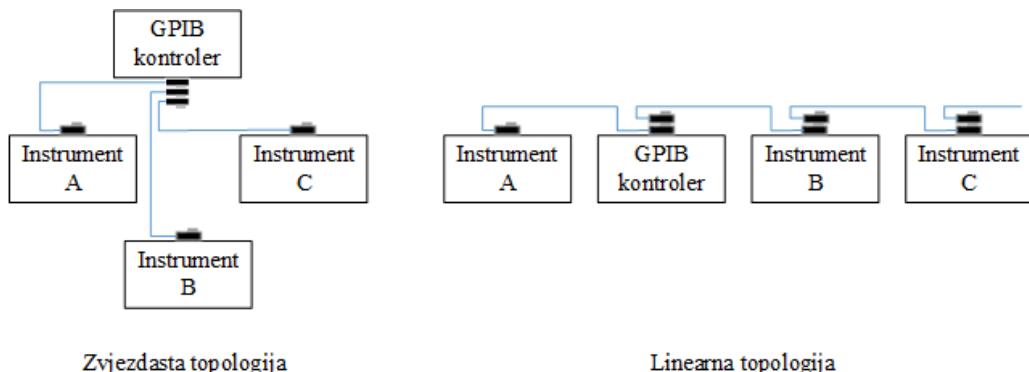
GPIB sučelje omogućuje istovremeno spajanje 15 uređaja ili instrumenata na zajedničku paralelnu komunikacijsku sabirnicu. Na ovaj način omogućeno je upravljanje instrumentima i prijenos podataka sa njih na upravljački uređaj, pisač ili uređaj za crtanje (*engl. plotter*). On definira metodu prijenosa podataka, adresiranje uređaja, naredbe i fizičke detalje sučelja.

7.1. Topologija GPIB mreže



Slika 7.1. Povezivanje uređaja u GPIB topologiji

Uređaji na GPIB sabirnicu mogu biti povezani na tri načina; u zvjezdastoj topologiji, linearnoj topologiji (*engl. daisy chain*) ili kombinaciji ove dvije topologije, sl. 7.2.



Slika 7.2. Topologije GPIB mreže

U zvjezdastoj topologiji svaki instrument je spojen direktno na isti priključak (*engl. port*) upravljačkog uređaja ili kontrolera posebnim GPIB kabelom kao što je prikazano na sl. 7.2. Nedostatak ove topologije je da svi uređaji moraju biti u neposrednoj blizini zbog ograničenja duljine svakog kabela.

U linearnoj topologiji svaki je uređaj, uključujući i upravljački, spojen na slijedeći u nizu, pri čemu pozicija upravljačkog uređaja može biti proizvoljna.

Neovisno o odabiru topologije kod spajanja moraju biti zadovoljeni slijedeći uvjeti:

- na sabirnicu može biti spojeno najviše 15 uređaja, uključujući kontroler.
- od ukupnog broja spojenih uređaja barem 2/3 mora biti uključeno.
- ukupna dužina svih kabela ne smije biti veća od 20 m.
- prosječna dužina kabela između bilo koja dva uređaja ne smije biti veća od 2 m po cijeloj dužini sabirnice, ali pojedinačno dužina kabela između dva uređaja može biti najviše 4 m.
- tipična brzina prijenosa podataka je od 250 do 500 KB/s ovisno o tipu priključenih uređaja.
- za maksimalnu brzinu prijenosa podataka, 1 MB/s, ukupna dužina kabela ne bi smjela biti veća od 15 m uz prosječnu duljinu kabela do 1 m između uređaja.

7.2. Fizički sloj

IEEE-488 standard specificira za povezivanje uređaja 24-polni konektor sa rasporedom priključaka kao na sl. 7.3.

PIN#	SIGNAL	OPIS SIGNALA	PIN#	SIGNAL	OPIS SIGNALA
01	DIO 1	I/O Bit 1 Podataka	13	DIO 5	I/O Bit 5 Podataka
02	DIO 2	I/O Bit 2 Podataka	14	DIO 6	I/O Bit 6 Podataka
03	DIO 3	I/O Bit 3 Podataka	15	DIO 7	I/O Bit 7 Podataka
04	DIO 4	I/O Bit 4 Podataka	16	DIO 8	I/O Bit 8 Podataka
05	EOI	End Or Identify	17	REN	Remote Enable
06	DAV	Data Valid	18	GND	GND DAV
07	NRFD	Not Ready For Data	19	GND	GND NRFD
08	NDAC	Not Data Accepted	20	GND	GND NDAC
09	IFC	Interface Clear	21	GND	GND IFC
10	SRQ	Service Request	22	GND	GND SRQ
11	ATN	Attention	23	GND	GND ATN
12	Shield	Uzemljenje kučista	24	Sig. GND	GND Signala

Slika 7.3. Raspored priključaka 24-polnog IEEE-488 konektora

Za spajanje se koriste muški i ženski konektori u izvedbi kao na sl. 7.4. Konektori se mogu spajati jedan na drugi. Na ovaj način uređaji se mogu vrlo jednostavno spojiti ili odspojiti sa sabirnicom. U praksi se preporuča da najviše tri konекторa budu spojena jedan na drugi kako ne bi došlo do prekomjernog mehaničkog naprezanja priključka.



Slika 7.4. Prikaz IEEE-488 konektora u muškoj i ženskoj izvedbi

IEEE-488 24-žilni kabel sastoji se od 8 podatkovnih linija i 8 pari kontrolnih i upravljačkih linija. Svaka kontrolna i upravljačka linija ima zasebni povratni vodič kako bi se smanjio utjecaj smetnji. Linije podataka služe za paralelni prijenos podataka ili naredbi duž sabirnice, bajt po bajt. Kontrolne i upravljačke linije se koriste za sinkronizaciju protoka podataka.

7.3. Vrste GPIB uređaja

GPIB uređaje možemo podijeliti u 4 osnovne grupe:

- *Talkers* (Predajnici)
- *Listeners* (Prijemnici)
- *Talkers/Listeners* (Primo-predajnici)
- *Controllers* (Kontroleri – Upravljački uređaji)

Talker je komunikacijski uređaj koji može samo slati podatke na sabirnicu kada je adresiran. Da bi poslao podatke *Talker* mora dobiti dozvolu od kontrolera. Primjer takvih uređaja su digitalni voltmetri (DVMs), brojači, A/D konverteri i slično..

Listener je komunikacijski uređaj koji može samo primati podatke kada je adresiran. Dozvolu prijema podataka mu uvijek signalizira kontroler. U ovu grupu spadaju pisači, *plotteri*, snimači, indikatori itd.

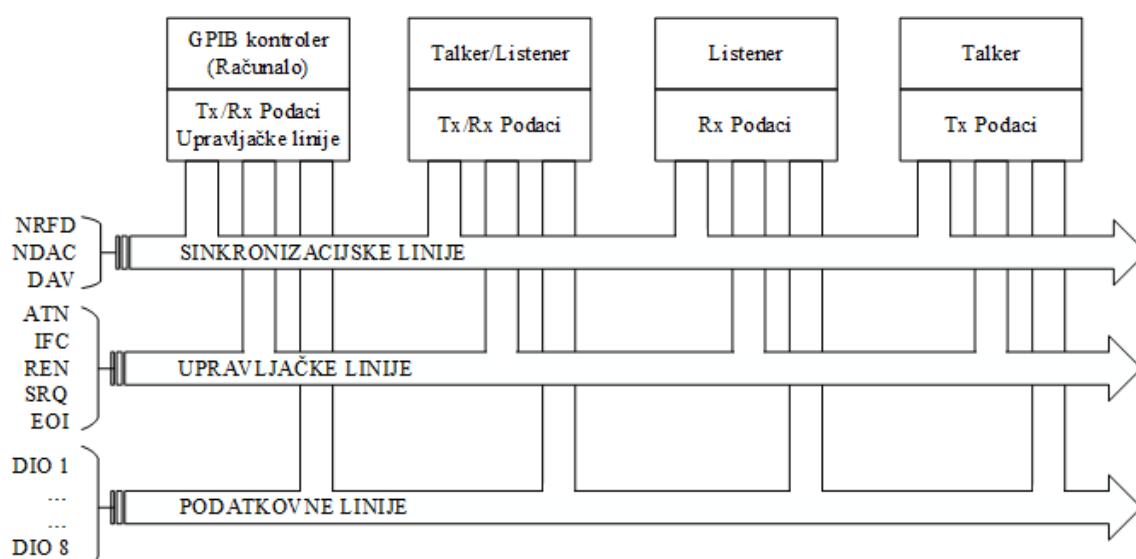
Talker/Listener ima karakteristike i *Talker-a* i *Listener-a* s tim da ne može raditi obje radnje istovremeno. Većina modernih digitalnih instrumenata su *Talker/Listener-i* jer je to najfleksibilnija konfiguracija. Ovakvi uređaji rade u tom slučaju kao *Listener-i* kad im se na primjer opseg rada podešava pomoću kontrolera, a kao *Talker-i* rade kad kontroler-u šalju rezultate.

Kontroler ima također osobine *Talker/Listener-a*. Na GPIB sabirnici može biti prisutno više kontrolera s tim da je u svakom trenutku samo jedan aktivan. U takvim slučajevima jedan je obično konfiguriran kao kontroler, a ostali kao *Talker/Listener-i*. Svi prijenosi podataka su upravljeni od strane kontroler-a. Kod GPIB konfiguracije mreže gdje postoji samo jedan *Talker* i jedan ili više *Listener-a* prijenos podataka se može ostvariti bez kontroler-a.

Posebni oblik kontroler-a predstavlja tzv. *Sistemska kontroler*. To je PC računalo sa instaliranim IEEE-488 karticama i ono upravlja cijelokupnim prijenosom podataka na sabirnici. Kod prvog podizanja (uključenja) sistema *Sistemska Kontroler* je uvijek aktivni kontroler. Na sabirnici može biti aktivan samo jedan kontroler koji se naziva CIC (engl. *Controller in Charge*). *Sistemska kontroler* može također proslijediti ulogu aktivnog kontroler-a na neki drugi kontroler. Isto tako svaki aktivni kontroler može proslijediti tu ulogu na neki drugi kontroler. Ono što je specifično samo za *Sistemska Kontroler* je da on u svakom trenutku može preuzeti ulogu aktivnog kontroler-a ili CIC-a. To mu omogućuje činjenica da posjeduje isključivo pravo kontrole nad upravljačkim linijama IFC (engl. *Interface Clear*) i REN (engl. *Remote Enable*) koje mu omogućuju da preuzme upravljanje sabirnicom u svakom trenutku.

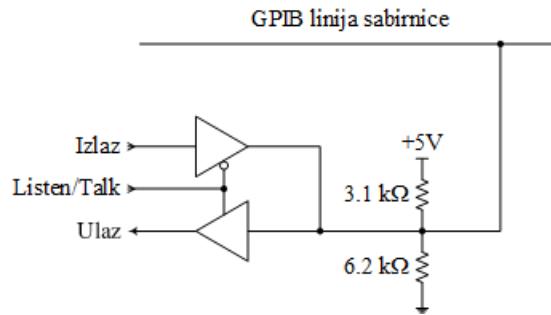
7.4. Struktura GPIB sabirnice

GPIB sabirnica sastoji se od 8 podatkovnih linija (DIO 1-DIO 8) i 8 upravljačko-kontrolnih linija, sl. 7.5. Tri kontrolne linije, DAV, NRFD i NDAC, su sinkronizacijske (engl. *handshaking*) linije sa kojima se upravlja prijenosom podataka preko podatkovnih linija. Ostalih 5 linija, ATN, REN, IFC, SRQ i EOI, koriste se za kontrolu i upravljanje sabirnicom. 8 linija uzemljenja predstavljaju povratne vodiče upravljačkih linija i osiguravaju zaštitu od vanjskih smetnji kao i zaštitu od međusobne interferencije signala na tim linijama.



Slika 7.5. Struktura GPIB sabirnice

Uređaji su na sve linije sabirnice spojeni pomoću tzv. *tri-state* izlaza osim na linije SRQ, NRFD i NDAC na koje su spojeni preko izlaza sa otvorenim kolektorom. Izlaz sa otvorenim kolektorom omogućuje da će linija preći iz stanja niske u visoku razinu tek kada svi uređaji deaktiviraju liniju što je i osnovni princip rada GPIB sinkronizacije. Kod *tri-state* izlaza (izlaz koji pored niske i visoke logičke razine ima i treću razinu visoke impedancije) uređaji su spojeni na liniju preko naponskog dijelila od 5V kojeg čine zaključni otpornici od $3.1\text{ k}\Omega$ i $6.2\text{ k}\Omega$, kao što je to prikazano na sl. 7.6.



Slika 7.6. *Tri-state* spajanje uređaja na GPIB liniju

7.4.1. Linije podataka

8 linija podataka DIO 1 do DIO 8 prenose podatke i naredbe. Sve naredbe i većina podataka koriste 7-bitni ASCII kod. Osmi bit, DIO 8, se ne koristi ili se koristi kao paritetni bit.

7.4.2. Sinkronizacijske linije

Sinkronizacijske (*engl. handshaking*) linije vrše asinkronu kontrolu prijenosa podataka između uređaja pomoću tzv. *3-wire interlocking handshake* metode.

- **NRFD** (*engl. Not Ready For Data*) – pokazuje da li je uređaj spreman za prijem podataka.
- **NDAC** (*engl. Not Data Accepted*) – pokazuje da li je uređaj prihvatio podatke.
- **DAV** (*engl. Data Valid*) – pokazuje kada su signali na linijama podataka spremni da ih uređaji mogu primiti.

Vrijeme porasta NRFD i NDAC signala otvorenog kolektora ujedno je i faktor ograničenja maksimalne brzine prijenosa podataka, 1MB/s, na što utječe ukupna kapacitivnost kabela sabirnice.

GPIB koristi tzv. *low-true* logičku konvenciju ili negativnu logiku, da bi naznačio status linija. Linija je u aktivnom stanju, tj. *true*, ako ima nisku razinu napona, a nije aktivna, tj. *false*, ako

ima visoku razinu napona. Pri tom se koriste standardne TTL naponske razine. Niska razina definirana je naponom $\leq +0.8V$, a visoka razina naponom $\geq +2V$. Na ovaj način smanjena je osjetljivost na smetnje linija kada su one aktivne.

Brzina prijenosa podataka određena je najsporijim uređajem na sabirnici, jer se u procesu sinkronizacije prije slanja novih podataka uvijek čeka na odgovor najsporijeg uređaja. Ovakvom sinkronizacijom omogućeno je i da veći broj uređaja istovremeno može primiti podatke.

7.4.3. Upravljačke linije

Upravljačke linije upravljaju protokom informacija na sabirnici:

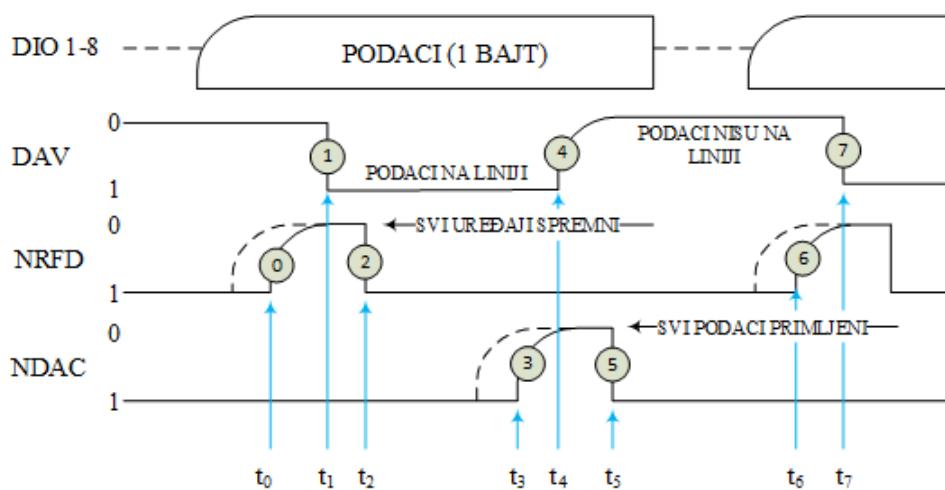
- **ATN** (*engl. Attention*) – Aktivni kontroler aktivira ovu liniju, postavlja je u *true*, kad koristi linije podataka za slanje naredbi. Kod prijenosa podataka linija je deaktivirana odnosno postavljena u *false*.
- **IFC** (*engl. Interface Clear*) – Ovu liniju koristi samo *Sistemski kontroler* za definiranje svog statusa kao CIC (*Controller In Charge*) i inicijalizaciju sabirnice. Kad je aktivirana ova linija svi uređaji na sabirnici prestaju sa komunikacijom i čekaju na slijedeću naredbu. Uređaji kod aktiviranja ove linije moraju reagirati unutar 100 μs budući je to i minimalno vrijeme trajanja IFC impulsa.
- **REN** (*engl. Remote Enable*) – Ovu liniju koristi samo *Sistemski kontroler* da bi postavio uređaje u daljinski ili lokalni programski mod. Daljinski (*engl. remote*) mod znači da je instrument upravljan preko GPIB sučelja, a lokalni mod kada se instrumentom upravlja sa njegove prednje ploče. Uređaji moraju reagirati unutar 100 μs kad se linija aktivira.
- **SRQ** (*engl. Service Request*) – Uređaji koriste ovu liniju da bi uputili asinkroni upit za servisnu uslugu od kontrolera.
- **EOI** (*engl. End Or Identify*) – Ova linija ima dvije namjene i koristi se u kombinaciji sa ATN linijom. Kada ATN linija nije aktivna *Talker* koristi EOI da označi zadnji bajt u poruci koja sadrži više bajta. Kada je ATN linija aktivna kontroler koristi EOI liniju za identifikaciju uređaja u paralelnom *polling-u*.

7.5. GPIB sinkronizacija

Prijenos podataka odnosno naredbi na GPIB sučelju ostvaren je pomoću tzv. *3-wire interlocked handshake* metode koja za ovu svrhu koristi 3 kontrolne linije: DAV, NDAC i NRFD. Podaci

se šalju asinkrono na sabirnicu bajt po bajt. DAV linijom upravlja aktivni *Talker* odnosno uređaj koji šalje podatke, a prijemni uređaji tj. *Listener-i* upravljaju linijama NRFD i NDAC.

Kada nema komunikacije na sabirnici DAV linija je na visokoj razini (*false* ili neaktivna), i bez dostupnih podataka od strane *Talker-a*. U isto vrijeme linija NRFD je na visokoj razini (*false* ili neaktivna), a linija NDAC na niskoj razini (*true* ili aktivna). Neaktivirana linija NRFD znači da su *Listener-i* spremni za prijem podataka, a aktivirana linija NDAC označava da su svi *Listener-i* u prethodnom ciklusu primili podatke. Procedura sinkronizacije prikazana je na sl. 7.7.



- t_0 : Svi uređaji su spremni za prijem podataka
- t_1 : Podaci spremni za slanje – DAV linija je aktivirana ('1')
- t_2 : Prvi uređaj koji prima podatak postavlja NRFD u '1' da bi naznačio da više nije spreman za prijem novog bajta
- t_3 : NDAC je deaktivirana ('0') - svi uređaji su primili podatke
- t_4 : DAV je deaktivirana ('0') – podaci više nisu dostupni na liniji
- t_5 : Prvi uređaj postavlja NDAC u ('1') – priprema za sljedeći ciklus
- t_6 : NRFD linija deaktivirana – svi uređaji spremni za prijem, ponavljanje ciklusa

Slika 7.7. GPIB sinkronizacija

Kod slanja podataka *Talker* će nakon što je postavio bajt na linije podataka i provjerio statuse NRFD (*false*) i NDAC (*true*) linije, aktivirati DAV liniju (1) i tako naznačiti uređajima da su podaci spremni za prijem. Ako je kod slanja podataka aktivirana ATN linija uređaji će podatke tada tretirati kao naredbe. Svaki *Listener* će nakon što je detektirao aktivnu DAV liniju aktivirati NRFD liniju (2) i tako naznačiti da je spreman za prijem podataka. Nakon što je uređaj prihvatio podatke deaktivira NDAC liniju (3) i time potvrđuje da je preuzeo podatke. Budući su uređaji na linije NRFD i NDAC spojeni u spoju sa otvorenim kolektorom one će se postaviti u stanje niske ili visoke razine tek kada i posljednji *Listener* prihvati podatke. To znači

da je brzina prijenosa podataka određena najsporijim uređajem na sabirnici. Prije nego *Talker* ukloni podatke sa linija deaktivirati će DAV liniju (4) i naznačiti uređajima da podaci više nisu dostupni. Detektiranjem visoke razine DAV linije svaki *Listener* postavlja izlaz NDAC u aktivno stanje (5) kao potvrdu činjenice da podaci više nisu dostupni na linijama podataka, te deaktivira NRFD (6) kako bi naznačio da je spreman za prijem slijedećeg bajta podataka i početak novog ciklusa.

7.6. Adresiranje uređaja

IEEE-488 standard dozvoljava spajanje do 15 uređaja na sabirnici. Svaki uređaj ima jedinstvenu adresu koja može biti od 0 do 30. Proizvođači opreme, HP i National Instruments, često koriste adrese 21 odnosno 0 rezerviranu za kontroler. Isto tako adresa 31 je rezervirana kao *Unlisten* i *Untalk* adresa.

Adrese uređaja korisnik može proizvoljno konfigurirati obično pomoću mikro-prekidača sa stražnje strane uređaja, programiranjem uređaja sa prednje ploče ili primjenom SCPI naredbi. Adresa je definirana sa 5 najmanje značajnih bita mikro-prekidača (A1-A5). Preostali prekidači (A6, A7) koriste se za konfiguriranje rada uređaja u isključivo *Talker* ili *Listener* modu ili za neke posebne testne funkcije. Primjena prekidača za definiranje moda rada uređaja se koristi samo kada je komunikacija između uređaja ostvarena bez kontrolera.

Kada imamo kontroler prekidači A6,A7 na uređajima su isključeni ili u tzv. auto-adresnom modu. Tada se bitovi podataka koriste za adresiranje uređaja, tablica 7.1. Bitovi 0 do 4 označavaju adresu uređaja, bit 5 definira adresirani uređaj kao Listener, bit 6 definira adresirani uređaj kao Talker, a posljednji bit je uvijek 0 i ignorira se kod slanja naredbi.

Biti	7	6	5	4	3	2	1	0
Podaci	0	TA	LA	GPIB adresa uređaja				

Tablica 7.1. GPIB protokol adresiranja

Kontroleri adrese uređaja drže unutar globalnih varijabli, zajedničkoj memoriji ili tablici simbola tako da bilo kakva promjena u adresama zahtjeva minimalnu promjenu unutar programa.

Uređaji također mogu biti izvedeni i da podržavaju više funkcija odjednom. U tom slučaju jedna kombinacija mikro-prekidača može za takav uređaj predstavljati više *Listen* ili *Talk* adresa, što omogućuje prijem i slanje više vrsta podataka sa složenog uređaja. Primjer konfiguracije uređaja u tablici 7.2. pokazuje da bez korištenja A1 prekidača preostali prekidači daju mogućnost adresiranja istog uređaja kao *Listener-a* sa adresama 2 i 3, ili *Talker-a* sa adresama R i S u ASCII kodu.

NAREDBA	GRUPA	OPIS NAREDBE
*IDN?	Sistemski podaci	Identifikacija
*RST	Interna funkcija	Reset
*TST?	Interna funkcija	Procedura samo-provjere
*OPC	Sinkronizacija	Završetak sekvence
*OPC?	Sinkronizacija	Upit za završetak sekvence
*WAI	Sinkronizacija	Vrijeme čekanja do završetka sekvence
*CLS	Statusi i događaji	Reset statusa
*ESE	Statusi i događaji	Aktiviranje statusa događaja
*ESE?	Statusi i događaji	Upit za aktiviranje statusa događaja
*ESR?	Statusi i događaji	Upit za registar statusa događaja
*SRE	Statusi i događaji	Aktiviranje SRQ zahtjeva
*SRE?	Statusi i događaji	Upit za aktiviranje SRQ zahtjeva
*STB?	Statusi i događaji	Čitanje statusnog bajta

Tablica 7.2. Listen i Talk ASCII adresni kodovi

Kod složenijih mjernih uređaja kod kojih je pod-instrumentacija ugrađena kao npr. VXI sistem sa više I/O kartica, dodatni broj adresa može se ostvariti sa tzv. proširenim adresiranjem SAD (*engl. Secondary Address*). Za tu namjenu koriste se dodatni znakovi za adrese. Kod slanja sekundarne adrese bitovi 5 i 6 su postavljeni u logičku 1, a slanju mora prethoditi bajt sa primarnom adresom uređaja.

7.6.1. GPIB naredbe

IEEE-488.1 standard podržava tri vrste naredbi:

- Naredbe za adresiranje – definiraju status uređaja, *Talker* ili *Listener*.
- Univerzalne naredbe – odnose se na sve uređaje na sabirnici neovisno o njihovom adresnom statusu.
- Naredbe za adresirane *Listener-e* – odnose se samo na uređaje koji su prethodno adresirani kao *Listener-i*.

Naredbe se uvijek šalju uz aktiviranu ATN liniju. Kod slanja podataka ATN linija nije aktivirana, a podaci se upućuju samo uređajima koji su prethodno bili adresirani kao *Listener-i*. Ovisno o izvedbi uređaj ne mora podržavati sve naredbe. IEEE 488.2 specificira minimalni set instrukcija koje uređaj mora podržavati, a to su da svi uređaji moraju biti u mogućnosti slati i primati podatke, slati servisne upite i podržavati naredbu DCL za resetiranje uređaja na zadane postavke. Pregled GPIB naredbi prikazan je u tablici 7.3.

NAREDBE	ASCII	HEKS.	DECIMAL	OPIS NAREDBE
Naredbe za adresiranje				
TAD – <i>Talk Address</i>	x10xxxxx	40 - 5F	64 - 95	Adresa uređaja se definira kao <i>Talker</i>
LAD – <i>Listen Address</i>	x01xxxxx	20 - 3F	32 - 63	Adresa uređaja se definira kao <i>Listener</i>
MTA – <i>My Talk Address</i>	x10xxxxx	40 - 5F	64 - 95	Adresa kontrolera se definira kao <i>Talker</i>
MLA – <i>My Listen Address</i>	x01xxxxx	20 - 3F	32 - 63	Adresa kontrolera se definira kao <i>Listener</i>
SAD – <i>Secondary Address</i>	x11xxxxx	60 - 7F	96 - 127	Pod-adresiranje uređaja
UNT - <i>Untalk</i>	x1011111	5F	95	Deaktivira sve <i>Talker-e</i>
UNL - <i>Unlisten</i>	x0111111	3F	63	Deaktivira sve <i>Listener-e</i>
Univerzalne naredbe				
LLO – <i>Local Lockout</i>	x0010001	11	17	Onemogućuje ručno podešavanje sa prednje ploče za sve uređaje
DCL – <i>Device Clear</i>	x0010100	14	20	Reset svih uređaja na tvorničke postavke
PPU – <i>Parallel-Poll Unconfigure</i>	x0010101	15	21	Onemogućuje slanje odgovora kod paralelnog <i>poll-a</i>
SPE – <i>Serial-Poll Enable</i>	x0011000	18	24	Aktivira uređaje za slanje seriskog <i>poll</i> statusa
SPD – <i>Serial-Poll Disable</i>	x0011001	19	25	Deaktivira uređaje za slanje seriskog <i>poll</i> statusa
Naredbe za adresirane <i>Listener</i> uređaje				
GTL – <i>Go To Local</i>	x0000001	1	1	Omogućuje ručno podešavanje sa prednje ploče za sve uređaje
SDC – <i>Selected Device Clear</i>	x0000100	4	4	Reset adresiranih uređaja na tvorničke postavke
PPC – <i>Parallel-Poll Configure</i>	x0000101	5	5	Aktivira uređaj za slanje paralelnog <i>poll</i> statusa
GET – <i>Group Execute Trigger</i>	x0001000	8	8	Omogućuje istovremeni rad više uređaja (<i>triggering</i>) kao što je npr. uzorkovanje podataka
TCT – <i>Take Control</i>	x0001001	9	9	Prosljeđuje status kontrolera na drugi uređaj

Tablica 7.3. Pregled GPIB naredbi

7.6.1.1. Naredbe za adresiranje

Da bi uređaj mogao slati podatke na sabirnicu mora biti adresiran od aktivnog kontrolera kao *Talker* pomoću više-linijske naredbe TAD (engl. *Talk Address*). Slično se adresira uređaj za prijem podataka *Listener* koji mora primiti više-linijsku naredbu LAD (engl. *Listen Address*).

Adresne naredbe MTA (*engl. My Talk Address*) i MLA (*engl. My Listen Address*) predstavljaju TAD i LAD naredbe koje se odnose na aktivni kontroler, a SAD (*engl. Secondary Address*) se koristi za direktni pristup i upravljanje pod-uređajima koji su sastavni dijelovi složenog uređaja.

Sve naredbe su predstavljene kao 1 bajt u heksadecimalnom ili ASCII formatu i tako se šalju na linije. Prema vrijednosti bajta je određeno o kojoj se naredbi radi.

TAD, MTA i UNT naredbe su definirane u opsegu od 0x40 do 0x5F. Naredba je izražena kao suma vrijednosti 0x40 i adrese uređaja u heksadecimalnom obliku. Tako naredba 0x46 definira uređaj sa adresom 6 kao *Talker*.

Prije definiranja novog *Talker-a* na sabirnici, naredbom 0x5F se mora de-aktivirati prethodni definirani *Talker*. Ova naredba predstavlja adresiranje nepostojećeg uređaja sa adresom 31, a u heksadecimalnom formatu je predstavljena kao $0x40 + 0x1F$ (decimalno $64+31$).

LAD, MLA i UNL naredbe su definirane u opsegu od 0x20 do 0x3F. Naredba je izražena kao suma vrijednosti 0x20 i adrese uređaja u haksadecimalnom obliku. Tako naredba 0x28 definira uređaj sa adresom 8 kao *Listener*.

Prije definiranja novih *Listener-a* na sabirnici, naredbom 0x3F se moraju de-aktivirati svi uređaji koji su prethodno adresirani kao *Listener-i*. I ova naredba predstavlja adresiranje nepostojećeg uređaja sa adresom 31, ali je u heksadecimalnom formatu predstavljena kao $0x20 + 0x1F$ (decimalno $32+31$).

Sekundarne adrese SAD koriste opseg naredbi od 0x60 d0 0x7F uz jednaki način definiranja adresa pod-uređaja kao i kod prethodnih naredbi.

Adresiranje više uređaja se može ostvariti na način da se naredbe šalju u sekvensijalnom nizu, na primjer '0x5F 0x46 0x3F 0x28 0x2C'. Dakle u ovom primjeru nakon de-aktiviranja *Talker-a* adresira se novi *Talker* sa adresom 6, a nakon de-aktiviranja svih *Listener-a* adresiraju se novi uređaji sa adresom 08 i 12 kao *Listener-i*. Sve vrijednosti kodova su odabrane tako da se naredbe mogu prezentirati kao ASCII znakovi i na taj način biti poslati kontroleru iz računalne aplikacije. Prethodna sekvenca će izgledati kao tekstualni niz '_F?(,'.

Ako prikažemo ASCII adrese uređaja u binarnom obliku: *Talker* 0x46 – 01000110, *Listener* 0x28 – 00101000 i *Listener* 0x2C – 00101100 možemo vidjeti da su odgovarajući biti koji definiraju mod rada uređaja aktivirani, tj. bit 6 je aktiviran kod *Talker-a* a bit 5 kod oba *Listener-a*.

7.6.1.2. Servisni upiti

SRQ (*engl. Service Request*) linija omogućuje uređajima da signaliziraju kontroleru status greške odnosno slanje zahtjeva za servisnim upitom. Ako jedan ili više uređaja na sabirnici aktivira SRQ liniju kontroler treba odrediti koji uređaj je uputio zahtjev za servisom. To se može ostvariti na dva načina: serijskim i paralelnim prozivanjem (*engl. poll*).

7.6.1.2.1. Serijsko prozivanje

Kod serijskog prozivanja kontroler šalje naredbu SPE (*engl. Serial Poll Enable*) svim uređajima uz deaktiviranu IFC liniju. Kontroler adresira svaki uređaj redom pretvarajući ga u *Talker-a*, a uređaj mu odgovara slanjem statusnog bajta, sl. 7.8.

<i>Power ON</i>	<i>User Request</i>	<i>Command Error</i>	<i>Execution Error</i>	<i>Device Dependent Error</i>	<i>Query Error</i>	<i>Request Control</i>	<i>Operation Complete</i>
7	6	5	4	3	2	1	0

Slika 7.8. Statusni bajt GPIB uređaja

Aktivirani bit 6 u statusnom bajtu označava uređaj koji je uputio servisni upit, a iz statusa ostalih bita kontroler može utvrditi razloge greške. Nakon odgovora svih uređaja kontroler ih vraća u normalni mod rada slanjem naredbe SPD (*engl. Serial Poll Disable*). Nakon toga kontroler će nastaviti komunikaciju sa uređajem koji mu je uputio zahtjev u skladu sa traženim servisnim upitom.

7.6.1.2.2. Paralelno prozivanje

Paralelno prozivanje je brže i može se koristiti na sabirnici gdje imamo 8 ili manje uređaja. GPIB uređaji se konfiguriraju za rad u sustavu sa paralelnim prozivanjem na način da kontroler pošalje naredbu PPC (*engl. Parallel Poll Configure*) svakom uređaju nakon koje slijedi bajt podataka koji specificira koji bit podatkovne linije uređaj treba koristiti kao indikaciju da li je aktivirao SRQ liniju.

Kada uređaj aktivira SRQ liniju kontroler inicijalizira sekvencu paralelnog prozivanja istovremenim aktiviranjem ATN i EOI linije. Uređaj koji je aktivirao SRQ liniju će u odgovoru aktivirati odgovarajuću liniju podataka u skladu sa bitom koji mu je specificiran u konfiguraciji za paralelno prozivanje. Uređaji mogu odgovoriti pojedinačno ili istovremeno, a odgovor moraju poslati unutar 200 ns. Nakon toga kontroler će nastaviti komunikaciju sa danim uređajem u skladu sa traženim servisom.

7.6.1.3. IEEE 488.2 naredbe opće namjene

Za razliku od originalnog standarda IEEE 488.1 koji je specificirao električne i mehaničke karakteristike te protokol komunikacije na GPIB sabirnici, standard IEEE 488.2 specificira dodatno formate podataka i izvješća, metode ispravljanja grešaka, funkcionalnosti kontrolera i naredbe opće namjene koje svi uređaji moraju podržavati. Specifikacija također uključuje i SCPI dokumentaciju u kojoj su specificirane naredbe koje pojedina klasa instrumenata ili uređaja mora podržavati.

Naredbe opće namjene sve započinju sa znakom '*', a naredbe upita koje zahtijevaju odgovor potvrde od *Listener-a* moraju imati završni znak '?'. Sve naredbe se šalju na sabirnicu kao ASCII znakovi i uređaji moraju odgovoriti na njih na odgovarajući način. Pregled naredbi opće namjene je prikazan u tablici 7.4.

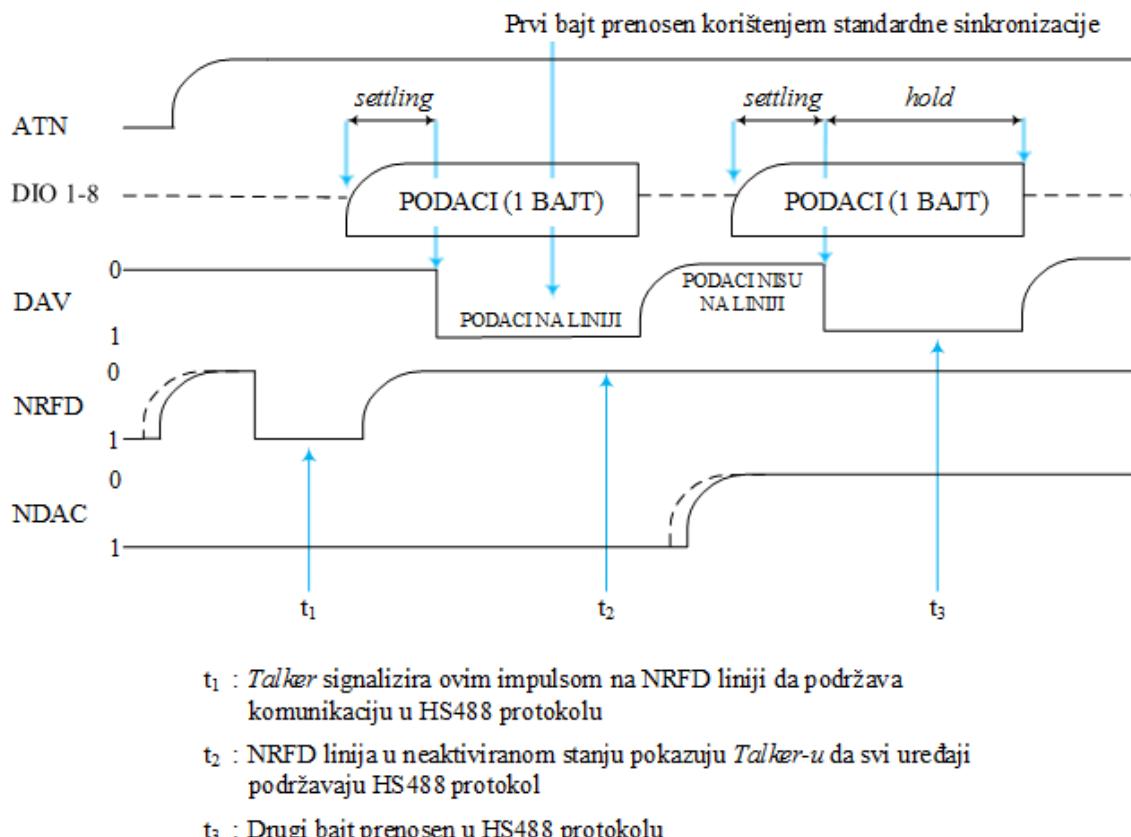
NAREDBA	GRUPA	OPIS NAREDBE
*IDN?	Sistemski podaci	Identifikacija
*RST	Interna funkcija	Reset
*TST?	Interna funkcija	Procedura samo-provjere
*OPC	Sinkronizacija	Završetak sekvence
*OPC?	Sinkronizacija	Upit za završetak sekvence
*WAI	Sinkronizacija	Vrijeme čekanja do završetka sekvence
*CLS	Statusi i događaji	Reset statusa
*ESE	Statusi i događaji	Aktiviranje statusa događaja
*ESE?	Statusi i događaji	Upit za aktiviranje statusa događaja
*ESR?	Statusi i događaji	Upit za registar statusa događaja
*SRE	Statusi i događaji	Aktiviranje SRQ zahtjeva
*SRE?	Statusi i događaji	Upit za aktiviranje SRQ zahtjeva
*STB?	Statusi i događaji	Čitanje statusnog bajta

Tablica 7.4. Pregled GPIB naredbi opće namjene

7.7. HS488 protokol

Da bi povećao brzinu prijenosa podataka na GPIB sučelju National Instruments je razvio HS488 protokol (*engl. High-speed GPIB Handshake Protocol*). Ukoliko su na sabirnicu priključeni uređaji koji ne podržavaju HS488 protokol, HS488 uređaji će u komunikaciji sa tim uređajima automatski koristiti standardnu IEEE-488.1 sinkronizacijsku proceduru. Na ovaj način je osigurana kompatibilnost rada sa starijim uređajima. HS488 je prihvaćen kao dopuna standarda IEEE 488.1 2003.god.

HS488 povećava brzinu prijenosa smanjenjem vremena kašnjenja propagacije signala koji su prisutni kod 3-wire handshaking-a. Kod HS488 sinkronizacije *Talker* aktivira NRFD liniju sa kratkim impulsom nakon što kontroler adresira sve *Listener*-e. *Listener*-i koji podržavaju HS488 protokol će nakon detektiranog NRFD impulsa nastaviti komunikaciju korištenjem HS488 sinkronizacije kao što je prikazano na sl. 7.9.



Slika 7.9. HS488 sinkronizacija

U postupku sinkronizacije *Talker* će najprije postaviti bajt poruke na linije podataka, sačekati predefinirano *settling* vrijeme, zatim aktivirati liniju DAV i nakon predefiniranog *hold* vremena deaktivirati liniju DAV. Nakon toga procedura se ponavlja postavljanjem novog bajta na linije podataka. *Listener*-i cijelo to vrijeme moraju liniju NDAC držati neaktivnom i primiti poslani bajt poruke unutar specificiranog *hold* vremena. Svaki bajt se mora prenijeti u vremenu definiranom sa *settling* i *hold* vremenom bez čekanja da se neki signal pojavi na GPIB sabirnici.

Ukoliko *Listener* želi kontrolirati brzinu protoka podataka može privremeno zaustaviti prijenos poruke aktiviranjem NDAC linije ili prisiliti *Talker* da koristi standardnu 3-žičnu sinkronizaciju aktiviranjem NRFD linije. Primjenom ove dvije metode *Listener* može ograničiti prosječnu brzinu prijenosa, ali mora posjedovati ulazni spremnik (*engl. buffer*) koji će omogućiti preuzimanje kratkotrajnih praskova (*engl. bursts*) podataka maksimalne brzine. Naime može se desiti da *Talker* već pošalje slijedeći bajt u vremenu propagacije NDAC i

NRFD signala odnosno u vremenu u kojem je potrebno da detektira promjenu naponske razine linija NDAC i NRFD.

HS488 protokol za prijenos naredbi uvijek koristi standardnu IEEE-488.1 3-žičnu sinkronizaciju kod koje se bajtovi prenose uz aktiviranu ATN liniju.

Korisnik može konfigurirati vremena *settling* i *hold*, ovisno od ukupne dužine kabela i broja uređaja na sabirnici. Maksimalna brzina prijenosa podataka koja se može ostvariti primjenom HS488 protokola je 8 MB/s, za dva uređaja međusobno udaljena 2 m. Za potpuni sistem od 15 uređaja na kabelu duljine 15 m prijenosne brzine iznose do 1.5 MB/s.

Literatura

- [1] HP Company (1980.) *Tutorial Description of the Hewlett–Packard Interface Bus*.
- [2] ICS Electronics (1999.) *IEEE 488 Application Bulletin AB48-11*, <http://www.icselect.com>
- [3] National Instruments (2006.) *White paper – GPIB messages*, <http://www.ni.com>
- [4] National Instruments (2006.) *White paper – HS488 Protocol*, <http://www.ni.com>

8. Industrijski Ethernet

Organizacija IEEE (*engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers*) je definirala arhitekturu lokalnih mreža kojom su u odnosu na OSI referentni model obuhvaćena samo dva sloja: fizički i podatkovni sloj. Podatkovni sloj je podijeljen na dva podsloja: sloj upravljanja pristupom prijenosnom mediju (MAC, *engl. Media Access Control*) i sloj upravljanja logičkim vezama (LLC, *engl. Logical Link Control*).

Na MAC podsloju definirani su algoritmi za pristup mediju, kreiranje okvira i otkrivanje grešaka u prijenosu signala. Upravljanje pristupom mediju može se ostvariti na dva načina: centralizirano ili distribuirano. Kod centraliziranog upravljanja uvijek postoji nadređeni uređaj koji upravlja komunikacijom i daje dozvolu ostalim uređajima za pristup mediju odnosno slanju paketa (okvira). Kod distribuiranog pristupa svi uređaji imaju mogućnost pristupa mediju kada nema aktivnosti na mreži s tim da se pravo pristupa određuje na način da ga dobije onaj uređaj koji je prvi počeo sa slanjem okvira. Problem do kojeg može doći je istovremeno slanje okvira više uređaja ili tzv. sudar okvira (*engl. collision*) koji se rješava ovisno o vrsti protokola lokalne mreže.

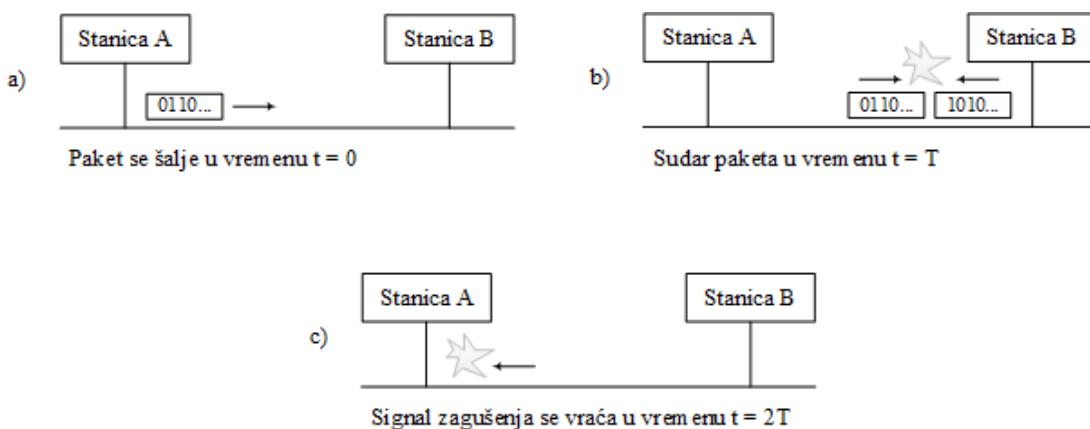
Na LLC podsloju definirana je metoda kojom je omogućeno protokolima višeg sloja korištenje zajedničke fizičke veze unutar LAN-a (*engl. Local Area Networks*). Ovaj podsloj je implementiran kao pogonski program (*engl. driver*) mrežne kartice uređaja ili kao programski modul mrežnog uređaja. Podsloj LLC zadužen je za adresiranje, upravljanje mrežom, međusobno povezivanje lokalnih mreža spojnim uređajima itd. Podsloj LLC specificiran je kao standard IEEE 802.2 i jednak je za sve vrste lokalnih mreža.

God. 1988. IEEE je izradio seriju standarda 802.x za lokalne mreže, od kojih se danas najčešće koristi IEEE 802.3 poznatiji pod nazivom Ethernet. Ethernet je stekao veliku popularnost zbog niskih cijena, jednostavnosti u izvedbi mreže te velikih brzina prijenosa. Ostali standardi lokalnih mreža uz izuzetak IEEE 802.11 (bežični LAN) se vrlo rijetko danas koriste. Razvoj Etherneta zasnovan je na mrežnom protokolu kojeg je 1976. god. razvila korporacija Xerox. Xerox je zajedno sa tvrtkama Digital Equipment Corporation i Intelom udruženim u DIX konzorcij izdao dvije specifikacije standarda pod nazivom Ethernet I (1980. god) i Ethernet II (1982. god.). Na osnovu Ethernet II specifikacije je 1985. god. IEEE definirala standard 802.3 sa CSMA/CD metodom pristupa mediju koji se razlikuje od Etherneta ali je za oba standarda ostao i dalje uvriježeni naziv Ethernet.

Prema brzinama prijenosa definirana su 4 Ethernet standarda: Standardni Ethernet (10 Mbit/s), Fast Ethernet (100 Mbit/s), Gigabit Ethernet (1 Gbit/s) i 10-Gigabit Ethernet (10 Gbit/s). Svi standardi osim standardnog Etherneta podržavaju i dvosmjerni prijenos (*engl. full-duplex*), a podrška prema CSMA/CD kod većih brzina je zadržana samo zbog kompatibilnosti sa standardnim Ethernetsom. Kao prijenosni medij se može koristiti tanki ili debeli koaksijalni kabel, neoklopjeni ili oklopjeni kabel sa upletenim paricama, te svjetlovodno vlakno.

8.1. CSMA/CD protokol

Prijenos signala se kod Etherneta zasniva na metodi CSMA/CD (*engl. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) koja predstavlja poludupleksni način komunikacije. Kod ove metode svaka stanica prati signal na mreži i ako utvrdi da nema aktivnosti može poslati okvir s podacima. Ukoliko dvije stanice istovremeno započnu slanje paketa (okvira) detektira se sudar (kolizija) nakon kojeg sve stanice prestaju sa slanjem, a ponovno slanje je dozvoljeno za svaku stanicu nakon slučajnog vremena određenog BEB algoritmom (*engl. Binary Exponential Backoff*). Postupak detekcije sudara kod CSMA/CD metode je prikazan na sl. 8.1.



Slika 8.1. Detekcija sudara kod CSMA/CD metode

Prije svakog slanja okvira stanica provjerava da li postoji već aktivnost odnosno komunikacija na mreži. Ovo je ostvareno mjerjenjem napona signala na mediju. Ako je izmjereni napon dovoljno velik stanica A će zaključiti da već neka druga stanica šalje okvir te će odgoditi slanje svog okvira. Ako je izmjereni napon signala dovoljno malen stanica A će u tom slučaju zaključiti da nema komunikacije i da je medij slobodan. Prije slanja novog okvira stanica mora sačekati da prođe vrijeme koje je definirano kao razmak između dva okvira. Ovaj vremenski razmak se naziva *Inter Frame Gap* i mora iznositi 96 vremena trajanja bita.

Ako stanica A počne slati okvir na mrežu, a u isto vrijeme druga stanica počne sa slanjem svog okvira stanica A će izmjeriti povećani napon što joj ukazuje da je došlo do sudara. Svaka stanica koja je detektirala sudar će prestati sa slanjem i istovremeno generirati signal zagušenja (*engl. jam signal*) duljine od 32 do 48 bita koji se sastoji od samih „1“. Signal zagušenja se šalje kao *broadcast telegram* svim stanicama na mreži kako ne bi došlo do slanja okvira ostalih stanica.

Da bi metoda CSMA/CD ispravno funkcionirala okvir mora imati određenu minimalnu duljinu. Naime stanica koja šalje okvir može detektirati sudar tek nakon što primi povratni signal zagušenja. Budući se detekcija signala sudara vrši samo za vrijeme slanja okvira signal zagušenja mora biti primljen prije nego stanica pošalje zadnji bit okvira. To znači da vrijeme

prijenosu okvira mora biti jednako najmanje dvostrukom vremenu propagacije signala između dvije najudaljenije stanice, sl.8.1. Za standardni Ethernet brzine prijenosa 10 Mbit/s maksimalno vrijeme propagacije signala između dvije najudaljenije stanice mora iznositi 25.6 μs što znači da stanica koja šalje okvir može detektirati sudar unutar 51.2 μs (prema specifikaciji 802.3 u vrijeme propagacije uključena su i kašnjenja signala na uređajima). Iz ovog slijedi da je minimalna duljina okvira za standardni Ethernet jednaka 10 Mbit/s \times 51.2 μs = 512 bita ili 64 bajta. Ako stanica unutar ovog vremena ne primi signal zagušenja prepostavlja se da je okvir uspješno poslan.

Budući je maksimalno vrijeme propagacije okvira ovisno o prijenosnoj brzini signala sa porastom brzine je smanjeno vrijeme detekcije sudara te isto tako smanjena i najveća moguća duljina mrežnog segmenta. U tablici 8.1. prikazana je usporedba vremena detekcije sudara okvira i dopuštene duljine mrežnih segmenata kod Ethernet standarda.

TIP ETHERNETA	BRZINA PRIJENOSA (Mbit/s)	VRJEME DETEKCIJE SUDARA (μs)	MAKSIMALNA DULJINA MREŽNOG SEGMENTA (m)
Standardni	10	51.2	> 100 / 500*
Fast	100	5.12	100
Gigabit	1000	0.512	25

Podaci su prikazani za bakrene parične kable i *koaksijalni kabel

Tablica 8.1. Vrijeme detekcije sudara okvira i duljine mrežnih segmenata kod Ethernet standarda

8.1.1. Algoritam slanja Ethernet okvira nakon kolizije

Kada detektira sudar okvira stanica prestaje sa slanjem okvira podataka i započinje slanje signala zagušenja svim ostalim stanicama na mreži. U isto vrijeme pomoću binarnog algoritma BEB (engl. *Binary Exponential Backoff*) stanica generira slučajno vrijeme nakon kojeg će ponovno pokušati sa slanjem okvira podataka. Slučajno vrijeme izračunava se kao broj fiksnih vremenskih odsječaka (engl. *slots*), a trajanje svakog odsječka jednako je vremenskom trajanju 512 bita pri određenoj prijenosnoj brzini signala. Broj vremenskih odsječaka r za svaku stanicu određen je izrazom:

$$0 < r < 2^k, k = \min(n, 10) \quad (8.1)$$

gdje k predstavlja broj mogućih uzastopnih sudara.

Budući k najviše može iznositi 10, svakoj stanicu se može dodijeliti od 0 do 1023 vremenska odsječka. Vrijednost r određena je slučajnim izborom jedne od mogućih vrijednosti u svakoj

Ethernet stanici. Vrijednosti vremenskih odsječaka u funkciji broja sudara su prikazane u tablici 8.2.

BROJ SUDARA	PROCIJENJENI BROJ STANICA	VRIJEDNOST VREMENSKIH ODSJEČAKA (r)	VRIJEME ČEKANJA DO PONOVNOG SLANJA (μs)
1	1	0.....1	0.....51.2
2	3	0.....3	0.....153.6
3	7	0.....7	0.....358.4
4	15	0.....15	0.....768.0
5	31	0.....31	0.....1587.2
6	63	0.....63	0.....3225.6
7	127	0.....127	0.....6502.4
8	255	0.....255	0....13056.0
9	511	0.....511	0....26163.2
10	1023	0.....1023	0....52377.6
11	1023	0.....1023	0....52377.6
12	1023	0.....1023	0....52377.6
13	1023	0.....1023	0....52377.6
14	1023	0.....1023	0....52377.6
15	1023	0.....1023	0....52377.6
16	Nije podržan	-	Okvir se odbacuje

Tablica 8.2. Vrijednosti vremenskih odsječaka u funkciji broja sudara (kolizija)

Iz tablice 8.2. možemo vidjeti da će nakon prvog sudara okvira svaka stanica sačekati slučajno odabran 0 ili 1 broj vremenskih odsječaka prije nego pošalje novi okvir. Ako za dvije stanice dođe do sudara drugi put uzastopno svaka od njih će poslati novi okvir nakon slučajnog odabira broja odsječaka između mogućih vrijednosti 0, 1, 2 ili 3. Vjerovatnost da će dvije stanice odabrati istu vrijednost i tako doći do ponovnog sudara iznosi sada 25% u odnosu na 50% koliko je bilo u prvom pokušaju. Općenito nakon k uzastopnih sudara vrijednost broja vremenskih odsječaka koje može odabrati svaka stanica iznosi od 0 do 2^k-1 . Nakon 10 uzastopnih sudara vrijednost broja vremenskih odsječaka je ograničena na 1023 jer je to i maksimalni broj stanica koje podržava Ethernet na fizičkom mediju. Ako je broj sudara veći od 16 stanica će prijaviti grešku u komunikaciji koju rješavaju viši slojevi protokola. Veliki broj sudara ukazuje na veliku opterećenost mreže zbog povećanog broja stanica. BEB algoritam omogućuje eksponencijalnim povećanjem broja vremenskih odsječaka dovoljan broj odsječaka kako bi se smanjila vjerojatnost pojave sudara s povećanjem broja stanica.

8.2. Struktura Ethernet okvira

Struktura IEEE 802.3 okvira prikazana je na sl. 8.2. Bitna razlika u odnosu na originalni DIX Ethernet II okvir je samo u polju koji definira duljinu ili tip korisničkih podataka. Nakon slanja okvira Ethernet nema ugrađen mehanizam koji bi omogućio provjeru da li je okvir primljen na prijemniku. Ako se na strani prijemnika utvrdi da primljeni okvir nije ispravan najčešće se zahtjev za ponovno slanje okvira implementira kroz više protokolarne slojeve (npr. transportnom sloju).

Preambula	SFD	Odredišna adresa	Izvořišna adresa	Duljina/tip podataka	LLC/Podaci	Provjera greške (CRC)
7 bajta	1 bajt	6 bajta	6 bajta	2 bajta	1500 bajtova	4 bajta

Slika 8.2. Struktura IEEE 802.3 okvira

- **Preamble**

Polje preambule sadrži 7 bajta (56 bita) naizmjeničnih 1 i 0 koji omogućuju sinkronizaciju takta prijemnika sa nadolazećim okvirom. 56-bitna struktura omogućuje uspješnu sinkronizaciju čak i u slučaju da prijemnik propusti dio bita na početku. Preamble nije (formalno) dio okvira jer se dodaje na fizičkom sloju kod slanja okvira. Na prijemu fizički sloj prije nego što proslijedi okvir MAC podsloju uklanja preambulu.

- **Oznaka početka okvira (engl. SFD - Start Frame Delimiter)**

Polje SFD sadrži fiksnu sekvencu od 8 bita (10101011) koja signalizira početak okvira odnosno nailazak polja odredišne adrese.

- **Odredišna adresa (engl. DA - Destination Address)**

Odredišna adresa sastoji se od 6 bajta i sadrži fizičku adresu stanice koja će primiti okvir (paket).

- **Izvořišna adresa (engl. SA - Source Address)**

Izvořišna adresa sastoji se također od 6 bajta i sadrži fizičku adresu stanice koja je poslala okvir.

- **Duljina/tip korisničkih podataka**

Originalni Ethernet koristi ovo polje za definiranje tipa protokola višeg sloja čiji se podaci pakiraju u korisničko polje, a IEEE 802.3 standard ga koristi za definiranje duljine korisničkih podataka. Ako je vrijednost polja manja od 1518 radi se o polju koji definira duljinu podataka koji slijede, a ako je vrijednost polja veća od 1536 definira se tip PDU paketa koji je enkapsuliran u okvir.

- **Podaci**

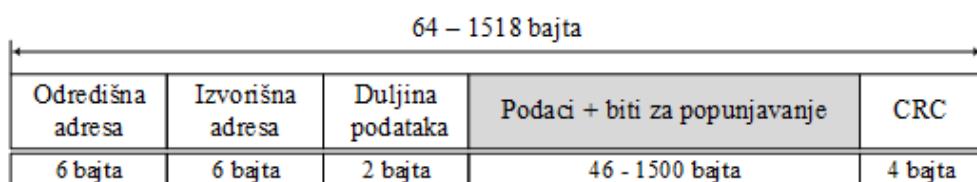
Ovo polje sadrži podatke enkapsulirane od protokola viših slojeva. Minimalna veličina je 46, a maksimalna 1500 bajtova.

- **Provjera greške**

Na kraju okvira se nalazi polje od 4 bajta koje se koristi za provjeru ispravnosti primljenog okvira. Provjera se vrši metodom cikličkog kodiranja CRC-32 na strani predajnika i prijemnika. Prijemnik uspoređuje primljenu vrijednost sa izračunatom i ukoliko ona nije ista znači da okvir nije primljen ispravno te se odbacuje.

8.2.1. Duljina okvira

Ethernet je definirao ograničenja na minimalnu i maksimalnu duljinu okvira, kao što je prikazano na sl. 8.3.



Slika 8.3. Minimalna i maksimalna duljina IEEE 802.3 okvira

Najmanja duljina okvira u Ethernet standardu iznosi 512 bita ili 64 bajta (bez preambule i SFD polja). Minimalna duljina okvira neophodna je za ispravan rad CSMA/CD metode prijenosa signala. Ako se uzme u obzir da na zaglavje i završni dio okvira otpada 18 bajta (6 bajta odredišne adrese, 6 bajta izvořišne adrese, 2 bajta polja duljine podataka i 4 bajta CRC) tada minimalna duljina korisničkih podataka iznosi $64 - 18 = 46$ bajta. Ako su paketi viših slojeva za popunjavanje korisničkog polja manji od 46 bajta okvir se dopunjava kako bi se popunila razlika (*engl. padding*).

Maksimalna duljina okvira (bez preambule i SFD polja) u Ethernetu iznosi 1518 bajta. Ako se uzme u obzir 18 bajta zaglavja i završnog dijela maksimalna duljina polja korisničkih podataka iznosi 1500 bajta. Ograničenje maksimalne duljine je samo stvar povijesnog naslijeda. Za to su postojala dva razloga. Prvi je bila visoka cijena memorija u vremenu nastanka Etherнетa te se ograničenjem nastojala smanjiti upotreba memorije. Drugi razlog je bio brža dostupnost mediju ostalih stanica što ne bi bilo moguće ako jedna stanica šalje predugo podatke.

8.2.2. Adresiranje

Adresiranje je u Ethernetu ostvareno pomoću fizičke i logičke adrese. Fizičko adresiranje se odvija na drugom sloju OSI referentnog modela i za njega je zadužen podsloj podatkovnog sloja koji se naziva MAC (*engl. Media Access Control*). MAC podsloj je orijentiran prema fizičkom sloju sa zadaćom upravljanja pristupom mediju. Svaki uređaj na Ethernet mreži kao što je npr. PC, PLC, preklopnik, usmjerivač, i sl. ima svoju mrežnu karticu, a svaka mrežna kartica u sebi sadrži fizičku MAC adresu koja je trajno zapisana u ROM. Fizička adresa sastoji se od 6 bajta (48 bita) i zapisana je u heksadecimalnom obliku korištenjem povlake, dvotočke ili točke za razdvajanje znamenki, sl. 8.4.

B0-48-7A-93-F2-1E
 B0:48:7A:93:F2:1E
 B048.7A93.F21E
 6 bajta = 12 hex znamenki = 48 bita

Slika 8.4. MAC adresa

MAC adresa je logički podijeljena u dva dijela. Prva tri bajta (24 bita ili prvih 6 heksadecimalnih znamenki) predstavljaju oznaku proizvođača i za sve kartice tog proizvođača su iste. Ostala 3 bajta su jedinstveni za svaku karticu i dodjeljuje ih proizvođač. Da bi poslao podatke u Ethernetu potrebno je da uređaj pored MAC adrese poznaje i logičku IP adresu. Logička IP adresa omogućuje pronalaženje uređaja i usmjeravanje toka podataka do njega. Ako poznajemo samo IP adresu uređaja kojem šaljemo podatke njegovu MAC adresu možemo odrediti pomoću ARP protokola (*engl. Address Resolution Protocol*).

Općenito kod adresiranja možemo razlikovati tri vrste adresa: *Unicast*, *Multicast* i *Broadcast* adrese. *Unicast* adresa se koristi samo u direktnoj komunikaciji između dva uređaja. *Multicast* adresa se koristi kada se podaci sa jednog uređaja šalju određenoj grupi uređaja, a *broadcast* adresa je poseban slučaj *multicast* adrese kada svi uređaji na mreži primaju poslane podatke.

Kod fizičke adrese izvorišna adresa je uvijek *unicast* adresa. Podaci se naime mogu slati samo iz jedne stanice kao što smo vidjeli iz CSMA/CD protokola. Odredišna adresa može koristiti sva tri tipa adresiranja: *unicast*, *multicast* i *broadcast*. *Unicast* adresa se u tom slučaju razlikuje od *multicast* adrese po najmanje značajnom bitu (LSB) u prvom bajtu odredišne adrese. Ako je ovaj bit „0“ adresa je *unicast*, a ako je „1“ adresa je *multicast*. *Broadcast* adresa je predstavljena sa 48 jedinica ili u heksadecimalnom obliku FF:FF:FF:FF:FF:FF.

8.3. Pregled Ethernet standarda

8.3.1. Standardni Ethernet

Standardni Ethernet je razvijen za rad na brzinama od 10 Mbit/s. Upravljanje pristupom mediju ostvareno je metodom CSMA/CD unutar MAC podsloja, a prijenosni signal se kodira Manchester metodom. S obzirom na vrstu prijenosnog medija standardni Ethernet na razini fizičkog sloja specificira 4 tipa Etherneta: 10Base5 (*engl. Thick Ethernet*), 10Base2 (*engl. Thin Ethernet*), 10Base-T (*engl. Twisted-Pair Ethernet*) i 10Base-FL (*engl. Fiber Link Ethernet*).

10Base5 Thick Ethernet koristi kao prijenosni medij „debeli“ koaksijalni kabel (npr. RG-8/U) karakteristične impedancije 50Ω pa je po tome i dobio naziv. Kabel je vanjskog promjera 10 mm, žute ili narančaste boje, označen vidljivim prstenima na svakih 2.5 m duljine kao indikacija gdje stanice mogu biti spojene. Maksimalna duljina segmenta je 500 m uz mogućnost spajanja ukupno do 5 segmenata (2500 m). Svaki segment na krajevima mora biti zaključen otpornikom karakteristične impedancije. Na jednom segmentu dozvoljeno je spojiti najviše 100 stanica, s minimalnim međusobnim razmakom od 2.5 m. Oklop kabela mora biti uzemljen na jednom kraju.

Priklučivanje uređaja se može ostvariti primjenom N koaksijalnog konektora ili probojnog (vampirskog) kontakta. Kod primjene N konektora potrebno je rezati kabel, što je problematično s aspekta pouzdanosti, diskontinuiteta medija i cijene, a kod primjene probojnog kontakta može se desiti da prijelazni otpor kontakta bude velik. Stoga se u oba slučaja na kabel instalira priključna jedinica MAU (*engl. Media Attachment Unit*). Veza između priključne jedinice i stanice ostvaruje se posebnim sučeljem priključne jedinice AUI (*engl. Attachment Unit Interface*) preko tzv. DIX konektora. AUI sučelje koristi 15-polni priključak, a maksimalna duljina kabela je 50 m.

10Base2 ili Thin Ethernet koristi „tanni“ koaksijalni kabel RG-58 A/U ili C/U karakteristične impedancije 50Ω . Kabel je vanjskog promjera oko 5 mm. Maksimalna duljina segmenta je 185 m, uz mogućnost spajanja ukupno do 5 segmenata (925 m). Svaki segment na krajevima mora biti zaključen otpornikom karakteristične impedancije. Na jednom segmentu dozvoljeno je spojiti najviše 30 stanica, s minimalnim međusobnim razmakom od 0.5 m. Priključivanje uređaja je ostvareno primjenom BNC koaksijalnog konektora i T razvodnog člana. Priključna jedinica (MAU) ugrađena je u vezni sklop. Nedostatak mreža temeljenih na koaksijalnom kabelu je da uslijed greške na kabelu cijeli sustav može pasti.

10Base-T koristi zvjezdastu topologiju i kabel sa uplenenom paricom koji može biti sa ili bez oklopa. Kabel sadrži 4 parice (8 vodiča) od kojih se koriste samo dvije, jedna za prijem, a druga za slanje povezane prema standardu EIA-568B. Stanice su spojene na koncentrator. Maksimalna duljina segmenta je 100 m, a dozvoljeno je spojiti ukupno 6 segmenata u seriju,

od kojih 2 za krajnje uređaje i 4 između zvjezdišta. To znači da maksimalna struktura stabla može imati tri razine, od kojih dvije razine topologije zvijezde i jednu razinu računala. Priklučivanje uređaja je ostvareno primjenom RJ-45 modularnog konektora.

10Base-FL koristi zvjezdastu topologiju za povezivanje stanica na koncentrator. Maksimalna udaljenost koju je moguće ostvariti je 2000 m. Koriste se jednomodna (skuplja, manje gušenje) i višemodna (jeftinija, veće gušenje) vlakna, sve promjera 125 µm. Ova mreža je po svemu ekvivalentna sa 10Base-T osim što se umjesto parica za svaki segment koriste po dvije svjetlovodne niti.

8.3.2. Fast Ethernet

Fast Ethernet je specificiran standardom IEEE 802.3u. Standard podržava brzine prijenosa podataka do 100 Mbit/s sa mogućnošću rada u poludupleksu i dupleksu. Struktura okvira i adresiranje je zadržano kao kod standardnog Etherneta. Umjesto sabirničke topologije koristi se samo zvjezdasta topologija koja je ostvarena primjenom koncentratora i preklopnika.

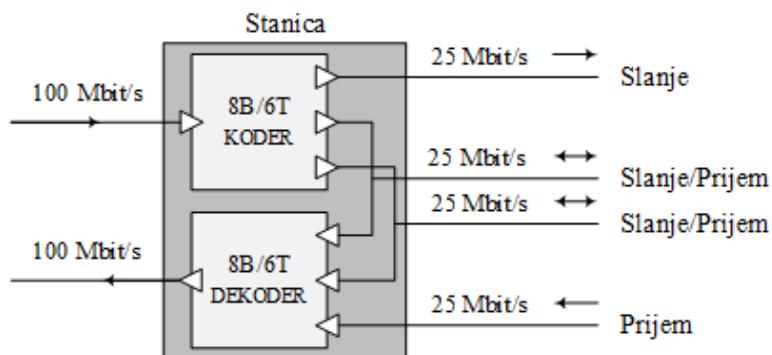
Dupleksnu komunikaciju moguće je ostvariti samo primjenom preklopnika. Kod dupleksne komunikacije se ne koristi metoda CSMA/CD budući nema kolizije signala jer je svakom priključku (portu) preklopnika dodijeljen poseban kanal za komunikaciju. Na ovaj način na prijenos podataka između dva uređaja ne može utjecati komunikacija uređaja sa ostalih kanala odnosno priključaka. Za razliku od preklopnika u radu koncentratora se koristi poludupleksna komunikacija sa metodom pristupa CSMA/CD. Koncentratori naime rade kao klasični obnavljači odnosno samo vrše funkciju prosljeđivanja signala sa svakog ulaznog priključka na sve ostale priključke tako da je moguća kolizija podataka kada više uređaja počne slati istovremeno.

Pored dupleksne komunikacije Fast Ethernet standard je uveo i mogućnost automatskog dogovaranja (*engl. Autonegotiation*) između uređaju o načinu i brzini rada. Tako je moguće razmijeniti postavke komunikacije, povezati uređaje koji rade na različitim brzinama na način da se uređaj koji podržava veću brzinu može prilagoditi brzini uređaja sa nižom brzinom, izvršiti provjeru svojstava koncentratora ili preklopnika sa stanicu i drugo.

Na razini fizičkog sloja standard definira 3 verzije koje možemo kategorizirati u dvije grupe: 2-žičnu i 4-žičnu konfiguraciju, prema broju parica koji se koriste za prijenos signala. Kod 2-žične konfiguracije koristi se kabel sa uplenenom paricom kategorije 5 (100Base-TX) ili svjetlovodni kabel (100Base-FX). 4-žična konfiguracija je dizajnirana za kabele sa uplenim paricama od kategorije 3 na više (100Base-T4). Kodiranje i dekodiranje ovdje nije ostvareno Manchester metodom jer bi to za prijenosne brzine od 100 Mbit/s zahtijevalo frekvencijski opseg signala od 200 Mbaura. Povećanje frekvencije signala imalo bi za posljedicu veće slabljenje signala tako da ne bi bilo moguće ostvariti maksimalnu duljinu segmenta od 100 m koja je podržana CSMA/CD metodom.

Stoga je kod Fast Etherneta za standarde 100Base-TX i 100Base-FX koji koriste 2 parice kabela odnosno 2 svjetlovodne niti kodiranje izvedeno u dva koraka. U prvom koraku se koristi 4B/5B blok kodiranje kojim je omogućena sinkronizacija takta signala uz neznatno povećanje bitske brzine od 125 Mbit/s. U drugom koraku se dobiveni niz kodira pomoću MLT-3 koda za 100Base-TX, a za 100Base-FX pomoću NRZ-I koda prije slanja na liniju. Za primjenu 100Base-TX Ethernet standarda potrebno je koristiti kabel sa upletonim paricama kategorije 5 UTP ili STP.

Standard 100Base-T4 dizajniran je za upotrebu UTP kabela kategorije 3 i više na brzinama prijenosa od 100 Mbit/s. Ovo je naročito ekonomski opravdano za zgrade gdje već postoji instalacija UTP kabela kategorije 3 koji se koriste za potrebe telefonije. Da bi se ostvarila brzina prijenosa od 100 Mbit/s koriste se 4 parice uz primjenu 8B/6T blok kodiranja. Blok kodom 8B/6T omogućena je sinkronizacija takta uz istovremeno smanjenje frekvencijskog opsega signala sa 100 na 75 Mbauda. Budući svaka parica UTP kabela kategorije 3 nije u mogućnosti podržati frekvencijski opseg veći od 25 Mbauda 100Base-T4 dizajniran je za rad na 25-Mbaud frekvencijskom opsegu. Za jednosmjeran prijenos u ovom slučaju bi se moralo koristiti 6 parica (3 parice za svaki smjer po 75 Mbauda). Da bi se omogućio prijenos preko 4 parice dvije parice se koriste za jednosmjerni prijenos, a ostale dvije za dvosmjerni prijenos, sl. 8.5. Parice koje se koriste za jednosmjerni prijenos se uvijek mogu koristiti u jednom smjeru za prijenos signala kolizije.



Slika 8.5. Kodiranje i prijenos signala kod 100Base-T4

8.3.3. Gigabit Ethernet

Gigabit Ethernet je specificiran standardom IEEE 802.3z. Standard podržava brzine prijenosa podataka do 1000 Mbit/s. Slično kao i kod Fast Etherneta podržana je ista struktura okvira i adresiranje te mogućnost rada u poludupleksu sa koncentratorima i dupleksu sa preklopnicima. Također je i podržano svojstvo auto dogovaranja postavki komunikacije između uređaja. Osnovna razlika u odnosu na Fast Ethernet je što se u poludupleksnom načinu rada kod primjene CSMA/CD metode koriste različite minimalne duljine okvira da bi se postigle veće

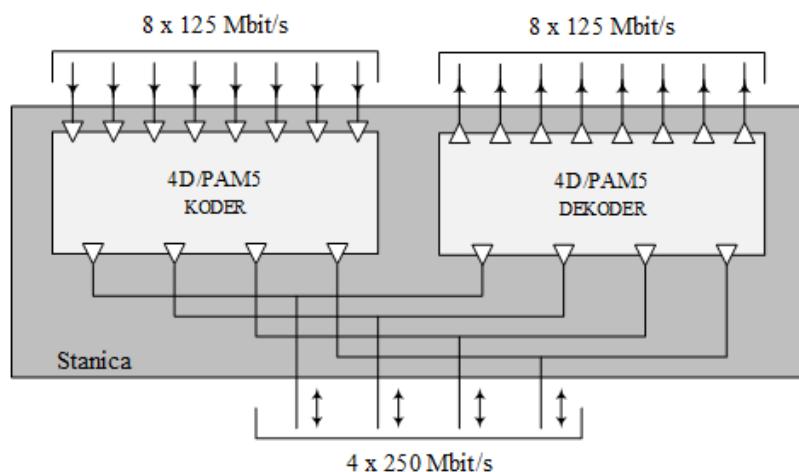
udaljenosti za prijenos signala. Kod dupleksa udaljenost je određena samo slabljenjem signala budući nema kolizije signala između stanica.

U slučaju standardne minimalne duljine okvira od 512 bita kod CSMA/CD metode maksimalna duljina mrežnog segmenta iznosi 25 m što proizlazi iz 100 puta manjeg vremenskog odsječka kolizije ($0.512 \mu\text{s}$) koji je ovisan o brzini prijenosa. Da bi se povećala duljina mrežnog segmenta koristi se CSMA/CD metoda sa većom duljinom minimalnog okvira koji iznosi 512 bajta (4096 bita). Na taj način moguća duljina segmenta je povećana na 200 m.

Na razini fizičkog sloja Gigabit Ethernet definira 4 verzije koje možemo kategorizirati u dvije grupe: 2-žičnu i 4-žičnu konfiguraciju. Kod 2-žične konfiguracije može se koristiti kratkovalni svjetlovodni kabel (1000Base-SX), dugovalni svjetlovodni kabel (1000Base-LX) ili bakreni STP kabel (1000Base-CX). 4-žična konfiguracija koristi kabel sa uplenom paricom kategorije 5 (1000Base-T). Kodiranje i dekodiranje ni ovdje nije ostvareno Manchester metodom jer bi frekvencijski opseg signala bio prevelik (2 Gbauda).

Kod 2-žičnih konfiguracija u prvom koraku se koristi 8B/10B blok kodiranje kojim je omogućena sinkronizacija takta signala uz prijenosnu brzinu od 1.25 Gbit/s. U drugom koraku se dobiveni niz kodira pomoću NRZ koda prije slanja na liniju. Kod ove konfiguracije uvijek se jedna svjetlovodna nit ili bakrena parica koristi za slanje, a druga za prijem. Primjenom 1000Base-SX standarda moguće je ostvariti duljine mrežnog segmenta do 550 m, za standard 1000Base-LX duljine do 5500 m, a za 1000Base-CX maksimalno 25 m.

1000Base-T je dizajniran za rad sa UTP kabelom kategorije 5. Rad sa 4 parice omogućuje prijenosne brzine od 1 Gbit/s. Kod ove konfiguracije nije moguće koristiti dvije parice za slanje, a dvije za prijem jer bi svaka parica trebala ostvariti prijenos signala od 500 Mbit/s što premašuje kapacitet kabela UTP kategorije 5. Da bi se smanjio frekvencijski opseg za slanje od 1.25 Gbit/s preko 4 parice koristi se linijsko kodiranje 4D-PAM5 (*engl. 4-dimensional, 5-level pulse amplitude modulation*), sl. 8.6. Na ovaj način je preko svake parice ostvarena brzina prijenosa od 250 Mbit/s što podržava UTP kabel kategorije 5. Maksimalna duljina mrežnog segmenta kod ovog standarda iznosi 100 m.



Slika 8.6. Kodiranje i prijenos signala kod 1000Base-T

8.3.4. 10-Gigabit Ethernet

10-Gigabit Ethernet je standardiziran kao IEEE 802.3ae. Standard podržava brzine prijenosa podataka do 10 Gbit/s i kompatibilan je sa svim standardima Etherneta kao i sa tehnologijama Frame Relay i ATM. Također omogućuje povezivanje postojećih LAN-ova u veće MAN i WAN mreže. 10-Gigabitni Ethernet radi samo u dupleksnom modu (ne koristi se metoda CSMA/CD), a na razini fizičkog sloja je dizajniran samo za rad sa svjetlovodnim kabelima na velikim udaljenostima. U primjeni se najčešće koriste verzije 10GBase-S, 10GBase-L i 10GBase-E. Tipovi prijenosnih medija i maksimalne duljine mrežnih segmenata za ovaj standard su prikazani u tablici 8.3.

KARAKTERISTIKE	10GBASE-S	10GBASE-L	10GBASE-E
Prijenosni medij	Višemodni svjetlovodni kabel 850 nm (Short-wave)	Jednomodni svjetlovodni kabel 1310 nm (Long-wave)	Jednomodni svjetlovodni kabel 1550 nm (Extended)
Maksimalna dulžina mrežnog segmenta (m)	300	10 000	40 000

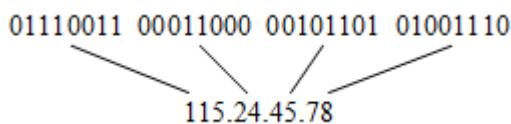
Tablica 8.3. Primjene 10-Gigabitnog Etherneta

8.4. IP Adresiranje

U Ethernet mreži logičko adresiranje je ostvareno na razini mrežnog sloja primjenom IP protokola. Trenutno su u upotrebi dvije verzije IP protokola: IPv4 koji se jednostavno naziva samo IP i novija verzija IPv6 koja je razvijena zbog nedostatka adresa u IPv4 verziji. IP ili Internet adresa je predstavljena kao 32-bitni binarni broj kojim je moguće ukupno adresirati 2^{32} ili 4 294 967 296 uređaja, dok IPv6 adresa sadrži 128 bitova. IPv4 i IPv6 protokoli nisu u potpunosti kompatibilni pa je za komunikaciju između uređaja koji rade na različitim IP protokolima potrebno da uređaji koji rade na IPv6 protokolu koriste tzv. mapirane adrese koje predstavljaju posebne odnosno rezervirane podgrupe IPv6 adresa. IP adresa svakog uređaja mora biti jedinstvena na mreži.

8.4.1. IPv4 adrese

IPv4 adrese se zbog jednostavnosti u radu označavaju sa brojevima decimalnog brojevnog sustava. 32 bita IPv4 adrese su podijeljena u 4 bajta. Svaki bajt je odvojen od slijedećeg sa točkom i predstavljen u decimalnom brojevnom sustavu. Na taj način se dobije adresa sastavljena od 4 decimalna broja odvojenih točkom. Ovakav način označavanja adresa se naziva još i decimalno adresiranje (*engl. dotted decimal notation*). Primjer IP adrese predstavljen u binarnom i decimalnom obliku je prikazan na sl. 8.7.

**Slika 8.7.** IPv4 adresa

IPv4 adresa je logički podijeljena u dva dijela: dio koji je namijenjen adresiranju mreže u kojoj se uređaj nalazi i dio koji označava sam uređaj. Maska podmreže (*engl. subnet mask*) nam omogućuje razlučiti koji se dio IPv4 adrese odnosi na mrežu. U ovisnosti o strukturi mrežnog dijela adrese IP adresiranje je izvedeno na dva načina: po klasama (*engl. classful*) i nekласificirano (*engl. classless*).

8.4.1.1. Adresiranje po klasama

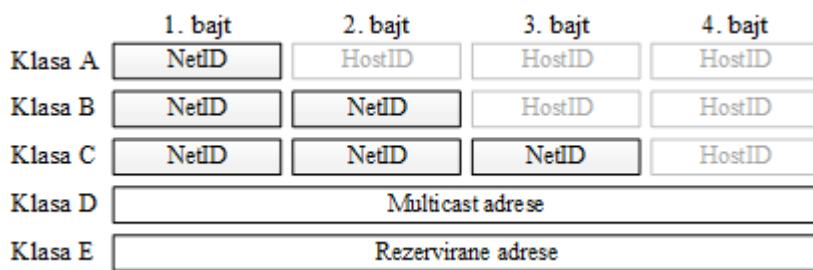
Kod ovog načina adresiranja adrese su podijeljene u 5 klase: A, B, C, D i E. Svaka klasa zauzima određeni adresni prostor od ukupnog broja raspoloživih adresa. Klase su definirane početnim bitima prvog bajta kao što je to prikazano na sl. 8.8.

	1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt		1. bajt	2. bajt	3. bajt	4. bajt
Klase A	0					0-127			
Klase B	10					128-191			
Klase C	110					192-223			
Klase D	1110					224-239			
Klase E	1111					240-255			

Slika 8.8. Klase adresa u binarnom i decimalnom obliku

U praksi se najčešće koriste A, B i C klase adresa. Klasi A adresa pripadaju sve adrese kojima prvi bajt počinje brojem između 1 i 127 (npr. 15.8.3.240, 111.16.12.9, itd). Klasi B pripadaju sve adrese kojima prvi bajt počinje brojem između 128 i 191 (npr. 131.56.14.3, 176.192.128.4, itd). Klasi C pripadaju sve adrese kojima prvi bajt počinje brojem između 192 i 223 (npr. 198.184.16.5, 218.115.68.90, itd).

Kod adresiranja po klasama IP adrese su za klase A, B i C podijeljene na dva dijela, mrežnu adresu (*engl. NetID*) i adresu uređaja (*engl. HostID*). Za klase adresa D i E ova podjela ne vrijedi. Broj bajta koji se odnosi na mrežnu adresu i adresu uređaja ovisi o klasi adrese, kao što je prikazano na sl. 8.9.



Slika 8.9. Struktura mrežnih adresa i adresa uređaja kod adresiranja po klasama

Kod klase A prvi bajt definira mrežnu adresu, a ostala tri adresu uređaja. Ukupno je moguće dodijeliti 128 mrežnih adresa i 16 777 216 adresa uređaja (za 24 bita broj mogućih adresa je $2^{24} = 16\ 777\ 218$ – 2 adrese sa nulama i jedinicama koje se ne smiju koristiti). Klase A adresa se koriste kod velikih organizacijskih jedinica koje imaju veliki broj stanica i usmjerivača spojenih na svoju mrežu. Broj raspoloživih adresa je obično veći nego je potrebno za većinu organizacija tako da je najveći dio adresa neiskorišten.

Kod klase B prva dva bajta definiraju mrežnu adresu, a ostala dva adresu uređaja. Ukupno je moguće dodijeliti $2^{14} = 16\ 384$ mrežnih adresa i $2^{16} = 65\ 536$ adresa uređaja. Adrese sa nulama i jedinicama se ne koriste pa je broj dostupnih adresa uređaja jednak 65 534. Adrese klase B su predviđene za organizacije srednje veličine koje imaju desetke tisuća stanica ili usmjerivača spojenih na mrežu. Ipak i za ovu klasu broj raspoloživih adresa je puno veći od potrebnih pa i ovdje veliki broj adresa ostaje neiskorišten.

U klasi C prva tri bajta definiraju mrežnu adresu, a zadnji bajt adresu uređaja. Ukupno je moguće dodijeliti $2^{21} = 2\ 097\ 152$ mrežnih adresa i $2^8 = 256$ adresa uređaja. Adrese sa nulama i jedinicama se ne koriste pa je broj dostupnih adresa uređaja jednak 254. Adrese klase C su predviđene za manje organizacije kod kojih je broj stanica i usmjerivača povezanih na mrežu mali. Obično je raspon adresa kod ove klase unutar mrežne grupe premali za zadovoljenje potreba većine malih organizacija.

Klase A, B i C adresa se koriste za jednosmjernu (*engl. Unicast*) komunikaciju između dva uređaja. Da bi uređaj bio u mogućnosti slati ili primati pakete mora imati barem jednu *unicast* adresu.

U klasi D i E sva 4 bajta se koriste za adresiranje grupe uređaja ili samog uređaja. Ukupno je moguće dodijeliti $2^{28} = 268\ 435\ 456$ adresa. Adrese iz klase D koriste se za višesmjerne (*engl. Multicast*) komunikacije, odnosno za slanje paketa od jednog uređaja ka grupi uređaja. Multiplikacija paketa se obavlja u usmjerivačkim uređajima u točki razdvajanja prema pošiljateljima. U jednom trenutku na jednoj fizičkoj vezi može postojati samo jedan paket grupne adrese odredišta. U ovisnosti o tome da li pripada jednoj ili više grupa uređaj može imati jednu ili više *multicast* adresu. *Multicast* adresa se može koristiti samo kao odredišna

adresa, a nikako kao izvorišna. Adrese iz klase E su rezervirane i predviđene za buduće namjene i istraživačke svrhe.

U svakoj klasi određene IP adrese koriste se za posebne namjene (tzv. rezervirane adrese) koje se ne dodjeljuju uredaju na mreži. IP adrese od posebnog značenja su:

- Adresa 0 klase A (0.0.0.0) koja označava predefinirani smjer (*engl. default route*). Poslužitelj ili usmjerivač prosljeđuje na tu adresu primljeni paket čije odredište nije poznato.
- Adresa koja počinje sa 127 je rezervirana IPv4 adresa za testiranja. Primjer takve adrese je adresa povratne petlje 127.0.0.1 (*engl. loopback address*) koja služi za provjeru rada računala u mreži kada on na nju nije spojen. Podaci poslati na tu adresu vraćaju se natrag istom računalu. U informatičkoj terminologiji računalo koje koristi ovu adresu se naziva lokalno računalo (*engl. localhost*).

Neovisno o klasi adresa IP adresa uređaja ne smije u dijelu koji se odnosi na adresu uređaja sadržavati sve „0“ ili sve „1“. Naime IP adresa koja sadrži sve „0“ na mjestu adrese uređaja (npr. 160.100.0.0) se koristi kao mrežna adresa, dok IP adresa koja sadrži sve „1“ na mjestu adrese uređaja (npr. 160.100.255.255) predstavlja univerzalnu ili *broadcast* adresu. Paketi poslati na univerzalnu adresu se prosljeđuju na sve uređaje te mreže. U ovom primjeru paketi poslati na adresu 160.100.255.255 biti će dostavljena svim uređajima u mreži 160.100.0.0.

8.4.1.1.1. Maska mrežne adrese

Maska mrežne adrese (*engl. Default mask*) se koristi kako bi se iz IP adrese omogućilo brzo izdvajanje mrežne adrese i adrese uređaja. Ovo je neophodno budući se princip usmjeravanja paketa kod usmjerivača upravo zasniva na čitanju mrežne adrese. Maska je definirana kao 32-bitni binarni broj koji u logičkoj AND operaciji sa IP adresom kao rezultat daje mrežnu adresu. Rezultat AND operacije je da bit u IP adresi ostaje isti (0 ili 1) ako je odgovarajući bit u maski 1, a ako je bit u maski 0 odgovarajući bit u IP adresi će biti promijenjen u 0. U tablici 8.4. su prikazane maske mrežne adrese za sve klase.

KLASA	BINARNO OZNAČAVANJE	DECIMALNO OZNAČAVANJE	*CIDR
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255.0.0.0	/8
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255.0.0	/16
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255.0	/24

*CIDR (*engl. Classless Interdomain Routing notation*)

Tablica 8.4. Maska mrežne adrese

Budući broj jedinica u svakoj klasi odgovara broju bita mrežne adrese na ovaj način je ostvareno izdvajanje mrežne adrese te postavljanje bitova adresa uređaja u nulu. Zamjenski prikaz maske je kosa crta iza koje slijedi broj jedinica (*engl. slash notation ili CIDR - Classless Interdomain Routing notation*).

Kod usmjeravanja paketa će tako na primjer kada usmjerivač primi paket sa odredišnom adresom 190.240.7.91. najprije ustanoviti klasu adrese provjerom prvog bajta. U ovom slučaju se radi o adresi klase B. Zatim se adresa uspoređuje primjenom AND operatora sa maskom klase B 255.255.0.0. što kao rezultat daje mrežnu adresu paketa 190.240.0.0. Na osnovu mrežne adrese i tablice usmjeravanja usmjerivač će proslijediti paket prema odredištu.

8.4.1.1.2. Privatne i javne IP adrese

Adresiranje po klasama ima nedostatak da je broj raspoloživih adresa puno veći od potrebnih tako da veliki broj adresa ostaje neiskorišten. Da bi se to umanjilo adrese su podijeljene u javne i privatne. Javne su one adrese koje se mogu usmjeravati preko interneta. Privatne IP adrese se ne mogu usmjeravati preko interneta, već se podešavaju u privatnim lokalnim mrežama unutar tvrtki ili organizacija.

Međutim primjena IP adresa u privatnim mrežama nije proizvoljna jer u slučaju duplicitiranih adresa uređaji čije adrese već postoje ne bi ispravno funkcionirali pri povezivanju na internet. Upravni odjel za dodjelu mrežnih adresa na internetu IANA (*engl. Internet Assigned Numbers Authority*) je stoga rezervirao tri bloka IP adresa za privatne mreže, tablica 8.5.

KLASA	IP ADRESE	PREFIKS
A	10.0.0.0. – 10.255.255.255.	/8
B	172.16.0.0. – 172.31.255.255.	/12
C	192.168.0.0. – 192.168.255.255.	/16

Tablica 8.5. Privatne IP adrese

Uređaji unutar privatne mreže kojima je dodijeljena privatna IP adresa mogu komunicirati sa svim uređajima, privatnim i javnim, unutar organizacije, ali se ne mogu povezati IP vezom na internet. Takve mreže se nazivaju intranet mreže. Privatne IP adrese se ne usmjeravaju na internet jer su usmjerivači programirani da ne proslijeđuju pakete od i prema privatnim adresama. Mreže s privatnim IP adresama se mogu povezati na internet na dva načina: maskiranjem IP adresa s privatne mreže na mrežnoj razini ili primjenom *Proxy poslužitelja* na prijenosnoj razini. U oba slučaja cijela mreža je prema internetu predstavljena jednim računalom koje ima javnu IP adresu.

8.4.1.1.3. Kreiranje mrežnih podgrupa

Korištenjem većeg broja LAN segmenata u arhitekturi mreže omogućuje se jednostavniji i sigurniji pristup pojedinim dijelovima mreže te se postiže smanjenje ukupnog prometnog opterećenja mreže. Komunikacija između uređaja ne odvija se u tom slučaju preko samo jednog segmenta što bi dovelo do vrlo čestih kolizija već je razdijeljena između više segmenata odnosno grupa. Osim segmentiranja mreže pomoću adresnih grupa definiranih unutar klasa moguće je i svaku tu mrežnu grupu podijeliti na odgovarajući broj mrežnih podgrupa. Kreiranje mrežnih podgrupa (*engl. Subnetting*) se ostvaruje na način da se pojedini biti koji se koriste za adresu uređaja iskoriste za kreiranje adrese mrežne podgrupe tako da je IP adresa predstavljena kao *NetID + SubnetID + HostID*. Da bi se odredio broj bita koji će biti pridijeljen adresi mrežne podgrupe (*engl. SubnetID*) treba odabratи broj bita n tako da je $2^n - 2 \geq$ broja mrežnih podgrupa. Razlog tome je što dvije moguće kombinacije u kojima se koriste sve nule ili jedinice nisu dozvoljene za definiranje nove mrežne podgrupe.

8.4.1.1.3.1. Primjer izračuna mrežnih podgrupa

Uzmimo za primjer da je LAN mreži dodijeljena adresa 210.10.10.0 klase C koju želimo podijeliti na 4 mrežne podgrupe. Prema danom izrazu mora vrijediti da je $2^n - 2 \geq 4$ odnosno $2^3 - 2 = 6$, što znači da moramo iskoristiti 3 bita od adresa uređaja da bi dobili potrebne 4 mrežne podgrupe. Preostalih 5 bita se mogu koristiti za adresiranje uređaja unutar svake mrežne podgrupe. Za svaku mrežnu podgrupu moguće je koristiti 30 adresa u rasponu od 00001 (1_{10}) do 11110 (30_{10}) budući adrese 00000 i 11111 nisu dozvoljene. Adresa uređaja će u ovom slučaju biti predstavljena spajanjem binarnih vrijednosti kao *SubnetID + HostID*. Na primjer, za *SubnetID* = 3 (011) i *HostID* = 1 (00001) adresa uređaja će biti 01100001 binarno ili 97_{10} . Prikaz raspoloživih adresa za 6 mrežnih podgrupa je prikazan u tablici 8.6.

MREŽNA PODGRUPA	SUBNET ID	HOST ID	IP ADRESE
Nije dozvoljena	000		
1	001	00001-11110	200.10.10.33. – 200.10.10.62.
2	010	00001-11110	200.10.10.65. – 200.10.10.94.
3	011	00001-11110	200.10.10.97. – 200.10.10.126.
4	100	00001-11110	200.10.10.129. – 200.10.10.158.
5 (u rezervi)	101	00001-11110	200.10.10.161. – 200.10.10.190.
6 (u rezervi)	110	00001-11110	200.10.10.193. – 200.10.10.222.
Nije dozvoljena	111		

Tablica 8.6. Adrese 6 mrežnih podgrupa za mrežnu adresu 200.10.10.0 klase C

Ukupan broj dostupnih adresa uređaja je sada smanjen sa 254 na 180. Budući su tri bita adresa uređaja iskorištena za definiranje mrežnih adresa podgrupa da bi usmjerivači bili u mogućnosti proslijediti pakete mrežnim podgrupama potrebno je i maske mrežnih podgrupa prilagoditi tome. Maska mrežnih podgrupa će u ovom slučaju biti proširena za tri bita i iznositi će: 11111111 11111111 11111111 **11100000** ili 255.255.255.224.

8.4.1.2. Neklasificirano adresiranje

Neklasificirano adresiranje (*engl. Classless*) razvijeno je 1990-tih godina sa ciljem boljeg iskorištenja adresnog prostora budući je kod postojećeg adresiranja po klasama veliki broj adresa bio neiskorišten. Minimalni broj adresa koji se do tada mogao dodijeliti po svakoj mrežnoj grupi je bio 256 (klasa C), a maksimalni broj 16 777 216 (klasa A). To je predstavljalo veliki problem jer većina malih korisnika kao što su kućanstva ili manja poduzeća ne zahtijeva više od desetak ili čak i manje adresa. Da bi se ovo omogućilo organizacije za pružanje internet usluga (*engl. ISP - Internet Service Providers*) su 1996. god. osmisile novi način neklasificiranog adresiranja u kojem je ukupni adresni prostor od 2^{32} adresa podijeljen na blokove različitih veličina koji ne pripadaju ni jednoj klasi. Na ovaj način je moguće definirati proizvoljne blokove adresa. Za kreiranje adresnih blokova vrijede slijedeća pravila:

- Adrese u bloku moraju biti definirane u nizu, jedna iza druge.
- Broj adresa u bloku mora odgovarati potenciji broja 2 (2, 4, 8, ..., 128,...). Na taj način se kućanstvima može dodijeliti blok od 2 adrese, manjim poduzećima 16, a većim na primjer 1024 adrese.
- Početna adresa mora biti djeljiva sa brojem adresa. Npr. ako blok sadrži 4 adrese, početna adresa, kao 32-bitni broj, mora biti djeljiva sa 4.

U tablici 8.7. prikazan je blok od 16 adresa ostvaren postupkom neklasificiranog adresiranja. Adresni blok je definiran sa maskom 200.10.10.32 /28.

ADRESE	BINARNO OZNAČAVANJE	DECIMALNO OZNAČAVANJE
1	11001000 00001010 00001010 001 00000	200.10.10.32
2	11001000 00001010 00001010 001 00001	200.10.10.33
16	11001000 00001010 00001010 001 01111	200.10.10.47

Tablica 8.7. Blok od 16 adresa dobiven postupkom neklasificiranog adresiranja

U ovom primjeru imamo niz od 16 adresa čiji je broj potencijal broja 2, a prva adresa je djeljiva sa 16. Prva adresa pretvorena u decimalni broj iznosi 33 5610 1152, a podijeljena sa 16 dobijemo 209 756 322. IP adresu predstavljenu u decimalnoj notaciji po bazi 256 možemo pisati:

$$\begin{array}{cccc} 200 & . & 10 & . \end{array} \begin{array}{c} 32 \\ 256^3 \cdot 256^2 \cdot 256^1 \cdot 256^0 \end{array}$$

Ukupan broj adresa možemo izračunati zbrajanjem svih umnožaka bajtova i pripadajuće baze $256^x(32 \cdot 256^0 + 10 \cdot 256^1 + 10 \cdot 256^2 + 200 \cdot 256^3)$.

Dodjeljivanje blokova adresa na globalnoj razini u nadležnosti je organizacije ICANN (*engl. Internet Corporation for Assigned Names and Addresses*). ICANN ne dodjeljuje adrese individualnim organizacijama već samo ISP-ovima koji dalje vrše podjelu i dodjeljivanje adresa internet korisnicima. Kada se organizaciji dodijeli blok adresa tada joj je i prepušteno dodjeljivanje adresa uređajima koji se trebaju povezati na internet. Prva adresa se naziva mrežnom adresom i definira mrežu organizacije u odnosu na sve ostale mreže. Mrežna adresa se ne dodjeljuje uređaju već je usmjerivači koriste za prosljeđivanje paketa primljenih od ostalih mreža.

8.4.1.2.1. Maska mrežne adrese

Kod neklasificiranog adresiranja maska mrežne adrese definirana je u obliku x.y.z.t /n, gdje je n broj jedinica gledano s lijeve strane adrese, dok preostali dio adrese predstavljaju nule (32-n bita s desne strane). Razlika u odnosu na masku adresiranja po klasama je što ovdje maska bloka može biti bilo koja vrijednost od 0 do 32. Kod neklasificiranog adresiranja n -bita s lijeve strane se često naziva prefiksom (predstavljaju mrežnu adresu), a 32-n bita s desne strane sufiksom (predstavljaju adrese uređaja). U prethodnom primjeru adrese 200.10.10.32 /28 prvih 28 bita predstavlja mrežnu adresu, a sa $32-28=4$ bita su određene adrese uređaja. Prva adresa u bloku je mrežna adresa i definirana je sa sva 4 bita u „0“, dok je zadnja adresa u bloku, *broadcast* adresa, definirana sa sva 4 bita u „1“. Adresa uređaja će i ovdje biti izražena vrijednošću posljednjeg bajta koji uključuje i dio koji se odnosi na mrežnu adresu. Stoga je prva adresa jednaka 0010**0000** (32), a zadnja 0010**1111** (47).

8.4.1.2.1.1. Kreiranje mrežnih podgrupa

Kod neklasificiranog adresiranja kreiranje mrežnih podgrupa (*engl. Subnetting*) izvodi se na način da se podgrupama uvijek dodjeljuje broj adresa koji je jednak potenciji broja 2. Svaka podgrupa koja je slijedeća u nizu ima mrežnu adresu koja slijedi odmah iza posljednje adrese prethodne podgrupe. Na ovaj način su sve adrese u potpunosti iskorištene što nije bio slučaj kod adresiranja po klasama. U nastavku je prikazano nekoliko primjera konfiguriranja mrežnih podgrupa.

8.4.1.2.1.1.1. Primjer 1 - kreiranje mrežnih podgrupa iste veličine

Za dodijeljeni blok adresa 125.45.23.64 /26 potrebno je kreirati 4 mrežne podgrupe.

- Ukupan broj adresa dostupan u dodijeljenom bloku adresa se može odrediti iz sufiksa koji sadrži $32-26 = 6$ bita što omogućuje ukupno adresiranje $2^6 = 64$ uređaja. Ako kreiramo 4 mrežne podgrupe svaka će imati po 16 adresa.
- Budući sve mrežne podgrupe imaju po 16 adresa sufiks za svaku podgrupu će iznositi 4 bita ili $2^4 = 16$.
- Novu masku mrežnih podgrupa odnosno prefiks možemo odrediti iz izraza $32-n$ (bita sufiksa) odnosno $32-4 = 28$ iz čega slijedi da je prva adresa prve mrežne podgrupe jednaka 125.45.23.64 /28. Isti rezultat možemo dobiti i na način da vrijedi relacija $2^{32-n} = 16$ (ukupan broj adresa u podgrupi) gdje je n broj bita maske mrežne podgrupe.
- Prvu i zadnju adresu u svakoj mrežnoj podgrupi dobiti ćemo tako da sve bitove sufiksa postavimo u „0“ odnosno „1“ kao u tablici 8.8.

MREŽNE PODGRUPE	BINARNO OZNAČAVANJE	DECIMALNO OZNAČAVANJE
1 (1)	01111101 00101101 00010111 0100 0000	125.45.23.64 /28
1 (16)	01111101 00101101 00010111 0100 1111	125.45.23.79 /28
2 (1)	01111101 00101101 00010111 0101 0000	125.45.23.80 /28
2 (16)	01111101 00101101 00010111 0101 1111	125.45.23.95 /28
3 (1)	01111101 00101101 00010111 0110 0000	125.45.23.96 /28
3 (16)	01111101 00101101 00010111 0110 1111	125.45.23.111 /28
4 (1)	01111101 00101101 00010111 0111 0000	125.45.23.112 /28
4 (16)	01111101 00101101 00010111 0111 1111	125.45.23.127 /28

Tablica 8.8. Struktura od 4 mrežne podgrupe za blok adresa 125.45.23.64 /26 u neklasificiranom adresiranju

8.4.1.2.1.1.2. Primjer 2 - kreiranje mrežnih podgrupa različite veličine

ISP-u je dodijeljen blok adresa sa početnom adresom od 198.75.0.0/16 (65 536 adresa). ISP treba podijeliti ove adrese u tri grupe na sljedeći način:

- a. Prva grupa ima 32 korisnika, svaki treba 256 adresa.
- b. Druga grupa ima 64 korisnika, svaki treba 128 adresa.
- c. Treća grupa ima 128 korisnika, svaki treba 64 adrese.

Treba kreirati mrežne podgrupe te odrediti koliko je adresa još dostupno nakon ove podijele.

a. Grupa 1

- Za svakog korisnika iz ove grupe treba kreirati mrežnu podgrupu od 256 adresa što odgovara sufiksu od 8 bita ($2^8 = 256$) da bi se adresirali svi uređaji.
- Maska svake mrežne podgrupe se u tom slučaju može odrediti iz izraza $32-n$ (bita sufiksa) odnosno $32-8 = 24$. Početna adresa prve mrežne podgrupe određena je početnom adresom dodijeljenog bloka ali sa uvećanom maskom $198.75.0.0 /24$. Prva adresa i zadnja adresa svake podgrupe definirane su sufiksom (8 bita) koji ima sve „0“ odnosno sve „1“. Mrežne podgrupe za svakog korisnika grupe 1 će izgledati kao u tablici 8.9.
- Adrese se kreiraju u kontinuitetu, a kada vrijednost nekog bajta dosegne 255 kod kreiranja slijedeće grupe se povećava vrijednost prethodnog bajta za 1.

GRUPA 1 MREŽNE PODGRUPE	PRVA ADRESA	ZADNJA ADRESA
Korisnik 1	198.75.0.0 /24	198.75.0.255 /24
Korisnik 2	198.75.1.0 /24	198.75.1.255 /24
...
Korisnik 32	198.75.31.0 /24	198.75.31.255 /24
Ukupan broj adresa u grupi 1: $32 \times 256 = 8192$		

Tablica 8.9. Struktura grupe 1 u neklasificiranom adresiranju

b. Grupa 2

- Za svakog korisnika iz ove grupe treba kreirati mrežnu podgrupu od 128 adresa što odgovara sufiksu od 7 bita ($2^7 = 128$).
- Maska svake mrežne podgrupe je u tom slučaju iz izraza $32-n$ (bita sufiksa) jednaka $32-7 = 25$. Početna adresa prve mrežne podgrupe grupe 2 određena je prvom slijedećom adresom iza posljednje adrese u grupi 1. Mrežne podgrupe za svakog korisnika grupe 2 su prikazane u tablici 8.10.

GRUPA 2 MREŽNE PODGRUPE	PRVA ADRESA	ZADNJA ADRESA
Korisnik 1	198.75.32.0 /25	198.75.32.127 /25
Korisnik 2	198.75.32.128 /25	198.75.32.255 /25
...
Korisnik 64	198.75.63.128 /25	198.75.63.255 /25
Ukupan broj adresa u grupi 2: $64 \times 128 = 8192$		

Tablica 8.10. Struktura grupe 2 u neklasificiranom adresiranju

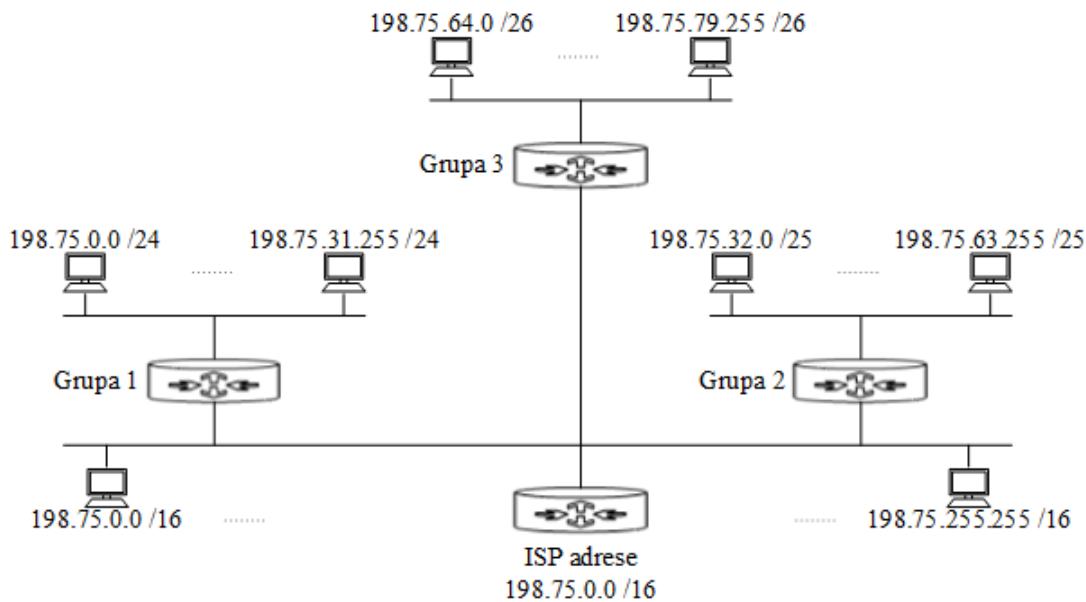
c. Grupa 3

- Za svakog korisnika iz ove grupe treba kreirati mrežnu podgrupu od 64 adrese što odgovara sufiksu od 6 bita ($2^6 = 64$).
- Maska svake mrežne podgrupe je u tom slučaju jednaka $32-6 = 26$. Početna adresa prve mrežne podgrupe grupe 3 određena je prvom sljedećom adresom iza posljednje adrese u grupi 2. Mrežne podgrupe za svakog korisnika grupe 3 su prikazane u tablici 8.11.

GRUPA 3 MREŽNE PODGRUPE	PRVA ADRESA	ZADNJA ADRESA
Korisnik 1	198.75.64.0 /26	198.75.64.63 /26
Korisnik 2	198.75.64.64 /26	198.75.64.127 /26
...
Korisnik 128	198.75.79.192 /26	198.75.79.255 /26
Ukupan broj adresa u grupi 3: $128 \times 64 = 8192$		

Tablica 8.11. Struktura grupe 3 u neklasificiranom adresiranju

Od ukupno dodijeljenih $2^{16} = 65\ 536$ adresa u tri grupe je iskorišteno $3 \times 8192 = 24\ 576$ adresa tako da je preostalo još 40 960 slobodnih.



Slika 8.10. Strukturiranje ISP adresnog bloka na mrežne podgrupe različitih veličina u neklasificiranom adresiranju

8.4.1.2.1.1.3. Primjer 3 – određivanje mrežne adrese

Odredite mrežnu adresu ako je jedna od adresa 157.125.70.85 /27.

Budući je prefiks 27, prvih 27 bita ne možemo mijenjati. Mrežna adresa je određena sufiksom od $32-27 = 5$ bita kada su svi jednaki „0“. Kako ovi bitovi utječu samo na posljednji bajt 01010101 (85) dobiti ćemo 01000000 ili 64 pa će mrežna adresa biti jednaka 157.125.70.64 /27.

8.4.1.2.1.1.4. Primjer 4 – određivanje adresnog opsega

Na osnovu poznate adrese 198.16.39.42 /28 treba odrediti prvu i zadnju adresu bloka te ukupan broj adresa?

- Adresa u binarnom obliku izgleda: 11000110 00010000 00100111 00101010. Ako postavimo $32-28 = 4$ bita s desne strane u „0“, prva adresa u bloku će biti 11000110 00010000 00100111 00100000 ili 198.16.39.32.
- Posljednja adresa u bloku se može naći postavljanjem $32-28 = 4$ bita s desne strane u „1“, odnosno 11000110 00010000 00100111 00101111 ili 198.16.39.47.
- Ukupan broj adresa se može naći iz izraza $2^{32-n} = \text{broj adresa}$, gdje je n maska mrežne adrese pa slijedi $2^{32-28} = 16$.

Isti primjer možemo riješiti primjenom maske mrežne adrese /28 koja se može prikazati kao 32-bitni binarni broj 11111111 11111111 11111111 11110000.

- Prva adresa se dobije AND operacijom između IP adrese i maske.

IP adresa:	11000110 00010000 00100111 00101010
Maska:	11111111 11111111 11111111 11110000
Prva adresa:	11000110 00010000 00100111 00100000

- Posljednja adresa se dobije OR operacijom između IP adrese i komplementa maske.

IP adresa:	11000110 00010000 00100111 00101010
Maska:	00000000 00000000 00000000 00001111
Prva adresa:	11000110 00010000 00100111 00101111

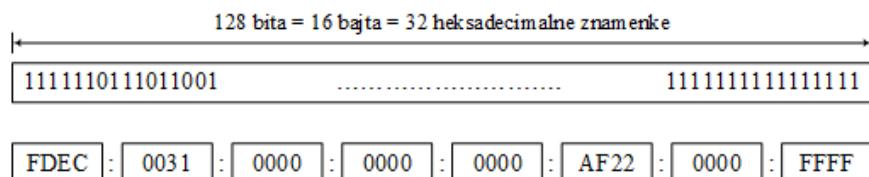
- Ukupan broj adresa dobijemo ako komplement maske interpretiramo kao decimalni broj uvećan za 1.

Maska:	00000000 00000000 00000000 00001111
Broj adresa:	$15 + 1 = 16$

8.4.2. IPv6 adrese

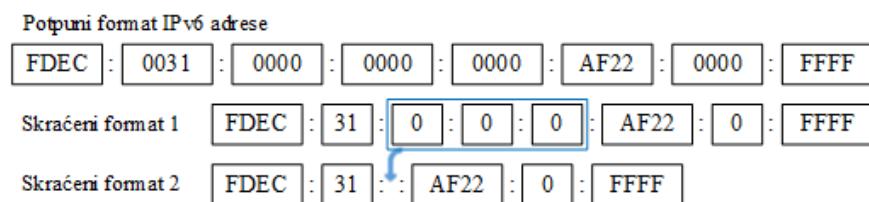
Praktična primjena IPv6 protokola započeta je krajem 1990-ih, a pored značajnog povećanja adresnog prostora donijela je i niz drugih poboljšanja u prijenosu paketa preko mreže. IPv6 telegram je strukturiran na način da su pojednostavljene opcije usmjeravanja paketa, proširene funkcionalnosti te podržani mehanizmi za prijenos audio i video signala u realnom vremenu. Protokol podržava zaštitno kodiranje i autorizaciju što osigurava visok stupanj sigurnosti i integriteta paketa u prijenosu. IPv6 je također dizajniran da se može dalje proširivati po potrebi u skladu sa novim tehnologijama i aplikacijama.

IPv6 adresa je predstavljena sa 16 bajtova duljine 128 bita. Radi jednostavnosti rada i bolje čitljivosti koristi se heksadecimalni oblik zapisivanja u kojem je 128 bita podijeljeno na 8 dijelova od 2 bajta odvojenih dvotočkom. Dva bajta u heksadecimalnom obliku izražena su kao 4 znamenke tako da imamo ukupno 32 heksadecimalne znamenke, sl. 8.11.



Slika 8.11. IPv6 struktura adresiranja

S obzirom na duljinu prikaza adrese često se koristi skraćeni format u kojem se početne nule zanemaruju ili ne upisuju između dvotočki kao što je to prikazano na sl. 8.12. Neupisivanje nula između dvotočki može se koristiti i za slučaj većeg broja uzastopnih nula ali je to dozvoljeno samo jednom unutar svake adrese. Ako postoje dva razdijeljena niza nula skraćivanje se može ostvariti samo na jednom.



Slika 8.12. Skraćeni format IPv6 adresa

Ukupni broj mogućih adresa kod IPv6 je 2^{128} . Adrese su tipizirane prema vrijednostima početnih bita koje nazivamo prefiksom. U tablici 8.12. prikazan je pregled osnovnih tipova IPv6 adresa.

TIP IPV6 ADRESE	BINARNI PREFIKS	IPV6 OZNAKA
Nespecificirana	000...00 (128 bita)	::/128
Loopback	000...01 (128 bita)	::1/128
IPv4 mapirana	000...001111111111111111 (96 bita)	::FFFF/96
Multicast	11111111	FF00::/8
Link-Local Unicast	1111111010	FE80::/10
Unique-Local Unicast	1111110	FC00::/7
Global Unicast	Sve ostalo	

Tablica 8.12. Tipovi IPv6 adresa

Nespecificirana adresa sadrži sve nule, a označava nepoznatu adresu uređaja. Obično se koristi u polju izvorišne adrese paketa uređaja koji nema dodijeljenu IPv6 adresu, a pokušava ju dobiti dinamički slanjem upita. Nespecificirana adresa se ne smije koristiti kao odredišna adresa paketa niti smije biti dodijeljena kao adresa uređaja.

Loopback adresa se koristi za funkcije testiranja kada uređaj nije povezan na mrežu. Za razliku od IPv4 adresiranja gdje je za potrebe testiranja dodijeljen cijeli blok adresa klase A 127.16.0.0. /12 kod IPv6 adresiranja se koristi samo jedna adresa ::1/128. Paket poslan na ovu adresu se vraća uređaju koji ga je poslao.

IPv4 mapirane adrese su definirane kako bi se olakšao prijelaz sa IPv4 na IPv6 adresiranje. Ovaj tip adresa se koristi da bi se IPv4 adresa uređaja predstavila pomoću IPv6 adrese. Definirana je kao ::FFFF/96 što omogućuje da se u preostala 32 bita upiše IPv4 adresa.

Global Unicast adrese imaju sličnu namjenu kao javne IPv4 adrese, a koriste se za usmjeravanje paketa prema Internet korisnicima. Globalne adrese korisnicima dodjeljuje međunarodna organizacija IANA. Prva tri bita kod ovih adresa su uvijek postavljena u 001, dok se slijedećih 45 bita koristi kao globalni prefiks usmjeravanja (*engl. Global Routing Prefix*) koji je jedinstven za svakog korisnika odnosno organizaciju. Posljednjih 16 bita koristi se za kreiranje mrežnih podgrupa.

Lokalne adrese se koriste za adresiranje u privatnim mrežama kada se u mreži želi koristiti IPv6 protokol bez povezivanja na internet. Za ovu svrhu definirana su dva tipa adresa: *link* adresa i *unique* adresa:

- **Link Local** adrese imaju sličnu namjenu kao APIPA (*engl. Automatic Private IP Addressing*) u IPv4 koja koristi 169.254.0.0/16 mrežnu grupu. Ove adrese se dodjeljuju uređajima koji nemaju pridruženu IPv6 adresu ili nisu spojeni na računalo-server (npr. DHCP) koje im može automatski dodijeliti mrežnu adresu. Lokalne *link* adrese se mogu koristiti samo na istom mrežnom segmentu. Sve adrese započinju sa FE80 dok je preostali dio adrese jednak nuli budući ovaj tip adresa ne podržava mrežne podgrupe.
- **Unique Local** adrese imaju sličnu namjenu kao privatne IPv4 adrese. Koriste se samo unutar organizacija. Prvih osam bita su uvijek postavljeni u 11111101 (sadrži prefiks adrese 1111110 + osmi bit zastavice Lokal (L) u 1 koji označava da je prefiks dodijeljen lokalno) što definira jedinstveni prefiks adrese FD00::/8. Slijedećih 40 bita *unique* adrese predstavlja globalni identifikator lokacije unutar organizacije. Posljednjih 16 bita mrežne adrese sadrži u sebi i bitove za kreiranje mrežnih podgrupa.

Općenito u IPv6 protokol adrese možemo podijeliti u tri kategorije:

- **Unicast** adrese definiraju adresu uređaja-stanice (*engl. host*). Paket poslan na *unicast* adresu mora biti proslijeđen samo uređaju sa tom adresom. IPv6 definira dva tipa ovih adresa: geografske (predviđene su za buduću upotrebu) i adrese pružatelja internet usluga (*engl. Provider addresses*).
- **Multicast** adrese se koriste za definiranje grupe uređaja. Paket poslan na *multicast* adresu će biti proslijeđen svim članovima grupe. Ova kategorija adresa se koristi i za funkciju *broadcast-inga* budući ta vrsta adresa nije podržana u IPv6.
- **Anycast** adrese se također koriste za definiranje grupe uređaja ali se paket upućen na *anycast* adresu proslijeđuje samo jednom članu grupe i to najbližem. Ova kategorija adresa se najčešće dodjeljuje svim usmjerivačima ISP-a koji pokrivaju veliko područje interneta. Usmjerivači van ISP-a proslijeđuju paket za ISP najbližem usmjerivaču.

Literatura

- [1] Forouzan, B.A. (2007.) *Data Communications and Networking*, 4. izdanje, New York: McGraw-Hill.
- [2] Reynders, D., Wright, E. (2003.) *Practical TCP/IP and Ethernet Networking*, Elsevier-Newnes.
- [3] Dietrich, R. (2004.) *Industrial Ethernet*, Germany: Espelkamp, HARTING Electric GmbH & Co. KG.
- [4] Tanenbaum, A.S., Wetherall, D.J. (2011.) *Computer Networks*, 5. izdanje, Pearson Education Inc., Prentice Hall.
- [5] Bažant, A., Gledec, G., Ilić, Ž., Ježić, G., Kos, M., Kunštić, M., Lovrek, I., Matijašević, M., Mikac, B., Sinković V. (2003.) *Osnovne arhitekture mreža*, Zagreb: Element.
- [6] Ožegović, J., Pezelj, I. (1999/2000.) *Projektiranje i upravljanje računalnim mrežama – Skripta radni materijal*, Split: FESB
- [7] *Ethernet Technical Support* (2014.), Contemporary Controls Systems Inc.,
<http://www.ccontrols.com/support/ethernet.htm>

9. HART protokol

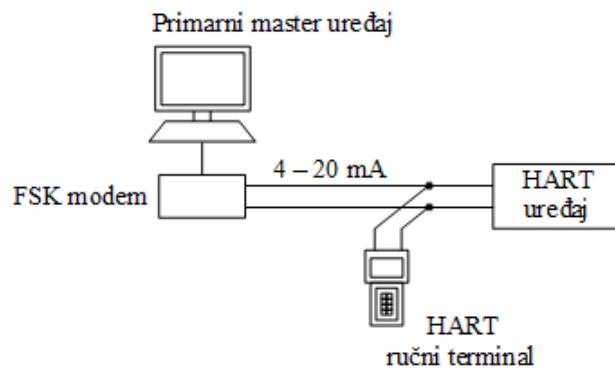
HART komunikacijski protokol omogućuje povezivanje inteligentnih uređaja u polju i prijenos podataka preko standardne analogne strujne petlje. Protokol je sredinom 1980-tih razvila tvrtka Rosemount Inc., a akronim HART potječe od engleskog naziva *Highway Addressable Remote Transducer*. Kod prijenosa podataka digitalni signal se superponira analognom istosmjernom signalu 4-20 mA primjenom FSK modulacije koja je zasnovana na Bell 202 telefonskom komunikacijskom standardu. FSK signal je sinusnog valnog oblika frekvencija 1200 Hz i 2200 Hz koji predstavljaju bitove 1 i 0. Amplituda FSK signala se mijenja ± 0.5 mA u odnosu na analogni istosmjerni signal. Budući je srednja vrijednost FSK signala uvijek jednaka nuli digitalni signal ne utječe na vrijednost istosmjerne struje. Analogni strujni signal 4-20 mA se koristi za prijenos primarne mjerne veličine, dok se digitalnim signalom prenose informacije o statusu uređaja, dijagnostički podaci, konfiguracijski parametri, te dodatne mjerne i kalkulirane vrijednosti.

Brzina komunikacije kod HART protokola je 1200 bit/s uz mogućnost razmjene 2-3 telegrama po sekundi između nadređenog i podređenog HART uređaja. Za pouzdanost komunikacije potrebno je osigurati minimalnu impedanciju petlje od 230Ω .

9.1. HART topologije mreže

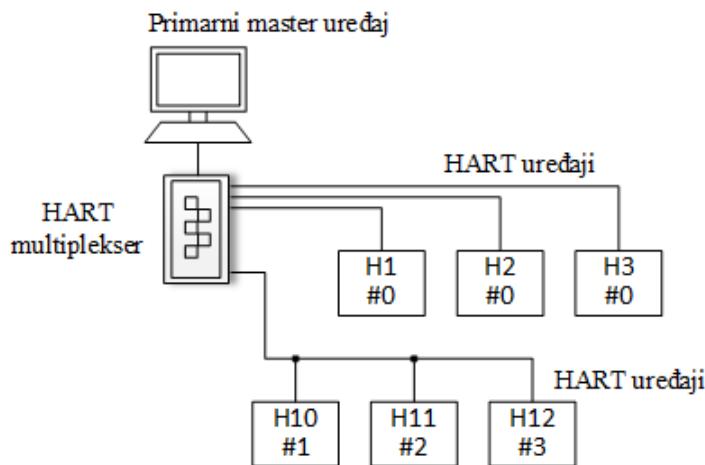
HART protokol koristi *master-slave* način komunikacije u kojoj HART uređaj (senzor, aktuator ili kontroler) samo odgovara na upite nadređenog uređaja. Kao poseban oblik ove komunikacije može se koristiti *burst* mod u kojem HART uređaj kontinuirano šalje istu poruku na zahtjev *master-a*. Na ovaj način je omogućena veća brzina razmjene podataka (3-4 telegrama u sekundi).

HART protokol omogućuje spajanje do dva nadređena uređaja u strujnu petlju: primarni i sekundarni. Primarni uređaj može biti DCS (engl. *Distributed Control System*), PLC ili PC, dok sekundarni uređaj može biti HART ručni terminal ili drugi PC. U tzv. *point-to-point* konfiguraciji nadređeni uređaj spojen je direktno sa HART uređajem, kao što je prikazano na sl. 9.1. Ručni terminali i HART uređaji imaju integriran FSK modem dok se PC stanice na vanjski FSK modem povezuju preko serijskog sučelja. Kod ovakve konfiguracije nadređeni uređaj može biti spojen samo na jedan HART uređaj. Adresa HART uređaja mora biti jednaka 0 jer operativni program uvijek koristi ovu adresu za komunikaciju sa uređajem.



Slika 9.1. HART *point-to-point* konfiguracija

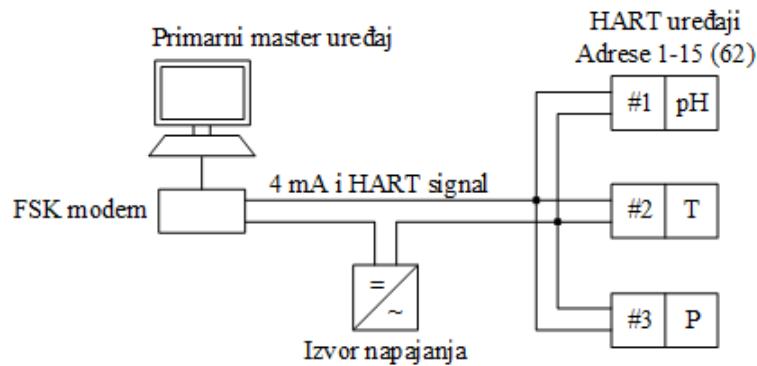
Povezivanje više uređaja moguće je ostvariti pomoću multipleksera, sl. 9.2. ili u multidrop konfiguraciji, sl. 9.3. Multiplekseri mogu podržavati *point-to-point* i multidrop konfiguraciju. U *point-to-point* konfiguraciji svi uređaji su postavljeni na adresu nula i spojeni na odvojene kanale tako da se može preko multipleksera nadzirati analogni signal za svaki uređaj i komunicirati sa njim preko HART protokola. Multiplekser može također raditi kao usmjernik te na taj način omogućiti povezivanje HART uređaja na druge protokole kao što su Modbus, Profibus ili Ethernet.



Slika 9.2. HART konfiguracija sa multiplekserom

U multidrop konfiguraciji uređaji razmjenjuju sve podatke HART protokolom dok se istosmjerni signal od 4 mA koristi isključivo za napajanje uređaja preko dvožilnog kabela. U ovoj konfiguraciji može se paralelno povezati do 15 uređaja ako se koristi revizija 5 HART protokola ili 62 uređaja u slučaju HART protokola revizije 7. Zbog većeg broja uređaja i opterećenja nužno je koristiti i dodatni izvor napajanja. Svi uređaji moraju imati jedinstvenu adresu u rasponu od 1-62 ovisno o reviziji HART protokola koji se koristi. Vrijeme potrebno

da *master* uređaj razmjeni informaciju veličine jedne varijable sa HART uređajem iznosi oko 500 ms, tako da u topologiji sa 15 uređaja *master-u* treba oko 7.5 s da pročita primarne mjerne vrijednosti sa svih uređaja. Ako HART uređaji imaju mogućnost slanja većeg broja mjernih veličina vrijeme može biti i duže.

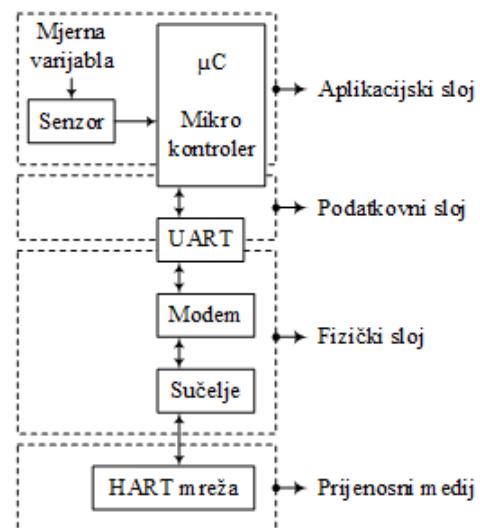


Slika 9.3. HART multidrop konfiguracija

9.2. HART i OSI Model

HART protokol podržava OSI model uz upotrebu 1,2 i 7 sloja. Ostali se ne koriste ili nisu podržani od aplikacijskog sloja.

SLOJEVI OSI MODEL A	HART SLOJEVI
7. Aplikacijski sloj	HART naredbe
3. – 6. sloj	Ne koriste se
2. Podatkovni sloj	HART protokol
1. Fizički sloj	Bell 202



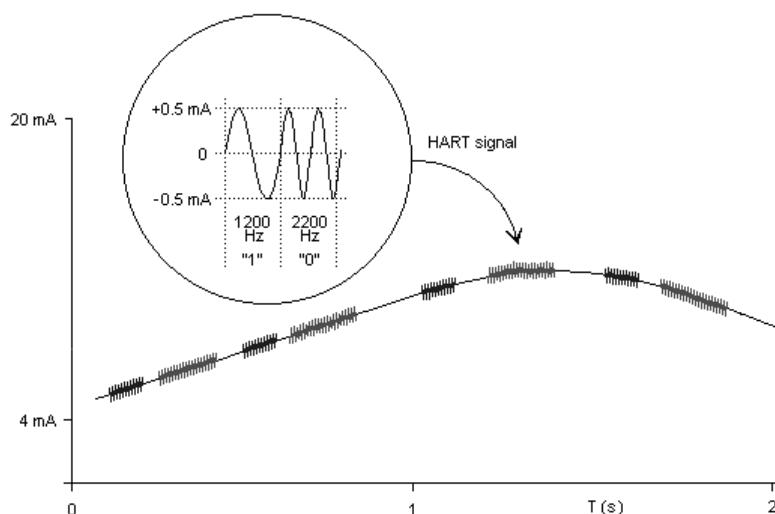
Slika 9.4. HART protokol i OSI model

9.3. Fizički sloj

Fizički sloj definira sučelje, prijenosni medij, razine signala te modulaciju i demodulaciju prijenosnog signala. Na razini fizičkog sloja koriste se dvije metode komunikacije: analogni signal 4-20 mA i digitalna FSK modulacija.

Analognim strujnim signalom 4-20 mA HART uređaj (npr. senzor) šalje nadređenom uređaju vrijednost koja je proporcionalna izmjerenoj veličini u skladu sa mjernim opsegom. Vrijednost 4 mA predstavlja donju, a 20 mA gornju granicu mjernog opsega senzora. Ova komunikacija je uvijek tipa *point-to-point*, odnosno od jednog uređaja ka drugom jer ako postoji više uređaja na liniji ukupna struja će dati pogrešku izmjerene vrijednosti. Analogni signal zauzima frekvencijsko područje od 0 – 25 Hz dok se digitalni signal emitira na frekvenciji od 500 Hz – 10 kHz tako da nema međusobne interferencije.

Digitalna komunikacija zasnovana je na Bell 202 modemskom standardu, a ostvarena je utiskivanjem digitalnog signala na analogni signal 4-20 mA pomoću FSK metode. Kao digitalni signal koristi se sinusni signal frekvencija 1200 Hz i 2200 Hz koji respektivno predstavljaju 1 i 0, sl. 9.5. Brzina prijenosa digitalnog signala je 1200 bita/s. Budući je srednja vrijednost digitalnog signala nula nema utjecaja na analogni signal koji se istovremeno prenosi.



Slika 9.5. HART signal i FSK modulacija

Da bi se osigurao pouzdan prijenos podataka HART protokol specificira da ukupna impedancija strujne petlje uključujući kabel ne smije biti manja od 230Ω . Također se definira maksimalna impedancija od 1100Ω kao ograničavajući faktor snage izlaza jedinice za napajanje.

9.3.1. Instalacija kabela

Za spajanje uređaja većina proizvođača preporuča korištenje kabela sa upletonom paricom i zaštitnim omotačem kategorije 5. Preporuča se minimalni presjek vodiča 0.2 mm^2 (AWG 24) za udaljenosti do 1500 m, a presjek 0.5 mm^2 (AWG 20) za udaljenosti do 3000 m što je i teoretsko ograničenje za HART komunikaciju. Električna svojstva kabela, prije svega kapacitet, te način i broj spojenih uređaja mogu dodatno utjecati na maksimalnu duljinu kabela.

Uređaji mogu biti napajani preko linije ili zasebno. Ako su napajani preko linije moguće je spojiti najviše 15 ili 62 uređaja (ovisno o reviziji HART standarda). Smanjenjem presjeka i duljine vodiča povećava se ukupni otpor što dovodi do većeg slabljenja i izobličenja signala. Da bi se smanjio utjecaj smetnji potrebno je koristiti kabele sa zaštitnim omotačem koji treba biti uzemljen samo na jednom kraju i to na strani nadređenog uređaja.

9.4. Podatkovni Sloj

Podatkovni sloj se sastoji od dva podsloja: podsloja za upravljanje logičkom vezom (*engl. Logical Link Control*) koji je odgovoran za adresiranje uređaja, kreiranje telegrama i provjeru grešaka u prijenosu te podsloja upravljanja pristupom sabirnici (*engl. Media Access Control*) koji upravlja prijenosom poruka preko fizičkog medija.

Prijenos poruka ostvaren je sa *master-slave* metodom kod koje HART uređaj u polju na svaki primljeni telegram nadređenog uređaja šalje odgovor ili telegram potvrde. Ukoliko su na sabirnicu priključena dva nadređena uređaja, primarni i sekundarni, uvijek se slijedeća poruka šalje sa određenim vremenskim kašnjenjem kako bi se omogućilo drugom *master-u* pristup sabirnici i slanje telegrama. HART uređaj u polju može raditi i u *burst* modu ako to podržava. U *burst* načinu rada uređaj šalje ciklički telegrame sa pauzama od 75 ms koje mogu primati primarni i sekundarni *master* uređaji. Neovisno o broju uređaja na mreži uvijek samo jedan može raditi u ovom modu. Na ovaj način HART uređaj može umjesto uobičajenih 2 poslati 4 telegrama u sekundi.

9.4.1. Struktura telegrama

Kod HART protokola svaki bajt se šalje kao 11-bitni UART znak koji u sebi sadrži početni, paritetni i završni bit. Od revizije 5 HART protokol omogućuje dva formata telegrama koji koriste različite forme adresiranja. Kratki format koristi 4 bita i omogućuje adresiranje do 15 uređaja, dok dugi format koristi 5 bajtova. Struktura HART telegrama prikazana je na sl. 9.6.

Preamble	Delimiter	Adresa	Naredba	Broj bajta	Status	Podaci	Provjera greške
5-20 bajta	1 bajt	1-5 bajta	1 bajt	1 bajt	2 bajta	0-25 bajta	1 bajt

Slika 9.6. Struktura HART telegrama

- **Preamble** se sastoji od 5-20 0xFF znakova, a omogućuje sinkronizaciju prijemnika svih uređaja na mreži. Također se koristi i za detekciju prijenosnog signala. Duljina preamble može varirati ovisno o uređaju, a *master* uvijek u prvoj komunikaciji sa uređajem koristi maksimalnu duljinu. Kad *master* pročita koliko je bajta predviđeno za dotični uređaj (spremljeno u HART parametru) u daljnjoj komunikaciji koristi se ta vrijednost.
- **Početni bajt** (*engl. Delimiter*) definira uređaj koji šalje telegram i koji se format adresiranja koristi, kratki ili dugi. Uređaj može biti definiran kao *master*, *slave* ili *slave* u *burst* modu.
- **Adresa** sadrži 1-5 bajta, kao što je prikazano na sl. 9.7. Za adresu kratkog formata dužine jednog bajta (uređaji do Rev. 4) prvi bit se koristi za definiranje *master* uređaja, drugi bit za indikaciju da se radi o *burst* telegramu, a preostala 4 bita za adresiranje uređaja (od 0 do 15). Adresiranje uređaja (od Rev.5) sa dužim formatom sastoji se od 5 bajtova, od kojih se 38 bita odnosi na adresu.

Kratki format adrese – 1 bajt

M	B	0	0	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
---	---	---	---	-------	-------	-------	-------

Dugi format adrese – 5 bajta

M	B	Bitovi 0 – 38 identifikatora uređaja
---	---	--------------------------------------

M – bit označava master uređaj

B – bit označava da se radi o burst telegramu

Jedinstveni identifikator uređaja – 40 bita (5 bajta)

ID Proizvođača	Tipski kod uređaja	Serijski br. MSB	Serijski br. 2SB	Serijski br. LSB
----------------	--------------------	------------------	------------------	------------------

Slika 9.7. Formati HART adresa

Duži format adrese sastoji se od nižih 38 bita jedinstvenog identifikatora uređaja. Ovu adresu *master* može pročitati slanjem naredbe 0 ili 11. Jedinstveni identifikator uređaja unosi se u vrijeme proizvodnje i ne može se mijenjati. Prvi bajt identifikatora je ID broj proizvođača, drugi bajt je tipski kod uređaja, a bajtovi 3,4 i 5 sadržavaju serijski broj.

- **Naredba** je veličine 1 bajta a određuje tip *master* naredbe. Naredbe su podijeljene u tri kategorije: Univerzalne, Opće i Posebne za određeni uređaj.
- **Broj bajta** je veličine 1 bajt a određuje duljinu poruke koju zauzimaju statusni i bajtovi podataka, budući da broj bajtova podataka u telegramu može varirati od 0 do 25.
- **Status** sadrži 2 bajta i koristi se samo u telegramima odgovora podređenih uređaja. Ovi bajtovi sadrže informacije kodirane po bitu, a pokazuju da li je poruka primljena ispravno te koji je operativni status uređaja. Ako uređaj radi ispravno oba bajta statusa su postavljeni u nulu. Za nadređeni uređaj status se ne koristi.
- **Podaci** mogu biti poslati kao pozitivni cijeli brojevi, decimalni brojevi ili ASCII znakovi. Format podataka određen je naredbenim bajtom. Pojedine naredbe ne moraju uključivati slanje podataka.
- **Paritetni** (*engl. Checksum*) bajt je određen na osnovu longitudinalnog pariteta (funkcija XOR) svih bajtova telegrama počevši od početnog bajta (*engl. delimiter*) do zadnjeg bajta podataka. Longitudinalni paritet zajedno sa paritetom na razini UART znaka omogućuje pouzdanu detekciju do 3 pogrešna bita u telegramu.

Ukupno vrijeme razmjene teleograma može se odrediti na osnovu brzine prijenosa podataka (1200 bita/s) i broja bita po telegramu. Ako uzmemo primjer kratkog formata teleograma i duljine podataka od 25 znakova sveukupno se mora poslati 35 bajtova (u prijenos je uračunata preambula od 5 bajtova bez statusnih bita). Budući se svaki bajt šalje kao UART znak vrijeme transakcije koje obuhvaća slanje upita i prijem odgovora može se izraziti kao što je prikazano u tablici 9.1.

Bajta u telegramu	35 (25 znakova podataka + 10 upravljačkih znakova)
Duljina teleograma	35 znakova x 11 bita
Vrijeme bita	1/1200 bita/s
Vrijeme teleograma	385 x 0.83 ms
Vrijeme transakcije	0.32 s x 2

Tablica 9.1. Vrijeme prijenosa HART teleograma

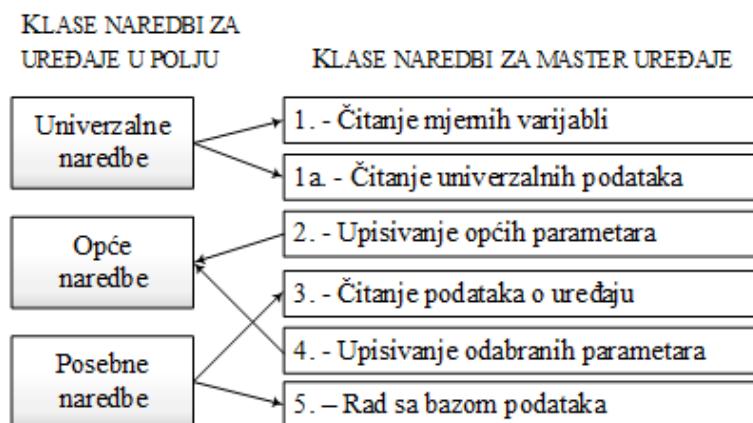
Budući se ne šalje uvijek 25 znakova podataka prosječno se za svaku transakciju može uzeti vrijeme od 500 ms što nam u konačnici daje rezultat od 2 transakcije po sekundi.

9.5. Aplikacijski sloj

Komunikacijske rutine HART nadređenih uređaja i operativnih programa su zasnovani na HART naredbama koje su definirane u aplikacijskom sloju HART protokola. Naredbe omogućuju nadređenom uređaju slanje instrukcija ili podataka HART uređajima u polju. Tako se na primjer mogu poslati postavke, aktualne vrijednosti, konfiguracijski parametri ili pokrenuti različite usluge za dijagnosticiranje ili inicijalizaciju uređaja. HART uređaji u svom telegramu odgovora mogu poslati tražene podatke i/ili statusno izvješće o uređaju.

HART naredbe su klasificirane prema funkcijama u naredbe za *master* uređaje i naredbe za *slave* uređaje, sl. 9.8. Naredbe za *master* uređaje podijeljene su u 6 standardnih klasa i njima pripadaju odgovarajuće naredbe za podređene uređaje koje su podijeljene u tri klase:

- **Univerzalne** naredbe moraju podržavati svi uređaji koji koriste HART protokol. One omogućuju pristup informacijama uređaja koje se koriste u normalnom radu npr. čitanje primarnih varijabli i jedinica.
- **Opće (engl. Common Practice)** naredbe su podržane od jednog dijela ali ne i svih HART uređaja.
- **Posebne (engl. Device Specific)** naredbe podržavaju funkcije koje su jedinstvene za svaki pojedinačni uređaj. Ove naredbe omogućuju pristup podacima o tipu, konstrukciji, postavkama i kalibraciji uređaja.



Slika 9.8. Klase HART naredbi

Sažetak HART naredbi prikazani su u tablici 9.2.:

UNIVERZALNE	OPĆE	POSEBNE
<ul style="list-style-type: none"> • Čitanje tipa uređaja i proizvođača • Čitanje primarne variable (PV) i jedinica • Čitanje strujnog izlaza i postotka opsega • Čitanje do 4 predefinirane dinamičke varijable • Čitanje ili pisanje oznake sa 8-znakova • Čitanje i pisanje opisa od 18-znakova i datuma • Čitanje i upisivanje poruke od 32 znaka • Čitanje opsega, jedinica i vremenske konstante prigušenja uređaja • Čitanje i upisivanje proizvodnog broja • Upisivanje adrese pristupa 	<ul style="list-style-type: none"> • Čitanje odabira do 4 dinamičke varijable • Upisivanje vremenske konstante prigušenja • Upisivanje opsega uređaja • Kalibracija (postavljanje nule i opsega) • Namještanje fiksne struje izlaza • Procedura sam otestiranja • Master reset procedura • Podešenje PV zero • Upisivanje PV jedinica • Podešenje DAC nule i pojačanja • Upisivanje transfer funkcije (drugi korijen/linear) • Upisivanje serijskog broja senzora • Čitanje i upisivanje definicije dinamičkih varijabli 	<ul style="list-style-type: none"> • Čitanje i upisivanje donje granične vrijednosti • Start, stop ili brisanje totalizatora • Čitanje ili upisivanje kalibracijskog faktora gustoće • Odabiranje PV (težina protok ili gustoća) • Čitanje ili upisivanje informacije o materijalu ili konstrukciji • Kalibracija senzora • Korisničke jedinice • Postavke lokalnog displeja

Tablica 9.2. HART naredbe

9.6. DDL podrška

DDL (*engl. Device Description Language*) programski jezik omogućuje proizvođačima da definiraju sve informacije za komunikaciju sa uređajem u jednu strukturiranu datoteku. Datoteka nosi naziv DD (*engl. Device Descriptions*), a sadrži sve parametre i funkcije uređaja u standardiziranom jeziku kao i strukturu izbornika za prikaz svih operativnih mogućnosti uređaja. DD datoteka također definira koje su podržane opće naredbe te strukturu i format svih posebnih naredbi. Datoteka se spremi u posebnom binarno-kodiranom DDL formatu. Svaki proizvođač dužan je za svoj HART uređaj osigurati DD datoteku.

Nadređeni uređaj nakon identifikacije uređaja u polju iz DD datoteke spremljene u uređaju ili učitane sa prijenosnog medija može izvršiti funkcije koje su specificirane u datoteci. DD datoteka funkcionira slično kao pogonski program za uređaje tako da proizvođači nemaju potrebu razvijati različita korisnička sučelja ili pogonske programe. Kompajler na nadređenom uređaju (npr. HART ručnom terminalu) DD datoteku nakon što je pročita pretvara u korisničko sučelje te se preko slike izbornika može upravljati HART uređajem.

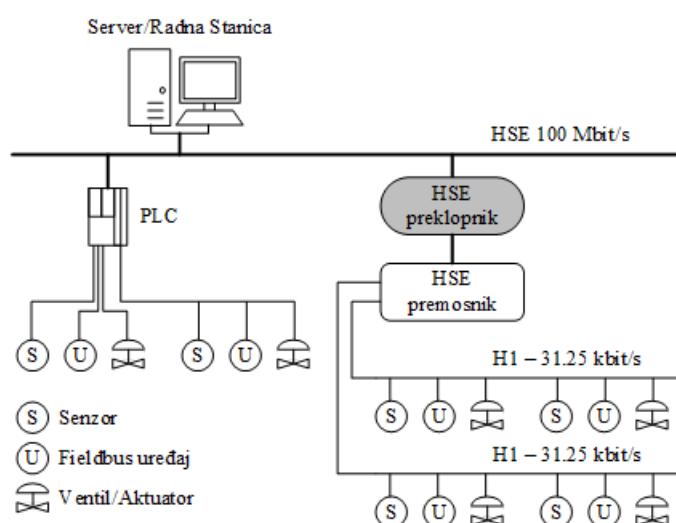
Literatura

- [1] Samson AG. (1999.) *HART Communications L452EN*, Germany: Samson AG.
- [2] HART Communication Foundation. (1999.) *HART Field Communication protocol, Application Guide HCF LIT 34*, USA: HCF.
- [3] HART Communication Foundation. (2013.) *HART Field Communication protocol, Application Guide HCF LIT-039 Rev. 7.1.*, USA: HCF.
- [4] Sen, S.K, (2014.) *Fieldbus and Networking in Process Automation*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [5] Zurawski, R. (2015.) *Industrial Communication Technology Handbook, 2. edition*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.

10. Foundation Fieldbus

Foundation Fieldbus je mrežni standard u kojem je ostvarena komunikacija između inteligentnih uređaja u polju (senzora i aktuatora) preko iste sabirnice bez posredovanja nadređenih uređaja (kontrolera). Ovo je omogućeno primjenom distribuiranih upravljačkih funkcija koje su ugrađene u uređaje u obliku predefiniranih funkcijskih blokova te primjenom DD (*engl. Device Description*) programa koji su već ugrađeni ili se mogu instalirati u uređaj. Funkcijski blokovi su standardne automatizacijske funkcije koje omogućuju izvršenje određenih zadaća na razini samog uređaja bez posredovanja kontrolera. Uobičajene standardne funkcije su procesiranje analognog i digitalnog ulaza ili izlaza ili PID (*engl. Proportional/Integral/Derivative*) upravljanje. DD programi omogućuju konfiguriranje uređaja i integriranje podataka na mrežnoj razini bez potrebe dodatnog programiranja. Foundation Fieldbus koristi se najčešće u procesnoj automatizaciji i sustavima vizualizacije procesa petrokemijskih postrojenja i tvornica papira.

Foundation Fieldbus podržava dva komunikacijska protokola: H1 i HSE. H1 je zasnovan na specifikacijama standarda IEC 61158-2 i ISA S50.02 i koristi se za povezivanje uređaja u polju uključujući i područja u kojima postoji potencijalna opasnost od eksplozije. Zbog posebnih uvjeta rada posebno u intrinsičnim područjima brzina prijenosa kod ovog protokola je ograničena na 31.25 kbit/s. HSE (*engl. High Speed Ethernet*) protokol zasnovan je na standardnom Fast Ethernet protokolu IEEE 802.3u i ISO/IEC 8802-3 i podržava brzine prijenosa od 100 Mbit/s. Koristi se za povezivanje H1 segmenata na *fieldbus* mreže više hijerarhije upravljanje kontrolerima i za povezivanje na PC informacijske sustave upravljanja i vizualizacije. Na ovaj način je primjenom protokola H1 i HSE omogućena široka integracija procesnog upravljanja u industriji. Topologija mreže prikazana je na sl. 10.1.

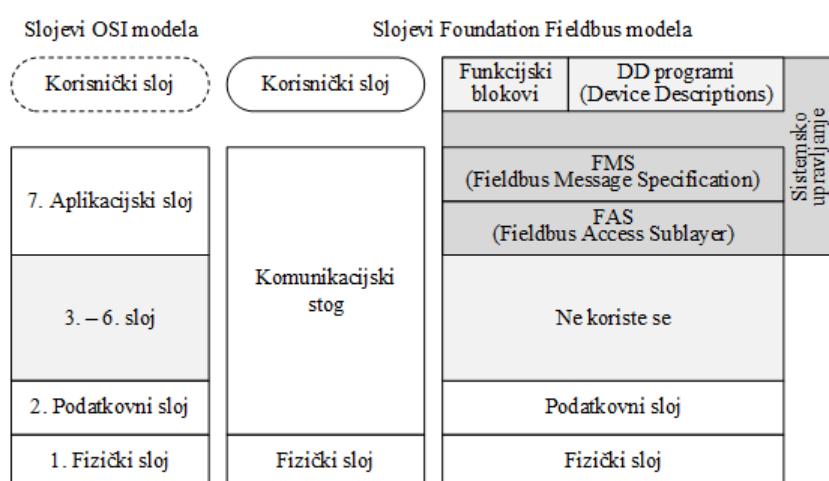


Slika 10.1. Topologija Foundation Fieldbus mreže

Specifikacije Foundation Fieldbus protokola i uređaja definira međunarodna neprofitna organizacija *Fieldbus Foundation* koja je utemeljena 1994. god. udruživanjem međunarodnih grupacija ISP - *Interoperable Systems Project* i *WorldFIP North America*. Organizacija danas broji preko 350 članica, od proizvođača opreme do akademskih ustanova, koje mogu sudjelovati u definiranju i unaprijedenu protokola kao otvorenog standarda. Otvorenost standarda omogućuje kompatibilnost uređaja različitih proizvođača u mreži a time i veću pouzdanost komunikacije.

10.1. Foundation Fieldbus i OSI Model

Foundation Fieldbus komunikacijski model zasnovan je na OSI referentnom modelu i sastoji se od 3 sloja: fizičkog sloja, komunikacijskog stoga i aplikacijskog korisničkog sloja, kao što je prikazano na sl. 10.2. Kao i kod većine *fieldbus* sustava, u skladu sa IEC specifikacijom, Foundation Fieldbus ne koristi slojeve od 3 do 6.



Slika 10.2. Foundation Fieldbus i OSI model

- **Fizički sloj** definira električke karakteristike signala, način kodiranja i prijenosni medij.
- **Komunikacijski stog** odgovara slojevima 2 i 7 OSI modela, odnosno podatkovnom i aplikacijskom sloju. Podatkovni sloj upravlja pristupom sabirnicama, prijenosom podataka i prioritetima u prijenosu podataka, te adresiranjem uređaja. Aplikacijski sloj u Fieldbus-u je podijeljen na dva podsloja: FMS (*engl. Fieldbus Message Specification*) i FAS (*engl. Fieldbus Access Sublayer*) koji predstavljaju sučelje između podatkovnog i korisničkog sloja. FMS kodira i dekodira korisničke podatke, a FAS upravlja prijenosom podataka.
- **Aplikacijski korisnički sloj** specificiran je kao zaseban 8. sloj koji je postavljen iznad aplikacijskog sloja budući nije definiran OSI modelom. Ovaj sloj je odgovoran za

mrežno i sistemsko upravljanje te usluge funkcijskih blokova i DD (*engl. Device Description*) programa. Ovisno o tome koji su blokovi implementirani u uređaju korisnici mogu pristupiti raznim uslugama.

10.2. Fizički sloj

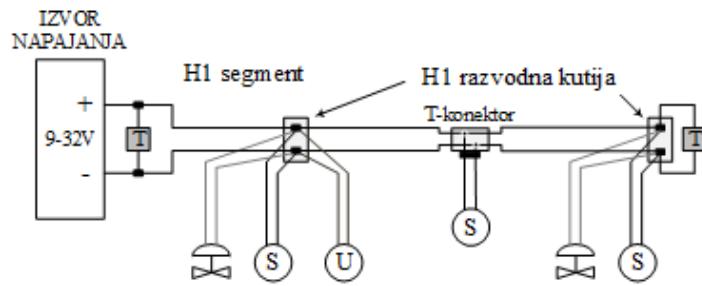
Fizički sloj obavlja pretvorbu podataka, primljenih iz komunikacijskog stoga, u električni signal i obratno. U pretvorbi se podacima prije slanja na liniju još dodaju bitovi sinkronizacije te bitovi za označavanje početka i kraja niza podataka. Na prijemu se ovi bitovi uklanjuju prije prosljeđivanja podataka komunikacijskom stogu. Fizičkim slojem određen je i tip prijenosnog medija te način ožičenja. Foundation Fieldbus koristi dvije verzije fizičkog sloja, H1 i HSE.

10.2.1. H1 Fieldbus

H1 fieldbus se koristi u komunikaciji između uređaja u polju kao što su senzori, ventili, aktuatori, analizatori i sl. Prijenos podataka u H1 ostvaren je primjenom Manchester Bi-faznog L kodiranja uz brzinu prijenosa od 31.25 kbit/s. Niža brzina prijenosa prilagođena je uređajima sa malom potrošnjom koja je neophodna za rad u tzv. intrinsičnim područjima odnosno područjima u kojima postoji opasnost od eksplozivnih plinova. Za rad u intrinsičnim područjima uređaji su dizajnirani na način da ne može doći do iskrenja ili zagrijavanja uređaja koje bi moglo uzrokovati zapaljenje plinova. Instalacijom sigurnosnih barijera između sigurnog i opasnog područja dodatno se ograničava strujna i naponska potrošnja uređaja.

Napon napajanja uređaja u H1 može iznositi od 9 do 32V, a najčešće se koristi izvor napona od 24V. Napajanje uređaja može biti izvedeno zasebno ili preko komunikacijske sabirnice što utječe na ukupni broj uređaja koji se mogu spojiti na mrežni segment. H1 podržava do 32 uređaja po segmentu ako je napajanje izvedeno zasebno, do 12 uređaja ako je izvedeno preko sabirnice u sigurnom području i do 6 uređaja ako je izvedeno preko sabirnice u intrinsičnom području. Stvarni broj uređaja ovisi o njihovojo pojedinačnoj potrošnji. Svaki Fieldbus segment mora imati vlastiti izvor napajanja i mora biti zaključen na oba kraja radi smanjenja utjecaja refleksije na prijenos signala. Zaključni član sastoji se od serijskog spoja otpornika $100\ \Omega$ i kondenzatora $1\ \mu F$ koji omogućuju propusnost signala od 31.25 kbit/s.

Na H1 sabirnicu uređaji su spojeni paralelno preko ogrankaka sa T-konektorima ili preko H1 razvodnih kutija što omogućuje kreiranje linearne, zvjezdaste, stablaste ili kombinirane topologije, sl. 10.3. Na ovaj način moguće je uređaje spajati i odspajati sa mreže bez utjecaja na komunikaciju preostalih uređaja na mreži.

**Slika 10.3.** Topologija H1 mreže sa ograncima

Duljine spojnih ogranaka (*engl. spurs*) ovise o broju ogranaka i broju priključenih uređaja po ogranku, tablica 10.1. Ogranci ne smiju biti duži od 120 m. Za svaki priključeni uređaj duljina ogranka se mora smanjiti za 30 m.

Duljine ogranaka prema broju spojenih uređaja po ogranku (m)				
Broj uređaja	1 uređaj po ogranku	2 uređaja po ogranku	3 uređaja po ogranku	4 uređaja po ogranku
1-12	120	90	60	30
13-14	90	60	30	1
15-18	60	30	1	1
19-24	30	1	1	1
25-32	1	1	1	1

Tablica 10.1. Foundation Fieldbus duljine ogranaka

Maksimalna duljina kabela na H1 segmentu uvezši u obzir i ogranke može iznositi 1900 m. Duljina kabela kao i broj uređaja može se povećati primjenom obnavljača. Ukupno je moguće spojiti do 4 obnavljača u seriju što omogućuje maksimalnu udaljenost od $5 \times 1900 = 9500$ m. Za instalaciju Fieldbus mreže specifikacijom H1 standarda definirana su 4 tipa kabela, tablica 10.2.

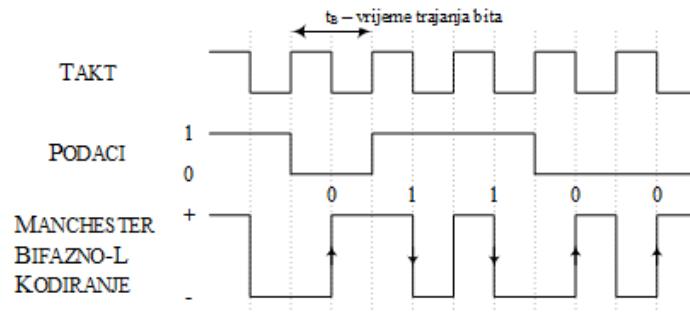
	KABEL TIP A	KABEL TIP B	KABEL TIP C	KABEL TIP D
Opis	Dvožilni kabel, sa omotačem, upletena parica	Dvožilni ili višežilni kabel, sa omotačem, upletene parice	Višežilni kabel, bez omotača, upletene parice	Višežilni kabel, bez omotača, ravni
Impedancija (Ω)	100	100	-	-
Prigušenje (db/km)	3	5	8	8
Presjek vodiča (mm^2)	0.8 (18 AWG)	0.32 (22 AWG)	0.13 (26 AWG)	1.25 (16 AWG)
*Maksim. duljina (m)	1900	1200	400	200

*U maksimalnu duljinu kabala uzeti su u obzir i ogranci.

Tablica 10.2. Foundation Fieldbus tipovi kabela

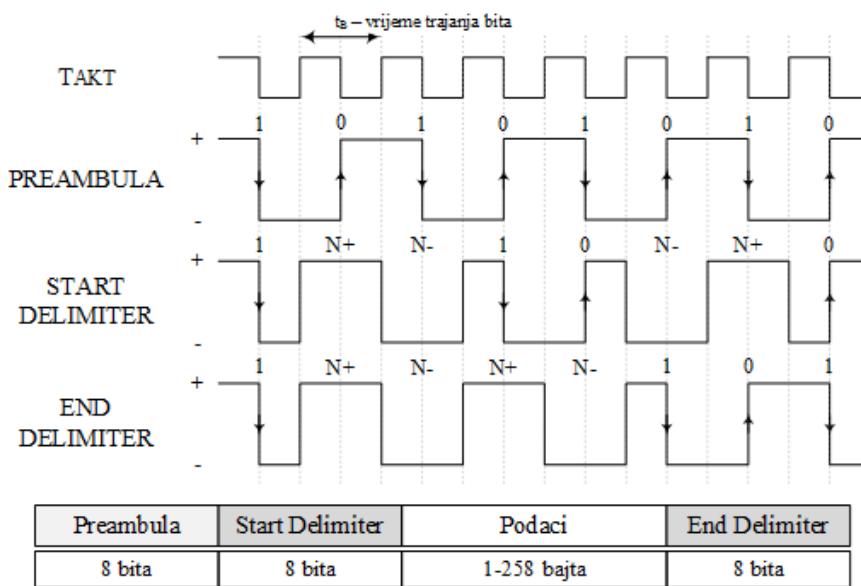
10.2.1.1. Kodiranje signala i naponske razine

Podaci kodirani u Manchester Bifaznom-L kodu kreirani su na način da je logička '0' predstavljena pozitivnim uzlaznim bridom u sredini bita, a logička '1' negativnim silaznim bridom u sredini bita, sl. 10.4. Signal sadrži u sebi sinkronizirajući takt budući se kod svakog bita mijenja razina signala.



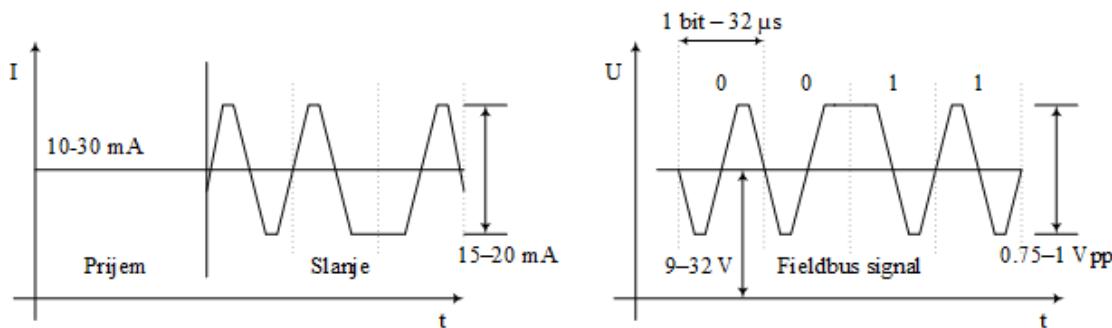
Slika 10.4. Manchester Bifazno-L kodiranje

Valni oblik Fieldbus signala prikazan je na sl. 10.5., a sastoji se od preambule, *start delimiter-a*, *end delimiter-a* i bitova podataka. Početni niz ili preambula (*engl. preamble*) sastoji se od 8 bita naizmjeničnih '1' i '0' koji služe za sinkronizaciju internog takta prijemnika sa dolaznim Fieldbus signalom. *Start delimiter* i *end delimiter* koriste se za označavanje početka i kraja polja podataka. Oba *delimiter-a* su duljine 8 bita i sadrže posebne bitove, N+ i N-, kod kojih se razina signala ne mijenja za vrijeme trajanja bita.



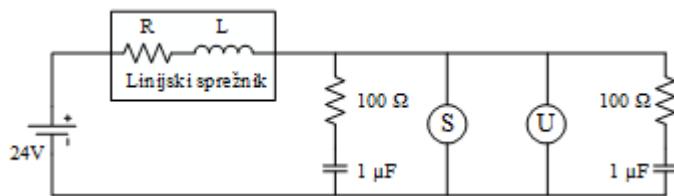
Slika 10.5. Valni oblik Foundation Fieldbus signala

Fieldbus signal je na liniji predstavljen naponsko moduliranim signalom amplitude od $0.75\text{--}1 \text{ V}_{\text{pp}}$ u odnosu na istosmerni napon napajanja linije, sl. 10.6. Fieldbus uređaj generira ovaj signal promjenom struje potrošnje kod slanja podataka. Struja potrošnje svakog uređaja je u prijemnom modu konstantna i iznosi od 10 do 30 mA ovisno o uređaju. Kod slanja podataka uređaj povećava ili smanjuje svoju struju potrošnje za 7.5-10 mA u odnosu na stalnu struju što rezultira promjeni napona na liniji od $\pm 0.375\text{--}0.5\text{V}$ budući linija predstavlja ekvivalentno opterećenje od 50Ω . Amplituda naponsko moduliranog signala na izlazu predajnika uređaja ne smije biti manja od $0.75 \text{ V}_{\text{pp}}$, a na ulazu prijemnika manja od $0.15 \text{ V}_{\text{pp}}$.



Slika 10.6. Strujno-naponski Foundation Fieldbus signal

Da bi se omogućio prijenos signala na ovaj način Fieldbus linija se spaja na izvor napajanja preko linijskog sprežnika (*engl. Power Conditioner*) koji je izведен kao serijski RL krug. Linijski sprežnik predstavlja visoku impedanciju za Fieldbus signal tako da ga ne propušta u izvor, sl. 10.7. Bez linijskog sprežnika ne može se postići modulacija napona na liniji. Naime kod standardnih naponskih izvora napon je uvek konstantan i neovisan o struji potrošnje ako je ona manja od ukupne struje koju podržava izvor. Linijski sprežnik sprječava promjenu struje na izvoru zbog promjene ukupnog strujnog opterećenja, pa se promjena struje potrošnje uređaja kompenzira iz kondenzatora zaključnih članova što dovodi do promjene napona na liniji. Budući se struja potrošnje uređaja jednako mijenja po amplitudi srednja vrijednost struje ostaje uvek jednak.



Slika 10.7. Izvor napajanja sa prilagodnim RL sklopom

Linijski sprežnici mogu biti izvedeni kao zasebni moduli ili kao sastavni dio izvora napajanja. U praksi se ne koriste stvarne prigušnice već njihov nadomjesni elektronički sklop jer on dodatno omogućuje ograničenje porasta struje u slučaju kratkog spoja Fieldbus segmenta. Kod spajanja uređaja na sabirnicu treba uvek voditi računa o polaritetu signala iako većina uređaja ima ugrađene sklopove za detekciju polariteta.

10.2.2. HSE Fieldbus

HSE (*engl. High Speed Ethernet*) podržava iste funkcije kao i H1 ali je zasnovan na standardnim Ethernet/IP/TCP/UDP protokolima što mu omogućuje rad na brzinama od 100 Mbit/s. Da bi se ostvario prijenos podataka preko Etherneta H1 poruke su upakirane u standardne okvire ovih protokola kao PDU (*engl. Protocol Data Unit*) segmenti.

U usporedbi sa OSI referentnim modelom HSE koristi prva 4 sloja te aplikacijski i korisnički sloj, sl. 10.8. Slojevi 5 i 6 se ne koriste. Fizički i podatkovni sloj koriste standardni Ethernet protokol 802.3u, dok su slojevi 3 i 4 obuhvaćeni TCP/IP i UDP protokolima. Unutar aplikacijskog i korisničkog sloja koriste se FDA Agent (*engl. Field Device Access Agent*), FMS (*engl. Field Message Specification*), sistemsko upravljanje SM (*engl. System Management*) i funkcijски blokovi FBAP (*engl. Function Block Application Process*).

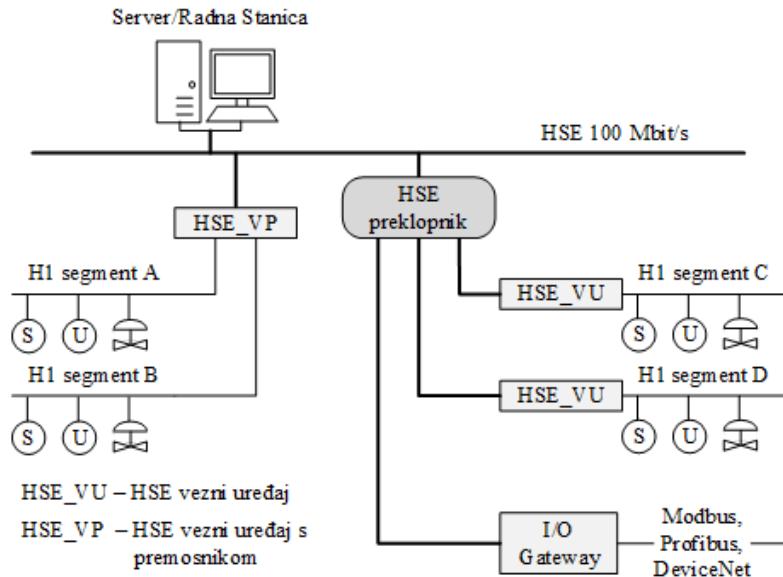
Slojevi OSI modela	HSE
Korisnički sloj	FBAP
7. Aplikacijski sloj	FDA, FMS, SM
5. – 6. sloj	Ne koriste se
4. Transportni sloj	TCP/IP, UDP
3. Mrežni sloj	
2. Podatkovni sloj	
1. Fizički sloj	Ethernet IEEE 802.3u

Slika 10.8. HSE protokoli i OSI model

Komunikacija između HSE i H1 uređaja ostvarena je preko SM i FMS usluga. FDA Agent omogućuje prijenos ovih usluga preko Etherneta korištenjem standardnih TCP i UDP protokola. FDA Agent omogućuje također i udaljeni mrežni pristup HSE i H1 uređajima. Sistemsko upravljanje osigurava sinkronizaciju takta i sistemskih funkcija svih uređaja. U sistemske funkcije su uključeni sinkronizacija sistemskog vremena, dodavanje i uklanjanje uređaja sa mreže te upravljanje funkcijskim blokovima. Uređaji u polju mogu biti izvedeni i kao HSE uređaji sa ugrađenim HSE komunikacijskim stogom tako da ih je moguće spajati direktno na HSE mrežu.

HSE mreža omogućuje međusobno povezivanje H1 segmenata kao i njihovu integraciju na mreže drugih protokola. Za povezivanje jednog ili više H1 segmenata na HSE mrežu koriste se HSE vezni uređaji (*engl. Linking Devices*). Svaki vezni uređaj obično funkcionira i kao primarni LAS (*engl. Link Active Scheduler*) odnosno kao *master* uređaj koji upravlja komunikacijom svih uređaja koji su spojeni na njega. Integracija mreža drugih protokola sa H1 segmentima ostvarena je primjenom HSE usmjerivača (*engl. I/O Gateway*). HSE uređaji su na razini cijele mreže povezani HSE preklopnicima (*engl. Switch*). Budući je u svaki HSE uređaj ugrađen HSE protokol svi uređaji mogu razmjenjivati mrežne informacije te na taj način

odabratи najpovoljniju komunikacijsku vezу čak i u slučaju ako jedan dio HSE mreže nije u funkciji. Ovim je ostvarena redundancija u komunikaciji a time i veća pouzdanost prijenosa podataka u mreži. Topologija HSE i H1 mreže prikazana je na sl. 10.9.



Slika 10.9. Topologija Foundation Fieldbus HSE i H1 mreže

10.3. Podatkovni Sloj

Podatkovni sloj upravlja pristupom sabirnici, prijenosom podataka, prioritetima u prijenosu podataka, te adresiranjem uređaja. Struktura okvira podatkovnog sloja prikazana je na sl. 10.10.

Preambula	Start Delimiter	Zaglavlje + Podaci	Provjera greške	End Delimiter
8 bita	8 bita	1-256 bajta	2 bajta	8 bita

Slika 10.10. Struktura okvira podatkovnog sloja

10.3.1. Upravljanje pristupom sabirnici

Pristupom sabirnici na H1 segmentu upravlja *master* uređaj ili tzv. LAS (*engl. Link Active Scheduler*). LAS uređaj određuje koji uređaj može i u kojem trenutku pristupiti sabirnici i poslati poruku na mrežu. Upravljanje je ostvareno slanjem posebnog telegrama tzv. *tokena* kojim se uređaju daje dozvola za slanje poruke. Nakon primljenog *tokena* uređaj šalje (*engl. Publishes*) poruku svim uređajima na mreži, a poruku će prihvati (*engl. Subscribe*) samo oni uređaji koji su konfigurirani za prijem te poruke. Komunikacija ostvarena na ovaj način naziva se *Izdavač-Pretplatnik* (*engl. Publisher-Subscriber*). Nakon poslane poruke uređaj vraća *token*

LAS-u i postupak se ponavlja za druge uređaje. Slanje *tokena* ostvareno je na temelju predefiniranog rasporeda koji može biti ciklički (*engl. Scheduled*) i aciklički (*engl. Unscheduled*). Raspored kreira korisnik kada se konfigurira H1 mreža.

Poruke se mogu slati po prioritetu, a podržana su tri tipa prioriteta poruka: HITNE poruke (*engl. Urgent*), STANDARDNE (*engl. Normal*) i VREMENSKI_NEOVISNE (*engl. Time_Available*). Hitne poruke imaju uvjek prednost u odnosu na ostale dvije i šalju se odmah. U ovisnosti o prioritetu poruke definirana je i maksimalna veličina podataka za danu poruku koja za hitne poruke iznosi 64 bajta, za standardne 128 bajta, a za vremenski neovisne poruke 256 bajta.

Foundation Fieldbus uređaji se prema podržanim funkcionalnostima podatkovnog sloja klasificiraju u tri skupine, kao *Osnovni uređaji* (*engl. Basic Devices*), *Linijski Master uređaji* (*engl. Link Master Devices*) i *Premosnici* (*engl. Bridge Devices*). Osnovna razlika je da *Link Master* uređaji i *Premosnici* podržavaju upravljačke LAS funkcije dok *Osnovni uređaji* to ne mogu. *Premosnici* dodatno omogućuju još i povezivanje više H1 segmenta u mrežu. U Fieldbus mreži funkcije *Link Master* uređaja mogu biti ugrađene na bilo koji tip uređaja, od senzora do PC stanice. Na svakom segmentu može postojati više *Link Master* uređaja ali je samo jedan aktivni LAS uređaj koji upravlja komunikacijom. U slučaju prestanka rada aktivnog LAS uređaja LAS upravljačke funkcije preuzima drugi *Link Master* uređaj.

10.3.1.1. Adresiranje uređaja

Adresa uređaja u podatkovnom sloju sastoji se iz 3 dijela; *Link*, *Nod* i *Selektor* adresnog polja. *Link* adresa sadrži 16 bita i definira Fieldbus segment. Obično se ne koristi kod komunikacije uređaja unutar istog segmenta već samo kada su segmenti povezani premosnikom. *Nod* adresa je 8-bitna adresa samog uređaja. Ukupno je podržano 256 uređaja. *Nod* adresa je podijeljena u 4 adresna opsega, kao što je to prikazano u tablici 10.3.

ADRESE (DECIMALNO)	ADRESE (HEKSADECIMALNO)	NAMJENA ADRESIRANI UREĐAJI
0 - 15	0x00 - 0x0F	Rezervirano
16 - (FUN-1)	0x10 - (FUN-1)	Link Master uređaji
FUN - (FUN+NUN)	FUN - (FUN+NUN)	Ne koriste se
(FUN+NUN)+1 - 247	(FUN+NUN)+1 - 0xF7	Osnovni uređaji
248 - 251	0xF8 - 0xFB	Zadane adrese (Default)
252 - 255	0xFC - 0xFF	Privremene adrese

Tablica 10.3. Nod adrese na Fieldbus segmentu

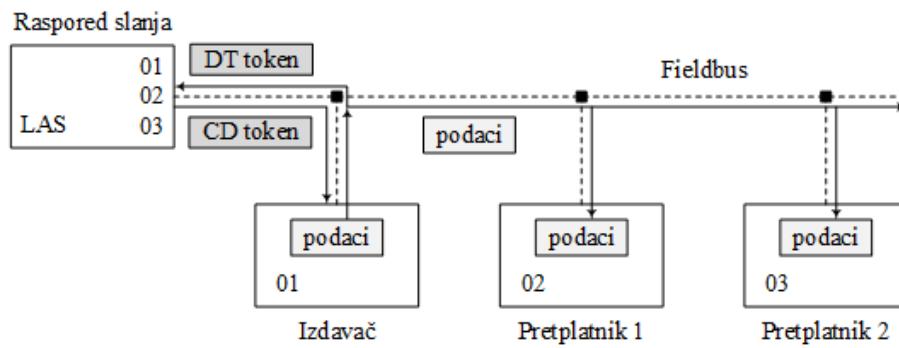
Prvih 16 adresa je rezervirano za posebne potrebe. Jedna od njih je i adresa LAS uređaja kojem se uvijek dodjeljuje *Nod* adresa 0x04. Adrese od 0x10 do FUN-1 dodjeljuju se *Link Master* uređajima, a od FUN+NUN+1 do 0xF7 osnovnim uređajima u polju. Područje adresa koje se ne koriste definira korisnik sa dva parametra, FUN i NUN. FUN (*engl. First Node Unused*) definira početnu adresu tog područja, a NUN (*engl. Number of Unused Nodes*) definira ukupni broj adresa koje se ne smiju koristiti. Ovime je smanjeno vrijeme pretraživanja novih uređaja spojenih na mrežu, jer LAS uređaj kod pretraživanja ne uzima u obzir adrese iz ovog područja. Treba voditi računa da se uređaju ne dodijeli adresa iz ovog područja jer ga LAS uređaj nikad neće detektirati. Zadane adrese koriste se za komunikaciju sa uređajima koji nemaju valjanu adresu ili im je ona izbrisana, a privremene adrese se koriste za uređaje koji se povremeno spajaju na mrežu kao npr. ručni terminali. *Selektor* polje sadrži 8 bita i koristi se za internu adresu uređaja kod identifikacije VCR veze između uređaja.

Pored mrežne adrese svaki Fieldbus uređaj sadrži ID uređaja i PD Tag. ID uređaja (*engl. Device Identification*) je 32-bajtni identifikator uređaja kojim je on jednoznačno označen kao proizvod, a tvornički je upisan u permanentnu memoriju i ne može se brisati (slično kao i MAC adresa kod Etherneta). Identifikator je predstavljen u obliku ASCII znakova i podijeljen u 3 grupe bajtova koje čine KOD PROIZVOĐAČA (prvih 6 bajtova), TIP UREĐAJA (4 bajta) i SERIJSKI BROJ UREĐAJA (zadnjih 22 bajta). PD Tag (*engl. Physical Device Tag*) je također predstavljen kao niz znakova od 32 bajta, a definira ga korisnik. Zajedno sa *Nod* adresom uređaja predstavlja jedinstveni identifikator uređaja na mreži.

Postupak adresiranja uređaja na mreži osim ručno pomoću mikroprekidača može biti ostvaren i konfiguracijskim alatom kroz usluge sistemskog upravljanja. Fieldbus uređaju se najprije pridjeljuje PD Tag ručno pomoću konfiguracijskog uređaja ili preko mreže korištenjem adresa iz opsega zadanih adresa (0xF8-0xFB). Nekonfigurirani novi uređaj spaja se na mrežu sa jednom od zadanih adresa. Konfiguracijski alat najprije dodjeljuje PD Tag uređaju, a zatim pomoću tog taga dodjeljuje novu adresu uređaju iz konfiguracijske tablice. PD Tag i adresa se spremaju u stalnu memoriju uređaja kako bi se sačuvala u slučaju pada napajanja.

10.3.1.2. Ciklička komunikacija - Scheduled

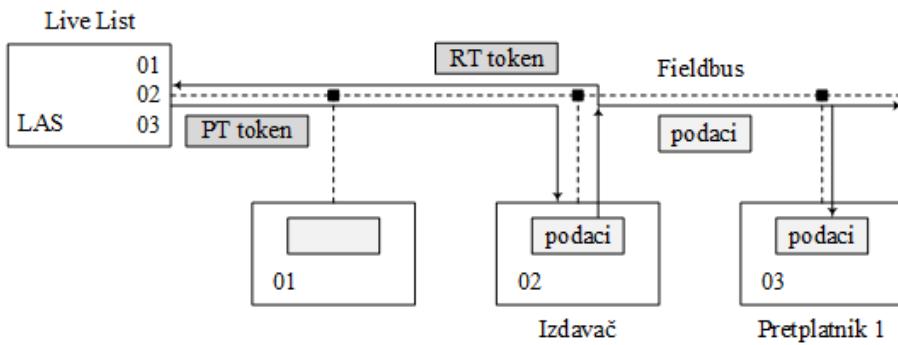
Cikličke poruke koriste se za slanje procesnih i upravljačkih podataka koje se moraju stalno ažurirati odnosno razmjenjivati između uređaja. Svakom uređaju se pristupa periodički i u različito vrijeme što smanjuje mogućnost kolizije na sabirnici. LAS uređaj (*engl. Link Active Scheduler*) sadrži programiranu listu rasporeda vremena slanja poruka za sve uređaje koji su konfigurirani za slanje (*engl. Publishers*). Svakom od ovih uređaja prema zadanim rasporedima LAS šalje poseban telegram koji se zove CD token (*engl. Compel Data*) koji daje dozvolu uređaju da može poslati svoje podatke na mrežu, sl. 10.11. Podatke će prihvati samo uređaji koji su konfigurirani za prijem ovih podataka (*engl Subscribers*). Nakon slanja podataka uređaj vraća token LAS uređaju u obliku DT tokena (*engl Data Transfer*) te mu na taj način signalizira da je slanje podataka završeno.



Slika 10.11. Ciklički prijenos podataka

10.3.1.3. Aciklička komunikacija - Unscheduled

Acikličke poruke koriste se za prijenos podataka ili naredbi koje nisu neophodne za izvršenje upravljačkih zadaća, a to su najčešće alarmi te konfiguracijski i dijagnostički podaci. Ove poruke se šalju u vremenskim odsječcima između cikličkih poruka. Uređaj može poslati acikličku poruku kada od LAS uređaja primi PT telegram (*engl. Pass Token*) u kojem je naveden prioritet poruke i vrijeme u kojem ona mora biti poslana. Uređaj mora obaviti slanje acikličke poruke i vratiti *token* kao RT telegram (*engl. Return Token*) unutar dodijeljenog vremena prije slijedeće cikličke poruke ili nakon isteka tog vremena. Svi uređaji koji odgovaraju na PT telegrame se evidentiraju i ažuriraju na LAS uređaju unutar liste aktivnih uređaja koja se zove „*Live List*“. Aciklički prijenos podataka prikazan je na sl. 10.12.



Slika 10.12. Aciklički prijenos podataka

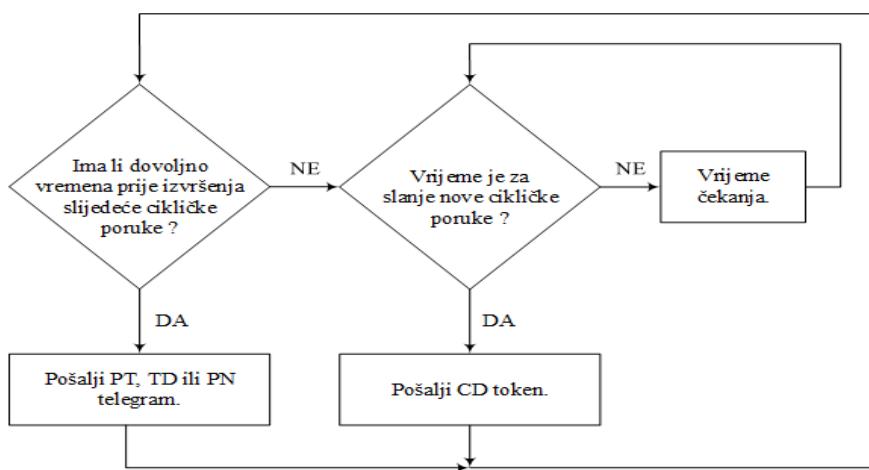
10.3.1.4. LAS komunikacija

Blok shema rada LAS komunikacije prikazana je na sl. 10.13. Prijenos cikličkih poruka ima najveći prioritet i one se uvijek izvršavaju po rasporedu. Vrijeme između cikličkih poruka se koristi osim za slanje acikličkih poruka i za sinkronizaciju vremenskog takta i detekciju aktivnih uređaja na mreži. Ukoliko nema programiranih acikličkih poruka ili su one po trajanju

kraće LAS uređaj koristi preostalo vrijeme do slijedeće cikličke poruke za slanje TD i PN telegrama.

TD (*engl. Time Distribution*) telegrami šalju se periodično svim uređajima radi sinkronizacije vremenskog takta, a PN (*engl. Probe Node*) telegrami se šalju na adrese koje nisu evidentirane u listi aktivnih uređaja (*engl. Live List*) radi pretraživanja novih uređaja spojenih na mrežu.

Novi uređaj spojen na mrežu odgovoriti će na prijem PN telegrama slanjem PR (*engl. Probe Response*) telegrama. Na osnovu primljenog PR telegrama LAS uređaj će novi uređaj dodati u listu aktivnih uređaja i to mu potvrditi slanjem poruke *Node Activation*. Uređaji se zapisani u listi aktivnih uređaja sve dok odgovaraju na PT telegrame. Oni uređaji koji ne odgovore na PT telegram ili ga vrate odmah 3 puta uzastopno se uklanjanju iz liste aktivnih uređaja. Svaki put kada se doda ili ukloni uređaj na *Live List-i* promjene se šalju svim uređajima na mreži. Ovim se ažuriraju sve kopije *Live List-a* koje također imaju *Link Master* uređaji tako da u slučaju prestanka rada LAS-a jedan od *Link Master* uređaja može preuzeti njegovu funkciju.



Slika 10.13. LAS komunikacija

10.4. Aplikacijski sloj

Aplikacijski sloj podijeljen je na dva podsloja: FAS (*engl. Fieldbus Access Sublayer*) i FMS (*engl. Fieldbus Message Specification*). FAS podsloj upravlja prijenosom podataka, a FMS kodira i dekodira korisničke podatke.

10.4.1. FAS podsloj

FAS podsloj omogućuje vezu između aplikacijskog i podatkovnog sloja primjenom virtualnih komunikacijskih kanala - VCR (*engl. Virtual Communication Relationships*). Fieldbus uređaji koriste različite tipove VCR-a da bi mogli komunicirati istovremeno sa različitim aplikacijama

i uređajima. Svaki VCR je jednoznačno određen sa dva parametra, *VCR indeksom* koji predstavlja identifikator uređaja na razini aplikacijskog sloja i *Selektor poljem* unutar adrese podatkovnog sloja. Pridruživanje VCR indeksa i Selektor adrese ostvarena je u postupku mrežne konfiguracije. Za prijenos poruka FAS koristi 3 različita tipa virtualnih komunikacijskih veza:

- **Izdavač/Preplatnik VCR (engl. Publisher/Subscriber)**

Ovaj VCR se koristi za slanje ulaznih i izlaznih podataka funkcijskih blokova i na njemu se zasniva ciklička komunikacija. Također se koristi i kod acikličkog prijenosa kada se trebaju prenijeti npr. mjerni ili pozicioni podaci PID upravljačkog bloka uređaja.

- **Klijent/Server VCR**

Klijent/Server VCR se koristi za acikličku komunikaciju između dva uređaja iniciranu od strane korisnika. Kod ove komunikacije server uređaj će poslati podatke koje mu je zatražio klijent uređaj tek nakon što primi PT naredbu od LAS uređaja. Primjer ovog tipa komunikacije je prikaz podataka iz funkcijskog bloka uređaja na HMI konzoli. Ovaj tip komunikacije se inače uvijek koristi kod prijenosa poruka iniciranih od strane operatera, kao što su npr. promjena postavki, potvrde alarma, pristup i promjena radnih parametara, dijagnostika, *upload* i *download* uređaja, itd.

- **VCR Razdiobe Izvješća (engl. Report Distribution)**

VCR Razdiobe Izvješća se koristi za slanje alarma i drugih obavijesti na operatorsku konzolu ili slične uređaje. Prijenos podataka je aciklički, što znači da uređaj može poslati izvješće drugim Fieldbus uređajima kada primi PT naredbu od LAS-a. Izvješće mogu primiti samo uređaji konfigurirani za prijem tih izvješća odnosno konfigurirani za točno određeni VCR ovog tipa.

10.4.2. FMS podsloj

FMS podsloj definira komunikacijske usluge, formate poruka i protokol kako bi se omogućila razmjena poruka između aplikacija u standardnom formatu. Za ovu namjenu koriste se *Opisi Objekata* (engl. *Object Descriptions*) i *Virtualni Uređaji* (engl. *Virtual Field Devices*).

10.4.2.1. Opisi objekata

Opisima objekata definirani su svi podaci za prijenos jer u sebi sadrže definicije formata svih poruka kao i podatke specifične za aplikacije. Svakom objektu je pridružena odgovarajuća komunikacijska usluga. Svi opisi objekata se spremljeni unutar *Kataloga Objekata* (engl. *Object Dictionary*), gdje su strukturirani po indeksima.

- Indeks 0, predstavlja zaglavje kataloga objekata aplikacije i sadrži informacije o samom katalogu.
- Indeksi od 1 do 255 definiraju standardne tipove podataka koji se koriste za formiranje složenijih opisa objekata.
- Indeksi iznad 255 definiraju objekte za korisničke aplikacije.

10.4.2.2. VFD - Virtualni uređaji

Virtualni uređaji omogućuju pristup katalogu objekata, a time i podacima na uređaju sa bilo koje lokacije na mreži. VFD je uvijek jednoznačno definiran sa identifikatorom koji se nalazi unutar pripadajućeg VCR-a. Svaki Foundation Fieldbus uređaj sadrži obično barem 2 VFD-a, i to upravljački VFD i VFD funkcijskih blokova. 'Upravljački VFD' sadrži aplikacije sistemskog i mrežnog upravljanja koje se koriste za konfiguriranje mrežnih parametara uključujući i VCR parametre kao i za upravljanje Fieldbus uređajima. 'VFD funkcijskih blokova' sadrži kao što mu i ime kaže funkcijске blokove. Fieldbus uređaj može imati više VFD-a funkcijskih blokova.

10.5. Korisnički sloj

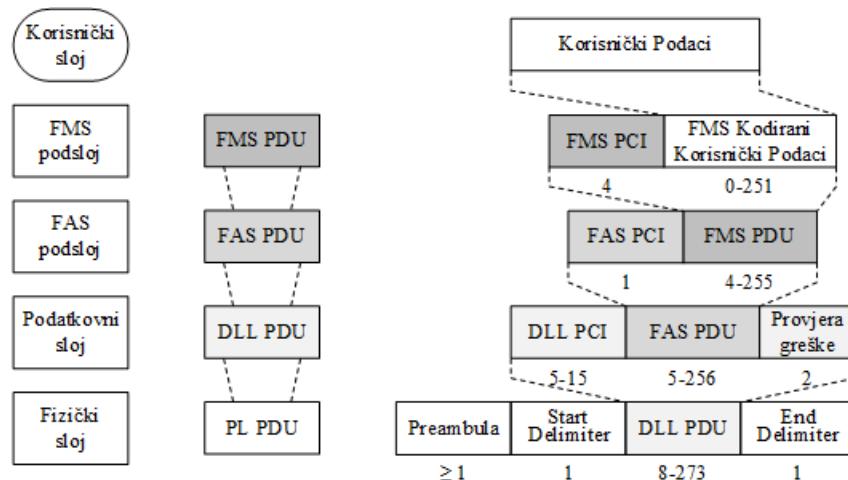
Korisnički sloj je u Foundation Fieldbus-u odgovoran za tri glavne zadaće: mrežno upravljanje, sistemsko upravljanje te usluge funkcijskih blokova i opisa uređaja.

Mrežne upravljačke usluge osiguravaju pristup ostalim slojevima za nadzor sustava i upravljanje komunikacijom između slojeva i između objekata na sabirnici.

Sistemsko upravljanje vodi računa o adresiranju uređaja, taktu sinkronizacije aplikacija i rasporedu izvršenja funkcijskih blokova.

Usluge Funkcijskih blokova i Opisa uređaja (engl. *Device Description*) sadrže preprogramirane blokove i objekte koje krajnji korisnik može koristiti za konfiguriranje sustava i uređaja. Blokovi predstavljaju različite aplikacijske funkcije i podatke dostupne na uređaju.

Slika 10.14. ilustrira kako se informacije slojeva prosljeđuju fizičkom sloju. Svaki sloj podacima koje primi od sloja više razine dodaje zaglavje (PCI) sa informacijama koje se odnose na taj sloj. Poruka koja se kreira na određenom sloju, a zatim prosljeđuje nižem sloju naziva se PDU (engl. *Protocol Data Unit*).



PCI – Protocol Control Information (Upravljačke informacije i podaci sloja više razine)

PDU – Protocol Dana Unit (Enkapsulirani podaci određenog sloja)

DLL – Dana Link Layer (Podatkovni sloj)

Slika 10.14. Formiranje Foundation Fieldbus paketa prema fizičkom sloju

10.5.1. Funkcijski blokovi

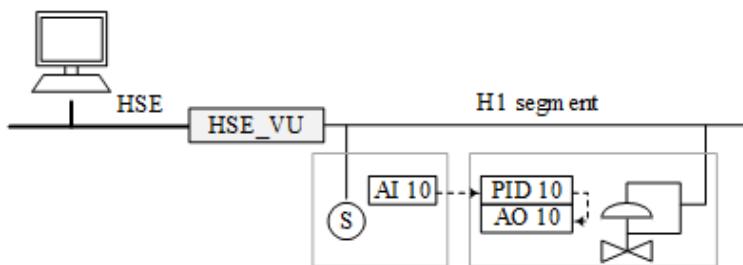
Foundation Fieldbus pridružuje sve funkcije i podatke uređaja u tri različita tipa blokova: Resurs, funkcijski i pretvarački blokovi. Resurs i pretvarački blokovi se koriste za konfiguriranje uređaja, a funkcijski blokovi za upravljačke funkcije.

- **Resurs blokovi** (*engl. Resource*) opisuju karakteristike Fieldbus uređaja kao što su naziv uređaja, proizvođač, serijski broj, sklopoljje, verzija ugrađenog programa (*engl. firmware*), itd. U svakom uređaju postoji samo jedan resurs blok.
- **Funkcijski blok** opisuje funkcije uređaja. Ulazni i izlazni parametri funkcijskih blokova se mogu povezati preko mreže, a izvršenje svakog bloka je regulirano cikličkom komunikacijom. Svaki uređaj je opremljen sa najmanje jednim funkcijskim blokom. Fieldbus Foundation specifikacijom definiran je skup funkcijskih blokova koji su podijeljeni u 3 klase: a) standardni blokovi za opis svih osnovnih funkcija, b) napredni blokovi sa dodatnim parametrima i algoritmima i c) blokovi specificirani od proizvođača za posebne namjene. Deset standardnih funkcijskih blokova za osnovne upravljačke funkcije definirani su standardom *FF-891 Function Blocks – Part 2* specifikacijom i prikazani su u tablici 10.4. Preostali blokovi su definirani specifikacijama standarda *Part 3* do *Part 5*.

NAZIV FUNKCIJSKOG BLOKA	SIMBOL
Analogni ulaz	AI
Analogni izlaz	AO
Pretpodatak (Bias)	B
Odbir upravljanja	CS
Digitalni ulaz	DI
Digitalni izlaz	DO
Manual Loader	ML
Proporcionalan/Deriviran	PD
Proporcionalan/Integralan/Deriviran	PID
Omjer	RA

Tablica 10.4. Standardni funkcijski blokovi – FF 891 FB Part 2

Funkcijski blokovi mogu biti ugrađeni u uređaj ovisno o željenoj funkciji uređaja. Na primjeru iz sl. 10.15. prikazana je procesna petlja u kojoj je ventil upravljan podacima sa temperaturnog senzora. Temperaturni senzor ima ugrađen AI funkcijski blok čije podatke prima PID funkcijski blok ventila. Nakon izvršenja algoritma PID blok prosljeđuje podatke AO bloku na istom ventilu.



Slika 10.15. Procesna petlja sa primjenom funkcijskih blokova

- **Pretvarački blokovi (engl. Transducer)** proširuju složenost i aplikacijske mogućnosti uređaja. Oni omogućuju povezivanje ulaznih i izlaznih parametara funkcijskih blokova na samom uređaju. Mogu se koristiti za kalibraciju i brisanje mjernih i pozicionih podataka, linearizaciju karakteristika ili pretvorbu fizičkih jedinica korištenjem dodatnih procesnih podataka. Obično se za svaki ulazni i izlazni funkcijski blok koristi jedan pretvarački blok.

Pored blokova u korisničkom sloju su definirani i dodatni objekti unutar strukture funkcijskih blokova:

- **Link** objekti definiraju vezu između različitih funkcijskih blokova, unutar uređaja u polju kao i duž fieldbus mreže.
- **Alert** objekti omogućuju izvješćivanje o alarmima i događajima na sabirnici.

- **Trend** objekti omogućuju pregled podataka funkcijskih blokova za pristup i analizu od strane sustava više razine.
- **View** objekti su predefinirane grupe podataka i postavke blok parametara koje se mogu koristiti za njihov pregled i prikaz prema njihovim zadaćama kao što su npr. procesna kontrola, konfiguracija, održavanje, dodatne informacije.

10.5.2. Opisi uređaja

Za vrijeme konfiguiranja mreže, održavanja te izvođenja dijagnostičkih funkcija upravljački uređaji više razine moraju imati mogućnost pristupa podacima svih uređaja u polju. Ovo je omogućeno primjenom *Opisa Uredaja* (*engl. DD - Device Descriptions*). Opisi uređaja sadrže sve potrebne informacije neophodne da se razumije značenje podataka uređaja i da ih se može ispravno prikazati na operatorskoj konzoli. Opisima uređaja detaljno je opisan svaki objekt u VFD-u (*engl. Virtual Field Device*) odnosno sve informacije o blokovima te kako interpretirati i prikazati parametre funkcijskih blokova.

U Foundation Fieldbus tehnologiji svaki uređaj sadržava tri datoteke koje omogućuju međusobnu komunikaciju između uređaja neovisno o platformi sustava; dvije datoteke opisa uređaja (DD) i jednu datoteku mogućnosti (*engl. capability file*). Za svaki uređaj koji se spoji na mrežu moraju se instalirati njegove pripadajuće DD datoteke na upravljački uređaj sustava (PC host). DD datoteka ima ulogu kao pogonski program (*engl. driver*) na PC-u za rad sa npr. pisačem. Bez DD datoteka upravljački uređaj ne može komunicirati sa Fieldbus uređajem.

Za sve standardne Fieldbus Foundation resurs, funkcijске i pretvaračke blokove dostupne su predefinirane DD datoteke. Ako dobavljač uređaja implementira dodatne funkcije i parametre u uređaju, tada mora kroz dodatne DD datoteke definirati sadržaj, pristup i njihov opis.

Opisi uređaja su napisani korištenjem DDL (*engl. Device Description Language*) programske jezike. Dobivena izvorna datoteka se zatim kompajlira pomoću posebnog PC programske alata koji se zove *Tokenizer* u dvije binarne DD datoteke sa ekstenzijama naziva *.ffo i *.sym (predstavlja listu DD simbola). DD datoteke su dostupne na Internet stranicama ili prijenosnim medijima koji su priloženi uz uređaj.

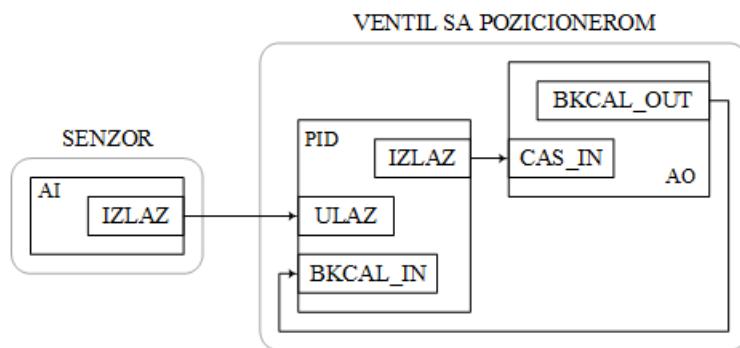
Datoteke mogućnosti (*engl. capability*) omogućuju upravljačkim uređajima konfiguraciju Fieldbus uređaja i kada su oni odspojeni. Ove datoteke pružaju informacije o svojstvima uređaja u odnosu na funkcijске blokove i virtualne komunikacijske veze, tako da se uređaju dodijele samo funkcije koje on podržava. Datoteka mogućnosti obično se označava kao CFF (*engl. Common File Format*) i ima ekstenziju *.cff.

10.5.3. Konfiguriranje sustava

Prije puštanja u rad sustava ciklička komunikacija kao i svi uređaji na sabirnici moraju biti konfigurirani. Za ovu namjenu se koristi konfiguracijski alat kao što je npr. *NI-FBUS Configurator* (proizvođač National Instruments). U konfiguracijskom uređaju moraju biti instalirane DD datoteke svih uređaja, a korištenjem grafičkog sučelja definiraju se mjerne i upravljačke zadaće svakog uređaja povezivanjem funkcijskih blokova uređaja u polju odnosno njihovih ulazno-izlaznih parametara. Konfiguracijskim alatom se također definira i brzina izvođenja procesnih petlji.

Na osnovu ovih podataka i dijagrama veza generiraju se konfiguracijski podaci za svaki uređaj koji se prenesu na njega. Pored Fieldbus uređaja u polju neophodno je konfigurirati LAS uređaj kao i *Link Master* uređaje koji sadržavaju listu prijenosa kojom je upravljana ciklička komunikacija u mreži.

Slika 10.16. pokazuje primjer kaskadnog upravljanja gdje je izlaz senzora spojen na PID funkcijski blok ventila. Ovaj blok je implementiran u pozicioneru ventila. Izlaz pozicionera djeluje lokalno na analogni izlaz završnog upravljačkog elementa, tako da nema potrebe slati podatke preko sabirnice.



Slika 10.16. Povezivanje funkcijskih blokova za kaskadno upravljanje

Literatura

- [1] SAMSON AG (2000.) *Foundation Fieldbus*, <http://www.samson.de/>
- [2] Mackay. S., Wright. E., Reynders. D., Park. J. (2004.) *Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting*, Great Britain: Elsevier, Newnes.
- [3] Sen, S.K, (2014.) *Fieldbus and Networking in Process Automation*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [4] National Instruments (2003.) *Foundation Fieldbus Overview*, <http://www.ni.com/>
- [5] Fieldbus Foundation (2004.) *Foundation Fieldbus System Engineering Guidelines Rev.02*, <http://www.fieldbus.org/>
- [6] Fieldbus Foundation (2003.) *Foundation Fieldbus Technical Overview Rev.03*, <http://www.fieldbus.org/>
- [7] Yokogava Electric Corporation (2001.) *Fieldbus Book – A Tutorial TI 38K02A01-01 E.*

11. PROFIBUS

PROFIBUS (*engl. PROcess FIeld BUS*) je standard za *fieldbus* komunikacijski sustav koji je svoju primjenu najviše ostvario u proizvodnoj i procesnoj automatizaciji. *Fieldbus* predstavlja naziv za niz industrijskih mrežnih protokola koji se koriste za komunikaciju sa distribuiranim uređajima preko zajedničke sabirnice.

PROFIBUS je standardiziran u Njemačkoj u razdoblju od 1989 do 1995. kao DIN 19245, 1-4 gdje je:

1. PROFIBUS-FDL (*engl. Fieldbus Data Link*) 1989.
2. PROFIBUS-FMS (*engl. Fieldbus Message Specification*) 1990.
3. PROFIBUS-DP (*engl. Decentralized Peripherals*) 1994.
4. PROFIBUS-PA (*engl. Process Automation*) 1995.

God. 1996. su svi europski *fieldbus* sustavi objedinjeni u zajednički standard EN 50170, na način da je svaki sustav označen svojim brojem. Prema standardu EN 50170 PROFIBUS ima oznaku 2 i podijeljen je na 9 kategorija kao što je prikazano u tablici 11.1.

DIO	NAZIV - SADRŽAJ
Standard EN 50170-2	1 Opcii Opis Normativa
	2 Specifikacija Fizičkog Sloja i Definicije Usluga
	3 Definicije Usluga Podatkovnog Sloja
	4 Specifikacije Protokola Podatkovnog Sloja
	5 Definicije Usluga Aplikacijskog Sloja PROFIBUS FMS
	6 Specifikacije Protokola Aplikacijskog Sloja PROFIBUS FMS
	7 Mrežno Upravljanje
	8 Korisničke Specifikacije PROFIBUS DP
	9 Fizički i Podatkovni Sloj za Procesnu Automatizaciju

Tablica 11.1. EN 50170-2 PROFIBUS standard

Standard EN 50170 dopunjeno je 1999. sa novih 7 *fieldbus* sustava i izdan kao međunarodni standard IEC 61158 (*engl. „Digital Data Communication for Measurement and Control – Fieldbus for Use in Industrial Control Systems“*). IEC 61158 standard podijeljen je na 6

dijelova s oznakama 61158-1 do 61158-6. Prvi dio opisuje osnovne značajke, dok su ostali dijelovi orijentirani na OSI referentni model (slojevi 1,2 i 7, vidi tablicu 11.2.). Činjenica da na tržištu postoji velik raspon različitih *fieldbus* sustava prepoznata je i kod IEC 61158 standarda koji od 2002. definira 22 različita *fieldbus* tipa protokola označenih od 1 - 22. PROFIBUS-u je pridjeljenja oznaka Tip 3, a PROFInet-u Tip 10.

IEC 61158 DOKUMENTI	NAZIV - SADRŽAJ	OSI SLOJ
IEC 61158-1	Opći dio	
IEC 61158-2	Specifikacija Fizičkog Sloja i Definicije Usluga - Tip 1 za PROFIBUS-PA - Tip 3 za PROFIBUS-DP	1
IEC 61158-3	Definicije Usluga Podatkovnog Sloja - Tip 3 za PROFIBUS	2
IEC 61158-4	Specifikacije Protokola Podatkovnog Sloja - Tip 3 za PROFIBUS	2
IEC 61158-5	Definicije Usluga Aplikacijskog Sloja - Tip 3 za PROFIBUS	7
IEC 61158-6	Specifikacije Protokola Aplikacijskog Sloja - Tip 3 za PROFIBUS	7

Tablica 11.2. Podjela unutar IEC 61158

Standard IEC 61784 opisuje koje se usluge i protokoli iz standarda IEC 61158 koriste u pojedinom *fieldbus* sustavu za komunikaciju. Ovako određeni komunikacijski profili sažeti su u CPF (*engl. Communication Profile Families*) sukladno njihovoj implementaciji u pojedinom *fieldbus* sustavu. Profili koji se odnose na PROFIBUS i PROFInet označeni su kao *Familija 3* s podjelom 3/1 za PROFIBUS-DP, 3/2 za PROFIBUS-PA i 3/3 za PROFInet.

Profili se koriste u automatizacijskoj tehnologiji da bi se definirala posebna svojstva i način rada za uređaje, grupacije uređaja ili cijelog sustava.

PROFIBUS podržava komunikacije na udaljenosti do 15 km (sa primjenom obnavljača - *engl. repeaters* i optičkih kabela) te brzine prijenosa podataka od 9.6 kbit/s do 12 Mbit/s. Veličina poruke u komunikaciji može biti do 244 bajta podataka po svakom priključenom uređaju. S obzirom na maksimalnu veličinu poruke od 255 bajta preostalih 11 bajta se koristi za sistemsku sinkronizaciju okvira. Razmjena podataka ostvarena je kroz ciklički i aciklički dio komunikacije. U cikličkom dijelu se razmjenjuju procesni podaci, a u acikličkom dijelu dijagnostički i konfiguracijski podaci. Unutar PROFIBUS sustava može se spojiti maksimalno 127 uređaja (čvorova ili stanica) uz ograničenje od 32 uređaja po segmentu. Svaki uređaj mora imati jedinstvenu adresu unutar opsega 0 – 127 budući je adresa predstavljena sa 1 bajtom. Infrastrukturni uređaji kao što su obnavljači, sprežnici i optički pretvarači se ne adresiraju jer samo prosljeđuju telegramе između segmenata. Adresiranje uređaja izvodi se prema tablici 11.3.

PROFIBUS podržava dvije vrste uređaja, nadređene (*engl. master*) i podređene (*engl. slave*).

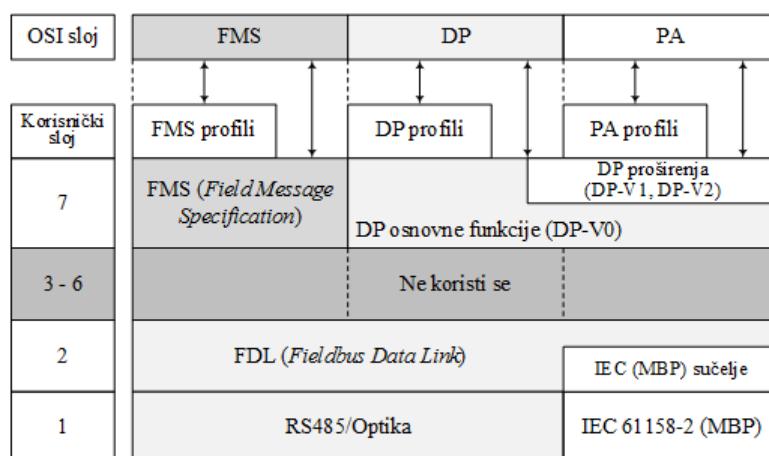
- *Master* uređaji upravljaju sabirnicom te šalju poruke uređajima na sabirnici pa ih nazivamo i aktivnim stanicama.
- *Slave* uređaji su obično periferni uređaji, npr. senzori i aktuatori, koji mogu samo potvrditi prijem poruke ili poslati poruku *master-u* na njegov zahtjev. *Slave* uređaje obično nazivamo pasivnim stanicama.

ADRESA	NAMJENA
0	Rezervirana za dijagnostičke alate kao što je programski uređaj.
1...n	Početne adrese koriste se za adresiranje <i>master</i> uređaja.
n...125	Preostale adrese koriste se za <i>slave</i> uređaje. Ako je u PROFIBUS mreži spojen samo 1 <i>master</i> tada u sustav može biti spojeno sveukupno 124 <i>slave</i> uređaja.
126	Rezervirana kao odredišna adresa za uređaje čija se adresa može podešavati komunikacijom.
127	Rezervirana za <i>broadcast</i> adresiranje kada se telegram šalje svim uređajima.

Tablica 11.3. Adresiranje uređaja

11.1. PROFIBUS i OSI model

PROFIBUS je zasnovan na OSI referentnom modelu i koristi slojeve 1,2 i 7, kao što je prikazano na sl. 11.1.



Slika 11.1. PROFIBUS i OSI model

- **Fizički Sloj (1)** definira fizički prijenos koji je ostvaren klasičnim kabelom (RS-485 i MBP) , optičkim ili bežičnim prijenosom.
- **Podatkovni Sloj (2)** definira način pristupa sabirnici i sigurnost prijenosa podataka. Pristup sabirnici ostvaren je primjenom *master-slave* i *token passing* metode unutar FDL (*engl. Fieldbus Data Link*) protokola.
- **Aplikacijski Sloj (7)** kreira sučelje prema aplikaciji te na taj način predstavlja vezu između aplikacije i komunikacije. Ovaj sloj koristi dvije verzije protokola: FMS i DP.
- Aplikacije se nalaze iznad 7. sloja i nisu sastavni dio OSI modela.

PROFIBUS razlikuje 3 verzije komunikacijskog protokola: FMS, DP i PA. Sve tri verzije koriste isti protokol podatkovnog sloja, FDL. DP i PA koriste istu implementaciju fizičkog sloja EIA RS-485, dok PA koristi modificiranu verziju EIA RS-485 IS ili MBP da bi uđovoljio zahtjevima intrinsične sigurnosti.

- **PROFIBUS-FMS** (*engl. Fieldbus Message Specification*) je dizajniran za rad na razini ćelije i omogućuje komunikaciju između *mastera*, odnosno PLC-a i računala. Kao i kod DP-a moguće je adresirati 126 stanica na mrežu i sve mogu biti nadređene. Kod FMS protokola više *master* stanica može kontrolirati jedan *slave*. FMS i DP koriste istu tehnologiju prijenosa podataka i pristupa sabirnici, tako da se oba protokola mogu koristiti istovremeno. Takav način rada naziva se “*Combi mode*”, i obično se koristi u situacijama gdje PLC-ovi komuniciraju s računalima preko FMS-a, a komunikaciju sa I/O uređajima vrše preko DP-a. Danas se FMS rijetko koristi zbog sve veće primjene *Ethernet* protokola.
- **PROFIBUS-DP** (*engl. Decentralized Periphery*) je optimiziran za veće brzine prijenosa podataka i namijenjen prvenstveno za komunikaciju između programabilnih logičkih kontrolera (PLC-a) i distribuiranih ulazno-izlaznih uređaja na razini polja (senzori/aktuatori). DP protokol danas je dostupan u tri funkcionske verzije DP-V0, DP-V1 i DP-V2.
- **PROFIBUS-PA** (*engl. Process Automation*) je procesno automatizacijska verzija PROFIBUS -a. Protokol je isti kao i DP-V1, osim što su naponske i strujne razine signala reducirane kako bi se postigla intrinsična sigurnost. Uređaji su naime posebno dizajnirani za rad u područjima gdje postoje veliki rizici od eksplozije koji mogu biti uzrokovani uslijed iskrenja ili zagrijavanja samog uređaja. Kod PA prijenos podataka i napajanje uređaja obično je izvedeno preko iste sabirnice.

11.2. Fizički sloj

U OSI referentnom modelu, sloj 1 definira metodu fizičkog prijenosa podataka, tj. mehaničke i električne karakteristike. Sastavni dio fizičkog sloja su kodiranje i tehnologija prijenosa signala. U tablici 11.4. prikazan je pregled osnovnih tipova fizičkog sloja koji se koriste u PROFIBUS-u.

PROFIBUS PROTOKOL	FMS/DP		PA	
Fizički sloj	RS485	Optički kabel	MBP	RS485 IS
Prijenos signala i kodiranje	Simetrična linija, NRZ kodiranje	Optički kabel, NRZ kodiranje	Simetrična linija, Manchester kodiranje	Simetrična linija, NRZ kodiranje
Brzina prijenosa	9.6 kbit/s – 12 Mbit/s	9.6 kbit/s – 12 Mbit/s	31.25 kbit/s	9.6 – 1500 kbit/s
Kabel	Upletena parica, oklopljen, tip A	Monomodno i višemodno stakleno vlakno, plastično vlakno, PCF	Upletena parica, oklopljen	Upletena parica, oklopljen, 4 vodiča, tip A
Topologija	Sabirnica	Sabirnica, prsten, zvijezda	Sabirnica, stablasta	Sabirnica
Broj podržanih stanica	32 po segmentu	126 u mreži	32 po segmentu	32 po segmentu
Broj podržanih obnavljača	9 - standardna izvedba sa pojачanjem signala	Neograničeno	4	9 - standardna izvedba sa pojачanjem signala

Tablica 11.4. PROFIBUS tehnologije prijenosa (fizički sloj)

11.2.1. RS-485 prijenos

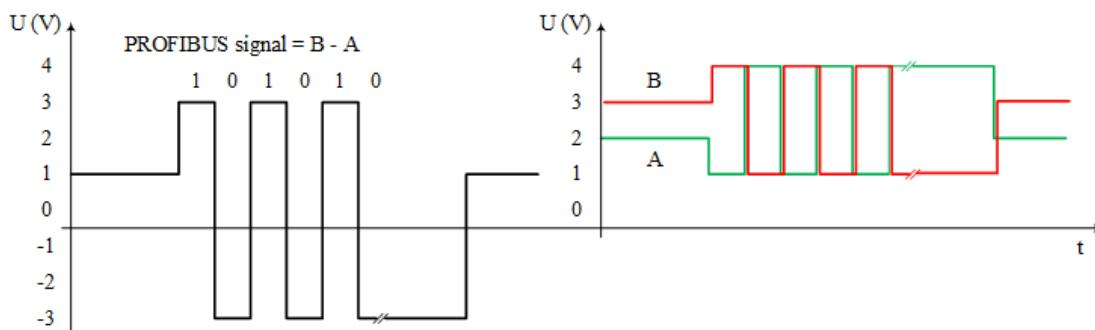
RS-485 tehnologija prijenosa koristi se u PROFIBUS-FMS i PROFIBUS-DP protokolu. Prijenos podataka ostvaren je preko simetrične linije korištenjem dvožilnog kabela. Linija na krajevima mora biti zaključena otpornicima. RS-485 tehnologija podržava brzine prijenosa podataka od 9.6 kbit/s do 12 Mbit/s. Maksimalna brzina prijenosa ovisi o duljini segmenta (neprekinuta linija kabela) koja može iznositi do 1200 m. Po segmentu je dozvoljeno spojiti do 32 uređaja, ali se primjenom obnavljača i optičkih pretvarača može povezati više segmenata i tako povećati broj uređaja na mreži. Kod primjene obnavljača broj uređaja koji se mogu adresirati po segmentu se umanjuje za svaki priključeni obnavljač. Svi uređaji su spojeni na zajedničku sabirnicu ili tzv. *multi-drop* liniju. Prijenos signala zasnovan je na poludupleksnoj asinkronoj komunikaciji. Kod ove komunikacije razmijena podataka na liniji ostvarena je na način da više uređaja može primati a samo jedan slati poruke istovremeno.

11.2.1.1. Kodiranje i naponske razine signala

Podaci se u PROFIBUS protokolu šalju kao asinkroni UART znakovi. Svaki znak je strukturiran kao 11-bitni okvir koji se sastoji od početnog bita, 8 bita podataka, parnog paritetnog bita i završnog bita okvira. Početni bit predstavljen je logičkom '0' i koristi se za

sinkronizaciju okvira. Sinkronizacija uvijek započinje sa silaznim bridom početnog bita, a provjera logičkih stanja bitova se vrši u sredini vremenskog trajanja svakog bita. Bitovi podataka šalju se uvijek od najmanje značajnog ka najznačajnijem bitu. Na temelju parnog paritetnog bita vrši se provjera ispravnosti prijenosa. Završnim bitom koji je predstavljen logičkom '1' označen je kraj okvira. Okviri se šalju u nizu bez pauze.

Podaci se kodiraju u NRZ kodu (*engl. Non Return To Zero*) i šalju na simetričnu liniju. Logičko stanje signala na simetričnoj liniji predstavljeno je razlikom napona između vodiča, pri čemu je logička '1' predstavljena pozitivnom, a logička '0' negativnom razlikom napona. Kada nema komunikacije na liniji razlika napona na vodičima mora biti pozitivna što odgovarati logičkom stanju '1'. Vodiči se u PROFIBUS-u često označavaju sa A (zelena) i B (crvena) tako da je razlika napona definirana kao $U_B - U_A$. Naponske razine signala na liniji su prikazane na sl. 11.2. i u tablici 11.5. U stvarnosti su moguća odstupanja od ovih vrijednosti u iznosu od $\pm 0.5V$.



Slika 11.2. Naponske razine signala na PROFIBUS liniji

Razlika između diferencijalnih napona logičkih stanja '0' i '1' treba iznositi između 4 i 7 V, a pozitivna i negativna vrijednost napona treba biti približno jednaka. Za vrijeme neaktivnosti diferencijalni napon linije za stanje logičke '1' iznosi približno 1 V. Razlog je što je linija u tom slučaju podložnija utjecaju smetnji koje se superponiraju linijskom naponu što može dovesti do porasta napona na ulaznim sklopovima uređaja. Napon pojedinog vodiča na ulazu sklopa ne smije biti veći od +12V odnosno -7V jer to može dovesti do pregaranja sklopa.

PROFIBUS LINIJA	A	B	B - A
Bez aktivnosti	$\approx 2V$	$\approx 3V$	$\approx 1V$
Prijenos signala	1-4 V	1-4 V	4-7 V

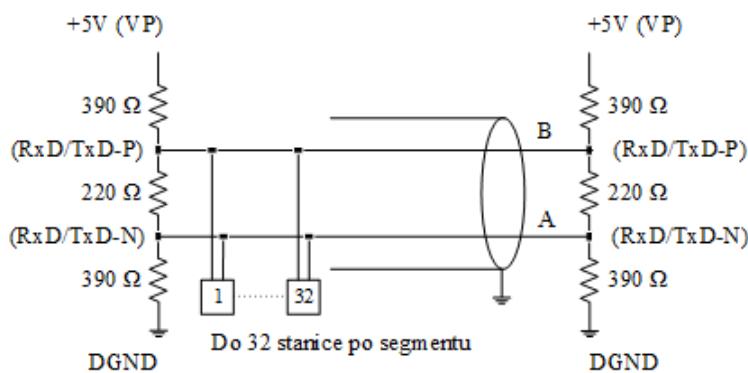
Tablica 11.5. Naponske razine signala na PROFIBUS liniji

11.2.1.2. Zaključenje linije

U PROFIBUS mreži svaki segment linije mora na krajevima biti zaključen otpornicima kako bi se smanjio utjecaj smetnji i refleksije signala na ispravnost prijenosa. Zaključni otpornici su izvedeni kao naponska dijelila da bi se osigurao stalni napon od 1V na liniji u stanju neaktivnosti, a time i logičko stanje '1' linije. Naime u situaciji kada nema komunikacije na liniji prijemnici uređaja vrlo malo opterećuju liniju, a predajnici su spojeni u stanju visoke impedancije (*engl. tri-state*) što dovodi do toga da je linija podložna utjecaju i najmanjih smetnji koje mogu dovesti do nedefiniranog logičkog stanja linije. Uslijed elektromagnetskih smetnji mogu se u tom slučaju inducirati naponi na liniji koji mogu dovesti do pogrešne detekcije signala ili čak do pregaranja ulaznog dijela sklopa.

Utjecaj refleksije pak dovodi do izobličenja signala koje je veće što je veća brzina prijenosa podataka (kraće vrijeme trajanja impulsa). Refleksija signala posljedica je neprilagođenosti linije odnosno promijene impedancije kako na krajevima tako i na samoj liniji, npr. na spojnim mjestima konektora ili različitih kabela. Budući impedancija osim o otporu ovisi i o induktivitetu L' i kapacitetu C' po jediničnoj duljini kabela, smanjenje utjecaja refleksije se može najbolje ostvariti prilagođenjem linije na oba kraja što je ostvareno ako je linija zaključena otporom koji je jednak valnoj impedanciji kabela. Valna impedancija kabela približno se može odrediti iz izraza $R_v = \sqrt{L'/C'}$.

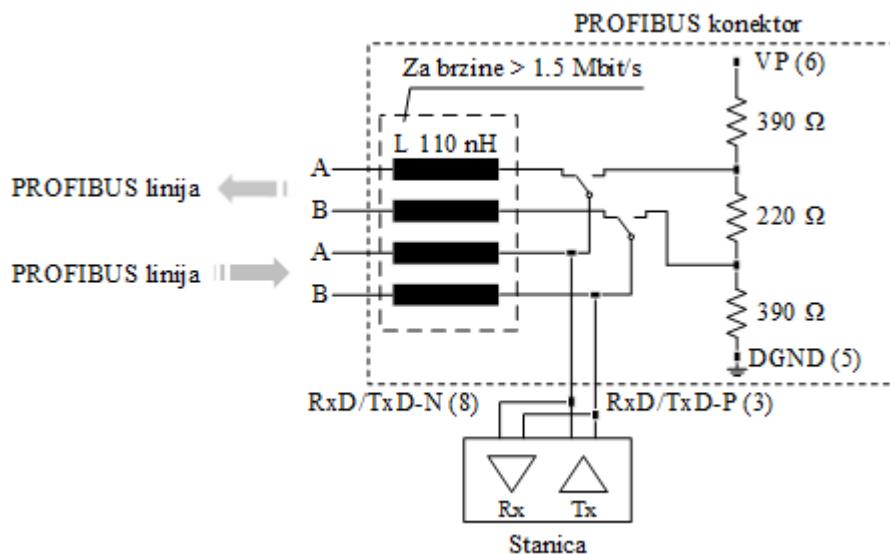
Za pouzdani rad PROFIBUS-a barem jedan od zaključnih članova mora imati napajanje da bi se osigurao napon linije od 1V kada na njoj nema komunikacije. U praksi se napajanje zaključnog člana realizira na oba kraja budući uvijek postoji mogućnost da jedan od zaključnih članova ostane bez napajanja (npr. isključenjem stanice) ili se odspoji. Na sl. 11.3. prikazana je izvedba zaključnog člana.



Slika 11.3. RS-485 segment i zaključenje linije

11.2.1.2.1. Zaključeni član u konektoru

Zaključni član (*engl. terminator*) ugrađen je u sve standardne PROFIBUS konektore D-tipa i može se aktivirati pomoću posebnog mikro-prekidača, sl. 11.4. Također može biti izведен kao sastavni dio M12 priključnog modula, zatim kao zasebni aktivni zaključni član ili ugrađen u same uređaje (ne preporuča se za brzine od 12 Mbit/s).

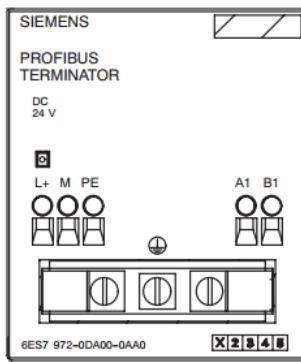


Slika 11.4. Prikaz izvedbe zaključnog člana unutar konektora D-tipa

Kod brzina prijenosa većih od 1.5 Mbit/s koriste se konektori sa dodatnim prigušnicama zbog povećanog kapacitivnog opterećenja spojenih uređaja i rezultirajućih refleksija na liniji, sl. 11.4. Svaki konektor na liniji svojim kapacitetom utječe na povećanje kapaciteta po jediničnoj duljini kabela što dovodi do većih ili manjih refleksija. Dodavanjem prigušnica u seriju kompenzira se porast kapaciteta u skladu sa izrazom za valnu impedanciju. Za brzine prijenosa veće od 1.5 Mbit/s također se preporuča minimalna udaljenost od 1 m između dvije stanice kako bi se izbjegao dodatni utjecaj refleksije uzrokovani lošim spojevima.

11.2.1.2.2. Aktivni terminator

Aktivni terminator se instalira kao poseban sklop i ima vlastito napajanje, sl. 11.5. Uloga je aktivnih terminatoreva da osigura zaključenje linije i stalno napajanje zaključnog člana. Naime ako je zaključenje ostvareno sa konektoretom priključenim na stanicu, kvar na stanicu može uzrokovati izostanak napajanja što može dovesti do smetnji u prijenosu signala ili čak do prekida rada mreže. Aktivni terminator je također i vizualno lakše uočiti od samog mikro-prekidača na konektoru što omogućuje jednostavnije održavanje mreže.

**Slika 11.5.** Aktivni terminator

11.2.1.3. Ogranci na liniji

Ogranci (*engl. stub lines*) predstavljaju direktni paralelni priključak na sabirnicu (T-spoj). Ogranci na linijama su dozvoljeni samo za brzine do 1.5 Mbit/s uz ograničenja prikazana u tablici 11.6. Podaci su dani za PROFIBUS kabel tipa A kapaciteta 30 pF/m.

BRZINA PRIJENOSA (Kbit/s)	UKUPNI KAPACITET OGRANKA (nF)	UKUPNA DULJINA OGRANKA (m)
> 1500	Nema	Nema
1500	0.2	6.7
500	0.6	20
187.5	1.0	33
93.75	3.0	100
19.2	15	500

Tablica 11.6. Dozvoljene duljine ogranaka na PROFIBUS liniji

Duljine ogranaka se odnose na jedan segment linije, a u njih treba uračunati i spojne veze unutar samih uređaja tj. duljine vodiča od RS-485 priključnog sklopa uređaja do samog konektora. Konektori D-tipa izvedeni su na način da se dolazni i odlazni kabel spajaju direktno na konektoru tako da su na ovaj način ogranci izbjegnuti, a konektor se uvijek može odspojiti od uređaja bez utjecaja na komunikaciju u mreži. Kada uređaje spajamo preko ogranaka ne treba u tom slučaju koristiti dodatne zaključne članove. Za segmentiranje mreže uvijek se preporuča upotreba obnavljača umjesto ogranaka.

11.2.1.4. Prijenosni medij

Kao prijenosni medij u PROFIBUS-u koristi se kabel sa uplenenom paricom koji može biti izведен sa ili bez oklopa. Kabel bez oklopa može se koristiti samo ako nije izložen utjecaju elektromagnetskih smetnji. U izvedbi sa oklopom oba kraja omotača moraju biti uzemljena

kako bi se smanjila razina elektromagnetskog zračenja i utjecaj smetnji. Standardom su specificirana dva tipa kabela, A i B, tablica 11.7. Kabel tipa B namijenjen je prvenstveno za manje brzine prijenosa i kraće udaljenosti tako da se danas uglavnom ne koristi.

	KABEL TIP A	KABEL TIP B
Impedancija (Ω)	135 – 165 ($f = 3 - 20 \text{ MHz}$)	100 – 130 ($f > 100 \text{ kHz}$)
Kapacitet (pF/m)	< 30	< 60
Otpor (Ω/km)	< 110	---
Presjek vodiča (mm^2)	≥ 0.34 (22 AWG)	≥ 0.22 (24 AWG)

*Kabel B tipa danas se uglavnom ne preporuča za upotrebu.

Tablica 11.7. Specifikacija PROFIBUS RS-485 kabela tipa A i B

Maksimalne duljine kabela odnosno segmenta ovisne su o brzini prijenosa podataka i tipu kabela, kao što je to prikazano u tablici 11.8.

Brzina prijenosa (kbit/s)	9.6 – 93.75	187.5	500	1500	3000 - 12000
Duljina segmenta - kabel tip A (m)	1200	1000	400	200	100
Duljina segmenta - kabel tip B (m)	1200	600	200	70	---

Tablica 11.8. Duljine kabela u ovisnosti o brzini prijenosa

11.2.1.5. PROFIBUS konektor

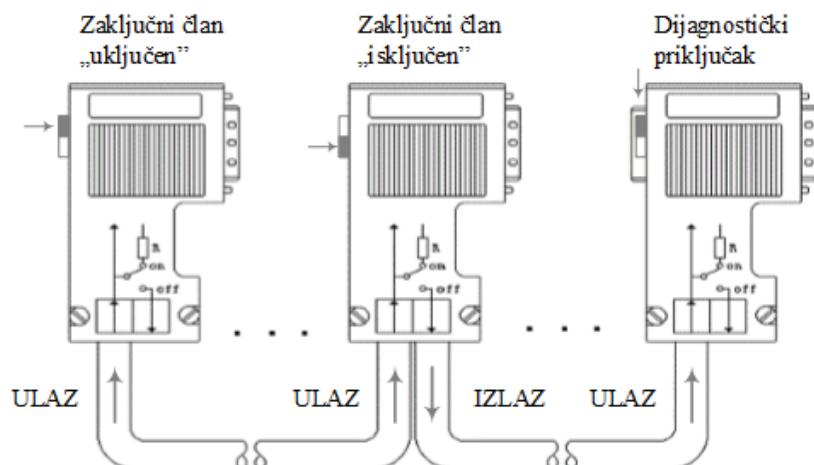
Za povezivanje uređaja na sabirnicu PROFIBUS standardom specificiran je 9-polni konektor D-tipa sa rasporedom priključaka kao što je prikazano u tablici 11.9. Po specifikaciji standarda utičnica konektora se uvijek mora nalaziti na uređaju, a utikač na kabelu. Signali na priključnicama 3 (B-vodič), 5 (DGND), 6 (VP), i 8 (A-vodič) su obavezni, dok se ostali mogu ili ne moraju koristiti. Preko priključaka 5 i 6 spojen je zaključni član na napajanje od 5V, dok se upravljačkim signalima 4 i 9 može kontrolirati smjer prijenosa signala na obnavljaču ako su na mreži instalirani obnavljači koji podržavaju upravljanje preko ovih linija. Napajanje 24V omogućuje napajanje dodatnih uređaja do 100 mA potrošnje. Danas se primjena napajanja 24V kao i zaštitnog uzemljenja unutar konektora na priključku 1 ne preporuča. Za uzemljenje je u novim izvedbama konektora predviđena metalna podloška.

POGLED SPRIJEDA	PIN BR.	SIGNAL	OPIS - NAMJENA
	1*	SHIELD	Okolop, zaštitno uzemljenje
	2*	M24	Minus napajanja 24V
	3	RxD/TxD-P	Prijem/Slanje podataka – B vodič
	4*	CNTR-P	Smjer upravljanja – za obnavljače
	5	DGND	Masa signala
	6	VP	Napajanje +5V
	7*	P24V	Plus napajanja 24V
	8	RxD/TxD-N	Prijem/Slanje podataka – A vodič
	9*	CNTR-N	Smjer upravljanja – za obnavljače

*Nisu obavezni. Mogu se koristiti po potrebi.

Tablica 11.9. Raspored priključaka za PROFIBUS konektor

PROFIBUS konektori imaju označene priključke za kabel sa oznakama ulaz (*engl. IN*) i izlaz (*engl. OUT*) ili sa odgovarajućim strelicama. Ovo razlikovanje je veoma važno jer se zaključenje nalazi samo na ulaznom priključku. Aktiviranjem zaključnog člana sa mikro-prekidačem ujedno se na tom konektoru prekida linija i označava završetak segmenta. Preostali dio linije odnosno mreže koji je spojen na izlazni priključak biti će odspojen od mreže. Na ovaj način duž segmenta zaključenjem pojedinog dijela linije moguće je vršiti provjeru funkcionalnosti mreže. Konektori u vijek na oba kraja segmenta moraju zato koristiti ulazni priključak radi zaključenja linije. Na sl. 11.6. prikazano je zaključivanja linije pomoću PROFIBUS konektora. Za potrebe priključenja dijagnostičkih uređaja na sabirnicu dok je mreža u radu koriste se dijagnostički konektori koji sa stražnje strane imaju dodatni RS-485 priključak. Na ovaj način se programskim uređajem može direktno spojiti na mrežu bez utjecaja na komunikaciju.



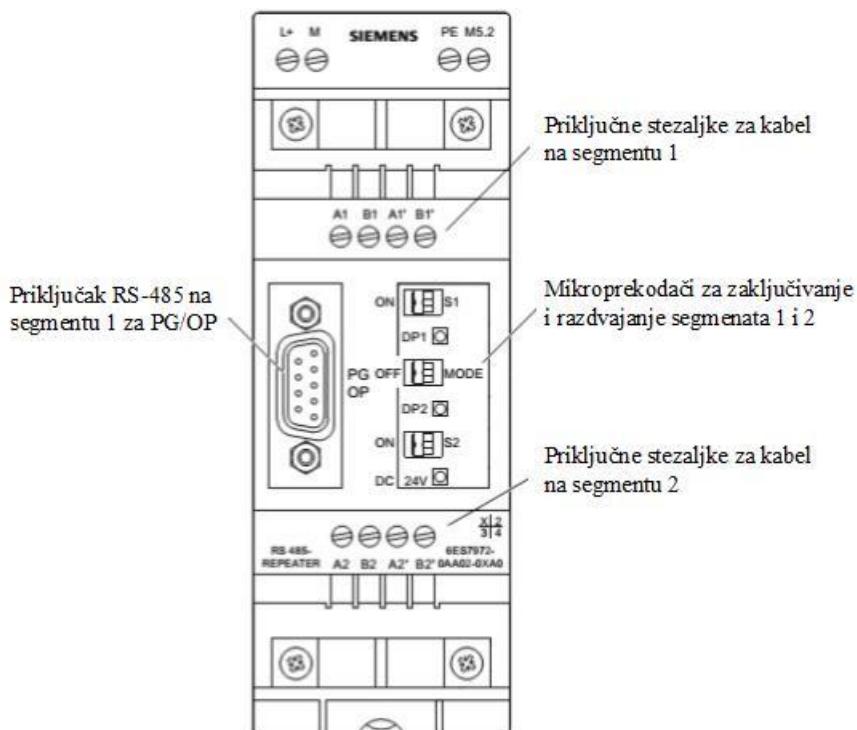
* Zaključni član je spojen samo na ulazni priključak konекторa

Slika 11.6. Spajanje PROFIBUS konektora u mrežu

11.2.1.6. RS-485 obnavljači

Uloga RS-485 obnavljača (*engl. repeater*) je pojačanje razine signala na liniji te električna izolacija segmenata PROFIBUS mreže. Obnavljače koristimo kada želimo povećati duljinu segmenta koja je ograničena brzinom prijenosa ili ako želimo spojiti više od 32 stanice na mrežu. Današnje izvedbe obnavljača imaju autonomnu mogućnost upravljanja smjerom pojačanja. Signal će biti pojačan i prenesen kroz obnavljač sa jednog segmenta na drugi ako se na priključku jednog od segmenata detektira silazni brid početnog bita okvira poruke. U slučaju da se na oba segmenta detektira početak okvira u obnavljaču je ugrađen sklop za odlučivanje o prioritetu smjera pojačanja a time i smjera prijenosa signala. Detekcijom završnog bita okvira i istekom vremena od 11 bita neaktivnosti na liniji obnavljač prestaje sa pojačanjem signala i prelazi u stanje osluškivanja prijema novog okvira. Vrijeme neaktivnosti na segmentu je predefinirano u obnavljaču da bude $\geq 11 t_{\text{bita}}$ te na taj način ovisi o brzini prijenosa signala.

Kod obnavljača koji ne koriste regeneraciju signala dolazi do izobličenja i kašnjenja bitova signala, pa je standardom EN 50170 broj spojenih obnavljača u nizu ograničen na 3. U novijim izvedbama obnavljača poboljšane su karakteristike pojačivačkih sklopova tako da je povećana i mogućnost povezivanja broja obnavljača u niz najčešće na 3,4 ili 9, što ovisi o tipu i proizvođaču. Kod obnavljača sa implementiranom regeneracijom signala nema ovih ograničenja. Na slici 11.7. prikazan je Siemens-ov obnavljač tip 6ES7 972-0AA02-0XA0 koji omogućuje spajanje do 9 obnavljača u niz.



Slika 11.7. Siemens obnavljač RS-485 tip 6ES7 972-0AA02-0XA0

RS-485 priključak i segment 1 su električki izolirani od segmenta 2, a isto tako je i pojačanje signala ostvareno samo između segmenata 1 i 2, odnosno između RS-485 priključka i segmenta 2. RS-485 priključak namijenjen je samo za povezivanje dijagnostičkih uređaja na mrežu, kao što je npr. programska jedinica ili OP panel, a ne za umrežavanje drugih stanica. Mikro-prekidačem moguće je također fizički i električki odvojiti segmente. Ukupna duljina segmenata primjenom 9 obnavljača ovog tipa u nizu za sve brzine prijenosa povećana je za 10 puta, kao što je to prikazano u tablici 11.10.

Brzina prijenosa (kbit/s)	9.6 – 187.5	500	1500	3000 - 12000
Duljina svih segmenta (m)*	10000	4000	2000	1000

* Ukupna duljina segmenata dana je za spojenih 9 obnavljača RS-485 u nizu

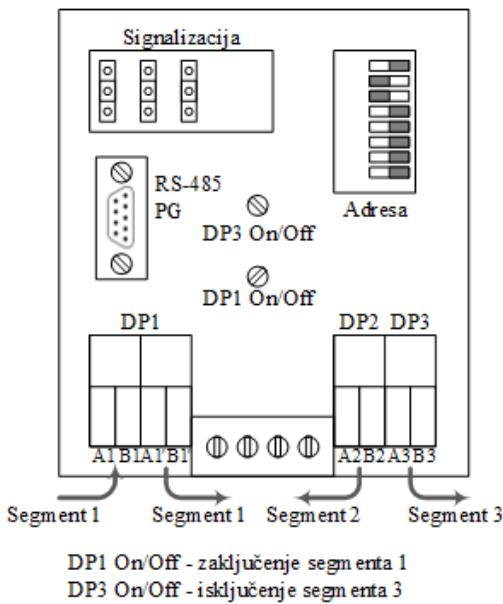
Tablica 11.10. Duljine segmenta u ovisnosti o brzini prijenosa za RS-485 obnavljač

RS-485 obnavljač predstavlja dodatno opterećenje na liniji pa je ukupan broj uređaja koji se mogu koristiti po svakom segmentu umanjen za svaki obnavljač koji je priključen. Budući standard dozvoljava maksimalno 32 uređaja po segmentu na svaki će segment u tom slučaju biti moguće spojiti najviše 31 ili 30 stanica ovisno o tome da li je segment spojen na jedan ili dva obnavljača. Broj obnavljača u PROFIBUS mreži međutim ne utječe na ukupan broj adresiranih uređaja jer obnavljači nemaju pridruženu adresu.

11.2.1.6.1. Dijagnostički obnavljači

Dijagnostički obnavljači imaju mogućnost slanja dijagnostičkih informacija preko mreže pa se u skladu s tim mogu i adresirati. Funkcije dijagnostike su ostvarene samo za segmente 2 i 3, a RS-485 priključak se i ovdje koristi samo za povezivanje programske jedinice. Funkcije dijagnostike se mogu isključiti sa mikro-prekidačem. Na slici 11.8. prikazan je izgled standardnog Siemens-ovog dijagnostičkog obnavljača.

U sklopu dijagnostičkih funkcija mogu se detektirati greške prekida linije, kratki spoj između vodiča A i B ili svakog vodiča prema omotaču, zatim nepravilno zaključenje linije te greške u prijenosu podataka. Ove informacije se šalju putem dijagnostičkih telegrama u koje su uključene i informacije o nazivu segmenta, uzrocima grešaka te lokaciji nastale greške izražene u metrima.

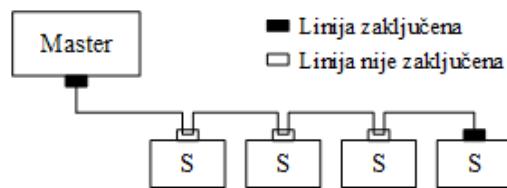


Slika 11.8. Dijagnostički obnavljač

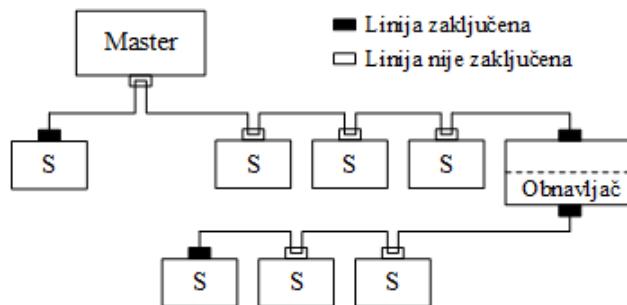
11.2.1.7. Topologija RS-485 mreže

Konfiguracija PROFIBUS mreže izvedena je najčešće u linearnoj topologiji kod koje su svi uređaji spojeni na sabirnicu. Primjenom obnavljača moguće je proširiti mrežu na veći broj segmenata te na taj način ostvariti stablastu i/ili zvjezdastu topologiju. Isto tako je moguća i prstenasta topologija ali uz primjenu optičkih pretvarača.

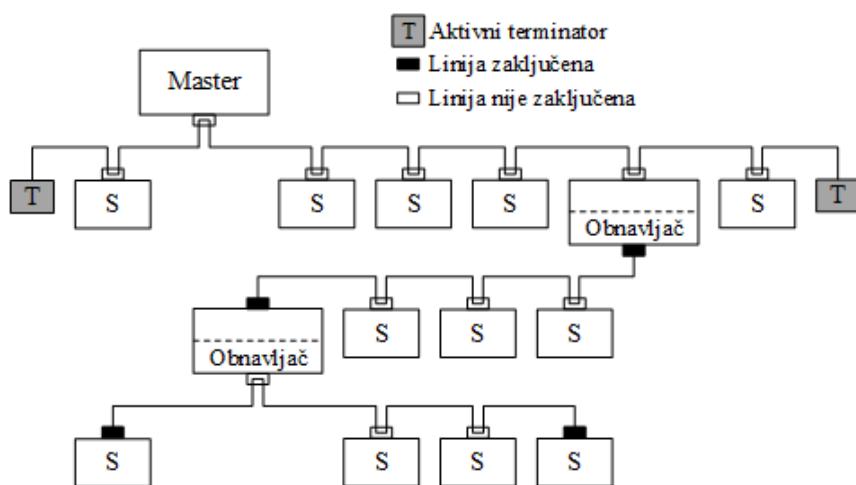
Segment linije uvijek mora biti zaključen na oba kraja. Kao što je već navedeno zaključenje se može realizirati na PROFIBUS konektoru ili na samom obnavljaču. Pri tom je važno da krajnji uređaji na kojima je izvedeno zaključenje linije imaju stalno napajanje jer gubitak napajanja na jednom od krajnjih uređaja može dovesti do nestabilnosti rada mreže. O ovome treba naročito voditi računa ako se treba zamijeniti uređaj koji je krajnji. Da bi se to izbjeglo preporučljivo je segmente zaključiti aktivnim terminatorima. Svaki *slave* uređaj se može odspojiti u svakom trenutku iz mreže bez utjecaja na komunikaciju ostalih uređaja pod uvjetom da na tom uređaju nije aktiviran zaključni član. I *Master* i *slave* uređaji mogu biti locirani na bilo kojem mjestu u mreži uz ograničenja vezana za duljine segmenata u ovisnosti o brzini prijenosa podataka. Preporuka je ipak radi jednostavnijeg održavanja da *Master* bude priključen na početku segmenta ako se radi o mreži sa jednim *Masterom*. Na slikama koje slijede prikazane su moguće konfiguracije uređaja na mreži kao i mogući načini zaključenja segmenata.



Slika 11.9. Mrežna topologija sa jednim segmentom



Slika 11.10. Mrežna topologija sa dva segmenta. Zaključenje je ostvareno na obnavljajuću i krajnjim stanicama



Slika 11.11. Mrežna topologija sa obnavljacima i aktivnim terminatorima

Ovisno o tome da li se radi o središnjem ili krajnjem (prvom ili zadnjem) segmentu na segment je moguće spojiti 31 ili 30 uređaja. Budući PROFIBUS standard podržava 126 adresirana uređaja za konfiguriranje potpune mreže neophodno je upotrijebiti barem 4 standardna obnavljajuća.

11.2.2. Optički prijenos

Primjena svjetlovodnih kabela u prijenosu signala omogućuje dodatno povećanje udaljenosti komunikacije na PROFIBUS FMS i DP mreži i do 15 km. Dodatne prednosti svjetlovodnih kabela su da su neosjetljivi na elektromagnetske smetnje i koroziju te da omogućuju električku izolaciju uređaja na sabirnici.

Kao prijenosni medij koriste se staklena ili plastična svjetlovodna vlakna. Ovisno o tipu koji se koristi staklena vlakna podržavaju komunikaciju do 15 km a plastična vlakna do 80 m. Brzina prijenosa podataka ista je kao i kod bakrenih kabela (9.6 kbit/s – 12 Mbit/s) ali ne ovisi o udaljenosti. U PROFIBUS mreži koriste se svjetlovodni kabeli sa valnim duljinama 660 nm, 850 nm i 1300 nm. U tablici 11.11. prikazani su osnovni tipovi svjetlovodnih kabela koji se koriste u PROFIBUS mreži.

TIPOPTIČKOG KABELA	DIMENZIJE (μm)	VALNA DULJINA (nm)	GUŠENJE (dB/km)	UDALJENOST (m)
Sintetičko vlakno	980/1000	660	230	80
PCF/HCS vlakno*	200/230	660	10	400
		850	8	800
	50/125	850	2.5	2600
Višemodna staklena vlakna	50/125	1310	1	10000
		850	3	3300
	62.5/125	1310	1	10000
Jednomodno stakleno vlakno	9/125	1300		15000

*HCS (engl. Hard Clad Silica) - optičko vlakno sa silicijevom staklenom jezgrom i posebnim plastičnim omotačem. PCF (engl. Polymer Clad Fibre) je sinonim za isti kabel ali bez autorskih prava.

Tablica 11.11. Tipovi svjetlovodnih kabela u PROFIBUS mreži

Optički prijenos signala ostvaren je uvijek sa dva svjetlovodna kabela od kojih jedan predstavlja liniju za slanje (Tx), a drugi liniju prijema (Rx). Optičke linije se na uređajima uvijek spajaju križno tj. Tx jednog uređaja na Rx drugog i obratno. Komunikacija je ostvarena u poludupleksu odnosno signal se šalje samo preko jednog vlakna. Za povezivanje RS-485 prijenosnog medija na optički kabel koriste se optički pretvarači koji dolaze u različitim izvedbama ovisno o proizvođaču, podržanim optičkim medijima, te broju priključaka tj. kanala. Dodatni kanali, RS-485 ili optički, omogućuju povezivanje većeg broja segmenata te kreiranja zvjezdaste i prstenaste topologije mreže. Kao i obnavljači pretvarači također nemaju pridruženu adresu uređaja. Ukupan broj uređaja koji se mogu spojiti po segmentu isto tako je umanjen za broj priključenih optičkih pretvarača. Od optičkih pretvarača u izvedbi Siemens-a, kao najznačajnijeg proizvođača, možemo razlikovati optičke module (OLM), optičke terminale

(OBT) i optičke konektore (OLP). Uređaji su prikazani na slici 11.12.



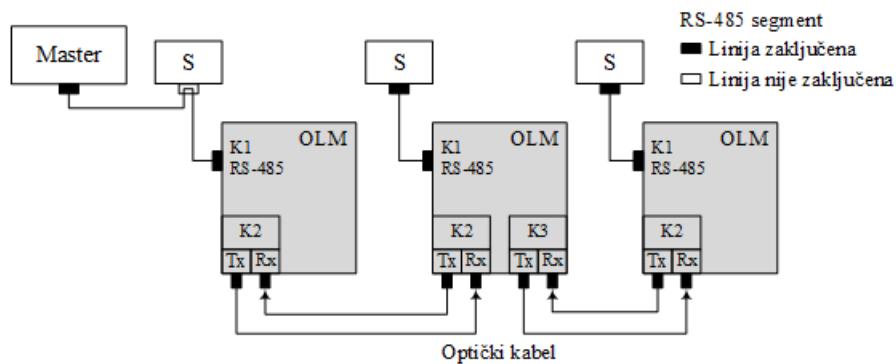
Slika 11.12. Siemens optički pretvarači

11.2.2.1. OLM – optički moduli

OLM optički moduli (*engl. Optical Link Module*) se općenito mogu podijeliti na dvije osnovne grupe: module koji podržavaju plastična i PCF/HCS vlakna i module koji podržavaju rad samo sa staklenim vlaknima. U ovisnosti o tipu svjetlovodnog kabela i valnoj duljini određena je i maksimalna udaljenost komunikacije između dva OLM-a prema karakteristikama iz tablice 11.11. (OLM moduli ne podržavaju samo PCF/HCS vlakna od 850 nm). Optički moduli podržavaju sve brzine prijenosa od 9.6 kbit/s do 12 Mbit/s neovisno o udaljenosti i tipu svjetlovodnog kabela.

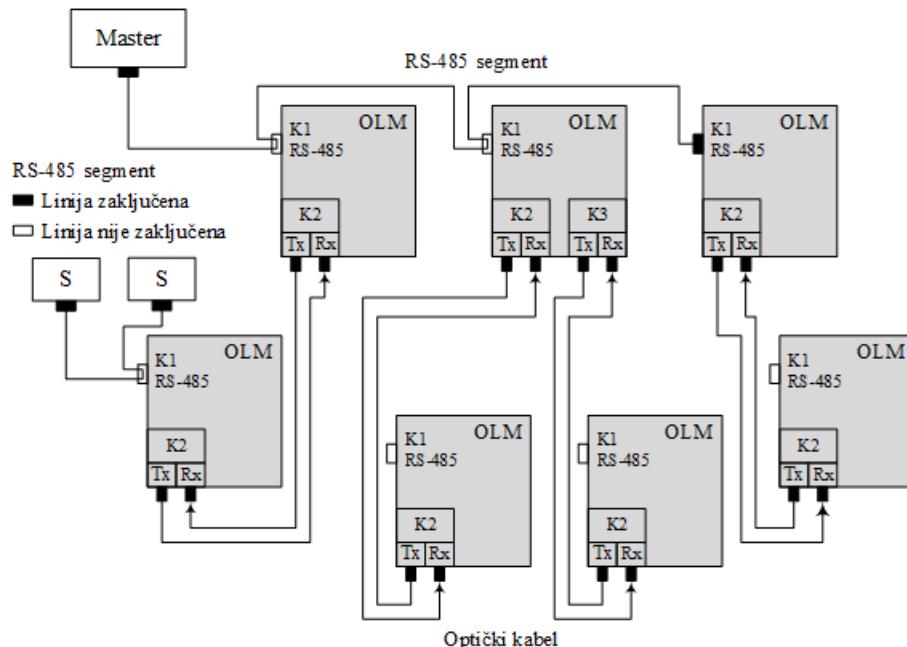
OLM moduli mogu ovisno o modelu imati do dva električka (RS-485) i optička kanala. Svaki optički kanal ima predajnu i prijemnu liniju. Karakteristika je OLM pretvarača da je prijenos signala zasnovan na tzv. signalu jeke. Naime u prijenosu signala između optičkih pretvarača primljeni signal se osim slijedećem uvijek šalje i nazad pretvaraču koji ga je poslao. Pošiljatelj signala stalno uspoređuje poslani signal sa signalom jeke te u slučaju greške prekida prijenos dok se signal ponovno ne sinkronizira.

OLM moduli omogućuju kreiranje linearne, zvjezdaste i prstenaste topologije mreže. Kod linearne topologije optički moduli su međusobno povezani u niz preko optičkih kanala sl. 11.13. Svi RS-485 segmenti priključeni na OLM module moraju biti na krajevima zaključeni.



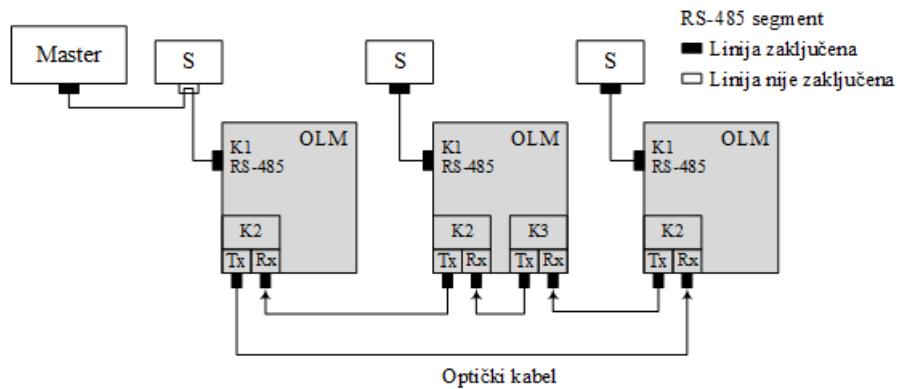
Slika 11.13. Linearna mrežna topologija

Kod zvjezdaste topologije aktivna zvijezda kreira se od OLM modula povezanih preko zajedničkog RS-485 segmenta, sl. 11.14. Udaljeni PROFIBUS segmenti se preko RS-485 kanala spajaju na OLM module povezane na zvjeđište preko optičkih kanala. U topologiji zvijezde mogu se istovremeno koristiti OLM moduli za staklena i plastična optička vlakna ali treba voditi računa o tome da moduli podržavaju isti tip vlakana na koji su spojeni.



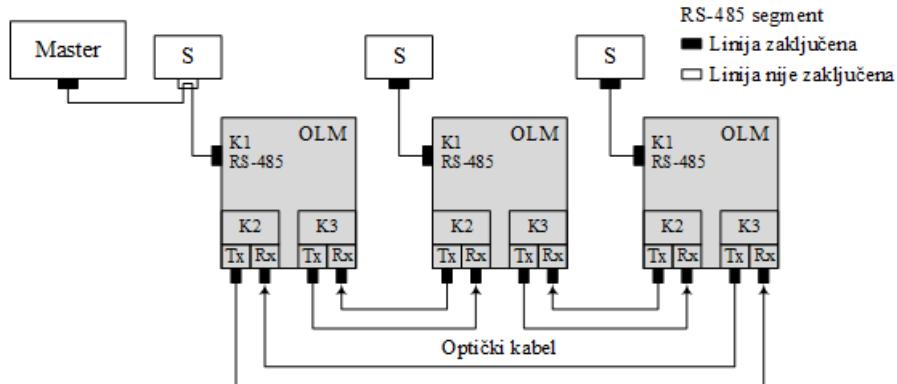
Slika 11.14. Zvjezdasta mrežna topologija

Topologija prstena ostvarena je međusobnim povezivanjem OLM modula preko jednog optičkog vlakna na način da se predajna Tx linija uvijek spaja na prijemnu Rx liniju drugog kanala istog ili drugog OLM modula, sl. 11.15. Nedostatak ove topologije je kao i kod linearne da u slučaju prekida kabela dolazi i do prekida komunikacije na mreži.



Slika 11.15. Prstenasta mrežna topologija

Veća pouzdanost komunikacije ostvarena je primjenom redundantne prstenaste topologije. Kod ove konfiguracije moraju se koristiti OLM pretvarači sa dva optička kanala i oba moraju biti konfiguirana za rad u redundantnom modu. U ovoj topologiji svaki optički kanal jednog OLM modula mora biti povezan na jedan od kanala drugog modula, 11.16. Na ovaj način je ostvarena redundacija veze jer u slučaju kvara pojedinih optičkih kanala preostali dio mreže može i dalje nastaviti raditi u linearnoj topologiji. Kod primjene ove topologije OLM pretvarači moraju po izvedbi biti identični (ista verzija i tip).

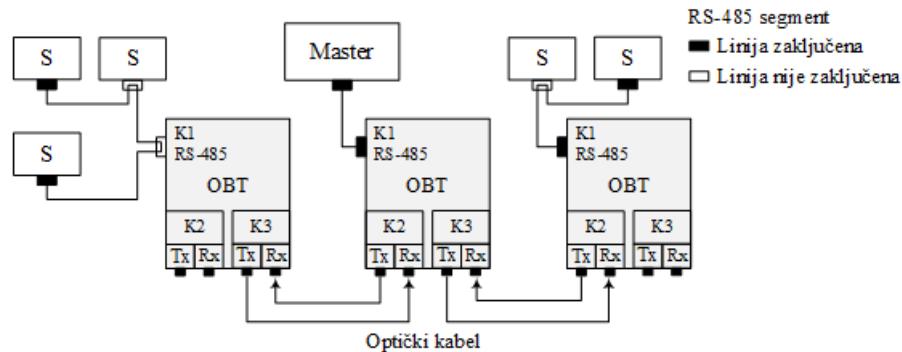


Slika 11.16. Prstenasta mrežna topologija sa redundancijom

11.2.2.2. OBT – optički terminali

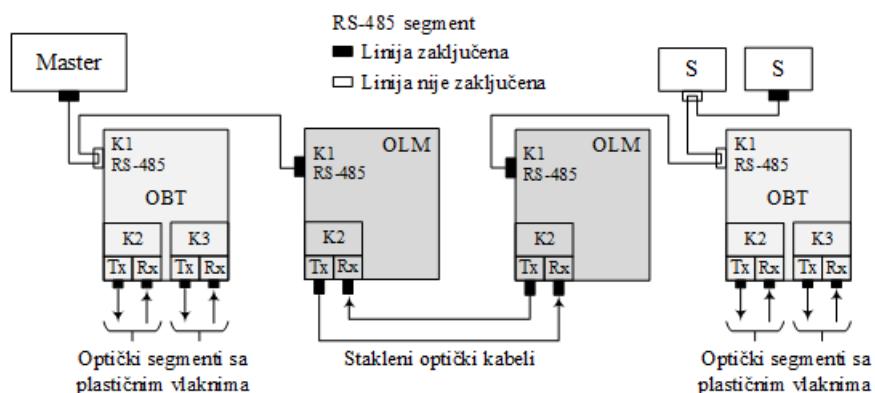
OBT terminali (*engl. Optical Bus Terminal*) podržavaju komunikaciju sa plastičnim svjetlovodnim kabelima do udaljenosti od 50 m i PCF/HCF kabelima do udaljenosti od 300 m na svakom optičkom segmentu između dva terminala. Optički terminali rade kao obnavljajući odnosno vrše pojačanje signala između električnog i optičkog segmenta. Svaki terminal ima jedan električni RS-485 kanal za povezivanje PROFIBUS segmenta i dva optička kanala, svaki sa Tx i Rx priključkom. Ukupno je moguće povezati do 126 terminala u niz, a ograničenje broja terminala određeno je samo ukupnim vremenom pristupa svih priključenih uređaja.

Provjera ispravnosti primljenog signala ostvarena je standardnom provjerom okvira, a ne korištenjem signala jeke kao kod OLM modula. Prijenos se u slučaju greške prekida do ponovne sinkronizacije odnosno primljenog minimalnog broja ispravnih okvira. Brzina prijenosa signala nije ovisna o udaljenosti i tipu kabela i može iznositi od 9.6 kbit/s do 12 Mbit/s. OBT terminali ne podržavaju prstenastu topologiju mreže bez obzira da li se radi o redundantnom prstenu ili prstenu sa jednim vlaknom. Na sl. 11.17. prikazana je linearna topologija mreže sa OBT terminalima.



Slika 11.17. Linearna mrežna topologija sa OBT terminalima

Za povezivanje uređaja na veće udaljenosti od 300 m preko optičkih kabela potrebno je koristiti kombiniranu konfiguraciju sa OLM modulima koji podržavaju staklene svjetlovodne kabele a time i veće udaljenosti, sl. 11.18. OBT terminali se na OLM module spajaju preko PROFIBUS RS-485 sučelja. PROFIBUS segment mora biti zaključen na oba kraja.



Slika 11.18. Mrežna topologija sa OBT terminalima i OLM modulima

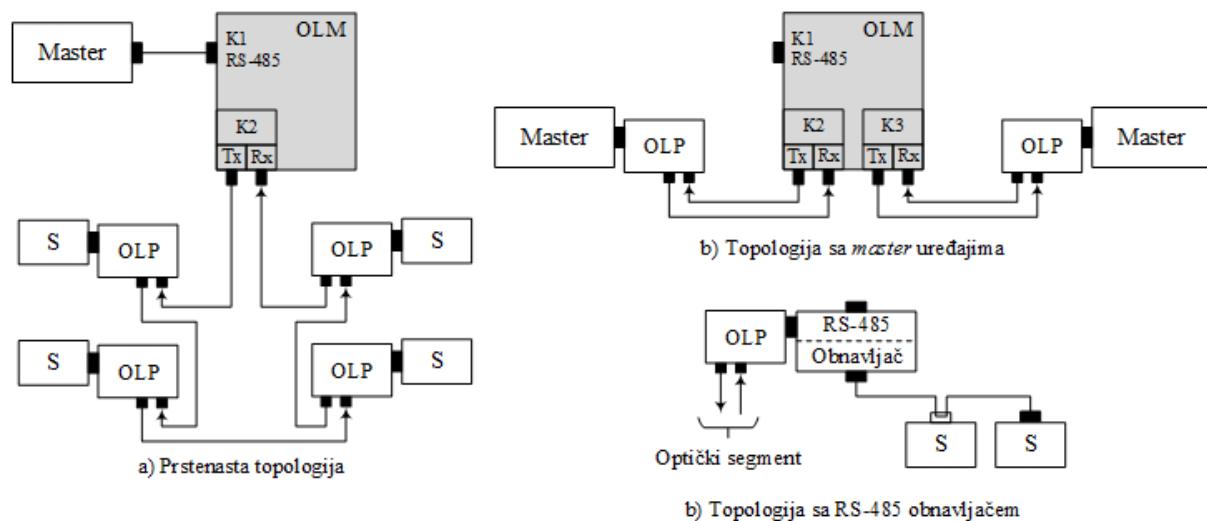
11.2.2.3. OLP – optički konektori

OLP konektori (*engl. Optical Link Plug*) omogućuju direktno povezivanje *slave* uređaja na optičku liniju preko PROFIBUS RS-485 sučelja. Konektor nema vlastito napajanje već je ono ostvareno sa *slave* uređaja preko RS-485 sučelja sa naponskim izvoda 5 i 6. Radni napon OLP konektora iznosi 5V uz strujno opterećenje do 80 mA.

OLP konektori podržavaju rad samo sa plastičnim svjetlovodnim vlaknima uz brzine prijenosa signala od 93.75 kbit/s do 1.5 Mbit/s. Brzina prijenosa može se podešiti na konektoru sa kratkospojnicama. Primjenom OLP konektora moguće je kreirati prstenastu topologiju mreže. Prsten se uvijek kreira povezivanjem svjetlovodnog kabela sa izlaza jednog na ulaz drugog konektora. Kod konfiguriranja mreže treba voditi računa o ograničenjima koja vrijede kod primjene OLP konektora, a to su:

- Udaljenost između dva OLP konektora može iznositi najviše 25 m, a najmanje 1 m.
- Udaljenost između OLP konektora i OLM modula ne smije biti veća od 46 m.
- Ovisno o brzini prijenosa signala u prstenastoj topologiji ukupno može biti spojeno od 10 do 13 OLP konektora.
- *Master* uređaj može biti spojen preko OLP-a samo ako je svjetlovodnim kabelom povezan direktno na OLM modul.
- Optički segment može biti spojen preko OLP-a na RS-485 obnavljач pod uvjetom da na segmentu 1 nema osim njega ni jedan drugi spojeni uređaj dok na segmentu 2 mogu biti spojeni samo *slave* uređaji.

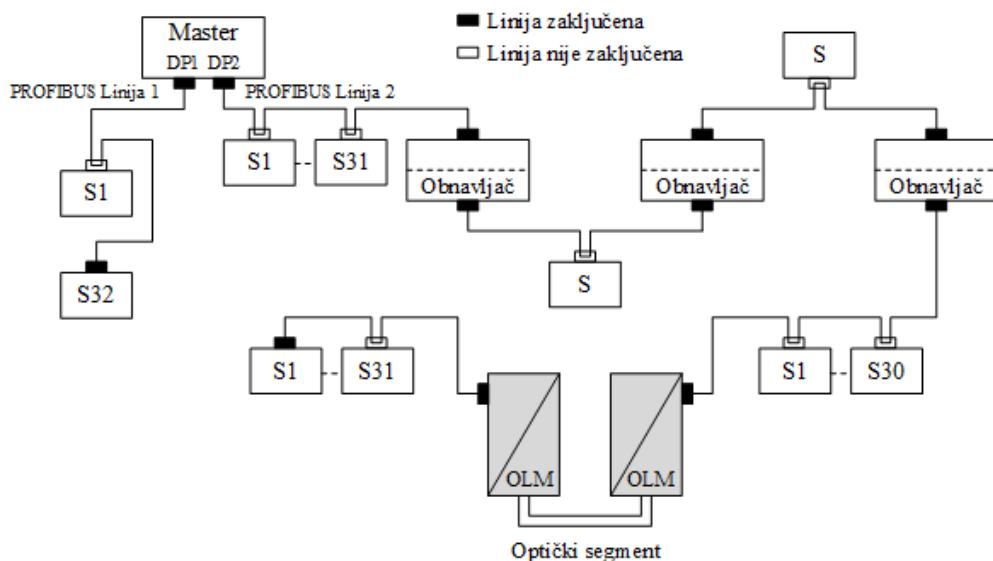
Moguće konfiguracije mreže sa OLP konektorima prikazane su na slici 11.19.



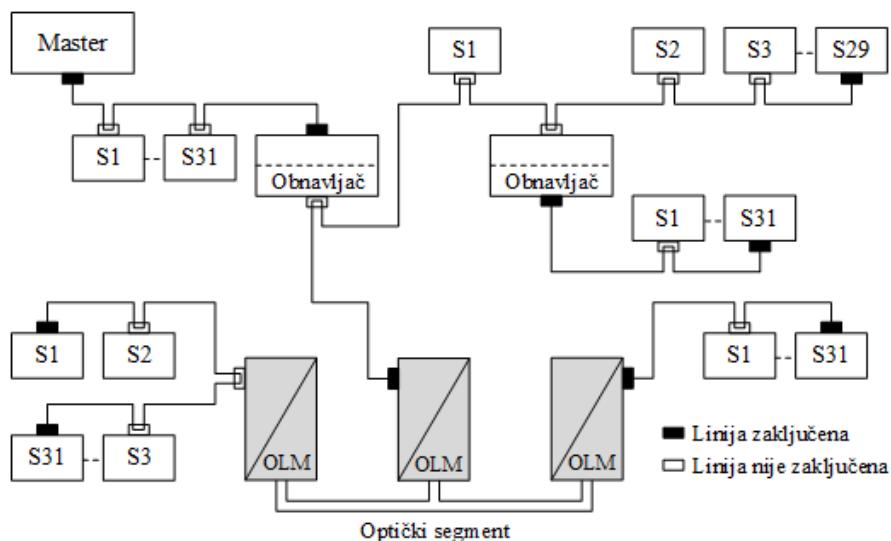
Slika 11.19. Mrežne topologije sa OLP konektorom

11.2.2.4. Složene mrežne topologije

Primjenom obnavljača i optičkih pretvarača mogu se konfigurirati praktično sve vrste mrežnih topologija i postići željene udaljenosti neovisno o odabranoj brzini prijenosa signala. Kod konfiguriranja mrežnih segmenata uvijek treba voditi računa o najvećoj duljini svakog segmenta koja ovisi o odabranom prijenosnom mediju i brzini prijenosa signala. Brzina prijenosa mora biti jednaka za sve segmente na istoj liniji u PROFIBUS mreži. Naime *Master* uređaji mogu biti izvedeni i sa dva PROFIBUS-DP RS-485 sučelja pa je tada na svakom sučelju moguće kreirati zasebnu liniju sa segmentima, sl. 11.20. U tom slučaju može se definirati različita brzina prijenosa za svaku liniju. Na slikama 11.20. i 11.21. prikazana su dva primjera složenih mrežnih topologija.



Slika 11.20. Linearna mrežna topologija sa dvije linije proširena na veći broj segmenata



Slika 11.21. Konfiguracija mreže sa više topologija

11.2.3. MBP prijenos

PROFIBUS-PA protokol koristi se u procesnoj automatizaciji gdje je potrebno ostvariti komunikaciju između uređaja koji rade u potencijalno eksplozivnim područjima (*engl. IS – Intrinsic Safety*). Najčešća primjena ovog protokola je u kemijskim i petrokemijskim postrojenjima. Prijenos signala u PROFIBUS-PA protokolu ostvaren je MBP (*engl. Manchester coded Bus Powered*) tehnologijom u skladu sa IEC 61158-2 standardom. Uvjeti rada uređaja i ograničenja u prijenosu signala u IS području posebno su definirani FISCO modelom (*engl. Fieldbus Intrinsically Safe Concept*). Prema specifikacijama IEC 61158-2 standarda i FISCO modela MBP prijenos signala zadovoljava slijedeće karakteristike:

- Brzina prijenosa signala iznosi 31.25 Kbit/s.
- Za prijenos signala i napajanje uređaja koristi se ista linija. Promjena polariteta ne utječe na rad uređaja i prijenos signala budući uređaji uglavnom imaju ugrađen sklop za detekciju polariteta.
- Svaki segment može sadržavati samo jedan izvor napajanja.
- Svi *slave* uređaji na sabirnici su pasivni uređaji sa stalnom strujom potrošnje od najmanje 10 mA koja ujedno osigurava i napajanje samog uređaja.
- Minimalni napon napajanja je 9 V, a maksimalni 32 V (za EEx ia IIC od 14 do 20 V).
- Uređaji kod slanja podataka ne generiraju novi signal već se komunikacijski signal generira modulacijom postojeće struje napajanja od ± 9 mA u Manchester II kodu.
- Linija mora biti zaključena na oba kraja.
- Mreža može podržavati linearnu, stablastu i zvjezdastu topologiju.
- Svaki segment podržava do 32 uređaja uz maksimalnu duljinu segmenta od 1900 m (za EEx ia IIC do 1000 m).
- Duljine ogranka na koje se spajaju uređaji ne smiju biti veće od 30 m u IS uvjetima. U normalnim uvjetima rada duljine ogranka mogu biti i do 120 m.
- Za segmentiranje mreže mogu se koristiti najviše 4 obnavljača.

Svi uređaji za rad u eksplozivnom području moraju zadovoljavati specifikacije standarda IEC 60079-11 za rad u zonama 0,1 i 2, klase I koji se odnosi na područja sa zapaljivim plinovima i isparenjima. Uređaji nose oznaku EEx ia(ib), IIB ili IIC (*ia* i *ib* označavaju tip zaštite, *IIB* i *IIC* označavaju grupu plinova) i rade na sniženom naponu napajanja te ograničenoj strujnoj potrošnji kako ne bi došlo do zagrijavanja ili iskrenja uređaja te na taj način i do zapaljenja plina. EEx ia uređaji se koriste u zoni 0, a EEx ib u zonama 1 i 2.

Zbog ograničenog napona napajanja i struje potrošnje u uvjetima intrinsične sigurnosti ograničen je i broj uređaja na PA segmentu, kao što je prikazano u tablici 11.12. Nešto manja ograničenja također vrijede i za PA segment u normalnim uvjetima rada. Podaci u tablici uzimaju u obzir maksimalnu strujnu potrošnju od 10 mA po uređaju. Ako je ona veća broj uređaja će biti manji u skladu s njihovom potrošnjom. Kod izračuna ukupne strujne potrošnje treba uzeti u obzir dodatni porast struje od 9 mA koji nastaje zbog modulacije signala i 9 mA zbog struje greške FDE (*engl. Fault Disconnection Electronic*) sklopova. FDE sklopovi mogu

biti ugrađeni u *slave* uređaj ili ispred samog uređaja, a uloga im je da ograniče porast struje potrošnje do koje može doći zbog kvara na uređaju (npr. kratkog spoja) što bi moglo uzrokovati prekid komunikacije na liniji.

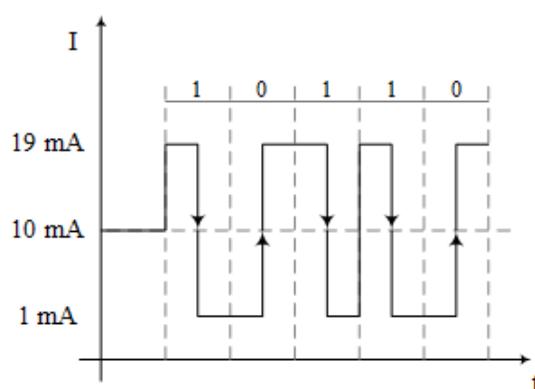
TIP	PODRUČJE PRIMIENE	NAPON NAPAJANJA (V)	MAX. STRUJA NAPAJANJA (mA)	MAX. SNAGA IZVORA (W)	BROJ UREĐAJA PO SEGMENTU*
I	EEx ia/ib IIC	13.5	110	1.8	9
II	EEx ib IIC	13.5	110	1.8	9
III	EEx ib IIB	13.5	250	4.2	22
IV	Normalni uvjeti rada	24	500	12	32

*Podaci su uzeti u obzir za struju potrošnje od 10 mA po uređaju. U slučaju veće strujne potrošnje uređaja broj uređaja koji se mogu spojiti po segmentu će biti smanjen u skladu s potrošnjom.

Tablica 11.12. Standardni izvori napajanja za PROFIBUS-PA segmente i MBP prijenos

11.2.3.1. Kodiranje MBP signala

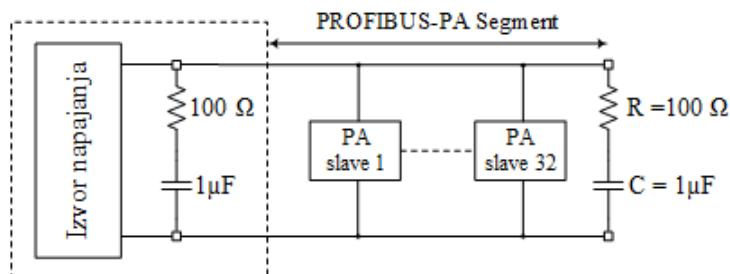
Kodiranje MBP signala ostvareno je u Manchester II kodu na način da su logička stanja '0' i '1' predstavljena promjenom struje potrošnje uređaja za ± 9 mA u odnosu na stalnu struju potrošnje od 10 mA, sl. 11.22. Logička '0' definirana je porastom signala, a logička '1' padom signala u sredini bita. Na ovaj način u MBP signal je ugrađen takt signala na osnovu kojeg se može sinkronizirati rad prijemnika sa dolaznim signalom bez potrebe slanja dodatnih bita za sinkroniziranje. Srednja vrijednost struje kod MBP prijenosa je uvijek konstantna tako da se istovremeno koristi i za napajanje uređaja.



Slika 11.22. MBP prijenos signala sa Manchester II kodom

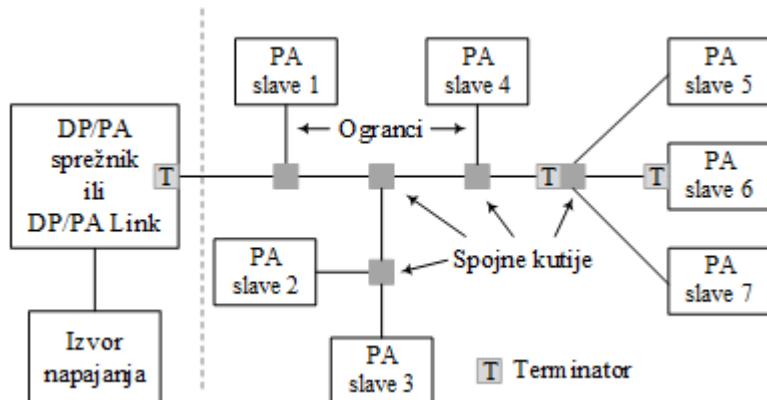
11.2.3.2. Zaključenje linije

Svaki PROFIBUS-PA segment je zaključen na krajevima pasivnim terminatorima koji se sastoje od serijskog spoja otpornika od $100 \Omega \pm 20\%$ i kondenzatora od $1 \mu F \pm 20\%$ kako bi se smanjio utjecaj refleksije na prijenos signala, sl. 12.23.



Slika 11.23. Zaključenje PROFIBUS-PA linije

Zaključni RC članovi se stavljuju samo na glavnu sabirnicu i to na posljednjem uređaju ili spojnoj kutiji, sl. 11.24. Kod DP/PA sprežnika ili poveznih uređaja terminator je većinom ugrađen u sam uređaj. Zaključenje se ne smije stavljati na krajeve ogranaka.



Slika 11.24. Moguće konfiguracije zaključenja PROFIBUS-PA linije

11.2.3.3. Ogranci

Za razliku od RS-485 topologije, kod MBP prijenosa se može koristiti linearna topologija, stablasta topologija i spajanje preko ogranaka. Ogranci su dosta česti budući se uređaji u PROFIBUS-PA obično spajaju na spojne kutije. Duljine ogranaka zavisi o njihovom ukupnom broju, a njihove preporučene duljine su prikazane u tablici 11.13.

BROJ OGRANAKA	UKUPNA DULJINA OGRANKA (m)	UKUPNA DULJINA OGRANKA ZA EE _{Xi} (m)
1-12	120	30
13 - 14	90	30
15 - 18	60	30
19 - 24	30	30
25 - 32	1	1

Tablica 11.13. Preporučene duljine ogranaka u PROFIBUS-PA

11.2.3.4. Prijenosni medij

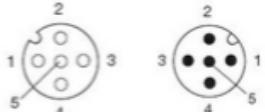
Kao prijenosni medij koristi se kabel sa upletenim paricama sa ili bez oklopa. Standard IEC 61158-2 specificira 4 tipa kabela za upotrebu u PROFIBUS-PA na MBP segmentima, kao što je prikazano u tablici 11.14. Kabel tipa A se zbog svojih karakteristika te mogućnosti prijenosa signala na duljinama do 1900 m preporuča za korištenje u novim instalacijama. U ukupne duljine kabela uključene su i duljine svih ogranaka.

	KABEL TIP A	KABEL TIP B	KABEL TIP C	KABEL TIP D
Vrsta kabela	Upletena parica, oklopljen	Jedna ili više upletenih parica, svaka parica i kabel oklopljeni	Upletene parice oklopljene, kabel bez oklopa	Upletene parice i kabel bez oklopa
Presjek vodiča (mm ²)	0.8 (18 AWG)	0.32 (22 AWG)	0.13 (26 AWG)	1.25 (16 AWG)
Otpor (Ω/km)	44	112	264	40
Slabljenje signala na 39 kHz (dB/km)	3	5	8	8
Maksimalna duljina uključujući ogranke (m)	1900	1200	400	200

Tablica 11.14. PROFIBUS-PA specifikacija kabela

11.2.3.5. MBP konektori

Za spajanje uređaja u polju u MBP tehnologiji preporuča se upotreba 5-polnih M12 konektora koji se označavaju kao A tip, M12-5 A, kako bi se razlikovali od onih koji se koriste u RS-485 instalaciji. Raspored priključaka je prikazan u tablici 11.15. Kao što se vidi iz tablice nema dodatnih priključaka za napajanje budući je linija zaključena pasivnim terminatorima.

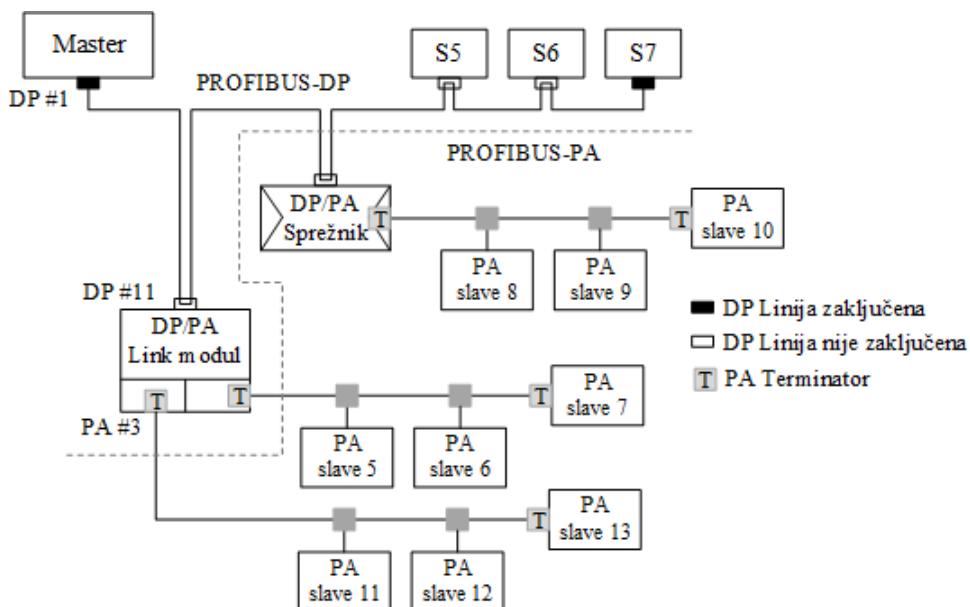
KONEKTOR M12-5 A UTIĆNICA-UTIKAČ	PIN BR.	SIGNAL	OPIS - NAMJENA
	1	PA+	Prijem/Slanje podataka – B vodič
	2	-	Ne koristi se
	3	PA-	Prijem/Slanje podataka – A vodič
	4	-	Ne koristi se
	5	Oklop	Zaštitno uzemljenje, masa

Tablica 11.15. Raspored priključaka M12-5 A konektora

11.2.3.6. Topologija PROFIBUS-PA mreže

Budući PROFIBUS-PA protokol koristi istu strukturu poruke kao i PROFIBUS-DP protokol komunikacija sa uređajima na PA segmentu je ostvarena preko istog *master* uređaja (PLC kontrolera). PA segmenti su povezani na PROFIBUS-DP mrežu pomoću DP/PA sprežnika i DP/PA link modula. Sprežnici i link moduli pored transformacije RS-485 signala u MBP signal napajaju uređaje na PA segmentu te ograničavaju njihovu potrošnju. Na PA segmentu je moguće spojiti najviše 32 uređaja na udaljenosti do 1900 m, a segmenti su uvijek zaključeni na krajevima. U eksplozivnim područjima broj uređaja i duljine segmenata su znatno manje zbog nižeg napona napajanja i ograničene potrošnje uređaja, pogledajte tablicu 11.12. Primjer topologije PROFIBUS-PA mreže je prikazan na sl.11.25.

U PROFIBUS-PA mreži uređaji se mogu spajati i odspajati sa mreže bez utjecaja na rad ostalih uređaja. Pri tom treba voditi računa da ne dođe do kratkog spoja linije jer će u tom slučaju svi uređaji na segmentu ostati bez napajanja.



Slika 11.25. Topologija PROFIBUS-PA mreže

DP/PA sprežnici koriste se kao obnavljači. Izvedbe DP/PA sprežnika se razlikuju po brzini prijenosa koju podržavaju u odnosu na PROFIBUS-DP mrežu, a ona može biti fiksna (45.45 ili 93.75 kbit/s) ili promjenjiva sa brzinama do 12 Mbit/s. Brzina prijenosa signala na PA segmentima iznosi 31.25 kbit/s. DP/PA sprežnici nemaju svoju adresu tako da je svakom PA *slave* uređaju pridružena jedinstvena PROFIBUS-DP adresa. U mreži je također moguće koristiti više DP/PA sprežnika.

DP/PA link moduli su obično opremljeni sa više DP/PA sprežnika tako da omogućuju povezivanje više PA segmenata na PROFIBUS-DP mrežu, sl. 11.25. DP/PA link modul na PROFIBUS-DP mreži radi kao *slave* uređaj, a na PA segmentu kao *master* uređaj. Za rad na RS-485 segmentu stoga mu je pridružena *slave* adresa, dok na PA segmentu koristi adresu *master* uređaja. PA segmenti kreirani pomoću link modula su neovisni. Adrese uređaja PA segmenata su jedinstvene samo za taj segment tako da se iste adrese mogu koristiti na drugim segmentima. Brzina prijenosa signala na PA segmentima iznosi 31.25 kbit/s, dok je brzina prijenosa u odnosu na RS-485 segment definirana u postavkama PROFIBUS-DP mreže.

11.3. Podatkovni sloj

U skladu sa OSI referentnim modelom podatkovni sloj definira funkcije upravljanja pristupom liniji, prijenosa poruka te mehanizme detekcije i korekcije greške kod prijenosa. Kod PROFIBUS-a ovaj sloj se naziva FDL slojem (*engl. Fieldbus Data Link Layer*) i jednak je za sve profile PROFIBUS-a.

11.3.1. Kodiranje i prijenos signala

Poruke se u PROFIBUS protokolu prenose kao UART znakovi pri čemu je svaki znak predstavljen okvirom od 11 bita kodiranih u NRZ (*engl. Non Return to Zero*) kodu. Početak i kraj okvira označeni su sa početnim i završnim bitom. Početni bit je uvijek definiran logičkim stanjem '0', a završni bit sa logičkim stanjem '1'. Iza početnog bita slijedi 8 bita podataka i parni paritetni bit za detekciju greške. Greška će u ovom slučaju nastupiti samo ako dođe do greške u prijenosu neparnog broja bita logičke '1'. Stanje neaktivnosti na liniji je predstavljeno logičkim stanjem '1'.

Znakovi se na liniju šalju jedan iza drugog bez pauze između njih i to od najmanje značajnog ka najznačajnijem bitu. Kod slanja poruke za polja koja se sastoje od više bajtova uvijek se šalju bajtovi od najvišeg ka najnižem.

11.3.2. Struktura telegrama

Telegram u PROFIBUS-u može sadržavati do 255 bajta od kojih se 11 bajta može odnositi na zaglavlje i informacijske bite, a 244 bajta na podatke. Općenito možemo razlikovati više formata telegrama i to:

- Telegrame bez podataka
- Telegrame sa promjenjivom duljinom podataka (1-246 bajta)
- Telegrame sa fiksnom duljinom podataka od 8 bajta
- *Token* telegrame
- Telegrame potvrde

Struktura i formati telegrama prikazani su na sl. 11.26. i 11.27.

SD	LE	LE _r	SD	DA	SA	FC	DSAP	SSAP	Podaci	FCS	ED
1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 bajt	1 – 244 bajta	1 bajt	1 bajt

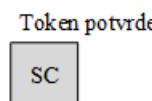
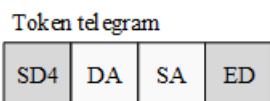
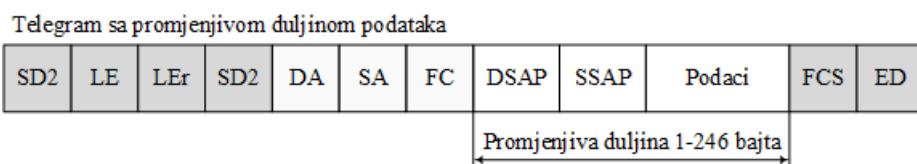
Slika 11.26. Struktura PROFIBUS telegrama

- **SD** (*engl. Start Delimiter*) – označava početak i format telegrama. PROFIBUS koristi za definiranje formata telegrama vrijednost SD1 (0x10) i SD4 (0xDC) za telegrame bez podataka, SD2 (0x68) za telegrame promjenjive duljine podataka, a SD3 (0xA2) za telegrame fiksne duljine podataka. Za telegram potvrde SC (0xE5) se ne koristi početni bajt SD.
- **LE** (*engl. Net Data Unit*) – definira duljinu informacijskih i podatkovnih bita. Ukupna duljina može iznositi od 4 do 246 bajta koji uključuju pored bajtova podataka i bajtove DA, SA, FC, DSAP i SSAP. Nije dozvoljeno koristiti manje od 4 bajta, jer telegram mora sadržavati barem jedan DA, SA, FC i 1 bajt podataka. Duljina podataka u telegramu je obično ograničena na 32 bajta ali standard dozvoljava do 244 bajta.
- **LE_r** (*engl. Length repeated*) – ista vrijednost kao u LE polju je ponovljena ovdje radi redundancije i veće pouzdanosti prijenosa.
- **DA** (*engl. Destination Address*) – odredišna adresa poruke.
- **SA** (*engl. Source Address*) – izvorišna adresa poruke.
- **FC** (*engl. Function Code*) – funkcijski kod definira prioritet i tip poruke (da li se radi o upitu, odgovoru ili potvrdi odgovora), tip uređaja (*master* ili *slave*) i da li je primljen telegram potvrde.

- **DSAP** (*engl. Destination Service Access Point*) – definira COM priključak odredišnog uređaja kojim je određena vrsta usluge koja će se izvršiti.
- **SSAP** (*engl. Source Service Access Point*) - definira COM priključak uređaja koji šalje.

Polja DSAP i SSAP se koriste samo u telegramima koji koriste polja podataka, a definiraju koji će se podaci prenositi i koje funkcije izvršavati. Kada se koriste ova polja tada je to naznačeno u telegramu postavljanjem najznačajnijeg bita odredišne i izvořišne adrese u '1'. PROFIBUS-DP koristi SAP-ove od 54 do 62 te inicijalni SAP=0 koji se koristi za cikličku razmjenu podataka.

- **Podaci** (*engl. Data Unit*) – Podaci mogu biti duljine 1 do 244 bajta.
- **FCS** (*engl. Frame Checking Sequence*) – polje se koristi za provjeru ispravnosti primljenog telegrama. Primjenjuje se na sve bajtove od polja odredišne adrese do zadnjeg bajta podataka na način da se zbroj svih bajtova podijeli sa 255 (operacija po modulu 256).
- **ED** (*engl. End Delimiter*) - označava završetak telegrama.

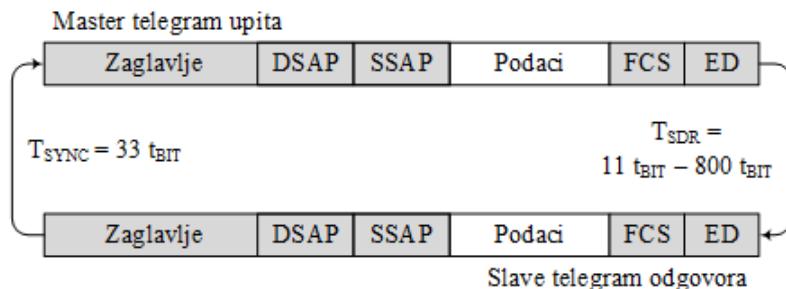


Slika 11.27. Formati PROFIBUS telegrama

Token telegram koristi se na mreži sa više *master* uređaja za međusobno prosljeđivanje prava pristupa sabirnici. SC (*engl. Short Confirmation*) telegram od 1 bajta koristi se za potvrdu prijema poruke ili signalizaciju da podaci još nisu dostupni ili spremni ako telegram odgovora mora sadržavati podatke.

11.3.3. Prijenos poruka

Razmjena poruka između *master* i *slave* uređaja ostvarena je prema vremenskoj sekvenci prikazanoj na sl. 11.28. Prije slanja telegrama upita *master* uvijek mora pričekati da prođe vrijeme pauze odnosno neaktivnosti linije od 33 vremenska trajanja bita ($T_{SYN} = 33 \text{ t}_{\text{BIT}}$) od trenutka prijema odgovora. *Slave* uređaj odgovor na upit mora poslati u vremenu T_{SDR} (engl. *SDR – Station Delay of Responder*) koji ne smije biti manji od 11 t_{BIT} i veći od 60-800 t_{BIT} .



Slika 11.28. Vremenska sekvenca prijenosa PROFIBUS poruka

11.3.3. SAP usluge

Razmjenom poruka upravlja se kroz informacijske bajtove unutar zaglavlja primjenom SAP usluga. Svim uslugama sloja 2 sloj 7 pristupa preko SAP-a (engl. *Service Access Point*). Usluge od strane sloja 2 prikazane su u tablici 11.16.

USLUGA	FUNKCIJA	FMS	DP	PA
SDA (<i>Send Data with Acknowledge</i>)	Slanje podataka sa potvrdom	X		
SDN (<i>Send Data with No Acknowledge</i>)	Slanje podataka bez potvrde	X	X	X
SRD (<i>Send and Request Data</i>)	Slanje i prijem podataka	X	X	X
CSRД (<i>Cyclic Send and Request Data</i>)	Cikličko slanje i prijem podataka	X		
MSRD (<i>Send and Request Data with Multicast Reply</i>)	Slanje i prijem podataka za više uređaja		X	X
CS (<i>Clock Synchronization</i>)	Sinkronizacija takta		X	X

Tablica 11.16. PROFIBUS usluge prijenosa

Kod PROFIBUS FMS-a SAP usluge se koriste za adresiranje logičkih komunikacijskih veza, a kod PROFIBUS DP i PROFIBUS PA upotrebljena SAP usluga pridijeljena je definiranoj funkciji. Sve aktivne i pasivne stanice dozvoljavaju istovremenu upotrebu nekoliko SAP-ova. Razlikujemo SSAP (engl. *Source Service Access Point*) i DSAP (engl. *Destination Service Access Point*).

U PROFIBUS DP protokolu koriste se dvije usluge podatkovnog sloja, SRD i SDN. Kod SRD usluge podaci se šalju i primaju u jednom ciklusu poruke. To znači da se telegram upita *mastera* i odgovor *slave* uređaja mora ostvariti unutar točno određenog vremena. Ova usluga se i najviše koristi u razmjeni podataka. SDN usluga se koristi kod slanja poruka grupi uređaja (*engl. multicast*) ili svim *slave* uređajima (*engl. broadcast*). *Slave* uređaji u tom slučaju ne odgovaraju na upite. MSRD i CS usluge se koriste opcionalno samo u DP-V2 verziji protokola u razmjeni podataka zasnovanoj na komunikaciji pretplatnik-izdavač te za sinkronizaciju takta slave uređaja.

U osnovi PROFIBUS sloj 2 radi na principu „*pošalji i zaboravi*“ tako da se telegram šalje bez prethodne provjere da li je primatelj u mogućnosti da ga primi ili ga želi primiti.

11.3.4. Detekcija greške

U PROFIBUS protokolu moguće je detektirati slijedeće tipove grešaka:

- Greška formata znaka - paritet, greška okvira (kada završni bit nije detektiran), greška prelijevanja - (*engl. overrun*, kada prijemnik prepiše primljeni znak sa slijedećim znakom prije nego je „stari“ znak spremlijen)
- Greška protokola
- Greška početnog i završnog bita
- Greška bajta provjere okvira (FCS bajt)
- Greška dužine telegrama

Ovim je omogućena istovremena detekcija do 3 pogrešna bita u telegramu (Hamming Distance HD=4). Telegrami sa greškom se automatski ponavljaju bar jednom, a ponavljanje teleograma u sloju 2 može biti postavljeno do maksimalno 8 puta (bus parametar „*retry*“).

11.3.5. Upravljanje pristupom sabirnici

Upravljanje pristupom sabirnici (*engl. MAC – Media Access Control*) određuje kada uređaj može slati telegrame na sabirnicu. Budući su svi uređaji spojeni na isti prijenosni medij MAC pristupom osigurano je da u svakom trenutku samo jedan uređaj šalje podatke. PROFIBUS podržava dvije metode pristupa: *polling* i *token passing*.

Kod polling metode (ili *master-slave*) *master* uređaj komunicira sa pridruženim *slave* uređajima pojedinačno u skladu sa adresnom (*engl. polling*) listom. Korisnički podaci se razmjenjuju ciklički neovisno o sadržaju podataka. *Token passing* se koristi za komunikaciju između *master* uređaja na sabirnici, a sastoji se u proslijđivanju *tokena* između *master* uređaja u rastućem nizu njihovih adresa. Na taj način se formira logički prsten iako je fizička topologija spajanja sabirnica. Primjenom ovih metoda moguće je ostvariti slijedeće konfiguracije mreže:

- Konfiguracija sa više *master* uređaja (*engl. multi-master*)
- Konfiguracija sa jednim *master* uređajem (*engl. mono-master*)

Metoda pristupa sabirnici kod PROFIBUS protokola nije zavisna o tipu prijenosnog medija.

11.3.5.1. Tipovi uređaja

PROFIBUS uređaji podijeljeni su u tri klase u zavisnosti od njihovih funkcija:

- **DPM1 - PROFIBUS DP master klase 1**

Master uređaj klase 1 predstavlja aktivan uređaj na mreži koji upravlja komunikacijom sa *slave* uređajima u kojoj se vrši razmjena I/O podataka. DPM1 uređaji također definiraju brzinu prijenosa podataka koju *slave* uređaji automatski detektiraju, upravljaju razmjenom *tokena* između *master* uređaja i vrše detekciju prisustva drugog *mastera*. Tipični DPM1 uređaji su programabilni logički kontroleri (PLC) i osobna računala (PC).

- **DPM2 - PROFIBUS DP master klase 2**

Master uređaji klase 2 su posebni uređaji koji se koriste za konfiguriranje i dijagnosticiranje *slave* uređaja i mreže, te puštanja u rad i održavanja sustava. DPM2 uređaji mogu u određenom trenutku upravljati samo jednim *slave* uređajem ali bez mogućnosti upisivanja podataka u njega. Ovi uređaji mogu čitati I/O i konfiguracijske podatke sa *slave* uređaja u isto vrijeme kada se odvija njihova komunikacija sa DPM1 uređajem, te imaju mogućnost dodjeljivanja nove adresu *slave* uređaju pod uvjetom da uređaj podržava ovu metodu adresiranja. DPM2 uređaji ne moraju biti stalno priključeni na sabirnicu niti moraju biti konfigurirani unutar DPM1 uređaja sa pripadajućom GSD datotekom. Master uređaji klase 2 su obično programske konzole ili PC uređaji sa odgovarajućim softverskim alatom.

- **PROFIBUS DP slave**

Slave uređaji su uređaji instalirani u polju (ventili, senzori, mjerni uređaji...) koji mogu razmjenjivati procesne informacije i/ili izvršavati određene funkcije. U komunikacijskom smislu predstavljaju pasivne uređaje koji mogu samo odgovarati na upite *master-a* ili potvrđivati prijem poruka. Konfiguracija svakog uređaja je definirana u DPM1 *master-u* pripadajućom GSD datotekom. Neovisno o konfiguraciji mreže upisivanje u *slave* uređaj može izvoditi samo *master* uređaj kojemu su oni pridruženi pri konfiguraciji sustava dok čitanje ulaza i izlaza uređaja mogu vršiti svi *master* uređaji.

Da bi se osigurao visok stupanj kompatibilnosti između uređaja istog tipa (mogućnost njihove zamjene) također je standardizirano sistemsko ponašanje PROFIBUS DP uređaja. Ono je

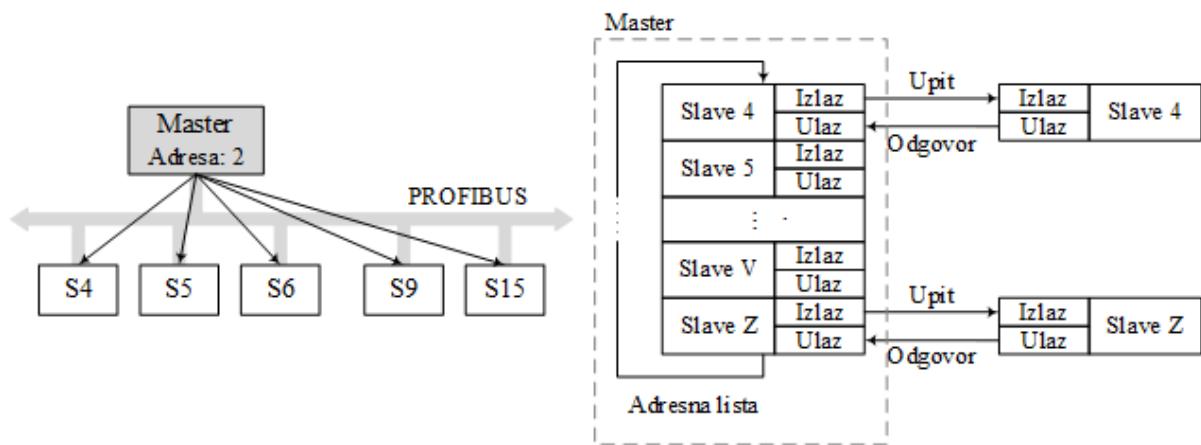
definirano radnim statusom DPM1 uređaja koji se može mijenjati lokalno ili konfiguracijskim uređajem preko sabirnice. Mogući su slijedeći statusi kod ovih uređaja:

- **Stop** - U ovom stanju nema prijenosa podataka između DPM1 i podređenih uređaja.
- **Clear** - DPM1 postavlja izlaze u sigurnosno stanje (*engl. fail-safe*, izlaz = „0“) i čita podatke sa ulaza podređenih uređaja.
- **Operate** - DPM1 vrši ciklički prijenos podataka odnosno učitavanje ulaznih i upisivanje izlaznih podataka u podređene uređaje.

DPM1 šalje ciklički svoj status svim pridruženim *slave* uređajima u vremenskim intervalima, koji se mogu konfigurirati, korištenjem *multi-cast* naredbe. Reakcija sustava na grešku za vrijeme faze prijenosa podataka DPM1, npr. neispravnost *slave* uređaja, je određena „*Auto Clear*“ konfiguracijskim parametrom. Ako je ovaj parametar postavljen u „1“ DPM1 će postaviti sve izlaze svih podređenih uređaja u sigurnosno stanje, a nakon toga će se prebaciti u stanje *Clear*. Ako je ovaj parametar postavljen u „0“ DPM1 će ostati u operativnom stanju čak i u slučaju greške, a korisnik može programski definirati reakciju sustava.

11.3.5.2. Master-slave metoda pristupa

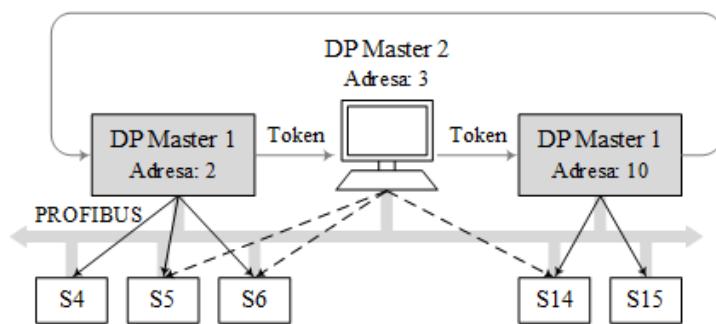
Master-slave metoda pristupa koristi se u komunikaciji *master-a* sa pridruženim podređenim uređajima. Podređeni uređaji mogu samo odgovarati na upite *master-a* ili potvrđivati prijem poruka. Korisnički podaci se razmjenjuju ciklički što znači da se u svakom ciklusu adresiraju svi podređeni uređaji na osnovu konfiguirirane adresne (*engl. polling*) liste. Na sl. 11.29. prikazana je konfiguracija u kojoj se koristi *master-slave* metoda komunikacije primjenom prozivanja uređaja prema adresnoj listi.



Slika 11.29. Master-slave konfiguracija i adresiranje uređaja

11.3.5.3. Token metoda pristupa

Token metoda pristupa se koristi kada je na sabirnicu priključeno više *master* uređaja koji u tom slučaju kreiraju logički prsten. Pravo pristupa sabirnici ostvareno je pomoću posebnog *token* telegrama koji se prosljeđuje između *master* uređaja u rastućem nizu njihovih adresa. Kada *token* dođe do *master* uređaja sa najvećom adresom on se ponovno šalje uređaju sa najnižom adresom. Preuzimanjem *token-a* *master* uređaju je omogućeno da ostvari komunikaciju sa podređenim ili drugim nadređenim uređajima. Na sl. 11.30. prikazana je konfiguracija mreže u kojoj se koristi *token* metoda komunikacije.



Slika 11.30. Master-master konfiguracija

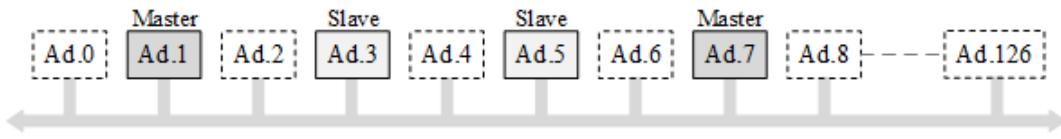
U mreži sa više *master* uređaja klase 1 nije dozvoljena njihova međusobna komunikacija već samo dodjeljivanje prava pristupa sabirnici. Komunikacija sa *master* uređajima klase 2 je moguća samo u acikličkom dijelu ciklusa koji je definiran sa T_H (engl. *token hold time*). Naime *master* klase 1 ciklički razmjenjuje podatke sa svim *slave* uređajima koji su mu pridijeljeni u skladu sa adresnom listom, a na kraju ovog ciklusa dodatno vrijeme prije početka novog ciklusa se dodjeljuje za acikličku komunikaciju. U tom vremenu (T_H) *master* klase 1 može prosljediti *token master-u* klase 2 i tako mu dati dozvolu za pristup sabirnici. *Master* klase 2 kroz ovo vrijeme može razmijeniti procesne i dijagnostičke podatke sa bilo kojim *slave* uređajem na sabirnici te nakon toga mora vratiti *token* nazad *master-u* klase 1. Budući uglavnom nema dovoljno vremena da bi se kompletirale sve razmjene podataka ovaj proces razmjene podataka sa *master-om* klase 2 se obično izvršava kroz nekoliko ciklusa.

Vrijeme potrebno da *token* prođe kroz sve nadređene uređaje naziva se vrijeme rotacije *token-a* i može se definirati kroz parametar T_{tr} (engl. *Time Target Rotation*) kao maksimalno vrijeme rotacije *token-a* dozvoljeno u PROFIBUS mreži. Stvarno vrijeme rotacije *token-a* mjeri zasebno svaki *master* uređaj i uspoređuje ga sa maksimalnim vremenom rotacije. Ako je ono manje *master* može poslati telegram. Ukoliko dođe do prekoračenja vremena rotacije *token* se smatra izgubljenim, a *master* uređaj sa najnižom adresom kreira novi *token* kojeg prosljeđuje dalje.

11.3.5.3.1. Dodavanje i uklanjanje uređaja na mreži

Za vrijeme inicijalizacije i podizanja PROFIBUS mreže provjerava se prisustvo *master* uređaja na mreži te se kreira njihova adresna lista i sprema u tzv. LAS listu (*engl. List of Active Stations*). LAS je neophodan kako bi se za vrijeme rada mogao dodati novi *master* uređaj ili se ukloniti neki od postojećih bez utjecaja na komunikaciju ostalih uređaja na sabirnici.

Svaki nadređeni uređaj je odgovoran za dodavanje i uklanjanje uređaja unutar adresnog opsega između svoje i adrese slijedećeg uređaja, sl. 11.31. Stoga *master* mora znati adresu uređaja koji mu prethodi i koji je slijedeći, kako bi mogao znati od koga će primiti i kome će poslati *token*. Ova provjera se vrši nakon svakog ciklusa poruka. Kada se novi *master* uređaj želi uključiti u komunikaciju on šalje posebnu statusnu poruku, nakon čega će primiti *token*. Adresa novog *master* uređaja se ažurira u LAS listi koju posjeduju svi *masteri*.

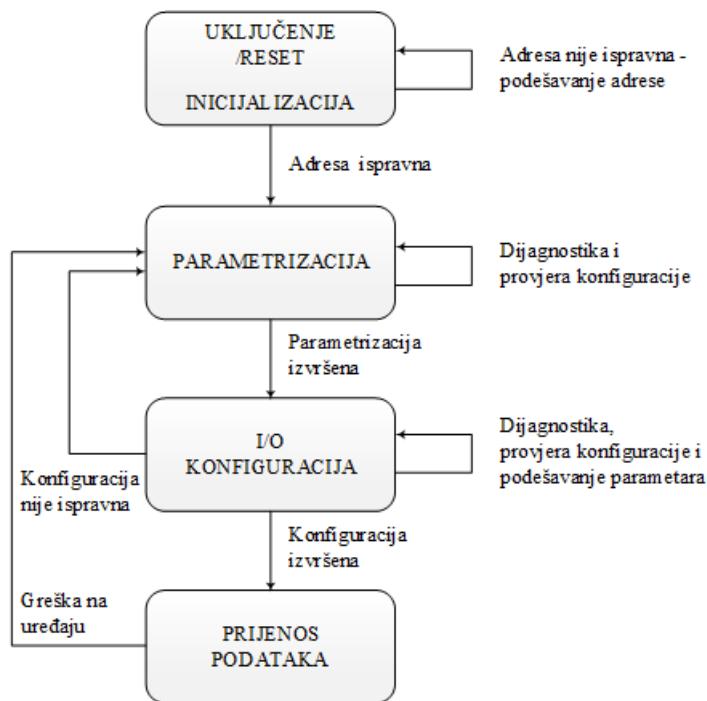


Slika 11.31. Dodavanje novih uređaja

U primjeru sa gornje slike *master* s adresom 1 je odgovoran za dodavanje i uklanjanje uređaja unutar adresa 2 do 6, a *master* sa adresom 7 za adrese od 8 do 0. U slučaju konfiguracije sa samo jednim *master* uređajem on sam sebi šalje *token*.

11.3.6. Komunikacija DPM1 sa slave uređajima

Za vrijeme konfiguriranja PROFIBUS mreže korisnik definira koji su podređeni uređaji dodijeljeni određenom *master* uređaju klase 1 (DPM1) sa kojima će on razmjenjivati cikličke poruke. Komunikacija između DPM1 i podređenih uređaja je podijeljena u četiri faze: fazu uključenja i inicijalizacije uređaja, parametrizaciju, konfiguraciju i prijenos podataka. Prije nego što *master* uključi podređeni uređaj u prijenos podataka provjerava se za vrijeme parametrizacijske i konfiguracijske faze na svakom uređaju da li je njegova konfiguracija jednaka onoj primljenoj od DPM1. Ove konfiguracije moraju biti identične tj. tip uređaja, format i dužina informacija, te broj ulaza i izlaza moraju se podudarati. Na ovaj način su onemogućene pogreške koje korisnik može napraviti za vrijeme konfiguriranja i parametriziranja mreže. Faze komunikacije sa *slave* uređajima su prikazane na sl. 11.32.



Slika 11.32. Faze komunikacije sa *slave* uređajima

11.3.6.1. Uključenje i inicijalizacija slave uređaja

Nakon uključenja napajanja u fazi inicijalizacije provjerava se adresa *slave* uređaja i automatski detektira brzina prijenosa komunikacije. Adresa se može podesiti preko mikro-prekidača na samom uređaju ili se može upisati u EEPROM memoriju preko *master-a* klase 2. Ako mu je postavljena ispravna adresa u opsegu od 0-125 *slave* će odmah preći u fazu parametrizacije.

Slave uređaji koji nemaju pridruženu adresu obično imaju tvornički upisanu adresu 126 koja je rezervirana za izmjenu preko *master* uređaja klase 2. Ovo se odnosi samo na uređaje kojima se ne može podesiti adresa preko mikro-prekidača. U ovom slučaju *slave* uređaj neće preći u fazu parametrizacije sve dok ne primi telegram *Set_Slave_Address* pomoću kojeg *master* uređaj klase 2 može promijeniti adresu *slave* uređaja. Na mrežu u istom trenutku može biti spojen samo jedan *slave* uređaj sa adresom 126, a ako ih ima više treba ih spajati na mrežu jedan po jedan radi rekonfiguiriranja njihove adrese. Za komunikaciju sa *master* uređajem klase 1 nije dozvoljeno koristiti adresu 126. Nakon promjene adrese neophodno je izvršiti isključivanje pa uključivanje napajanja *slave* uređaja (*engl. cold-start*).

11.3.6.2. Parametrizacija slave uređaja

U fazi parametrizacije *slave* uređaj mora primiti telegram parametrizacije *Set_Prm* od *master-a* koji služi *slave* uređaju za identificiranje *master* uređaja kojem je pridružen i za definiranje

njegovog načina rada. Moguće je pri tom razlikovati standardne parametre i parametre specifične za uređaj ili modul koji pripada *slave* uređaju. Parametri specifični za uređaj su navedeni u GSD datoteci. Nakon što su mu parametri podešeni *slave* prelazi u fazu konfiguracije.

11.3.6.3. Konfiguracija slave uređaja

Da bi *master* klase 1 mogao komunicirati sa *slave* uređajem mora znati koliko mu može podataka poslati na izlaze i koliko ih može primiti sa njegovih ulaza. To je definirano u konfiguraciji, a moguće konfiguracije *slave* uređaja su definirane u GSD datoteci.

Prije početka razmjene podataka sa *master-om*, ispravnost konfiguracije *slave* uređaja mora biti potvrđena od *master-a* sa *Chk_Cfg* telegramom. Ovaj telegram specificira broj bajta koji se koriste za ulaze i izlaze koji će se razmjenjivati u porukama. Konfiguracijski telegram također služi *slave* uređaju da bi usporedio konfiguraciju koja mu je posljana sa onom koja je spremljena u njemu. Ako postoji razlika u konfiguraciji *slave* će o tome izvijestiti *master-a* nakon što primi upitni telegram dijagnostike. Nakon toga više neće razmjenjivati podatke sa *master-om*. Ako je konfiguracija u redu *slave* će to potvrditi slanjem telegrama potvrde (SC). Dok čeka na potvrdu konfiguracije *slave* može primati i upitne telegrame za dijagnostiku *Slave_Diag*, provjeru trenutne konfiguracije *Get_Cfg* i podešavanje parametara *Set_Prm*.

Za vrijeme podizanja sustava *master* obično prije nego nastavi sa razmjenom podataka šalje dijagnostičke upite prije telegrama parametrizacije i ponovno nakon konfiguracije sa *slave* uređajem kako bi utvrdio da li je parametrizacija i konfiguracija obavljena ispravno. Ako je sve u redu prelazi se u fazu normalne razmjene podataka sa *slave* uređajima.

11.3.6.4. Faza prijenosa podataka

Nakon završetka parametrizacije i konfiguracije *slave* uređaji započinju sa cikličkom razmjenom I/O podataka i dijagnostičkih informacija sa *master-om* klase 1. U sklopu ove komunikacije dozvoljena je i ponovna konfiguracija *slave* uređaja ali ne i parametrizacija.

Za slanje posebnih naredbi određenom *slave* uređaju, grupi uređaja ili svim uređajima odjednom koriste se globalne upravljačke funkcije. Ove naredbe se šalju kao *broadcast* ili *multi-cast* globalne poruke na adresu 127. Od globalnih naredbi najznačajnije su *Sync*, *Unsync*, *Freeze* i *Unfreeze* koje se šalju određenoj grupi *slave* uređaja za potrebe sinkronizacije te *Clear* pomoću koje *master* obavještava *slave* uređaje o svom trenutnom statusu (Operativni ili *Clear*).

- **SYNC** – nakon slanja ove naredbe izlazni podaci uređaja se prihvataju i zadržavaju sve do nailaska slijedeće *Sync* naredbe. Sinkronizacijski način rada se prekida sa *Unsync* naredbom.

- **FREEZE** - Ova naredba koristi se za učitavanje i zadržavanje vrijednosti ulaznih podataka grupe uređaja do nailaska slijedeće *Freeze* naredbe. Ovaj način rada se prekida sa *Unfreeze* naredbom.

11.3.6.5. Zaštitni mehanizmi u prijenosu podataka

Za slučajeve krive parametrizacije ili neispravnog rada uređaja PROFIBUS protokol ima ugrađene nadzorne mehanizme u *master* i *slave* uređajima sa kojima se mogu detektirati ove greške.

Na DPM1 uređaju svaki prijenos podataka prema bilo kojem podređenom uređaju se prati pomoću posebnih tajmera (*Data_Control_Timer*). Ako ovaj tajmer istekne DPM1 će promijeniti svoj status iz Operativnog u *Clear* te sve izlaze dotičnog podređenog uređaja postaviti u sigurno stanje.

Na podređenom uređaju se koristi *Watchdog* tajmer za praćenje bilo kakve neispravnosti nadređenog uređaja ili grešaka u prijenosu. Ovaj tajmer resetira se svaki put kada *master* ostvari komunikaciju sa podređenim uređajem. U slučaju isteka ovih tajmera što ukazuje na grešku u komunikaciji podređeni uređaj signalizira to *master-u* sa dijagnostičkim telegramom i automatski prebacuje svoje izlaze u sigurno ili korisnički predefinirano stanje.

11.3.6.6. Sigurnosni način rada

Sigurnosni način rada (*engl. Fail Safe Operation*) definira način rada *master* i *slave* uređaja u slučaju prekida komunikacije, promjene statusa rada ili kvara *master* uređaja.

Kod *master* uređaja klase 1 sigurnosni način rada se odnosi na to da li će on poslati telegram sa izlaznim podacima duljine 0 ili podacima postavljenim na 0 kada je u stanju *Clear*. Koji telegram će poslati *slave* uređaju ovisi o njegovoj konfiguraciji koja je definirana u GSD datoteci ili uključena u korisničkim parametrima parametrizacijskog telegrama. Isto tako konfiguracija može biti definirana položajem mikro-prekidača na samom *slave* uređaju.

Ako *slave* uređaj ne podržava sigurnosni način rada u GSD datoteci će to biti naznačeno sa izrazom „*Fail_Safe = 0*“ i *master* će poslati telegram da se izlazi uređaja postave u 0. Ukoliko je u GSD datoteci naznačeno „*Fail_Safe = 1*“ *master* će mu poslati telegram samo sa zaglavljem odnosno duljinu podataka 0. Naime *slave* uređaji koji ne podržavaju sigurnosni način rada ne procesiraju telegrame bez podataka.

U stanje *Clear master* može preći kod podizanja sustava ako svi podređeni uređaji nisu parametrizirani i konfigurirani ili ako se ručno promijeni prekidač *Run/Stop* na njemu. Nakon prelaska u stanje *Clear master* klase 1 će o tome obavijestiti sve podređene uređaje slanjem globalnog upravljačkog telegrama kod kojeg je prvi bajt podataka jednak 2, a drugi bajt jednak 0. U stanju *Clear master* će pokušati parametrizirati i konfigurirati preostale *slave* uređaje kako bi sa njima uspostavio cikličku razmjenu podataka, a uređajima koji nisu konfigurirani i parametrizirani će istovremeno slati 0 za izlazne podatke ili izlazne podatke duljine 0.

Operativni način rada se automatski može pokrenuti tek kada je sa svim *slave* uređajima uspostavljena komunikacija i započeta razmjena podataka ili ako se *master* uređaj prisilno programski ili sa *Run/Stop* prekidačem ne dovede u operativni način rada.

Slave uređaji u sigurnosni način rada mogu preći ako je *master* prešao u *Clear* mod ili ako je došlo do isteka internog *Watchdog* tajmera komunikacije koji označava prekid komunikacije sa *master* uređajem. *Slave* uređaj će tada postaviti izlaze u predefinirano stanje koje se može definirati kroz korisnički definirane parametre parametrizacijskog telegrama, njegove GSD datoteke ili preko konfiguracijskih mikro-prekidača.

11.3.7. GSD datoteke

GSD (*engl. General Station Description*) datoteke su tekstualne datoteke koje definiraju rad PROFIBUS uređaja. Svi PROFIBUS uređaji (*master* uređaji klase 1 i *slave* uređaji) imaju vlastitu GSD datoteku. Svaka datoteka sadrži podatke specifične za uređaj kao što su informacije o proizvođaču, podržana brzina prijenosa, podržana duljina telegrama, broj ulaznih i izlaznih podataka, značenje dijagnostičkih poruka, sinkronizacijske informacije, opcije i podržane mogućnosti, formati podataka, dostupni I/O signali itd. Za modularne PROFIBUS sustave GSD datoteka može sadržavati veći broj konfiguracija (za svaki I/O modul jednu) od kojih će jedna biti prihvaćena kao ispravna kod podizanja sustava. Ime GSD datoteke se formira od identifikacijske oznake proizvođača i uređaja. Ekstenzija u nazivu datoteke označava jezik na koji se datoteka odnosi. Datoteke sa ekstenzijom *.gsd su neovisne o jeziku, za engleski jezik se koristi ekstenzija *.gse, za francuski *.gsf, za španjolski *.gss, za talijanski *.gsi i za njemački *.gsg. GSD datoteke dostupne su na internetu kod svih proizvođača.

Primjena koncepcije sa GSD datotekama omogućila je kompatibilnost u radu između uređaja različitih proizvođača. Ove datoteke se ne nalaze unutar samog uređaja već predstavljaju osnovni podatak u konfiguracijskoj datoteci odnosno parametarskom slogu *master* uređaja (*engl. System Data*). Za konfiguiranje *master* parametarskog sloga Siemens koristi programski alat *Simatic Manager*. Postupak konfiguracije se sastoji u tome da se najprije GSD datoteke svih spojenih uređaja instaliraju u konfiguracijski alat. Nakon instalacije uređaji su dostupni unutar kataloga sklopolja pomoću kojeg se može konfigurirati PROFIBUS sustav i generirati konfiguracijska datoteka. Ova datoteka sadrži parametrizacijske i konfiguracijske podatke uzete iz svih GSD datoteka uključujući adresnu listu uređaja te parametre komunikacije za sve konfigurirane uređaje. Konfiguracijska datoteka se mora nakon toga spustiti na *master* uređaj preko komunikacijskog sučelja. Ako se npr. želi dodati novi uređaj kad je sustav već u radu mora se instalirati njegova GSD datoteka ili koristiti postojeća u katalogu sklopolja, dopuniti postojeća konfiguracija i generirati nova konfiguracijska datoteka. Ažurirana nova konfiguracijska datoteka se mora ponovno spustiti na *master* uređaj te također ponovno pokrenuti (restartati) PROFIBUS sustav kako bi se sam rekonfigurirao. Za vrijeme podizanja sustava *master* koristi informacije iz konfiguracijske datoteke za uspostavu komunikacije sa svakim pridruženim *slave* uređajem prije nego započne razmjenu I/O podataka sa njima.

11.3.8. Funkcijske verzije DP protokola

PROFIBUS-DP protokol razvijen je do danas u tri funkcione verzije koje su specificirane standardima IEC-61158 i IEC-61784. Osnovna verzija DP-V0 definira osnovne funkcionalnosti protokola, cikličku razmjenu podataka te dijagnosticiranje uređaja, modula i ulazno-izlaznih kanala. Osnovne karakteristike ove verzije protokola su objašnjenje u prethodnim poglavljima.

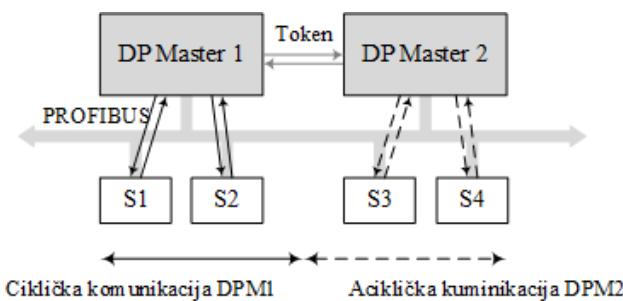
11.3.8.1. DP-V1 protokol

Osnovna značajka DPV1 protokola su proširenje funkcija za aciklički prijenos podataka koje su omogućile parametrizaciju i kalibraciju uređaja u polju za vrijeme rada. Također su uvedene i dodatne funkcije dijagnostike za pojedine uređaje koje su podijeljene u kategorije alarma i statusnih poruka. Proširenja se odnose na oba tipa uređaja, nadređene i podređene. Ta proširenja kompatibilna su sa standardnim DP-V0 protokolom tako da uređaji sa DP-V1 proširenjima mogu raditi zajedno sa standardnim DP-V0 uređajima.

Pri tom vrijede slijedeća pravila:

- DP podređeni uređaj sa DP-V1 proširenjem može raditi sa DP nadređenim uređajem bez DPV1 funkcionalnosti ali se DP-V1 funkcionalnosti podređenog uređaja ne mogu koristiti.
- DP podređeni uređaj bez DP-V1 proširenja može raditi bez ograničenja sa DPV1 nadređenim uređajem.

Prijenos acikličkih podataka izvršava se paralelno sa cikličkom prijenosom ali sa nižim prioritetom. Aciklička komunikacija ostvarena je unutar istog ciklusa ali u vremenskom odsječku nakon završetka cikličke razmjene podataka, a prije početka slijedećeg ciklusa. Slika 11.33. prikazuje primjer komunikacije.

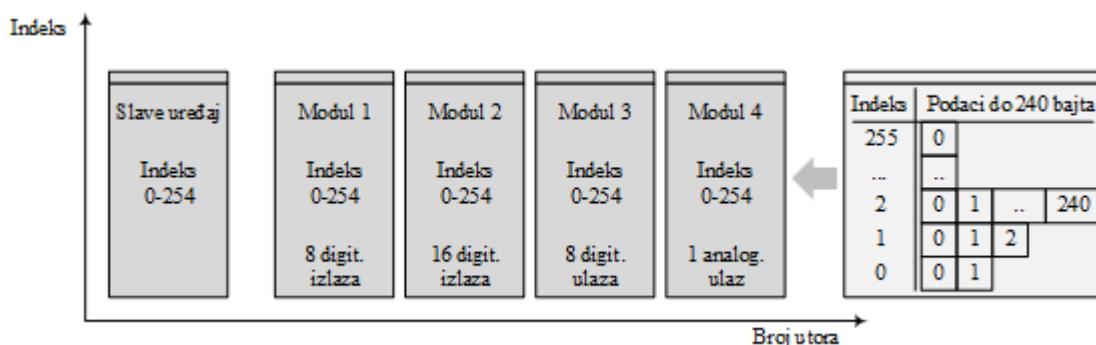


Slika 11.33. Ciklička i aciklička komunikacija u DP-V1

DPM1 *master* uređaj će proslijediti *token* DPM2 *master* uređaju nakon što završi cikličku

razmjenu podataka sa svim podređenim uređajima. DPM2 tada koristi preostalo vrijeme ciklusa za izvršenje acikličke komunikacije sa bilo kojim podređenim uređajem. Nakon završetka ciklusa DPM2 vraća *token* DPM1 *master-u* i ciklus se ponovno pokreće. Aciklička razmjena podataka može se obavljati kroz nekoliko ciklusa. Isto tako i DPM1 uređaj može aciklički izmjenjivati podatke sa svojim podređenim uređajima.

Standardni DP-V0 *slave* uređaj može imati fiksnu ili modularnu strukturu. Broj i struktura pojedinih modula određuje količinu cikličkih procesnih podataka koje mogu biti razmijenjene u komunikaciji. Kod DP-V1 *slave-a* svi podaci se dijele između utora (*engl. slots*), sl. 11.34. U slučaju modularnog *slave-a* broj modula je određen brojem utora gdje je smješten. Kod kompaktnog *slave-a* utor može biti dodijeljen proizvoljno individualnim virtualnim uređajima.

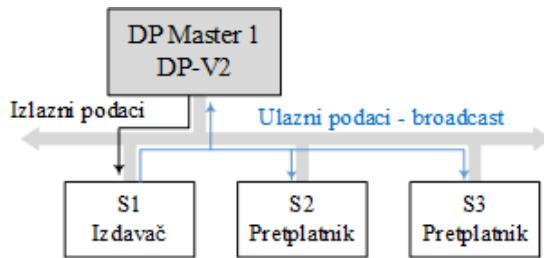


Slika 11.34. Struktura DP-V1 *slave* uređaja

Unutar utora, individualne varijable se numeriraju po indeksu. Svaka varijabla mora imati mogućnost da bude prenesena unutar PROFIBUS telegrama koji je ograničen na maksimalno 244 bajta podataka. Svaki *master* koji podržava DP-V1 mora podržavati ovu maksimalnu veličinu telegrama.

11.3.8.2. DP-V2 protokol

Ova verzija protokola podržava direktnu komunikaciju između podređenih uređaja korištenjem *broadcast* komunikacije bez posredovanja nadređenog uređaja. Podređeni uređaji ponašaju se kao izdavači (*engl. publishers*). Naime odgovor podređenog uređaja na upit *master-a* ne šalje se preko nadređenog već direktno drugim podređenim uređajima tzv. pretplatnicima (*engl. subscribers*) koji su konfigurirani da primaju te podatke, sl. 11.35.



Slika 11.35. Komunikacija između podređenih uređaja (*slave-to-slave*)

11.4. Aplikacijski sloj

Sloj 7, aplikacijski sloj OSI referentnog modela osigurava komunikacijske usluge prema korisniku. Aplikacijski sloj je specificiran u standardu DIN 19 245 2.dio, a sastoji se od:

- FMS sučelja (*engl. Fieldbus Message Specification*)
- LLI sučelja (*engl. Lower Layer Interface*)
- Fieldbus upravljačkih usluga – sloj 7 (FMA 7)

11.4.1. FMS

S gledišta aplikacijskog procesa komunikacijski sustav je pružatelj usluga koji nudi komunikacijske usluge znane kao FMS usluge. Te usluge su klasificirane kao usluge s potvrdom i bez potvrde.

Usluge s potvrdom dozvoljene su samo na komunikacijskim vezama u kojima se vrši uspostava veze preko spojnog puta - spajanjem, dok se usluge bez potvrde mogu koristiti i u vezama bez spajanja. Usluge bez potvrde mogu se prenositi s visokim ili s niskim prioritetom. PROFIBUS FMS usluge mogu se podijeliti na slijedeće grupe:

- Kontekst upravljačke usluge dopuštaju uspostavu i prekidanje logičke veze, kao i odbijanje nedopustivih usluga.
- Razne pristupne usluge koje omogućuju pristup (čitanje i upisivanje) jednostavnim varijablama, zapisima i listama varijabli.
- Područje upravljačkih usluga koje omogućuju prijenos (učitavanje i upisivanje) razdvojenih memorijskih blokova. Aplikacijski proces razdvaja podatke u manje fragmente (dijelove) radi lakšeg prijenosa.
- Pozivanje usluga programa koje omogućuju upravljanje (start, stop itd.) izvršenja programa.

- Događajne usluge upravljanja su usluge bez potvrde koje omogućuju prijenos alarmnih poruka s visokim ili s niskim prioritetom. Poruke se mogu prenijeti u *broadcast* ili *multi-cast* komunikacijskoj vezi.
- VFD podržavaju poruke identifikacije uređaja i statusnih izvješća.
- OD (*engl. Object Dictionary*) upravljačke usluge omogućuju korištenje objektnih rječnika. Procesni objekti popisani su kao komunikacijski objekti u objektnom rječniku (OD). Aplikacijski proces na uređaju omogućuje pregled i dostupnost objekata prije nego li su adresirani i procesirani od komunikacijskih usluga.

Postoji veliki broj PROFIBUS FMS aplikacijskih usluga koje omogućavaju razne zahtjeve vanjskih uređaja, ali samo je pet obveznih za implementaciju u svim PROFIBUS uređajima. Selekcija svih ostalih usluga ovisi o specifičnoj aplikaciji i specificirane su tzv. profilima.

11.4.2. LLI sučelje

U PROFIBUS protokolu kroz LLI sučelje ostvarena je veza između aplikacijskog i podatkovnog sloja. LLI nadzire spajanje te vrši upravljanje protokom podataka i mapiranjem FMS usluga u sloj 2 u odnosu na razne tipove uređaja (nadređene i podređene). Komunikacijske relacije između aplikacijskih procesa sa posebnom namjenom prijenosa podataka moraju se definirati prije početka prijenosa. Te definicije sadržane su u sloju 7 u CRL listi (*engl. Communications Relationship List*).

Osnovne zadaće LLI-a su:

- Mapiranje FMS usluga u usluge sloja veze (sloja 2)
- Uspostava i prekid veze
- Nadzor veze
- Upravljanje protokom

Podržani su slijedeći tipovi komunikacijske veze:

- Komunikacije bez spajanja koje mogu biti *broadcast* ili *multi-cast*.
- Komunikacije sa spajanjem koje mogu biti *master-master* (cikličke ili acikličke) ili *master-slave* sa ili bez inicijative podređenog uređaja (cikličke ili acikličke).

Komunikacijska veza koja se temelji na spajanju predstavlja logičku *peer-to-peer* vezu između dva aplikacijska procesa. Prije nego se podaci pošalju preko ove veze mora biti ostvarena jedna od kontekstnih upravljačkih usluga što uključuje fazu uspostavljanja veze. Nakon uspješne

uspostave veze, veza je zaštićena od pristupa treće strane te se može nastaviti komunikacija između dviju strana koje su vezu uspostavile. U fazi prijenosa podataka mogu se koristiti usluge s potvrdom i bez potvrde. Kada veza više nije potrebna može se prekinuti sa drugom kontekstnom upravljačkom uslugom (uslugom *Abort*). Ovo predstavlja fazu prekida veze.

11.4.3. FMA 7

Ovaj sloj opisuje objektne i upravljačke usluge. Objektima se upravlja lokalno i daljinski korištenjem upravljačkih usluga koje su podijeljene u tri grupe:

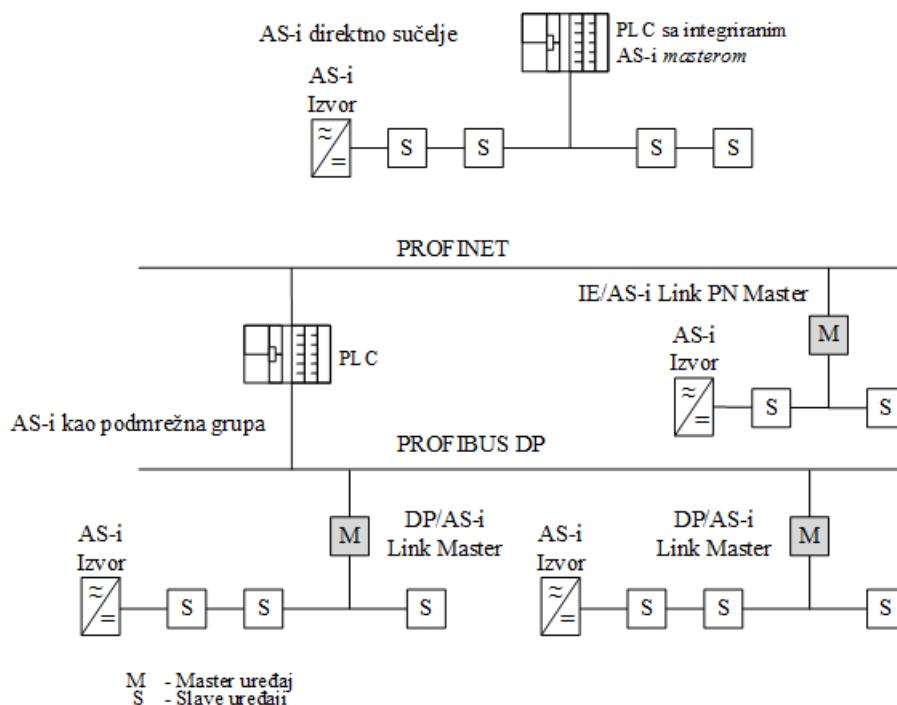
- Kontekst upravljanje - pruža usluge uspostave i prekida upravljačkih veza.
- Konfiguracijsko upravljanje - pruža usluge identifikacije komunikacijskih komponenti uređaja, učitavanja i čitanja liste komunikacijskih veza (CRL) i pristupa varijablama, brojačima i parametrima nižih slojeva.
- Upravljanje pogreškama - pruža usluge prepoznavanja i uklanjanja pogrešaka.

Literatura

- [1] Weigmann, J. Kilian, G. (2003.) *Decentralization with Profibus DP/DPV1*, Germany: Siemens.
- [2] Felser, M. (2011.) *PROFIBUS Manual*, Berlin: epubli GmbH.
- [3] Siemens AG. (2009.) *Simatic Net PROFIBUS Network Manual*, Germany: Siemens AG.
- [4] Siemens AG. (1997.) *Simatic Net PROFIBUS Networks Release 02*, Germany: Siemens AG.
- [5] PROFIBUS International (1998.) *PROFIBUS Specification Normativ Parts Edition 1.0*, <http://www.profibus.com>
- [6] PROFIBUS International (2006.) *PROFIBUS Installation Guideline for Commissioning ver. 1.0.2.*, <http://www.profibus.com>
- [7] SAMSON AG. (1999.) *Technical information L453EN PROFIBUS-PA Part 4 Communications.*, <http://www.samson.de>
- [8] Acromag Inc. (2002.) *Technical Reference – Introduction to ProfiBus DP.*, <http://www.acromag.com>

12. ASI-Bus

AS-i (*engl. Actuator Sensor Interface*) je industrijska mreža koja je dizajnirana za povezivanje jednostavnih binarnih I/O uređaja (senzori, aktuatori, tasteri,...) i analognih senzora preko iste sabirnice. Ovaj tip mreže predstavlja alternativu prije korištenom direktnom načinu povezivanja senzora i aktuatora, a koristi se prije svega za povezivanje uređaja u polju kao podmrežne grupe na *fieldbus* mreže više razine kao što su Profibus, DeviceNet, CANopen, Ethernet, itd. Komunikacija AS-i mreže na mreže više razine ostvarena je preko *AS-i master*a i to na dva načina, sl. 12.1.



Slika 12.1. Konfiguracije AS-i masterera

AS-i *master* može biti sastavni dio nadređenog uređaja tj. kontrolera (PLC-a ili PC-a) ili može raditi kao *gateway* ili sprežnik koji povezuje AS-i uređaje na kontroler *fieldbus* mreže. Drugi način je znatno pogodniji jer omogućuje povezivanje većeg broja AS-i segmenata i komunikaciju sa AS-i uređajima na većim udaljenostima. Za razliku od većine *fieldbus* sustava AS-i je potpuno auto-konfigurabilan. Naime nije potrebno vršiti nikakva podešavanja postavki kao što su npr. definiranje pristupnih prava, brzine prijenosa, tip okvira i slično. *Master* automatski izvršava sve funkcije potrebne za rad mreže, šalje parametre svakom uređaju, te kontinuirano nadzire i dijagnosticira sustav.

U razvoju ASi-a je 1990. god. sudjelovao konzorcij od 11 tvrtki (Balluf, Baumer, Elesta, Festo, ifm electronic, Leuze electronic, Pepperl+Fuchs, Sick, Siemens, Turck i Visolux), a 1991. god.

je osnovana i AS-*International Association*, međunarodna organizacija koja pruža potporu svim proizvođačima i korisnicima ovog sustava. Danas ona broji preko 300 članova.

Prvi funkcionalni AS-i sustav je prikazan na sajmu u Hannoveru 1994.god. a podržavao je specifikaciju ver.2.04. Prema ovoj specifikaciji mreža podržava rad sa 31 *slave* I/O uređajem, a sa svakim uređajem *master* može razmijeniti 4 bita ulaznih i 4 bita izlaznih podataka što predstavlja ukupno 124 ulazna i 124 izlazna bita. Komunikacija sa svim uređajima je ostvarena unutar vremenskog ciklusa od 5 ms.

God. 1998. sa ver. 2.11. povećan je broj podržanih I/O uređaja sa 31 na 62, uvedena je podrška za analogne uređaje i unaprijeđena dijagnostika uvođenjem dodatnog statusnog bita za signalizaciju greške uređaja (*engl. Peripheral Fault Bit*). Da bi se omogućio rad uređaja koji ne podržavaju novu specifikaciju, uređaji su podijeljeni u dvije adresne grupe A i B, od 1A do 31A i od 1B do 31B, a četvrti bit od izlaznih bita se iskoristio za definiranje grupe kojoj pripada uređaj. Ovime je razmjena podataka sa svakim uređajem svedena na 4 bita ulaznih i 3 bita izlaznih podataka ili ukupno 248 ulaznih i 186 izlaznih bita. Vrijeme ciklusa komunikacije je povećano na 10 ms.

Od 2005.god. sa ver. 3.0 uvedene su nove mogućnosti za razmjenu digitalnih i analognih podataka kao i mogućnost serijske komunikacije kao što su:

- Komunikacija sa I/O uređajima adresiranjem 4 ulaza i 4 izlaza u A/B grupi
- Komunikacija sa I/O uređajima adresiranjem 8 ulaza i 8 izlaza u A/B grupi
- Konfigurabilni analogni kanali (8, 12 ili 16 bitni)
- Prikaz mjernih analognih vrijednosti
- Istovremeni prijenos do dva binarna bita uz ciklički prijenos mjernih/upravljačkih podataka ili aciklički prijenos parametarskih i dijagnostičkih podataka.

Od 1999. god. AS-i je i međunarodno priznat u sklopu standarda EN 50295 i IEC 62026-2. AS-i je također otvoreni standard što omogućuje primjenu uređaja različitih proizvođača u mreži.

Komunikacija u mreži ostvarena je *master-slave* metodom u kojoj *master* uvijek inicijalizira razmjenu podataka sa *slave* uređajima koji mu moraju poslati odgovor u određenom vremenu. U AS-i mreži može postojati samo jedan *master*. *Slave* uređaj može se dodati i zamijeniti u tijeku rada AS-i mreže bez utjecaja na komunikaciju ostalih uređaja. Adresiranje slave uređaja moguće je izvesti ručno posebnim programatorom ili to može napraviti *master* automatski za vrijeme rada mreže ako radi u zaštićenom modu. Adresa ostaje trajno zapisana u uređaju čak i u slučaju gubitka napajanja. Tvornički je adresa *slave* uređaja uvijek podešena na nulu.

Slave uređaji mogu biti spojeni u linearnoj, zvjezdastoju, prstenastoj i stablastoj topologiji. Duljina kabela na segmentu neovisno o topologiji je ograničena na 100 m ali se može produljiti i do 600 m primjenom obnavljača, produživača i pasivnih terminadora. Prijenos signala i

napajanje uređaja ostvareni su preko iste linije koju nije potrebno zaključiti na krajevima. Naime smanjenje utjecaja refleksije kod prijenosa signala ostvareno je kodiranjem podataka u Manchester II kodu i korištenjem izmjenične impulsne modulacije (*engl. Alternating Pulse Modulation*). Brzina prijenosa signala iznosi 167 kbit/s uz vremensko trajanje bita od 6 µs. Kao prijenosni medij može se koristiti dvožilni ravni kabel bez oklopa. Napon napajanja uređaja iznosi između 29.5 i 31.6 V DC, a ukupno strujno opterećenje svih uređaja na segmentu ne smije biti veće od 8 A.

12.1. AS-interface i OSI model

U usporedbi sa ISO/OSI referentnim modelom AS-i kao i ostali *fieldbus* sustavi koristi samo 1,2 i 7 sloj. Slojevi od 3. do 6. se ne koriste jer su uređaji stalno spojeni na sabirnicu unutar iste mreže tako da kod prijenosa podataka nije potrebno preusmjeravati poruke na druge mreže niti vršiti zaštitno kodiranje ili interpretaciju podataka. Prijenos odgovarajućih formata podataka ostvaren je kroz aplikacijski sloj.

SLOJEVI OSİ MODEL A	AS-i SLOJEVI
7. Aplikacijski sloj	Mrežne usluge za korisnika
3. – 6. sloj	Ne koriste se
2. Podatkovni sloj	Struktura podataka, kreiranje okvira, zaštita i korekcija greške
1. Fizički sloj	Mehanička i električka veza za prijenos signala

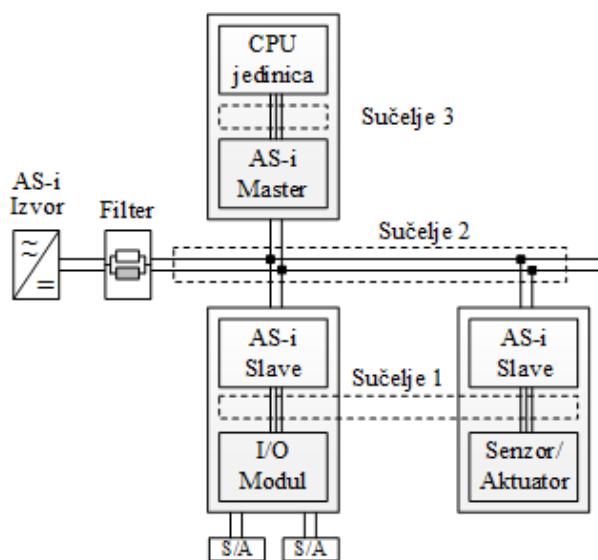
Tablica 12.1. AS-i i OSi model

- **Fizički sloj** vodi računa o električnim i mehaničkim karakteristikama sustava u prijenosu signala. Ovaj sloj određuje naponske razine signala i napajanja, način modulacije prijenosnog signala, sučelje uređaja prema sabirnici te vrste prijenosnog medija.
- **Podatkovni sloj** je zadužen za pakiranje i adresiranje podataka te osigurava pouzdan prijenos podataka.
- **Aplikacijski sloj** definira naredbe, sadržaj podataka, sekvence AS-i ciklusa i ponašanje sustava, npr. kod zamjene *slave* uređaja dok je sustav u radu.

12.2. Sučelja AS-i sustava

AS-interface sustav se, kao što je prikazano na sl. 12.2., sastoji od 3 osnovna dijela, *master* uređaja, *slave* uređaja i prijenosnog medija koji su međusobno povezani preko 3 sučelja.

- **Sučelje 1** povezuje slave uređaje sa I/O modulima, senzorima i aktuatorima.
- **Sučelje 2** predstavlja vezu između uređaja i prijenosnog medija.
- **Sučelje 3** predstavlja vezu između *master* uređaja i upravljačkog uređaja (PLC,PC,...) mreže više razine.



Slika 12.2. AS-i komponente i sučelja

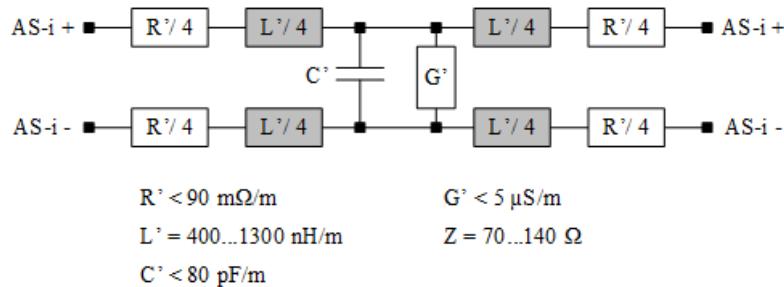
12.3. Fizički Sloj

Fizičkim slojem određen je prijenosni medij, napajanje i sučelje uređaja, te način prijenosa signala.

12.3.1. Prijenosni medij

Kao prijenosni medij koristi se dvožilni ravni bakreni kabel bez oklopa preko kojeg se istovremeno vrši prijenos podataka i napajanje AS-i uređaja. Prema specifikaciji standarda kabel mora zadovoljavati karakteristike prijenosnog modela prikazanog na sl. 12.3. Ovakva prijenosna karakteristika kabela ograničava prijenos signala unutar vrlo uskog frekvencijskog opsega od 50 kHz do 500 kHz tako da na frekvenciji od 167 kHz ukupno opterećenje sustava sa 62 *slave* uređaja nikad ne prelazi dozvoljene granice, $Z = 70$ do 140Ω . Naime prekomjerni porast impedancije uzrokovao bi slabljenje signala i njegovo izobličenje. Prijenosna

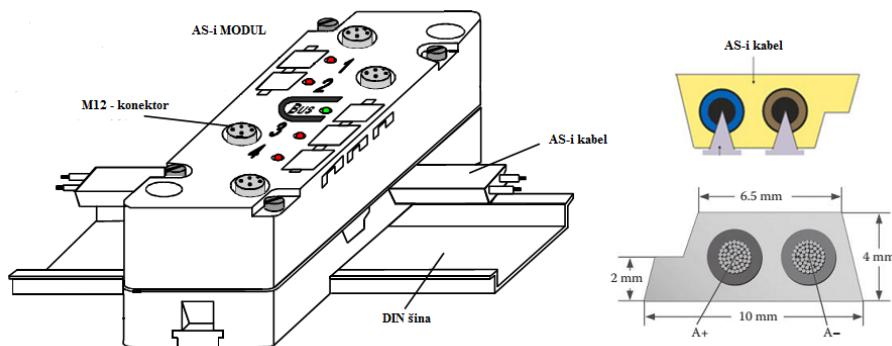
karakteristika također utječe na znatno slabljenje impedancije AS-i sustava za signale u frekvencijskom području iznad i ispod 167 kHz. Na ovaj način je uz dodatni uvjet ograničenja duljine kabela na 100 m znatno smanjen utjecaj refleksije na prijenos signala, tako da nije potrebno na krajeve linije stavljati zaključne otpornike.



Slika 12.3. AS-i prijenosni model kabela

Pored frekvencijske karakteristike u izboru kabela važan je i njegov otpor. Naime, ukupni pad napona na liniji ne smije biti veći od 3V budući napon napajanja uređaja na AS-i mreži obično iznosi 24V uz dozvoljenu toleranciju od +10% / -15%. Ovisno o broju uređaja mogu se koristiti kabeli presjeka vodiča od 0.75 mm^2 do 2.5 mm^2 (AWG 18 – AWG 14). U većini slučajeva kabel sa presjekom vodiča od 1.5 mm^2 (AWG 16) smatra se zadovoljavajućim.

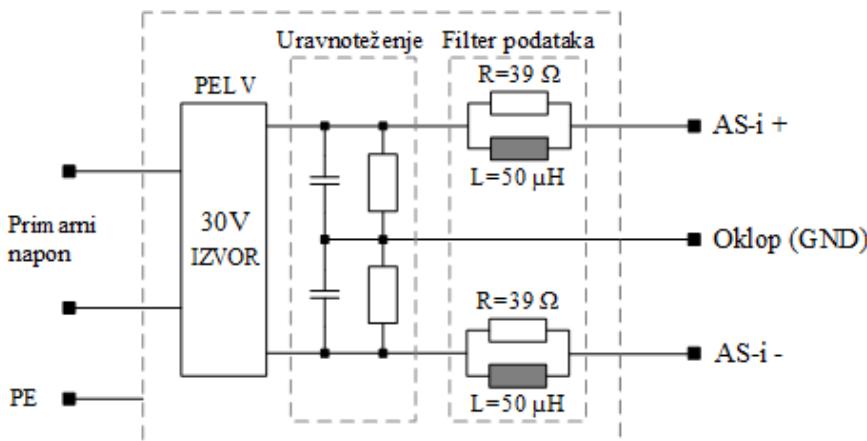
AS-i standardom su specificirana za upotrebu dva tipa dvožilnih kabela. Jedan od kabela je visoko-naponski kabel označen sa H05VV-F 2x1.5 koji zadovoljava standarde prema CENELEC i DIN VDE 0281, a drugi je posebni plosnati žuti kabel dizajniran sa karakterističnim geometrijskim oblikom da bi se izbjegli loši spojevi, sl. 12.4. Plosnati kabel nije potrebno sjeći ili skidati izolaciju što često dovodi do lošeg kontakta ili neželjenih padova napona već se zasniva na principu utiskivanja metalnih britvica u plastični izolator da bi se omogućio kontakt s vodičem. Izolacijski sloj kabela je fleksibilan i ima svojstvo da dolazi do skupljanja materijala na mjestima gdje su oštice izvučene tako da nema mogućnosti stvaranja kratkog spoja na tim mjestima. Način spajanja kabela pomoću modula prikazan je na sl.12.4.



Slika 12.4. AS-i plosnati kabel sa modulom za spajanje

12.3.2. AS-i napajanje

AS-i izvor napajanja pored napajanja uređaja električki izolira komunikacijsku sabirnicu od električne mreže, te ima funkciju uravnoteženja linije i filtriranja podataka, sl. 12.5.



Slika 12.5. AS-i izvor napajanja

▪ Napajanje linije

Izvor napajanja osigurava nominalni napon linije od 30V uz maksimalno dozvoljenu struju opterećenja od 8A. Nešto veći napon linije je odabran kako bi se kompenzirao pad napona na kabelu koji po specifikaciji standarda ne smije biti veći od 3V, te dodatni pad napona od 3V koji nastaje na uređaju kod slanja podataka. Na ovaj način je svakom uređaju neovisno o njegovoj lokaciji osiguran radni napon napajanja od 24V. Izvor napajanja može biti spojen na bilo kojem dijelu segmenta.

▪ Električka izolacija

AS-i izvor je dizajniran kao izvor niskog napona sa zaštitnom električnom izolacijom PELV (*engl. Protective Extra Low Voltage*) prema standardu IEC 60364-4-41. Ovime je osigurana izolacija između primarnog i sekundarnog napajanja i u uvjetima bez spojenog uzemljenja, odnosno PE vodiča.

▪ Uravnoteženje linije (*engl. Balancing*)

Sklopom za uravnoteženje sabirnica je izvedena kao simetrična linija čime je smanjen utjecaj smetnji na prijenos signala pa nije potrebno koristiti kabele sa oklopom ili uplenim paricama. Priključak za oklop na izlazu izvora napajanja mora se uzemljiti i to je jedino mjesto gdje je dozvoljeno spajanje uzemljenja (GND).

▪ Filtriranje podataka (*engl. Data Decoupling*)

Filter podataka može biti izведен kao zaseban modul ali je obično sastavni dio izvora napajanja, a sastoji se od 2 paralelna kruga kojeg čini zavojnica od $50\mu H$ i otpornik od 39Ω . Pomoću zavojnice vrši se pretvorba strujnih impulsa u naponske impulse. Naime

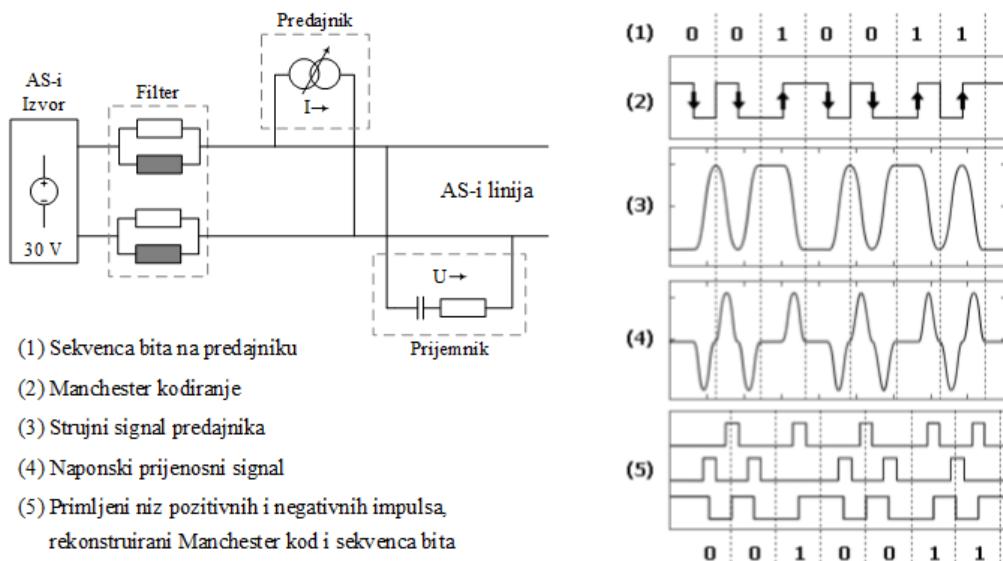
predajnici AS-i uređaja kod slanja podataka niz bita transformiraju u strujne impulse, dok se naponski impulsi na prijemniku svakog uređaja koriste za detekciju poslane poruke. Filter zajedno sa kondenzatorima također blokira prolaz prijenosnog signala u izvor te omogućuje na taj način modulaciju napona na AS-i liniji.

12.3.3. APM modulacija

Prijenos signala u AS-i mreži ostvaren je metodom izmjenične impulsne modulacije – APM (*engl. Alternating Pulse Modulation*) kojom je ostvaren niz prednosti, od kojih su najznačajnije slijedeće:

- Signal poruke superponiran je na linijski napon napajanja i ne sadržava istosmjernu komponentu.
- Generiranje signala poruke ostvareno je na jednostavan način što je omogućilo minijaturnu izvedbu predajnika i prijemnika a time i njihovu integraciju unutar samog uređaja.
- Prijenos signala ostvaren je u vrlo uskom frekvencijskom opsegu budući bi se sa porastom frekvencije signala povećavala impedancija AS-i kabela.
- Razina emitiranja elektromagnetskih smetnji je mala tako da nema potrebe dodatno koristiti oklop na kabelu.

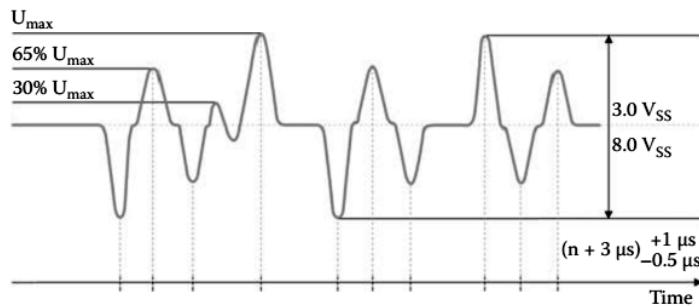
APM prijenos signala prikazan je na sl. 12.6. Uređaj koji šalje podatke kodira sekvencu bita u Manchester kodu i šalje je na liniju u obliku strujnih impulsa amplitude do 60 mA. Strujni impulsi imaju valni oblik integrala \sin^2 funkcije, za koji je karakteristično da ima uski frekvencijski opseg i malu emisiju zračenja.



Slika 12.6. APM modulacija

Vrijeme trajanja svakog strujnog impulsa iznosi $3 \mu s$, što nam daje ukupno vrijeme trajanja bita od $6 \mu s$ odnosno brzinu prijenosa signala od 167 kbit/s. Svaki bit je naime predstavljen sa dva impulsa kojeg čine impuls i pauza. Zbog utjecaja zavojnica svaki porast struje rezultira negativnom naponskom impulsu ili padu napona, a smanjenje struje rezultira pozitivnom naponskom impulsu ili porastu napona na liniji. Naponske impulse detektiraju prijemnici na uređajima koji ih pretvaraju nakon Manchester kodiranja u izvornu sekvencu bita. Sinkronizacija prijemnika sa dolaznim slijedom impulsa ostvarena je detekcijom prvog negativnog impulsa koji se interpretira kao početni bit poruke.

Budući AS-i linija nije zaključena na krajevima zbog refleksije signala na kabelu može doći do varijacija amplitude signala i njegovog izobličenja. AS-i standardom definirana je dozvoljena promjena amplitude napona prijenosnog signala u rasponu od $3V_{PP}$ do $8V_{PP}$. Amplituda signala unutar iste poruke može varirati do 35% od maksimalne vrijednosti, dok vrijednost prenapona na liniji ne smije biti veća od 30% maksimalne vrijednosti. Isto tako je definirana i dozvoljena brzina promjene brida impulsa od $(n+3\mu s) +1/-0.5\mu s$ koja se mjeri s početkom prvog negativnog impulsa. Dozvoljena odstupanja amplituda signala mogu se vidjeti na sl. 12.7.

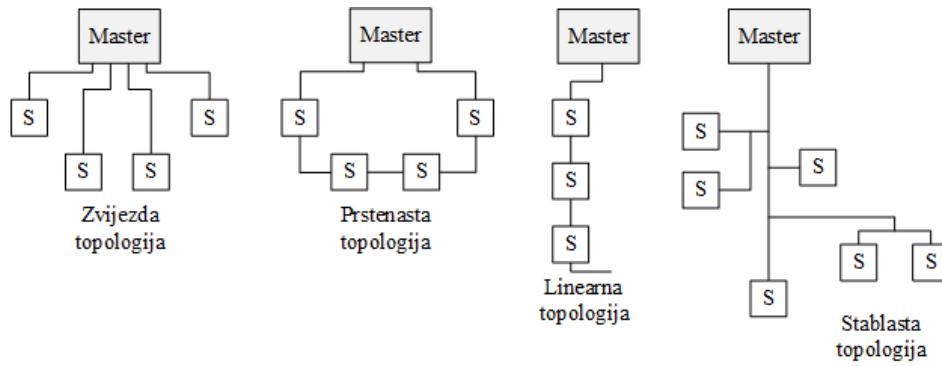


Slika 12.7. Odstupanja signala kod APM modulacije

Vrijednosti amplituda signala ovise o topologiji i lokaciji *slave* uređaja. Što je *slave* uređaj bliže AS-i izvoru napajanja amplitude će biti manje jer su i refleksije manje budući se AS-i izvor ponaša kao zaključni element. Usprkos svim ovim problemima AS-i ipak predstavlja vrlo robustan sustav koji omogućuje vrlo pouzdanu komunikaciju.

12.3.4. Topologije AS-i mreže

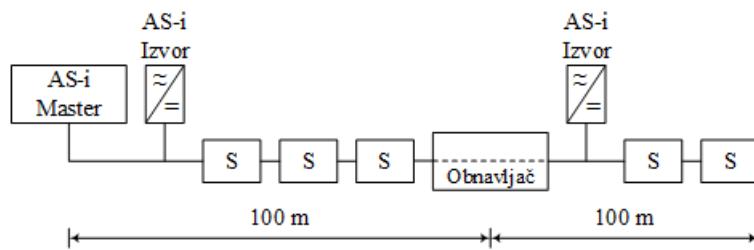
Uredaji na AS-i mreži mogu biti spojeni u linearnoj, zvjezdastojoj, prstenastojoj i stablastoj topologiji, sl. 12.8. Prilikom odabira topologije uvijek treba voditi računa o ograničenju duljine kabela od 100 m, u koji treba uključiti i eventualne ogranke ako su uređaji spojeni preko njih. Za veće udaljenosti treba koristiti obnavljачe, produživače ili pasivne terminatore.



Slika 12.8. Topologije AS-i mreže

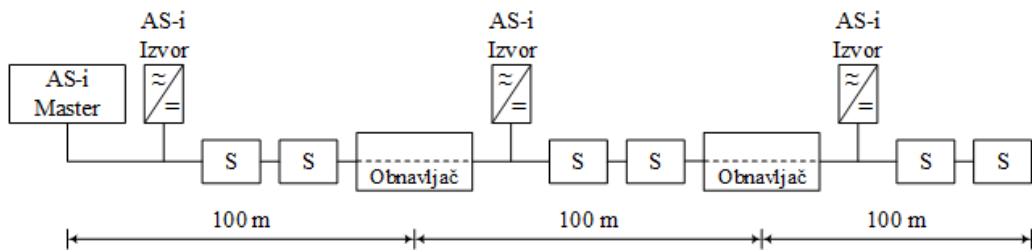
12.3.4.1. Obnavljači

Obnavljači (*engl. Repeaters*) omogućuju produženje AS-i linije za dodatnih 100 m, sl. 12.9. Svaki obnavljač razdvaja liniju na dva električki izolirana segmenta, koji moraju imati zasebne izvore napajanja. *Slave* uređaji mogu se spajati na oba segmenta prije i poslije obnavljača. Obnavljači se ne adresiraju, a moguće ih je spojiti najviše dva u nizu između *master* i *slave* uređaja. Ograničenje dolazi zbog kašnjenja signala kroz obnavljač koje obično iznosi oko 6 µs jer je to vrijeme potrebno za regeneriranje signala. Regeneriranje signala vrši se u oba smjera zbog slanja upita i odgovora između *master* i *slave* uređaja pa je kašnjenje dvostruko za svaki obnavljač. U slučaju da je broj obnavljača veći od 2 kašnjenje signala bilo bi veće od 24 µs što bi dovelo do kolizije zakašnjelog signala sa slanjem nove poruke a time i pogreške u prijenosu.

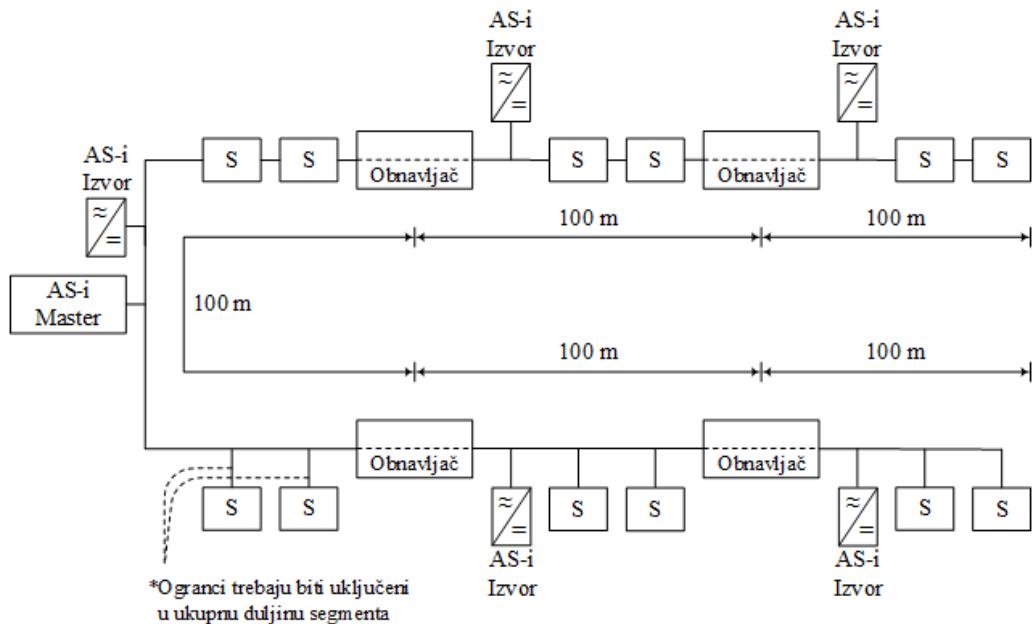


Slika 12.9. Topologija AS-i mreže sa jednim obnavljačem

Na slikama 12.10. i 12.11. prikazane su topologije AS-i mreže sa 2 i 4 obnavljača. Primjenom 2 obnavljača u nizu moguće je produljiti liniju između *master* i *slave* uređaja do 300 m, a ako se *master* uređaj stavi u središnji segment tada možemo sa svake strane *master-a* spojiti po 2 obnavljača i time produljiti duljinu segmenta na 500 m. Spajanjem 4 obnavljača na ovaj način ujedno je i zadovoljen uvjet spajanja dva obnavljača u nizu između *master* i *slave* uređaja.

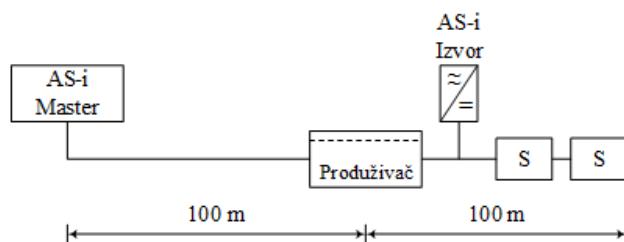


Slika 12.10. Topologija AS-i mreže sa dva obnavljača

Slika 12.11. Topologija AS-i mreže sa četiri obnavljača i *master* uređajem spojenim u sredini

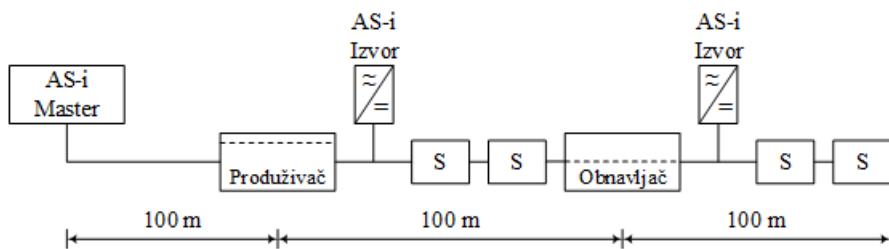
12.3.4.2. Producivači

Producivač (*engl. Extender*) omogućuje produljenje AS-i linije za dodatnih 100 m. Kod primjene producivača *slave* uređaji se ne smiju spajati na segment koji je spojen na *master* uređaj, sl. 12.12. Izvor napajanja se spaja samo na strani *slave* uređaja. Oba segmenta su električki izolirani.



Slika 12.12. Topologija AS-i mreže sa produživačem

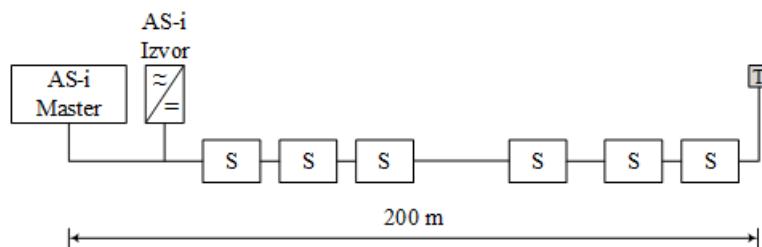
Kombinacijom produživača i obnavljača može se povećati duljina AS-i linije do 300 m, sl. 12.13.



Slika 12.13. Kombinirana topologija AS-i mreže sa produživačem i obnavljačem

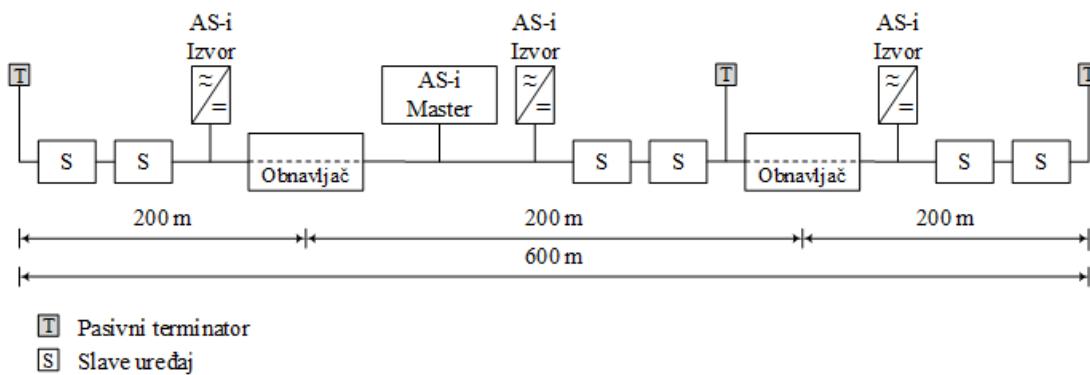
12.3.4.3. Pasivni terminatori

Primjenom pasivnog terminatora (*engl. Extension Plug*) duljina kabela AS-i segmenta može se udvostručiti sa 100 na 200 m, sl. 12.14.. Za napajanje *slave* uređaja u ovom slučaju dovoljno je koristiti samo jedan izvor napajanja. Pasivni terminator se spaja uvijek na kraju linije koja je najudaljenija od izvora napajanja. U kombinaciji sa obnavljačima može se postići maksimalno povećanje linije do 600 m, sl. 12.15. Na terminatoru je sučelje za spajanje na sabirnicu izvedeno kao muški konektor M12. Unutar terminatora je izведен i sklop za detekciju podnapona odnosno minimalnog napona linije sa LED indikacijom.



Slika 12.14. Topologija AS-i mreže sa pasivnim terminatom

Kad kombinirane topologije mreže sa obnavljačima i pasivnim terminatorima ne smijemo spajati obnavljače u serijski niz. Ovom topologijom ostvarena je i najveća udaljenost od 400 m koja se može postići između *master* i *slave* uređaja.

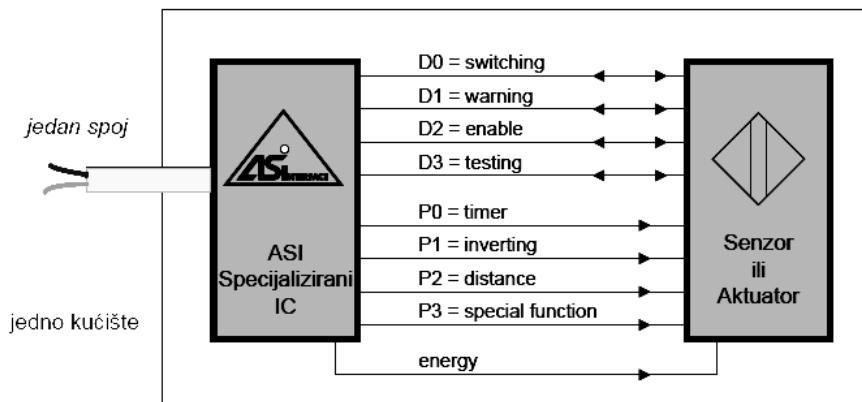


Slika 12.15. Topologija AS-i mreže sa obnavljacima i pasivnim terminatorom

12.3.5. AS-i slave uređaji

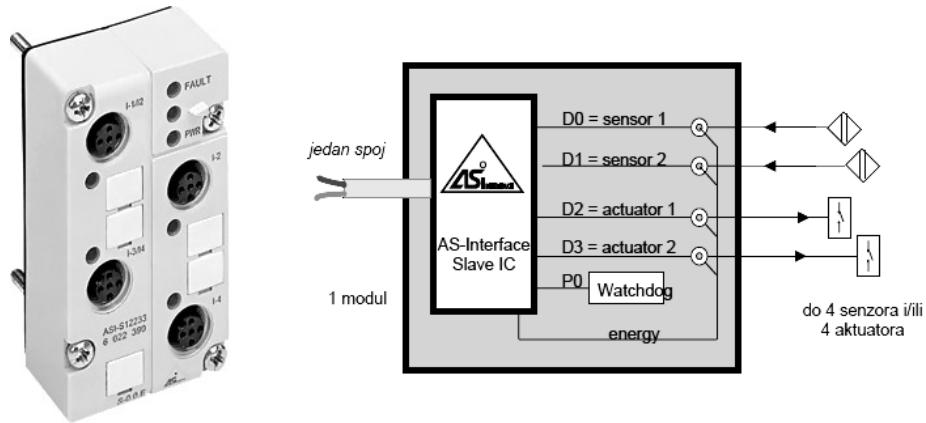
AS-i *slave* uređaj obavlja funkciju komunikacijskog sučelja preko kojeg su senzori, aktuatori i ostali uređaji u polju spojeni na sabirnicu. *Slave* uređaj izведен je kao integrirani krug, a koristi se na dva načina: integriran unutar senzora ili aktuatora ili kao sastavni dio I/O modula.

Ako je integriran unutar senzora ili aktuatora, sl. 12.16. tada je moguće pristupiti ne samo podacima već i parametrima krajnjih uređaja. U komunikaciji sa *slave* uređajem moguće je tada pored prijenosa procesnih podataka razmijeniti i dodatne informacije kao što su dijagnostički podaci.



Slika 12.16. Senzor ili aktuator sa integriranim AS-i *slave* uređajem

Kada je AS-i *slave* integriran u modul na njega se mogu spojiti konvencionalni senzori i aktuatori. Na sl. 12.17. je prikazan modul sa priključkom za dva digitalna ulaza za senzor i dva digitalna izlaza za aktuator. Moduli pored razmjene podataka omogućuju i napajanje krajnjih uređaja. Također je preko modula moguće nadgledati komunikaciju i u slučaju greške isključiti napajanje aktuatora.



Slika 12.17. AS-i slave modul 2I/2O za spajanje senzora i aktuatora

Za povezivanje AS-i uređaja najčešće se koriste konektori M8 i M12. Raspored priključaka M8 i M12 konektora za različite tipove uređaja koji odgovaraju standardu DIN IEC 60947-5-2 prikazani su na sl. 12.18.

AS-Interface	Auxiliary energy	AS-Interface and auxiliary energy	Binary input	Binary output (semiconductor)	AS-Interface	Binary input	Auxiliary power
1 - AS-Interface + 2 - 3 - AS-Interface - 4 - 5 -	1 - AUX + 2 - 3 - AUX - 4 - 5 - (Gnd)	1 - AS-Interface + 2 - AUX - 3 - AS-Interface - 4 - AUX + 5 - (Gnd)	1 - U+(24V DC) 2 - Gate input 1 3 - 0V 4 - Gate input 1 5 - (Gnd)	1 - U+(24V DC) 2 - 3 - 0V 4 - Gate output 5 - (Gnd)	1 - ASi+ 2 - 3 - ASi- 4 -	1 - U+(24V DC) 2 - 3 - 0V 4 - Sensor input	1 - AUX+ 2 - 3 - AUX- 4 -
Binary double input	Binary output (relay)	Analog input	Input for Pt100 sensor	Analog output	Binary output (semiconductor)	Binary output (relay)	
1 - U+(24V DC) 2 - Gate input 2 3 - 0V 4 - Gate input 1 5 - (Gnd)	1 - Change over contact 2 - Normally closed contact 3 - 4 - Normally open contact 5 - (Gnd)	1 - U + 2 - In + 3 - 0V 4 - In - 5 - (Gnd)	1 - Iconst + 2 - In + 3 - Iconst - 4 - In - 5 - (Gnd)	1 - Out 2 - 3 - 0V 4 - 5 - (Gnd)	1 - U+(24V DC) 2 - 3 - 0V 4 - Output	1 - Form-C relay 2 - 3 - 4 - Normally open contact (NO)	

a) M12 - konektori b) M8 - konektori

Slika 12.18. Raspored priključaka za konektore M8 i M12

12.4. Podatkovni Sloj

Podatkovni sloj definira metodu pristupa sabirnici, vrši kreiranje poruke, adresiranje te provjeru ispravnosti primljene poruke.

12.4.1. Metoda pristupa sabirnici

AS-i koristi tehnologiju *master-slave* komunikacije u kojoj *master* šalje cikličke upite svim *slave* uređajima. *Slave* uređaj kojemu je poruka namijenjena mora odgovoriti na nju unutar određenog vremena. Ako *master* ne primi odgovor ili primi odgovor sa greškom može ponoviti slanje poruke *slave* uređaju tako da nije potrebno ponavljati cijeli ciklus ispočetka.

12.4.2. Struktura AS-i poruke

Struktura AS-i poruke je prikazana na sl. 12.19., a sastoji se od upita i pauze *master-a*, te odgovora i pauze *slave* uređaja. Svi upiti *master-a* su duljine 14 bita, a odgovori *slave* uređaja duljine 7 bita. Vrijeme trajanja svakog bita iznosi 6 µs.

Master upit za standardni slave							Slave odgovor				
ST	SB	Adresa	Podaci	PB	EB	Master Pauza	ST	Podaci	PB	EB	Slave Pauza
1 bit	1 bit	5 bita	5 bita	1 bit	1 bit	2–10 bita	1 bit	4 bita	1 bit	1 bit	1.5–2 bita

Slika 12.19. Struktura AS-i poruke

Vrijeme trajanja *master* pauze može iznositi od 2 do 10 vremenskih trajanja bita i unutar tog vremena *master* očekuje odgovor *slave* uređaja. *Slave* uređaj može poslati svoj odgovor već nakon 2 vremena bita ako je sinkroniziran, a ako nije neophodna su mu još dodatna 2 vremena bita kako bi provjerio ispravnost upita. Ako *master* nije primio početni bit odgovora ni nakon isteka pauze od 10 vremena bita pretpostavit će da odgovor nije poslan i poslati će novi upit. Pauza *slave* uređaja nakon slanja odgovora ne smije biti veća od 1.5 do 2 vremenska trajanja bita. Ukupno vrijeme trajanja AS-i poruke obično iznosi oko 152 µs +2 / -1 µs tako da je u vremenu od 1 sekunde moguće razmijeniti više od 6500 poruka. Struktura upita i odgovora za standardne slave uređaje je prikazana u tablici 12.2.

STRUKTURA MASTER UPITA ZA STANDARDNI SLAVE		STRUKTURA SLAVE UPITA
Početni bit (ST)	Označava početak master upita. Uvijek je jednak '0'.	Početni bit (ST) Označava početak slave odgovora. Uvijek je jednak '0'.
Kontrolni bit (SB)	Definira tip upita: '0' za slanje podataka, parametrizaciju i dodjeljivanje adrese uređaju; '1' za slanje naredbi	Podaci I0-I3 Sadrži 4 bita podataka koji se šalju masteru.
Adresa A0-A4	Adresa slave uređaja – 5 bita	Paritetni bit (PB) Paritet je uvijek paran.
Podaci I0-I4	Sadrži 5 bita podataka koji se šalju slave uređaju ovisno o vrsti upita.	Završni bit (EB) Označava kraj slave odgovora. Uvijek je jednak '1'.
Paritetni bit (PB)	Paritet je uvijek paran.	
Završni bit (EB)	Označava kraj master upita. Uvijek je jednak '1'.	

Tablica 12.2. Struktura AS-i upita i odgovora

U komunikaciji sa standardnim *slave* uređajima (specificiranim po ver. 2.04) *master* razmjenjuje po 4 bita podataka sa mogućnošću adresiranja 31-og uređaja. Sa specifikacijom ver. 2.1. omogućen je rad na mreži sa 62 uređaja. Da bi se omogućio rad sa većim brojem uređaja i ujedno omogućila kompatibilnost rada sa postojećim uređajima uvedeno je adresiranje u proširenem modu. Naime *slave* uređaji su podijeljeni u dvije grupe (A i B) po 31 uređaj, a pripadnost grupi je definirana pomoću selekcijskog bita odnosno bita I3 podataka. Svi slave uređaji koji podržavaju novu specifikaciju protokola imaju ID-kod jednak „A_{HEX}“. Na ovaj način u komunikaciji sa proširenom adresiranjem *master* može poslati samo 3 bita podataka, dok mu *slave* uređaj i dalje može poslati kao i prije 4 bita podataka. *Slave* uređaji koji ne podržavaju prošireno adresiranje se adresiraju kao i prije budući ne mogu prepoznati selekcijski bit već on za njih i dalje predstavlja bit podataka. Struktura *master* upita kod proširenog adresiranja prikazana je u tablici 12.3.

STRUKTURA MASTER UPITA U PROŠIRENOM ADRESNOM MODU	
Početni bit (ST)	Označava početak master upita. Uvijek je jednak '0'.
Kontrolni bit (SB)	Definira tip upita: '0' za slanje podataka, parametrizaciju i dodjeljivanje adrese uređaju; '1' za slanje naredbi
Adresa A0-A4 I3	Adresa slave uređaja – 5 bita + selekcijski bit I3
Podaci I0-I2 I4	Sadrži 4 bita podataka koji se šalju slave uređaju ovisno o vrsti upita.
Paritetni bit (PB)	Paritet je uvijek paran.
Završni bit (EB)	Označava kraj master upita. Uvijek je jednak '1'.

Tablica 12.3. Struktura AS-i upita u proširenom adresnom modu

12.4.3. Detekcija greške u prijenosu signala

Provjera ispravnosti primljene poruke u AS-i prijenosu ostvarena je na razini bita budući su poruke vrlo kratke. Naime *master* upit sadrži ukupno 11 bita, a *slave* odgovor samo 4 bita koje treba provjeriti. Dodatni biti za provjeru greške bi povećali mogućnost detekcije većeg broja pogrešno prenesenih bita ali bi doveli do znatnog smanjenja brzine prijenosa. Provjera greške je zasnovana na fiksnoj duljini poruke i svojstvu redundancije u kodu. U AS-i standardu mogu se detektirati slijedeće greške:

- Greška u početnom bitu (ako nije detektirana '0')
- Greška APM modulacije (ako se detektiraju dva uzastopna impulsa istog polariteta)
- Greška u impulsu pauze (impuls pauze duži od $4 \mu\text{s}$ predstavlja pogrešku u kodu)
- Informacijska pogreška ili pogreška poslanog bita (nije detektiran drugi dio impulsa bita odnosno impuls pauze)
- Greška duljine poruke (ako je duljina trajanja *master* upita veća ili manja od $84 \mu\text{s}$ ili je duljina trajanja *slave* odgovora veća ili manja od $42 \mu\text{s}$)
- Paritetna greška (ako je broj jedinica u poruci neparan)
- Greška u završnom bitu (ako nije detektirana '1')

Detekcijom bilo koje od ovih grešaka upit ili odgovor na strani prijema se smatra neispravnim.

12.4.4. Prijenos analognih signala

AS-i podržava prijenos analognih signala na način da se takav signal najprije digitalizira, a zatim se podijeljen u više dijelova šalje kroz više ciklusa. Za prijenos analognog ulaznog signala od 12 bita podataka potrebno je 6 ciklusa uz ukupno vrijeme prijenosa od 30 ms (za specifikaciju ver.2.1.)

Kod *slave* uređaja koji podržavaju analogne I/O signale A/D pretvarač mora biti sastavni dio uređaja. Osim pretvorbe signala A/D pretvarač služi i kao međuspremnik u kojem se digitalizirana vrijednost čuva sve dok se ne pošalju svi biti. Tek nakon toga A/D pretvarač može preuzeti novi uzorak analognog signala. AS-i standard za prijenos analognog signala definiran je profilom S-15 AS-i specifikacije. Radi lakše upotrebe pojedini PLC-ovi već posjeduju funkcionske blokove za rad sa analognim signalima.

12.5. Aplikacijski Sloj

Aplikacijski sloj definira profile uređaja, sadržaj podataka, naredbe i sekvence AS-i ciklusa. Također su dodatno definirane i *gateway* funkcije koje se koriste za komunikaciju sa upravljačkim uređajima više razine.

12.5.1. Profili uređaja

Profili uređaja su definirane funkcije *master* ili *slave* uređaja koje oni podržavaju u skladu sa specifikacijama standarda, tablica 12.4.

PROFILI AS-i UREĐAJA			
AS-i Specifikacija	Ver. 2.04	Ver. 2.11.	Ver. 3.0.
Profil Master Uredaja	M0, M1, M2	M3	M4
Profil Slave Uredaja	Svi ostali slave profili	S-*A.**, S-7.3.**, S-7.4.**	S-6.0.**, S-7.5.*5, S-7.A.*5, S-B.A.*5, S-7.A.*7, S-7.A.*8, S-7.A.*9, S-7.A.*A

Tablica 12.4. Profili AS-i uređaja

Značajke pojedinih *master* profila su:

- **M0** omogućuje razmjenu ulaznih i izlaznih podataka sa *slave* uređajima kao i učitavanje njihovih konfiguracijskih podataka.
- **M1** podržava sve funkcije u skladu sa AS-i specifikacijom 2.04. uključujući i one koje su podržane profilima M0 i M2.
- **M2** podržava iste funkcije kao i M0 uz dodatnu mogućnost podešavanja parametara *slave* uređaja.
- **M3** pored funkcija koje podržava profil M2 ima mogućnost podešavanja parametara *slave* uređaja koji rade u proširenem adresnom modu kao i mogućnost rada sa *slave* uređajima koji imaju 16-bitne ulaze ili izlaze.
- **M4** podržava iste funkcije kao i profil M3 uz dodatne mogućnosti kao što su: podešavanje parametara kombiniranih *slave* uređaja (omogućuju istovremeni prijenos digitalnih i analognih podataka), serijski prijenos analognih podataka i rad sa *slave* uređajima u proširenem adresnom modu, koji imaju 8 digitalnih ulaza i izlaza ili 16-bitne ulaze.

Slave profili definiraju podatke i parametre koji se mogu razmjenjivati sa uređajem, te opisuju način njegovog rada u različitim fazama komunikacije. Profilima je također definiran način adresiranja i konfiguracija priključaka *slave* uređaja, mogućnost primjene perifernog bita greške, itd.. Svakom *slave* uređaju pridružen je određeni profil koji se temelji na njegovoj I/O konfiguraciji i identifikacijskom ID kodu. Na ovaj način jednoznačno su određena svojstva *slave* uređaja.

I/O konfiguracijom definirani su priključci *slave* uređaja na sučelju 1. Moguće konfiguracije prikazane su u tablici 12.5. Priključci definirani kao ulazi označeni su u tablici sa I, izlazi su

definirani sa O, I/O predstavlja priključke koji mogu raditi kao ulazi i izlazi, a sa TRI su označeni *tristate* izlazi koji nemaju definiranu funkciju. I/O konfiguracija predstavljena je sa 4 bita, tvornički je upisana i ne može se mijenjati.

I/O KONFIGURACIJA										
Kod	D0	D1	D2	D3	Kod	D0	D1	D2	D3	
0 _{HEX}	I	I	I	I	8 _{HEX}	O	O	O	O	
1 _{HEX}	I	I	I	O	9 _{HEX}	O	O	O	I	
2 _{HEX}	I	I	I	I/O	A _{HEX}	O	O	O	I/O	
3 _{HEX}	I	I	O	O	B _{HEX}	O	O	I	I	
4 _{HEX}	I	I	I/O	I/O	C _{HEX}	O	O	I/O	I/O	
5 _{HEX}	I	O	O	O	D _{HEX}	O	I	I	I	
6 _{HEX}	I	I/O	I/O	I/O	E _{HEX}	O	I/O	I/O	I/O	
7 _{HEX}	I/O	I/O	I/O	I/O	F _{HEX}	TRI	TRI	TRI	TRI	

Tablica 12.5. I/O konfiguracija *slave* uređaja

ID kod definira tip *slave* uređaja, a sastoji se od tri dijela, aktualnog ID koda i proširenih ID1 i ID2 kodova. Aktualni ID kod uglavnom se koristi za identifikaciju *slave* uređaja koji mogu raditi u proširenom adresnom modu (kod A_{HEX}) ili uređaja koji omogućuju povećanje sigurnosti uvjeta rada (kod B_{HEX}) kao što su nužni isklopi, sigurnosni releji, senzori, itd. Aktualni ID kod je duljine 4 bita, tvornički je upisan u uređaj i ne može se mijenjati.

Prošireni ID1 kod je duljine 4 bita za standardne *slave* uređaje, a 3 bita za uređaje koji rade u proširenom adresnom modu. Korisnik ga može mijenjati po potrebi. Prošireni ID2 kod je također kao i aktualni ID kod duljine 4 bita, tvornički upisan i ne može se mijenjati. Ovim kodom su specificirane dodatne mogućnosti *slave* uređaja. Prošireni kodovi se ne koriste za *slave* uređaje koji podržavaju specifikaciju 2.04, već su oni kod ovih uređaja nadomješteni unutar F_{HEX} koda u aktualnom ID kodu.

12.5.2. AS-i naredbe

Razmjena podataka između *master* i *slave* uređaja ostvarena je cikličkim i acikličkim slanjem pojedinačnih upita *master-a* svakom uređaju na mreži. U tablici 12.6. prikazan su upiti koje *master* može uputiti *slave* uređaju po specifikaciji 2.11. Uređaji koji rade prema ovoj specifikaciji koriste adresiranje u proširenom modu tako da se za adresiranje 62 uređaja koristi još dodatno i 4. bit podataka kao seleksijski bit 'Sel' kojim je određeno da li *slave* uređaj pripada grupi A ili B. U svakoj grupi može se adresirati po 31 uređaj.

	ST	SB	ADRESA						PODACI				PB	EB
Data Request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	0	<u>Sel</u>	D2	D1	D0	PB	1
Parameter Request	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	D2	D1	D0	PB	1
Address Assignment	0	0	0	0	0	0	0	A4	A3	A2	A1	A0	PB	1
Write Extended ID1 Code	0	1	0	0	0	0	0	0	D3	D2	D1	D0	PB	1
Delete Address	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	0	<u>Sel</u>	0	0	0	PB	1
Reset Slave	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	1	0	0	PB	1
Read I/O Configuration	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	0	0	0	PB	1
Read ID Code	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	0	0	1	PB	1
Read Extended ID1 Code	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	0	1	0	PB	1
Read Extended ID2 Code	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	0	1	1	PB	1
Read Status	0	1	A4	A3	A2	A1	A0	1	<u>Sel</u>	1	1	0	PB	1
Broadcast (Reset)	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	PB	1

Tablica 12.6. Master upiti u proširenom adresnom modu

Upitima *Read I/O Configuration*, *Read ID Code* i *Read Extended ID1 i ID2 Code* master može provjeriti konfiguraciju i svojstva *slave* uređaja.

Data Request naredbom se vrši ciklička razmjena ulaznih i izlaznih podataka sa *slave* uređajem, a sa *Parameter Request* upitom se mogu aciklički poslati vrijednosti izlaznih parametara tako da se daljinski može upravljati određenim funkcijama *slave* uređaja (npr. aktiviranje vremenskih funkcija, promjene osjetljivosti detekcije senzora,...). I kod podataka i kod parametara ostaje zapisana zadnja vrijednost u *slave* uređaju sve do novog upita ili vraćanja uređaja u početno stanje (*engl. reset ili restart*). Za uređaje koji rade u proširenom adresnom modu koriste se 3 bita za parametarske upite, a za standardne uređaje 4 bita. Postavljanje uređaja u početno stanje može se ostvariti i naredbom *Reset Slave*, a sama procedura ne traje duže od 2 ms. Prijem ove naredbe *slave* uređaj uvjek mora potvrditi slanjem odgovora 6_{HEX}.

Address Assignment naredba omogućuje *master-u* upisivanje nove adrese za *slave* uređaje koji su prethodno imali adresu 00_{HEX}. U kombinaciji sa naredbom *Delete Address* ova naredba omogućuje zamjenu *slave* uređaja u tijeku rada mreže i automatsko dodjeljivanje nove adrese.

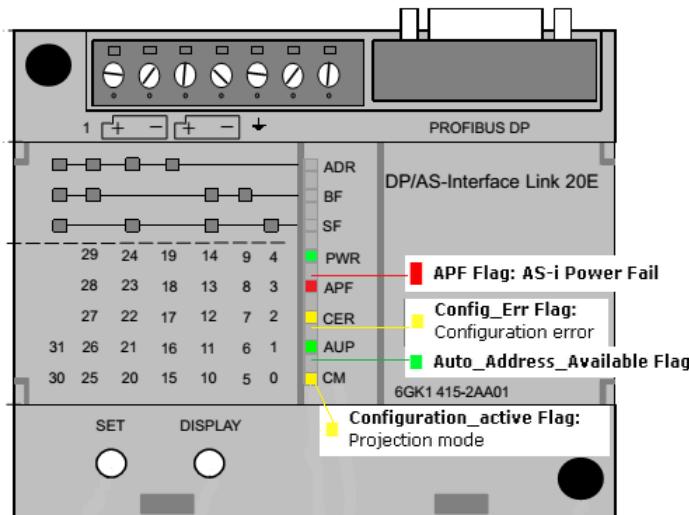
Read Status naredba se koristi za čitanje statusnih registara *slave* uređaja od kojih je najznačajniji bit periferne greške uređaja.

Broadcast naredba je definirana na način da je sadržaj bita podataka jednak 15_{HEX}. Ova naredba se šalje svim uređajima i za sada je podržana jedino naredba *Reset*.

12.5.3. AS-i master uređaji

Master uređaj pored komunikacije sa *slave* uređajima obavlja i komunikaciju sa upravljačkim uređajem mreže više razine (kontroler *fieldbus* mreže ili PC *host* stanica). Za razliku od ostalih upravljačkih uređaja *master* je potpuno auto-konfigurabilan. Korisnik naime ne mora podešavati postavke mrežne komunikacije kao što su brzina prijenosa, tipovi poruka i podataka, prava pristupa ili raditi bilo kakav oblik programiranja.

Za normalni rad *mastera* potrebno je u njemu konfigurirati samo adrese *slave* uređaja. Ovo se može ostvariti na dva načina, automatskim učitavanjem adresa već konfiguiranih *slave* uređaja spojenih na *master* ili spuštanjem predefinirane konfiguracije *slave* uređaja na *master* sa nadređenog uređaja. *Master* također tijekom rada stalno uspoređuje predefiniranu konfiguraciju *slave* uređaja sa stvarnom u polju i ako postoji razlika signalizira grešku. Ako dođe do kvara *slave* uređaja on se može zamijeniti novim bez utjecaja na komunikaciju ostalih uređaja. *Master* će novom uređaju ako ima adresu '0' automatski dodijeliti adresu zamijenjenog. Na sl.12.20. prikazan je Siemens AS-i *master* uređaj koji se koristi za povezivanje AS-i uređaja na PROFIBUS-DP mrežu.



Slika 12.20. Siemens DP/AS-i Link 20E 6GK1 415-2AA01

Rad *master* uređaja može se podijeliti na tri razine; prijenosni sloj, sloj upravljanja sekvencama ciklusa i sloj *master-a*.

- **Prijenosni sloj**

Prijenosni sloj kao najniži sloj predstavlja komunikacijsko sučelje *master-a* na AS-i liniju, a odgovoran je za razmjenu poruka sa *slave* uređajima. U nadležnosti prijenosnog sloja je također kreiranje okvira i razdvajanje podataka iz okvira kod prijema. Okvir se formira dodavanjem

početnog, završnog i paritetnog bita podacima iz upita koje sloj za upravljanje sekvencama prosljeđuje prijenosnom sloju. Kod prijema poruke odgovora podaci se prosljeđuju sloju upravljanja sekvencama samo ako je odgovor primljen bez greške s tim da se prethodno uklanjaju bitovi za formiranje okvira. Prijenosni sloj omogućuje dvije metode prijenosa, jednokratni prijenos i prijenos sa ponavljanjem.

Kod jednokratnog prijenosa prijenosni sloj signalizira odmah grešku nadređenom sloju ako *master* ne primi odgovor *slave* uređaja na vrijeme ili ga primi sa greškom. Poruka upita se kod ove vrste prijenosa ne ponavlja. Ovaj način prijenosa se koristi kod detekcije novih uređaja na mreži. Kod prijenosa sa ponavljanjem upit se ponovno šalje nakon prvog upita ako se primi odgovor sa greškom ili se odgovor uopće ne primi, a greška se signalizira nadređenom sloju tek nakon drugog neuspjelog pokušaja.

U sklopu prijenosnog sloja se nalazi i signalizacija greške APF napajanja (*engl. AS-i Power Fail*) koja daje indikaciju niskog napona napajanja linije.

▪ **Sloj upravljanja sekvencama ciklusa**

Sloj upravljanja sekvencama ciklusa vodi računa o sveukupnom radu mreže, prosljeđuje prijenosnom sloju upite *mastera*, te procesira zadaće primljene od nadređenog uređaja preko *master* sloja. Unutar ovog sloja se također ažuriraju procesni i konfiguracijski podaci za sve *slave* uređaje koji se spremaju u posebno definirana polja i liste. Na sl. 12.21. prikazana je organizacijska struktura polja i lista za *master* i *slave* uređaje.

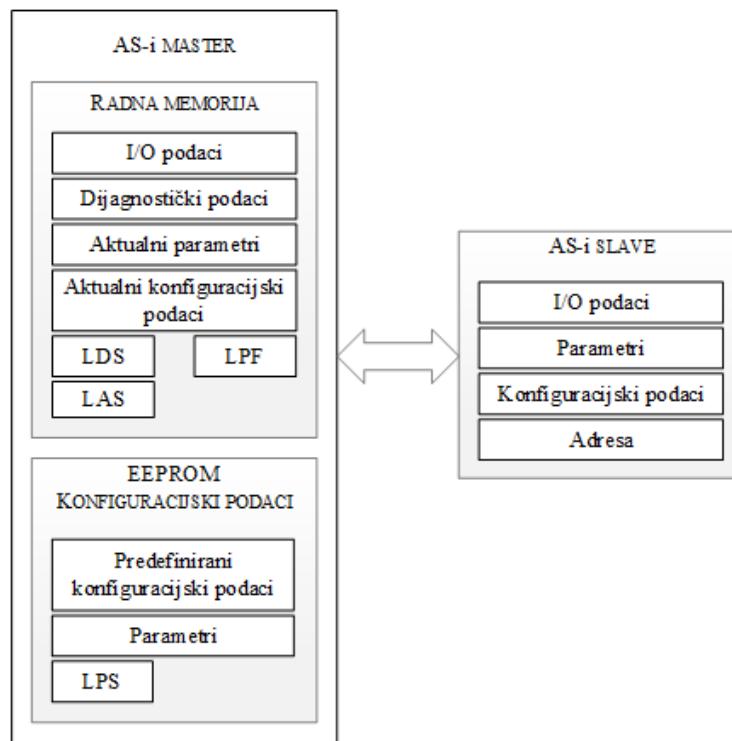
U radnoj memoriji (*engl. Data Image*) pohranjeni su aktualni podaci sa *slave* uređaja:

- I/O podaci sadrže procesne ulazne i izlazne podatke svih *slave* uređaja. Digitalni podaci su duljine 62x4 bita, a analogni duljine 31x4x3 bajta. I/O podaci se razmjenjuju samo sa uređajima koji su aktivirani.
- Aktualni parametri (PI) sadrže trenutne vrijednosti parametara *slave* uređaja duljine 62x4 bita.
- Aktualni konfiguracijski podaci (CDI) sadrže učitanu I/O konfiguraciju i ID kodove svih spojenih *slave* uređaja. Polje konfiguracijskih podataka je duljine 62x4x4 bita.
- Lista detektiranih *slave* uređaja (LDS), lista aktiviranih *slave* uređaja (LAS) i lista perifernih grešaka (LPF) sadrži po 1 bit za svaki *slave* uređaj. Bitovima su označeni uređaji koji su detektirani, aktivirani ili u kvaru.

EEPROM memorija sadržava predefinirane podatke za *slave* uređaje. Podaci u EEPROM memoriji se ne mogu mijenjati i ostaju sačuvani i nakon nestanka napajanja.

- Predefinirani konfiguracijski podaci (PCD) *slave* uređaja koriste se da bi se usporedili sa stvarnom konfiguracijom detektiranih *slave* uređaja. Podaci su duljine 62x4x4 bita.

- Parametri (PP) također sadrže konfigurirane vrijednosti parametara za sve uređaje. Polje parametara je duljine 62x4 bita.
- Lista predefiniranih *slave* uređaja (LPS) sadrži adrese svih *slave* uređaja koji bi trebali biti spojeni na AS-i mrežu. *Master* u tijeku rada stalno vrši provjeru da li su *slave* uređaji sa ove liste spojeni na mrežu i da li njihova konfiguracija odgovara predefiniranoj. Svakom *slave* uređaju je dodijeljen po 1 bit kojim je označeno da li je uređaj predviđen u konfiguraciji mreže.



Slika 12.21. Memorijска struktura polja i lista

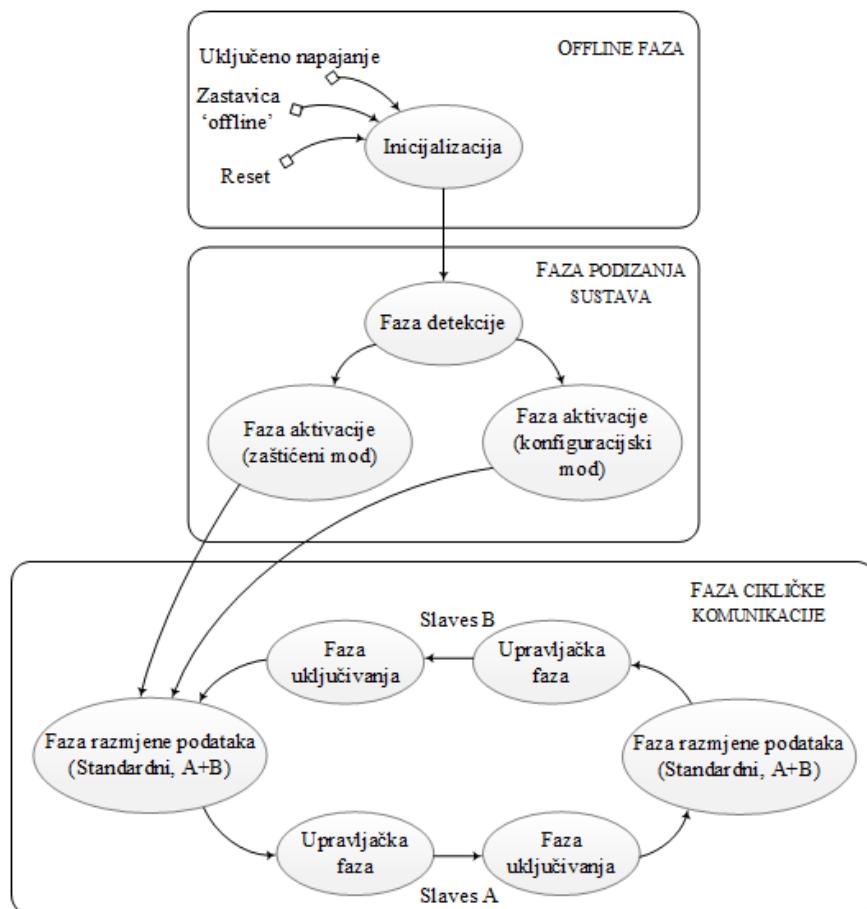
Pored ovih polja i lista sloj upravljanja sekvencama koristi dodatne bite tzv. zastavice sa kojima se nadređenom uređaju signaliziraju greške i statusi rada *master* uređaja. Kao primjer ovih zastavica mogu se izdvojiti: *Config_OK* (označava da je konfiguracija slave uređaja valjana), *Auto_Prog* (daje indikaciju da je omogućeno automatsko adresiranje), *Mode* (pokazuje da li je *master* u konfiguracijskom modu (1) ili zaštićenom modu (0)), *APF* (pokazuje da je napon na liniji ispod granice minimuma), itd.

▪ Master sloj

Master sloj sadrži AS-i funkcije prilagođene nadređenom uređaju. Na ovoj razini su kreirani profili koji definiraju funkcije koje nadređeni uređaj može koristiti u komunikaciji sa *master* uređajem.

12.5.4. Faze rada master uređaja

Rad AS-i *master-a* na mreži možemo podijeliti u tri faze promatrano od trenutka kada mu uključimo napajanje. Nakon uključenja AS-i *master-a* najprije se vrši inicijalizacija samog uređaja. U ovoj fazi rada nema komunikacije sa *slave* uređajima pa se ona naziva još i *Offline* faza. Nakon završetka inicijalizacije započinje faza podizanja AS-i sustava u kojoj se identificiraju i aktiviraju *slave* uređaji spojeni na mrežu. Samo aktivirani uređaji mogu u završnoj fazi započeti cikličku komunikaciju i razmjenu podataka sa *master* uređajem. Faze rada *master* uređaja prikazane su na sl. 12.22.



Slika 12.22. Faze rada *master* uređaja

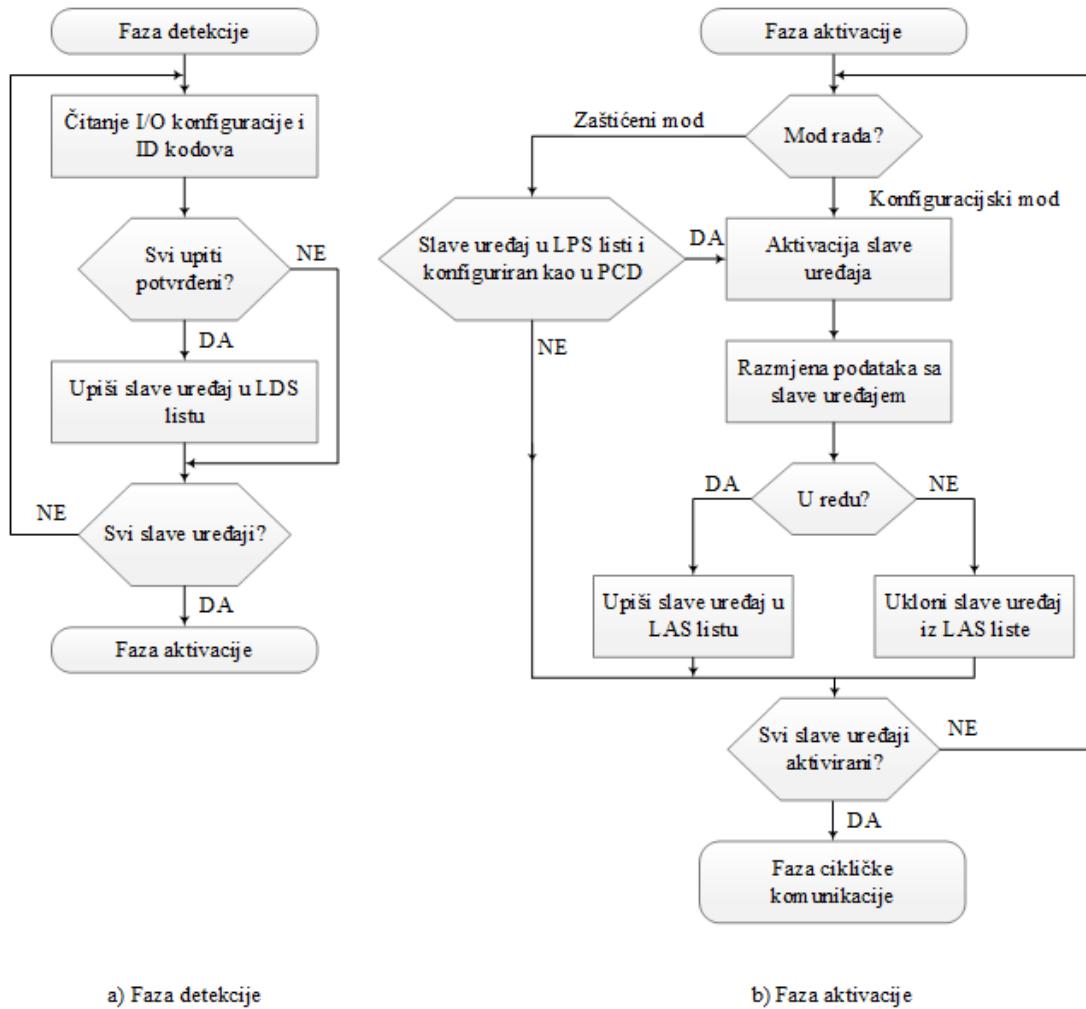
12.5.4.1. Faza inicijalizacije

Inicijalizacija AS-i *master-a* izvodi se nakon svakog uključenja uređaja ili njegovog restarta tijekom rada. Ovim postupkom se uređaj postavlja u početno stanje u kojem su deaktivirani svi digitalni ulazi i izlazi u polju podataka (ulazi su postavljeni u '0', a izlazi u '1'), te se kopiraju predefinirani parametri iz EEPROM-a u polje aktualnih parametara. Parametri se prosljeđuju *slave* uređajima u fazi aktivacije. U slučaju restarta zadržavaju se trenutne vrijednosti aktualnih parametara sa postojećim izmjenama. *Master* se može i programski dovesti u *offline* fazu

aktiviranjem zastavice 'offline' što dovodi do prekida rada mreže i njene ponovne inicijalizacije.

12.5.4.2. Faza podizanja sustava

Faza podizanja AS-i sustava (*engl. Startup*) sastoji se iz dvije faze, detekcije i aktivacije. Blok shema rada *master* uređaja u fazama detekcije i aktivacije je prikazana na sl.12.23.



Slika 12.23. Blok shema rada *master* uređaja a) faza detekcije, b) faza aktivacije

U fazi detekcije *master* pretražuje sve *slave* uređaje spojene na mreži i slanjem odgovarajućih upita provjerava njihovu I/O konfiguraciju i ID kodove. Svi uređaji koji pošalju odgovor na ove upite se evidentiraju u listi detektiranih *slave* uređaja (LDS), a njihovi I/O konfiguracijski podaci i ID kodovi se spremaju u polje aktualnih konfiguracijskih podataka.

U fazi aktivacije prethodno detektirani *slave* uređaji se aktiviraju slanjem parametarskih podataka. Aktivacija uređaja može se ostvariti na dva načina ovisno o tome da li *master* radi u konfiguracijskom ili zaštićenom modu.

U konfiguracijskom modu (*engl. Projection mode*) aktiviraju se svi detektirani *slave* uređaji izuzev onih koji imaju adresu '0'. Aktivirani uređaji se ažuriraju u listi aktiviranih *slave* uređaja (LAS).

U zaštićenom modu (*engl. Protected mode*) aktiviraju se samo detektirani *slave* uređaji koji su upisani u listu predefiniranih *slave* uređaja (LPS) i čije se I/O konfiguracije i ID kodovi podudaraju sa predefiniranim konfiguracijskim podacima. Aktivirani uređaji se ažuriraju u LAS listi, a na kraju aktivacijske faze se za svaki *slave* uređaj čija aktualna konfiguracija odgovara predefiniranoj aktivira zastavica *Config_OK*.

12.5.4.3. Faza cikličke komunikacije

Nakon završetka detekcije i aktivacije *slave* uređaja dolazi do faze normalne cikličke komunikacije između *master* i *slave* uređaja. Ciklička komunikacija se može podijeliti u tri faze: fazu razmjene podataka, upravljačku fazu i fazu uključivanja.

Budući je od ver.2.11. podržano prošireno adresiranje, *slave* uređaji su podijeljeni u dvije grupe A i B, pa se u cikličkoj komunikaciji sve faze izmjenjuju za A i B grupu uređaja, sl. 12.22.. *Slave* uređajima koji podržavaju staru specifikaciju se zato pristupa u svakom ciklusu dva puta, budući ne razlikuju adresne grupe A i B. Vrijeme ciklusa je stoga kod *slave* uređaja koji rade u proširenom adresnom modu dvostruko veći, a za uređaje starije generacije ostaje isti kao i prije.

12.5.4.3.1. Faza razmjene podataka

U fazi razmjene podataka (*engl. Data Exchange Phase*) *master* šalje pojedinačne upite svim aktiviranim *slave* uređajima. U slučaju greške u komunikaciji upit se ponavlja u tri uzastopna ciklusa (pokušaja). Nakon trećeg neuspješnog pokušaja prepostavlja se da uređaja nema ili je u kvaru pa ga se briše iz svih *master* lista (LDS - liste detektiranih *slave* uređaja i LAS - liste aktiviranih *slave* uređaja), pripadajući digitalni ulazi se u polju podataka za dotični uređaj postavljaju u nulu i zastavica *Config_OK* se deaktivira. Ovakvom metodom provjere greške smanjen je utjecaj smetnji na pouzdanost prijenosa signala.

12.5.4.3.2. Upravljačka faza

Upravljačka faza (*engl. Management Phase*) izvodi se nakon završetka faze razmjene podataka, a koristi se za slanje acikličkih poruka kao što su:

- Podešavanje parametara
- Čitanje statusa *slave* uređaja
- Čitanje I/O konfiguracije
- Čitanje ID kodova
- Upisivanje proširenog ID1 koda
- Podešavanje adrese *slave* uređaja na 0
- Promjena adrese *slave* uređaja
- Reset *slave* uređaja
- Slanje *Broadcast* upita

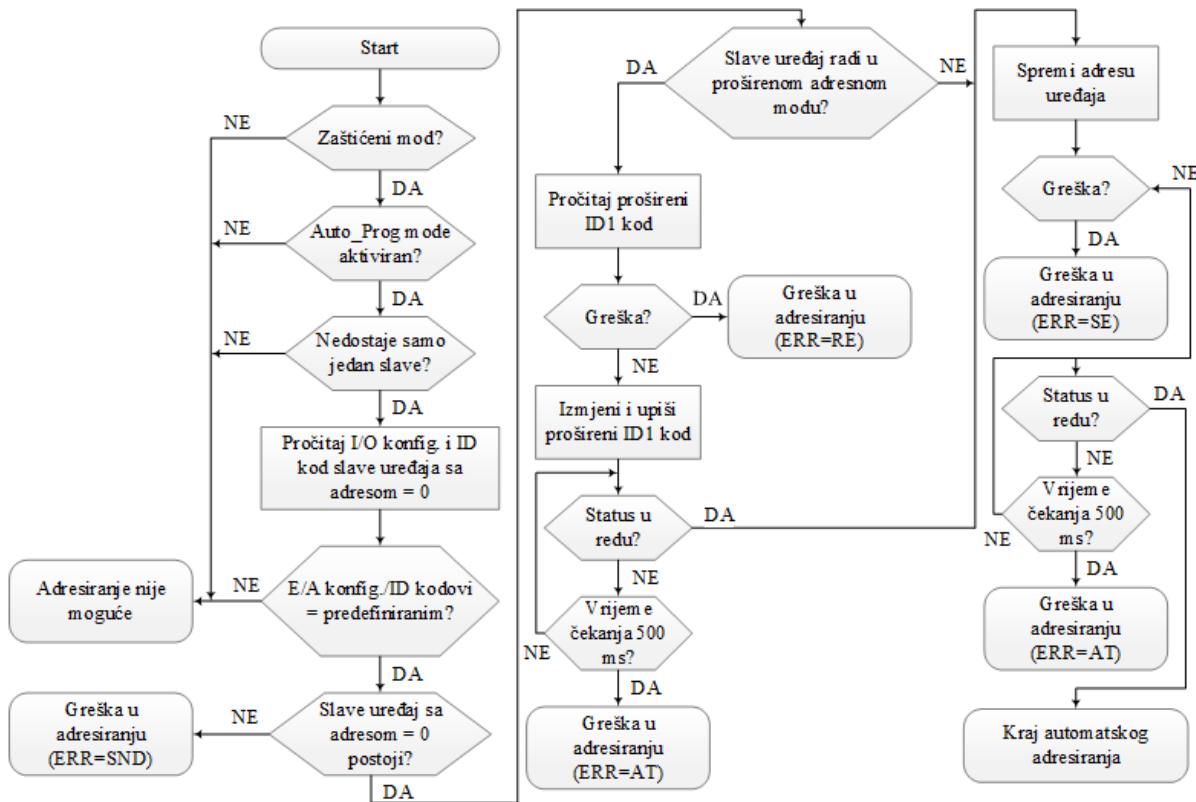
Slanje acikličkih poruka ostvareno je na način da se u svakom ciklusu može poslati samo po jedan upit, a ako je potrebno izvršiti složenije zadaće kao što su npr. promjena parametara ili promjena adrese *slave* uređaja, upiti i podaci se šalju kroz više ciklusa. Ako nema zahtjeva za slanje acikličkih poruka od *master-a* ili nadređenog uređaja više razine ova faza se ne koristi i prelazi se odmah na slijedeću fazu uključivanja.

12.5.4.3.3. Faza uključivanja

U fazi uključivanja (*engl. Inclusion Phase*) na kraju svakog ciklusa se pretražuju novi *slave* uređaji spojeni na mrežu, provjeravaju već aktivirani uređaji kao i njihove informacije o statusu periferne greške. Postupak detekcije i aktivacije novih *slave* uređaja se provodi na isti način kao i u fazi podizanja sustava jedino se upiti šalju kroz više ciklusa unutar ove faze.

12.5.4.5. Automatsko adresiranje

Automatsko adresiranje omogućuje korisniku zamjenu *slave* uređaja na AS-i mreži bez potrebe korištenja posebne procedure ili programiranja. Zamjena je moguća samo sa uređajem istog tipa (sa istom I/O konfiguracijom i ID kodovima) čija je adresa podešena na '0'. Automatsko adresiranje može se provesti samo ako *master* radi u zaštićenom modu. Opcija automatskog adresiranja odnosno zastavica *Auto_Prog* mora u tom slučaju biti aktivirana, a u listi aktiviranih uređaja smije nedostajati samo jedan uređaj i to onaj kojega mijenjamo. Status *master-a* u modu automatskog adresiranja je vizualno naznačen pomoću zastavice *Auto_Prog_Available* odnosno LED indikacije AUP na *master* uređaju, sl. 12.20. Uz sve navedene uvjete kada se novi *slave* uređaj sa adresom '0' spoji na mrežu sloj upravljanja sekvencama u *master* uređaju će poslati naredbu *Change_operating_address* sa kojom će novom uređaju biti pridjeljenja adresa onog kojeg smo zamijenili. Procedura automatskog adresiranja je prikazana shematski na sl. 12.24.

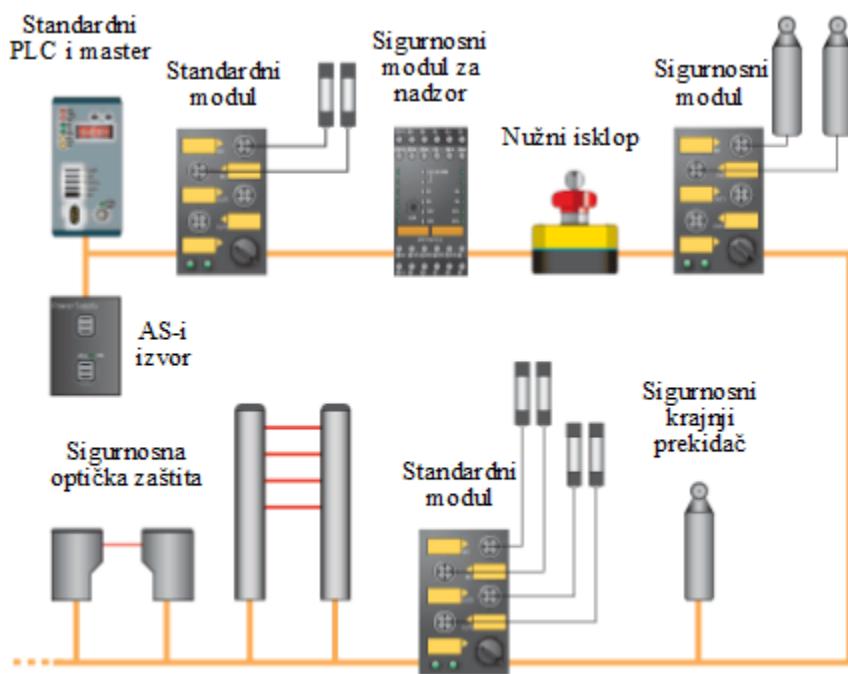


Slika 12.24. Automatsko adresiranje

12.6. AS-i sustav sigurnosti u radu

AS-i sustav sigurnosti u radu (*engl. Safety at work*) omogućuje da sigurnosne komponente kao što su nužni isklopi, sigurnosne barijere, sigurnosni krajnji prekidači, i sl. budu spojeni direktno na AS-i mrežu. Cilj je dodatno omogućiti funkcionalnosti vezane uz sigurnost osoblja i opreme. Također nije potrebno mijenjati ili proširivati postojeći sustav, jer sigurnosne komponente i nadzor sustava rade sa standardnim AS-i protokolom.

Za integraciju sigurnosnih uređaja u AS-i sustav dovoljno je ugraditi komponente kao što su sigurnosni uređaji za nadzor i sigurnosni *slave* uređaji. Naime nema potrebe za ugradnju posebnog *master* uređaja jer on komunicira sa sigurnosnim *slave* uređajima kao sa standardnim. Uloga sigurnosnog uređaja za nadzor je da nadgleda ovu komunikaciju, preuzima informacije koje se odnose na sigurnosne uređaje te odlučuje pod kojim je uvjetima moguće pokrenuti ili isključiti određeni uređaj ili stroj. Nadzorni uređaj ne utječe na mrežni promet već ga samo nadgleda kako bi provjerio da li su nastupili uvjeti sigurnosti u radu. Oprema i pogon mogu se podesiti na uvjete sigurnosnog rada podešavanjem izlaza sigurnosnog nadzornog uređaja. Primjer mreže sa sigurnosnim komponentama prikazan je na slici 12.25.



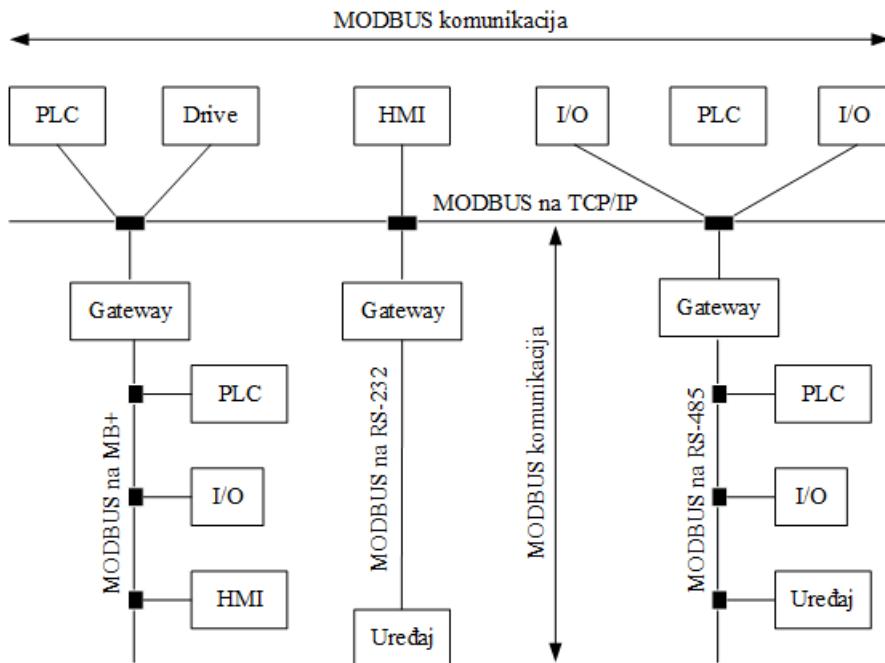
Slika 12.25. Sigurnosne i standardne komponente u AS-i mreži

Literatura

- [1] AS-International Association (2002.) *AS-Interface The Automation Solution*.
- [2] Siemens AG. (2014.) *Siematic Net AS-i Interface – Introduction and Basics*, Germany: Siemens AG.
- [3] Hinnah, F., Schneider, B. (2012.) *AS-i Interface manual, tips and tricks for users Edition 2.2*, IFM Electronic.
- [4] InterlinkBT (2002.) *AS-Interface Tutorial rev.01*.
- [5] WEB: *Knowledge Base, Academy*, <http://www.as-interface.net>
- [6] WEB: *SMAR Tutorial on the AS-i Technology*, <http://www.smar.com/en/asi/>

13. ModBus

Modbus je serijski komunikacijski protokol koji omogućuje komunikaciju između uređaja povezanih na različite sabirnice ili mreže. Komunikacija može biti ostvarena u različitim mrežnim konfiguracijama, na serijskoj liniji ili na TCP/IP mrežama te sa različitim tipovima uređaja (PLC, HMI, I/O uređaji, upravljački paneli, motori,...), kao što je prikazano na sl. 13.1.



Slika 13.1. Modbus mrežna arhitektura

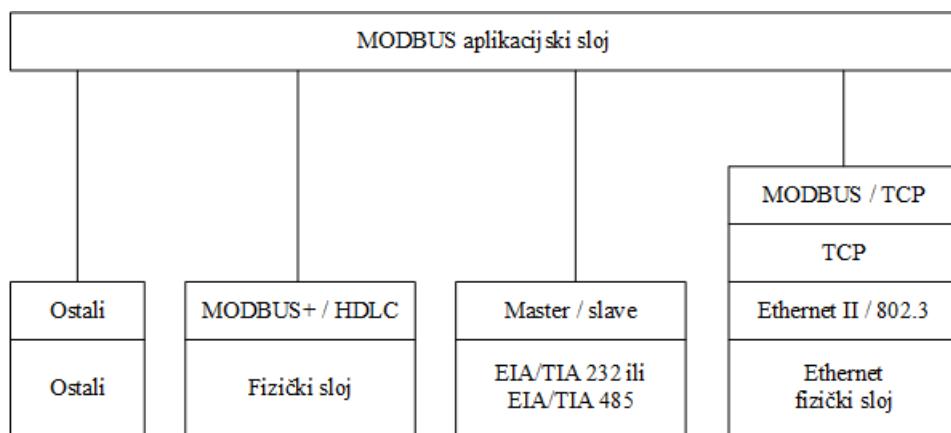
Modbus protokol funkcioniра на razini aplikacijskog sloja, odnosno 7. sloja OSI modela. Protokol je razvila tvrtka AEG-Modicon 1979. god. i od tada predstavlja industrijski serijski *de facto* standard. Modicon je danas sastavnica AEG Schneider Automation odnosno Schneider Electrics grupacije. *De facto* standard označava termin da je protokol opće prihvacen u industriji ali nije službeno standardiziran. Proizvođači u tom slučaju moraju jamčiti da su im uređaji kompatibilni sa Modbus protokolom.

Sam protokol određuje strukturu poruke koju uređaji mogu prepoznati bez obzira na tip mreže te način na koji će uređaji pročitati poruku i na nju primjereno reagirati. Modbus serijski protokol je zasnovan na *master-slave* komunikaciji pri čemu *master* uređaj uvijek započinje i upravlja prijenosom. Protokol podržava komunikaciju jednog *master-a* i 247 *slave* uređaja. Kada se Modbus koristi u komunikaciji na drugim mrežama, kao npr. Ethernetu, dijelovi Modbus poruke se utiskuju u protokole drugih mreža kao paketi podataka.

Modbus danas nalazi primjenu u:

- TCP/IP Ethernet klijent-server komunikaciji
- Asinkronoj serijskoj komunikaciji preko različitih prijenosnih medija kao što su EIA/TIA 232, EAI/TIA 422, EIA/TIA 485, optičkih kabela i radio prijenosa
- Modbus Plus, *token passing* mrežama velikih brzina

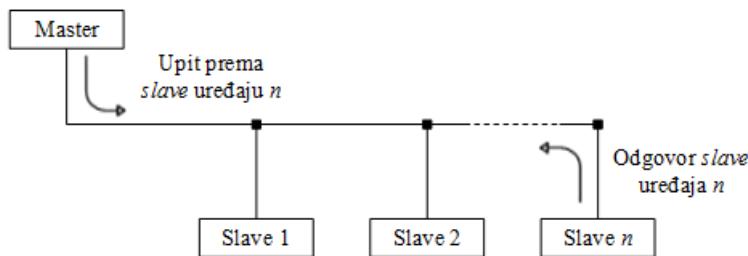
Na sl. 13.2. je prikazana primjena Modbus komunikacijskog stoga stoga korištenjem TCP/IP, *master-slave* i Modbus Plus fizičkog sloja.



Slika 13.2. Modbus komunikacijski stog

13.1. Modbus komunikacija

Modbus protokol zasnovan je na serijskoj komunikaciji između *master* i *slave* uređaja. Master nema adresu, a svakom *slave* uređaju se može pridružiti jedinstvena adresa u rasponu od 1 do 247. Komunikacija je ostvarena na način da *master* šalje upit ili naredbu (*engl. Query*) pojedinačno *slave* uređajima ili može poslati *broadcast* poruku svim *slave* uređajima odjednom, sl. 13.3.



Slika 13.3. Modbus komunikacija

Ako je poruka upućena određenom *slave* uređaju on će na nju odgovoriti (*engl. Response*) potvrdom prijema, provedbom naredbe ili slanjem traženih podataka. Ukoliko *slave* uređaj ne

može provesti upit ili naredbu odgovor će sadržavati poruku greške, tzv. *exception response*. U poruci greške sadržana je adresa *slave* uređaja, primljeni upit ili naredba te razlog zbog kojeg oni nisu provedeni. Ako *slave* uoči grešku kod prijema poruke, ona neće biti prihvaćena. Na ovaj način osigurano je da *slave* neće provesti upit ili naredbu koja je upućena drugom *slave* uređaju. Ako *master* ne primi odgovor, upit odnosno naredba biti će ponovo poslani. Izuzetak od ovih pravila su *broadcast* poruke, koje se šalju svim *slave* uređajima odjednom i na njih nije potrebno odgovarati. Adresa 0 je u tom slučaju rezervirana kao *broadcast* adresa za sve *slave* uređaje.

U praksi broj *slave* uređaja koji se može koristiti određen je odabranim sučeljem. Na primjer, EIA-485 je ograničen na 31 *slave* uređaj. Standardni Modbus uređaji upotrebljavaju serijsko sučelje EIA-232C, EIA-422 ili EIA-485, a u novije vrijeme i Ethernet. Izbor sučelja definira priključke konektora, tip kabela, razine signala, brzinu prijenosa, jer to nije u definiciji Modbus protokola.

13.2. Modbus i OSI model

U usporedbi sa OSI modelom Modbus komunikacijski protokol preko serijske linije koristi tri sloja 1,2 i 7, tablica 13.1.

SLOJEVI OSI MODELA	MODBUS SLOJEVI
7. Aplikacijski sloj	Modbus aplikacijski protokol
3.-6. sloj	Ne koristi se
2. Podatkovni sloj	Modbus serijski protokol
1. Fizički sloj	EIA-232, EIA-485

Tablica 13.1. Modbus slojevi i OSI model

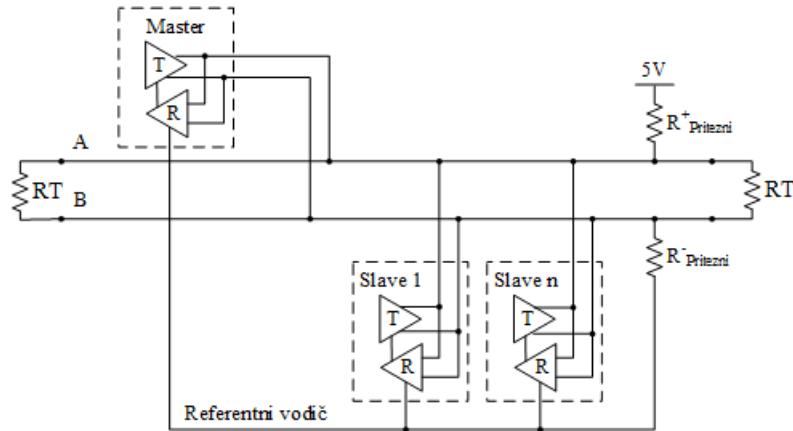
Aplikacijski sloj zasniva se na Modbus protokolu koji definira način komunikacije. Budući se Modbus oslanja na aplikacijski sloj pri slanju i prijemu poruke slojevi 3-6 se ne koriste. Podatkovni sloj definira strukturu poruke u ovisnosti o ASCII ili RTU načinu komunikacije.

13.3. Fizički sloj

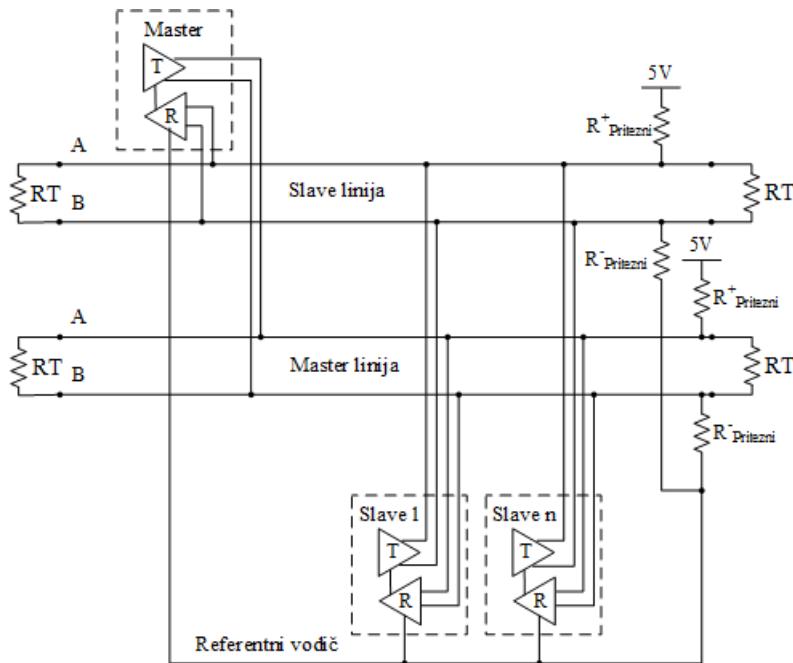
Modbus je izvorno osmišljen za EIA-232C *point-to-point* komunikaciju između računala i PLC-a uz maksimalni domet do 20-tak metara. Sa razvojem standarda EIA-485 omogućeno je paralelno povezivanje većeg broja uređaja dvožilnim ili četverožilnim kabelom. EIA-485 zahtjeva i povezivanje dodatnog zajedničkog referentnog vodiča na sve uređaje kako se ne bi

prekoračio maksimalni CMV (*engl. Common-Mode Voltage*) na ulazu uređaja. Na liniju mogu biti povezana 32 uređaja uključujući jedan *master*. U oba slučaja moguće je postići brzine komunikacija od 1.2 do 115 kbps. Svaka konfiguracija mora podržavati brzine 9.6 i 19.2 kbps mada se brzina 19.2 kbps koristi kao osnovna.

Dvožilna i četverožilna konfiguracija ostvarena je samo s obzirom na razliku serijskih sučelja koji se koriste i ne osigurava mogućnost istovremene dvosmjerne komunikacije jer Modbus radi isključivo u *master-slave* modu. Upotreboom dva vodiča upit i odgovor se šalju po istoj liniji, sl. 13.4., a kod četiri vodiča upit se šalje preko jedne a odgovor preko druge linije, sl. 13.5. Zajednički vodič koji je neophodan obično se ne prikazuje u dijagramima.



Slika 13.4. Modbus EIA-485 dvožična komunikacija



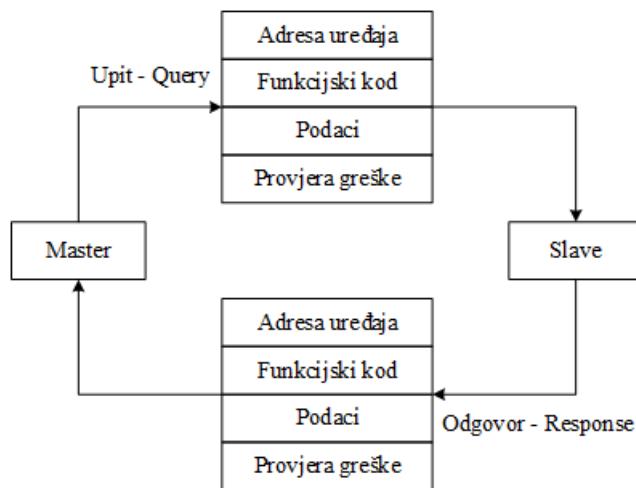
Slika 13.5. Modbus EIA-485 četverožična komunikacija

Linije su zaključene otpornicima impedancije koja je jednaka karakterističnoj impedanciji linije, tipično 100Ω , da bi se spriječile refleksije i fluktuacije signala na kabelu. U praksi na kratkim linijama i sa malim brzinama prijenosa obično se zaključni otpornici ne trebaju stavlјati.

Kod EIA-485 pogrešna polarizacija spojenih vodiča ne može oštetiti uređaje ali komunikacija neće raditi. Zajednički vodič potreban je za slučaj kada ne postoji komunikacija na liniji. Tada je linija u nedefiniranom stanju i prisustvo šuma može biti interpretirano kao poruka. Da bi se to izbjeglo linija se štiti tzv. *biasing*-om kojim se linija priteže u definirano stanje i na taj način reducira šum. Ovo je izvedeno pomoću priteznih otpornika (engl. *Pull-up* i *Pull-down*) čija preporučena vrijednost iznosi između 450 i 650 Ω . Pojedini primopredajnici (engl. *Transceivers*) već imaju ugrađene pritezne otpornike tako da ih nije potrebno stavlјati posebno na linije.

13.4. Struktura Modbus poruke

Svaka poruka, Upit (engl. *Query*) ili Odgovor (engl. *Response*), je po strukturi jednaka i sastoji se od 4 dijela: adrese uređaja, funkcijskog koda, polja podataka i dijela koji se odnosi na provjeru ispravnosti primljene poruke, sl. 13.6.



Slika 13.6. Modbus ciklus Upita i Odgovora

Upit (engl. *Query*): Funkcijski kod u upitu daje nalog adresiranom uređaju što treba uraditi, a podaci sadrže sve informacije potrebne *slave-u* za izvršenje upita. Podaci iz upita mogu npr. sadržavati informaciju koje registre treba pročitati. Polje provjere ispravnosti primljenog upita daju mogućnost *slave-u* da ustanovi valjanost poruke.

Odgovor (*engl. Response*): Odgovor *slave-a* je istovjetan upitu ako je sve u redu. Funkcijski kod je u tom slučaju jednak, a jedina razlika je u podacima koje je prikupio *slave* na upit, kao što su sadržaj registara, statusi i sl. U slučaju greške *slave* će promijeni funkcijski kod i poslati *master-u* odgovor greške koji u podacima sadrži kod kojim je opisana greška. Polje provjere ispravnosti primljenog odgovora daju mogućnost *master-u* da ustanovi valjanost poruke.

13.4.1. Adresa uređaja

Adresa uređaja predstavljena je sa dva znaka kod ASCII prijenosa, ili sa 8 bitova kod RTU prijenosa. *Slave* uređaji mogu koristiti adrese u rasponu od 1 do 247, dok je adresa „0“ rezervirana za *broadcast* poruke. *Master* u adresno polje poruke upisuje adresu slave uređaja kojem je poruka upućena, a *slave* u adresno polje odgovora upisuje svoju adresu te na taj način ukazuje *masteru* koji uređaj je poslao odgovor. U slučaju *broadcast* poruke svi slave uređaji je prihvataju ali na nju ne odgovaraju.

13.4.2. Funkcijski kod

Funkcijski kod predstavljen je sa dva znaka kod ASCII prijenosa, ili 8 bitova kod RTU prijenosa. U poruci koju *master* šalje *slave* uređaju on definira što *slave* uređaj mora izvršiti. Primjeri naredbi koje *master* može poslati *slave* uređaju su provjera statusa ulaza, čitanje sadržaja registara, dijagnostička provjera slave uređaja, pisanje u registre, promjena stanja izlaza, učitavanje, snimanje ili provjera programa samog kontrolera, itd.

Slave uređaj u odgovoru vraća funkcijski kod nepromijenjen, ako je poruka primljena u redu, a u slučaju nemogućnosti izvršenja naredbe šalje poruku greške (*engl. exception response*). U poruci greške šalje se isti funkcijski kod ali sa najznačajnijim bitom postavljenim u „1“. Dodatne informacije o grešci se prosljeđuju kroz polje podataka. *Master* može na osnovu njih pokrenuti odgovarajuću dijagnostiku, ponovno poslati upit, proslijediti alarm korisniku i sl.

Funkcijski kod može biti u rasponu od 1 do 255, a ovisno o tipu uređaja zavisi i koji su kodovi podržani. Kodovi u rasponu od 128 do 255 su rezervirani i koriste se za poruke greške.

13.4.3. Polje podataka

Polje podataka kreira se od parova heksadecimalnih znamenki (0x00 do 0xFF), pri čemu one mogu, ovisno o načinu prijenosa, predstavljati par ASCII znakova ili jedan RTU znak. *Master* u ovaj dio poruke upisuje adrese registara ili statusnih bita kojima treba pristupiti, te broj

traženih podataka. Ako *master* šalje podatke koje treba upisati u *slave* uređaj, tada se u polje podataka upisuje broj bajtova podataka a potom i sami podaci. Za neke naredbe *slave* uređajima dovoljno je upisati samo funkcijski kod, tako da odredene poruke ne sadrže polje podataka. *Slave* uređaj u podatkovnom dijelu odgovora šalje tražene podatke, odnosno kod greške ako iz nekog razloga nije u mogućnosti izvršiti primljenu naredbu. Podatkovni dio u upitu izražen je vrijednošću početne adrese bita/registra, brojem bita/registara (0-255) koje se želi pročitati ili upisati te samim podacima. Svaki bajt podataka u upitu predstavljen je u obliku gornjeg i donjeg bajta (0-255). U odgovoru podaci se šalju redom prema zahtjevu počev od prvog bajta, a izraženi su na način da se upisuje najprije vrijednost ukupnog broja podataka u bajtima iza koje slijede podaci upisani po bajtima kao vrijednost razdijeljena u gornji i donji bajt (0-255).

13.4.4. Provjera greške

Provjera ispravnosti slanja poruke provodi se na razini svakog poslanog znaka provjerom pariteta te na razini poslane cijele poruke pomoću LRC proračuna (*engl. Longitudinal Redundancy Check*) za ASCII prijenos odnosno CRC proračuna (*engl. Cyclical Redundancy Check*) za RTU prijenos.

Proračun provodi *master* pri slanju poruke i upisuje rezultat na kraj poruke (prije znaka koji označava kraj). *Slave* uređaj kod primitka poruke ponovno proračunava LRC odnosno CRC vrijednost i uspoređuje rezultat s onim koji je *master* poslao. Ako se rezultati razlikuju, znači da je došlo do greške tijekom prijenosa podataka.

13.5. Vrste Modbus serijskog prijenosa

Modbus protokol definira dva načina prijenosa podataka, ASCII i RTU, koji opisuju način pakiranja podataka u poruku i njihovo dekodiranje. Način prijenosa potrebno je podesiti prilikom konfiguracije mreže i ono mora biti isto za sve uređaje spojene na mrežu.

13.5.1. ASCII

Kod ASCII (*engl. American Standard Code for Information Interchange*) prijenosa podataka svaki bajt se šalje kao dva ASCII znaka, a svaki znak je predstavljen sa jednom heksadecimalnom znamenkom (0..9 ili A..F). Naime poruka je kodirana u heksadecimalnom obliku, a prikazana u ASCII formatu. Za svaki bajt informacije potrebna su dva ASCII znaka jer svaki znak definira samo 4 bita u heksadecimalnom sustavu. Pri tome se svaki ASCII znak pakira u okvir od 10 bita prema sl. 13.7. na način da imamo:

- 1 start bit
- 7 bitova podataka poredanih od najmanje značajnog (LSB) ka najznačajnijem bitu (MSB)
- 1 paritetni bit
- 1 stop bit (ako je odabrana opcija provjere pariteta), odnosno 2 stop bita (ako nije odabrana opcija provjere pariteta)



Slika 13.7. Struktura okvira ASCII znaka sa i bez pariteta

ASCII poruka formira se na način da se za početak poruke šalje znak dvotočke (:), heksadecimalno 3A, a za kraj poruke dvoznak CRLF (*engl. carriage return-line feed*), heksadecimalno 0D&0A. Svi znakovi iz ostalih polja moraju bit predstavljeni heksadecimalnim znamenkama 0-9 ili A-F. Znakovi se šalju uzastopno uz mogućnost razmaka do 1 sekunde a da uređaj to ne detektira kao grešku. Za provjeru ispravnosti prijenosa poruke koristi se LRC metoda.

Uređaji na mreži kontinuirano nadziru mrežnu sabirnicu i čekaju da se pojavi znak za početak poruke. Nakon pojave dvotočke, svi uređaji pročitaju adresni dio poruke da bi provjerili kome je poruka upućena. Struktura poruke prikazana je na sl. 13.8.

Početak poruke	Adresa	Funkcijski kod	Podaci	LRC	Kraj poruke
1 znak - :	2 znaka	2 znaka	N znakova	2 znaka	2 znaka - CrLf

Slika 13.8. Struktura ASCII poruke

13.5.2. RTU

Kod RTU (*engl. Remote Terminal Unit*) prijenosa podataka svaki bajt se šalje kao dvije heksadecimalne znamenke koje se prenose izravno bez konverzije u ASCII format. Obe heksadecimalne znamenke se šalju u istom okviru, što omogućuje veći protok podataka pri istoj brzini prijenosa u odnosu na ASCII prijenos.

Svaki RTU bajt pakiran je u okvir od 11 bita prema slici 13.9. na način da imamo:

- 1 start bit
- 8 bita podataka poredanih od najmanje značajnog (LSB) ka najznačajnijem bitu (MSB)
- 1 paritetni bit
- 1 stop bit (ako je odabrana opcija provjere pariteta), odnosno 2 stop bita (ako nije odabrana opcija provjere pariteta)



Slika 13.9. Struktura RTU okvira sa i bez pariteta

Početak i kraj poruke kod RTU prijenosa označen je pauzama u komunikaciji u vremenskom trajanju od barem 3.5 heksadecimalne znamenke. Vrijeme trajanja znamenke određeno je podešenom brzinom prijenosa Modbus mreže (na sl.3.10. je to označeno kao T1-T2-T3-T4). U RTU komunikaciji uređaji konstantno nadziru mrežnu sabirnicu, a kad se detektira pauza veća od 3.5 intervala heksadecimalne znamenke svi uređaji provjeravaju prvi bajt poruke tj. adresu da bi ustanovili kome je poruka upućena. Cijela poruka se šalje u kontinuiranom nizu. Ako se u tijeku prijenosa poruke pojavi pauza dulja od 1.5 vremenska intervala znamenke, prijemni uređaj će to shvatiti kao grešku te će izbrisati do tada primljenu poruku i pripremiti se za prijem nove poruke. Ako nova poruka započne unutar vremena manjeg od 3.5 intervala znamenke nakon završetka prethodne poruke, prijemni uređaj je neće prepoznati kao novu poruku, već kao nastavak prethodne, što će uzrokovati grešku. Za provjeru ispravnosti poruke upotrebljava se CRC metoda. Struktura poruke prikazana je na slici 13.10.

Početak poruke	Adresa	Funkcijski kod	Podaci	CRC	Kraj poruke
T1-T2-T3-T4	8 bita	8 bita	N x 8 bita	16 bita	T1-T2-T3-T4

Slika 13.10. Struktura RTU poruke

13.6. Metode provjere greške

Modbus protokol koristi tri metode provjere greške:

- Provjeru pariteta
- LRC metodu (*engl. Longitudinal Redundancy Check*)
- CRC metodu (*engl. Cyclical Redundancy Check*)

U slučaju pojave greške tijekom prijenosa podataka adresirani *slave* uređaj neće reagirati na poslanu poruku. U tu svrhu *master* ima konfiguirano vrijeme neaktivnosti (*engl. timeout*) unutar kojeg mora primiti odgovor *slave* uređaja. Ovo vrijeme mora biti dovoljno dugo da *slave* uređaj može poslati odgovor. Nakon isteka tog vremena *master* će prekinuti komunikaciju, a isto će se dogoditi i ako *master* adresira nepostojeći *slave*.

13.6.1. Provjera pariteta

Provjera pariteta može biti konfiguirana kao parna i neparna. Provodi se na razini svakog poslanog znaka a zasniva se na broju jedinica sadržanih u svakom bajtu podataka (7 bita za ASCII ili 8 bita za RTU) uključujući i paritetni bit. Paritetni bit će biti postavljen na 0 ili 1 ovisno o odabranoj provjeri pariteta i da li je ukupan broj jedinica paran ili neparan. Pogledajmo primjer RTU prijenosa u kojem polje podataka sadrži sekvencu 1001 1101 u kojoj je ukupan broj jedinica 5. Paritetni bit će biti u ovom primjeru postavljen na 0 uz odabrani neparni paritet, a na 1 uz odabrani parni paritet.

13.6.2. LRC

LRC metoda koristi se kod ASCII prijenosa. Primjenjuje se na sadržaj cijele poruke sa izuzetkom znakova „dvotočke“ i CRLF, koji predstavljaju početak i završetak poruke. Polje LRC sadrži 1 bajt predstavljen u obliku 2 ASCII znaka. Proračun se vrši zbrajanjem svih bajtova poruke uz odbacivanje bitova prijenosa, a zatim se nad konačnim rezultatom vrši postupak dvojnog komplementiranja. Naime LRC je 8-bitno polje tako da sumiranje bajtova koje rezultira vrijednosti većoj od 255 dovodi do upisivanja manje vrijednosti budući se nepostojeći deveti bit automatski odbacuje.

Proračun LRC izvodi se na sljedeći način:

1. Zbroje svi bajtovi u 8-bitnu vrijednost bez „dvotočke“ i CRLF znaka uz odbacivanje prijenosa.

2. Oduzme se ova vrijednost od vrijednosti 0xFF (sve jedinice) da bi se dobila vrijednost jediničnog komplementa.
3. Ovoj vrijednosti se pribroji 1 da se dobije dvojni komplement.

Ovako dobivena vrijednost se upisuje u LRC polje poruke na način da se prvo upisuje značajniji znak, a potom manje značajan kao što je to prikazano na sl. 13.11. za vrijednost LRC polja 0x53 (0101 0011) :

:	Adr.	Funkc kod	Br. Bajta Podataka	Podaci	Podaci	Podaci	Podaci	LRC gornji	LRC donji	CR	LF
								5	3		

Slika 13.11. LRC provjera

13.6.3. CRC

CRC metoda koristi se kod RTU prijenosa. Primjenjuje se na cijelu poruku, ali se u proračun uzima u obzir samo osam podatkovnih bitova svake riječi, dakle bez start, stop i paritetnih bita. CRC se sastoji od dva bajta koji se postavljaju na kraj poruke, pri čemu se prvo upisuje niži, a potom viši bajt.

Proračun CRC polja izvodi se na sljedeći način:

1. 16-bitni CRC registar napuni se jedinicama, 0xFFFF.
2. Sa prvim bajtom poruke i donjim bajtom 16-bitnog CRC regista vrši se operacija Ekskluzivno ILI (XOR) i vrijednost zapiše u CRC registar.
3. Rezultat se pomakne za jedan bit u smjeru najmanje značajnog bita (LSB), a u najznačajniji bit (MSB) upiše se nula.
4. Provjeri se stanje LSB bita.
 - Ako je $LSB = 0$ ponavlja se postupak 3. i pomicanje sadržaja regista.
 - Ako je $LSB = 1$ provede se operacija XOR regista i vrijednosti 0xA001 (1010 0000 0000 0001)
5. Postupak 3. i 4. ponavlja se dok se ne izvrši pomak svih 8 bita u bajtu.
6. Koraci 2. do 5. se ponavljaju za sve bajtove uključene u poruku.
7. Konačni sadržaj 16-bitnog CRC regista je vrijednost CRC polja.
8. Kod upisivanja vrijednosti u CRC polje poruke donji i gornji bajt regista imati će zamijenjena mesta. Najprije se upisuje donji bajt, a zatim gornji, kao što je prikazano na sl. 13.12., kada je vrijednost CRC polja jednaka 0x2517 (0010 0101 0001 0111):

**Slika 13.12.** CRC provjera

13.7. Modbus struktura registara

U Modbus protokolu podaci (konfiguracijski, ulazni, izlazni, ...) se na *slave* uređajima spremaju u niz definiranih statusnih bita i registara, čije su adrese specificirane po namjeni. Uobičajena struktura registara je prikazana u tablici 13.2. ali nije obvezatna za proizvođače.

ADRESA	OPIS
00001 - 10000	Čitanje/Upisivanje digitalnih izlaza (engl. Coil)
10001 - 20000	Čitanje digitalnih ulaza
30001 - 40000	Čitanje ulaznih 16-bitnih registara (analogni signali)
40001 - 50000	Čitanje/Upisivanje 16-bitnih holding registara (najčešće konfiguracijski podaci)

Tablica 13.2. Modbus struktura registara

Svi upiti (naredbe) *mastera* koji se odnose na čitanje ili upisivanje određenih ulaza, izlaza ili registara uvijek koriste adrese, a ne njihov aktualni broj. Adresno područje i namjena definirani su kroz funkcijski kod poruke. Naime svaki funkcijski kod pridijeljen je odgovarajućem adresnom opsegu registara, tablica 13.3. Funkcijski kod koji prethodi podacima u poruci specificira na koje registre se operacija odnosi tako da nije potrebno dodatno unositi egzaktni broj registra. Sve adrese u Modbus porukama se definiraju u odnosu na početnu nultu adresu kao što je to objašnjeno u primjerima u nastavku. Adrese su izražene u heksadecimalnom formatu.

- Prvi digitalni izlaz (*engl. Coil 1*) adresira se kao 0x0000 u Modbus poruci.
- Digitalni izlaz 118 (*engl. Coil 118*) biti će adresiran kao 0x0075 (117 decimalno).
- Holding registar 40001 adresira se kao registar 0x0000 u adresnom polju poruke.
- Holding registar 40110 adresiran je kao registar 0x006D (109 decimalno).

13.8. Modbus funkcijski kodovi

Funkcijskim kodovima definiraju se u poruci radnje koje *slave* uređaji moraju izvršiti. Kodovi mogu biti u rasponu od 1 do 255, s tim da su vrijednosti od 128 do 255 rezervirane za poruke greške. Ovisno o tipu uređaja zavisi i koji su kodovi podržani. U praksi najveći broj uređaja koristi samo 20-tak kodova. Najčešće korišteni kodovi dani su u tablici 13.3.

KOD	1 / 16-BITNI	OPIS	REGISTRI
01	1-bitni	Čitanje digitalnih izlaza	00001 - 10000
02	1-bitni	Čitanje digitalnih ulaza	10001 – 20000
03	16-bitni	Čitanje holding registara	40001 - 50000
04	16-bitni	Čitanje ulaznih registara	30001 - 40000
05	1-bitni	Upisivanje u pojedinačni digitalni izlaz	00001 - 10000
06	16-bitni	Upisivanje u pojedinačni registar	40001 – 50000
07	16-bitni	Čitanje statusa greške	Prikiven
08	16-bitni	Dijagnostika – Resetiranje <i>slave-a</i>	Prikiven
15	1-bitni	Upisivanje više izlaza odjednom	00001 - 10000
16	16-bitni	Upisivanje u više registara odjednom	40001 - 50000
17	16-bitni	Info izvješće o <i>slave</i> uređaju	Prikiven
22	16-bitni	Upisivanje u pojedinačni registar korištenjem maske sa OR ili AND funkcijom	40001 – 50000
23	16-bitni	Citanje i Upisivanje u više registara odjednom – funkcija pisanja ima prioritet	40001 – 50000
24	16-bitni	Čitanje FIFO liste registara	40001 – 50000

Tablica 13.3. Modbus funkcijski kodovi

13.9. Modbus kodovi grešaka

U komunikaciji između *master* i *slave* uređaja ukoliko je sve u redu *slave* će vratiti odgovor sa istim funkcijским kodom. Ukoliko dođe do greške tri su načina na koji *slave* uređaj može reagirati:

- Ako *slave* uređaj nije uopće primio poruku zbog greške u komunikaciji, odgovor neće biti poslan pa će *master* detektirati grešku isteka vremena odgovora ili tzv. *response timeout*.
- Ako *slave* uređaj primi poruku sa greškom detektiranom pomoću paritetnog bita, LRC ili CRC metode odgovor neće biti poslan *master-u*. *Master* će i u ovom slučaju grešku detektirati kroz vrijeme isteka odgovora.

- Ako *slave* uređaj primi poruku bez greške ali je ne može izvršiti biti će poslan odgovor greške ili tzv. *exception response* u kojem će *master* biti obaviješten o razlozima greške. Odgovor greške će sadržavati izmijenjen funkcijski kod na način da će najznačajniji bit biti postavljen u 1, a u polje podataka biti upisan kod greške. U tablici 13.4. dani su najznačajniji kodovi greške koji se koriste u Modbus-u.

KOD	GREŠKA	OPIS
01	<i>Illegal Function</i>	Funkcijski kod poslan upitom je pogrešan ili nije dozvoljen.
02	<i>Illegal Data Address</i>	Upit sadrži adresu registara koja je pogrešna ili nije dozvoljena.
03	<i>Illegal Data Value</i>	Upit sadrži vrijednost podataka koji su pogrešni ili nisu dozvoljeni.
04	<i>Slave Device Failure</i>	Došlo je do nepopravljive greške dok je <i>slave</i> uređaj izvršavao zahtjev <i>master-a</i> .
05	<i>Acknowledge</i>	<i>Slave</i> uređaj zaprimio je upit ali će to potrajati duže od očekivanog. Odgovor je vraćen <i>master-u</i> da bi se spriječila greška <i>timeouta</i> na strani <i>master-a</i> .
06	<i>Slave Device Bussy</i>	<i>Slave</i> uređaj zauzet je procesiranjem. <i>Master</i> treba ponoviti upit nakon što <i>slave</i> uređaj završi zadatku.
07	<i>Negative Acknowledge</i>	<i>Slave</i> uređaj ne može izvršiti traženu funkciju iz upita. Vraćen je kao odgovor kod 13 ili 14 o neuspješno provedenom zahtjevu (ovaj model ne podržava te kodove). <i>Master</i> treba u tom slučaju uputiti zahtjev za dijagnostiku <i>slave</i> uređaja.

Tablica 13.4. Modbus kodovi grešaka

13.10. Primjeri serijske Modbus komunikacije

U nastavku su dana dva primjera *master-slave* komunikacije sa pripadajućim upitom i odgovorom.

13.10.1. Čitanje statusa digitalnih izlaza

Čitanje statusa digitalnih izlaza (*engl. Coil*) ostvaren je primjenom funkcijskog koda 01. Statusi izlaza prikazani su sa 1-bitnom informacijom, gdje „1“ označava status uključen, a „0“ status isključen.

U upitu *master* šalje informaciju o početnoj adresi digitalnog izlaza 0x001D (decimalno 29) i ukupnom broju izlaza koje treba pročitati 0x0023 (decimalno 35). U primjeru je naznačen zahtjev za čitanje izlaza 30 – 64 na *slave* uređaju sa adresom 08, sl. 13.13.

Statusi bita digitalnih izlaza su u odgovoru *slave* uređaja pakirani unutar bajta na način da svaki bit predstavlja status izlaza izražen kao 1 ili 0. LSB bit prvog bajta predstavlja adresu izlaza iz upita, a ostali izlazi se šalju u uzastopnom nizu.

U odgovoru *slave* uređaja broj bajta podataka definira koliko će podataka ukupno biti poslano (u ovom primjeru 5 bajta). Prvi bajt podataka sadržava statuse digitalnih izlaza sa adresom od 30 do 37 predstavljene sa vrijednošću 0x6B, ili binarno 0110 1011. Bajt je predstavljen s desna na lijevo od najmanje značajnog ka najznačajnijem bitu, pa su na taj način i definirani statusi izlaza od 30 do 37. Isto vrijedi i za ostale bajte. Budući se biti uvijek šalju od najmanje značajnog LSB ka najznačajnijem MSB bitu to će u komunikaciji biti poredani u nizu od 30 do 64. Preostali biti koji se ne koriste biti će jednaki „0“.

UPIT - QUERY		ODGOVOR - RESPONSE	
Polje poruke	Primjer hex	Polje poruke	Primjer hex
Slave adresa	08	Slave adresa	08
Funkcijski kod	01	Funkcijski kod	01
Početna adresa - viši bajt	00	Broj bajta podataka	05
Početna adresa - niži bajt	1D	Podaci (izlazi 37 – 30)	6B
Broj izlaza - viši bajt	00	Podaci (izlazi 45 – 38)	25
Broj izlaza - niži bajt	23	Podaci (izlazi 53 – 46)	79
Provjera greške - LRC ili CRC	-	Podaci (izlazi 61 – 54)	3C
		Podaci (izlazi 64 – 62)	05
		Provjera greške - LRC ili CRC	-

Slika 13.13. Čitanje statusa digitalnih izlaza

13.10.2. Čitanje holding registara

Čitanje sadržaja holding registara ostvaren je primjenom funkcijskog koda 03. Primjer *master-slave* komunikacije prikazan je na sl. 13.14. za slučaj ASCII i RTU prijenosa.

U upitu *master* šalje informaciju o adresi prvog registra 0x0074 (decimalno 116) i ukupnom broju registara koje treba pročitati 0x0003 (decimalno 3). U primjeru je naznačen zahtjev za čitanje registara 40117 – 40119 na *slave* uređaju sa adresom 04.

U odgovoru *slave* uređaj šalje svoju adresu i isti funkcijski kod ukoliko nije došlo do greške. U nastavku šalje broj poslanih bajtova (3 registra od 16-bit = 6 bajtova), te podatke za svaki registar prikazan pomoću višeg i nižeg bajta. Brojač bajtova uvijek uzima u obzir koliko je 8-bitnih podataka poslano kao odgovor neovisno o tipu pakiranja podataka.

U ASCII prijenosu svaka heksadecimalna znmenka se šalje kao zaseban znak.

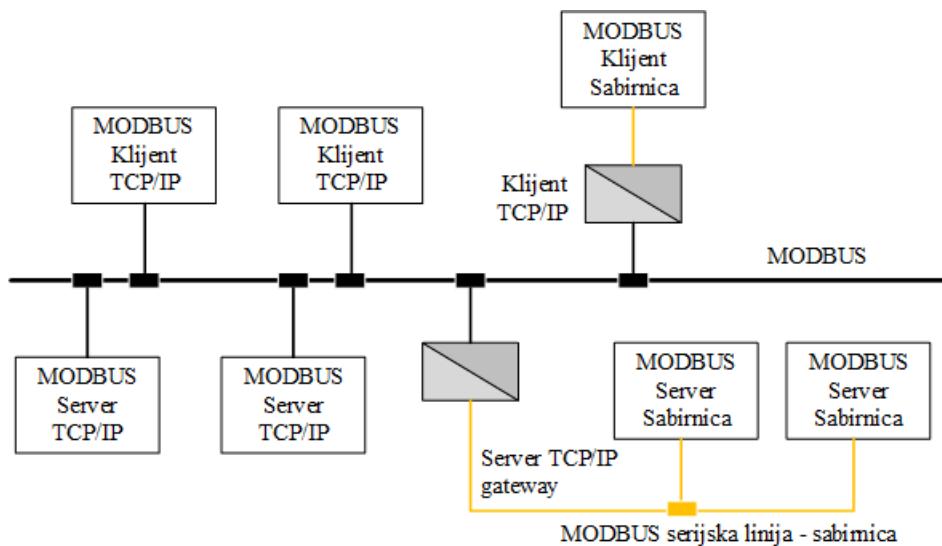
UPIT - QUERY				
Polje poruke	Primjer hex	ASCII	RTU	
		znakovi	8-bit	
Zaglavje		:	Pauza	
Slave adresa	04	0 4	0000 0100	
Funkcijski kod	03	0 3	0000 0011	
Početna adresa - viši bajt	00	0 0	0000 0000	
Početna adresa - niži bajt	74	7 4	0111 0100	
Broj registara - viši bajt	00	0 0	0000 0000	
Broj registara - niži bajt	03	0 3	0000 0011	
Provjera greške		LRC 2 znaka	CRC 16-bit	
Završetak		CR LF	Pauza	
Ukupno bajta:	17		8	

ODGOVOR - RESPONSE				
Polje poruke	Primjer hex	ASCII	RTU	
		znakovi	8-bit	
Zaglavje		:	Pauza	
Slave adresa	04	0 4	0000 0100	
Funkcijski kod	03	0 3	0000 0011	
Broj bajta podataka	06	0 6	0000 0110	
Podaci - viši bajt (40117)	05	0 5	0000 0101	
Podaci - niži bajt (40117)	3C	3 C	0011 1100	
Podaci - viši bajt (40118)	00	0 0	0000 0000	
Podaci - niži bajt (40118)	01	0 1	0000 0001	
Podaci - viši bajt (40119)	00	0 0	0000 0000	
Podaci - niži bajt (40119)	25	2 5	0010 0101	
Provjera greške		LRC 2 znaka	CRC 16-bit	
Završetak		CR LF	Pauza	
Ukupno bajta:	23		11	

Slika 13.14. Čitanje holding registara

13.11. Modbus TCP

Modbus TCP omogućuje komunikaciju između klijent i server uređaja na Ethernet TCP/IP mreži. U osnovi Modbus TCP je serijski RTU protokol enkapsuliran (zapakiran) u TCP/IP telegram. Za povezivanje klijent/server Modbus serijskih uređaja na TCP/IP mrežu koriste se mostovi (*engl. Bridge*), usmjerivači (*engl. Router*) i mrežni poveznici (*engl. gateway*), sl. 13.15.



Slika 13.15. Klijent-server konfiguracija Modbus TCP modela

Uvjeto jednog *mastera* povezanih na više *slave* uređaja sada imamo klijent-server konfiguraciju u kojoj klijenti mogu biti HMI-i ili PLC-i, dok su serveri ulazno/izlazni uređaji. Uvjeto *mastera* upite sada šalju klijenti, a serveri odgovaraju. U Modbus TCP-u omogućeno je da više upita bude proslijedeno ili pripremljeno u slijed.

Klijent/server model komunikacije je zasnovan na 4 tipa poruke:

- Modbus Upit (*engl. Request*), klijent šalje ovu poruku za inicijalizaciju transakcije.
- Modbus Indikacija (*engl. Indication*), poruka upita primljena na strani servera.
- Modbus Odgovor (*engl. Response*), poruka odgovora poslana od servera.
- Modbus Potvrda (*engl. Confirmation*), poruka odgovora primljena na strani klijenta.

13.11.1. Modbus TCP i OSI model

Modbus TCP koristi OSI referentni model koji je podijeljen u 5 slojeva za razliku od troslojnog koji se koristi u komunikaciji na serijskoj liniji, tablica 13.5.

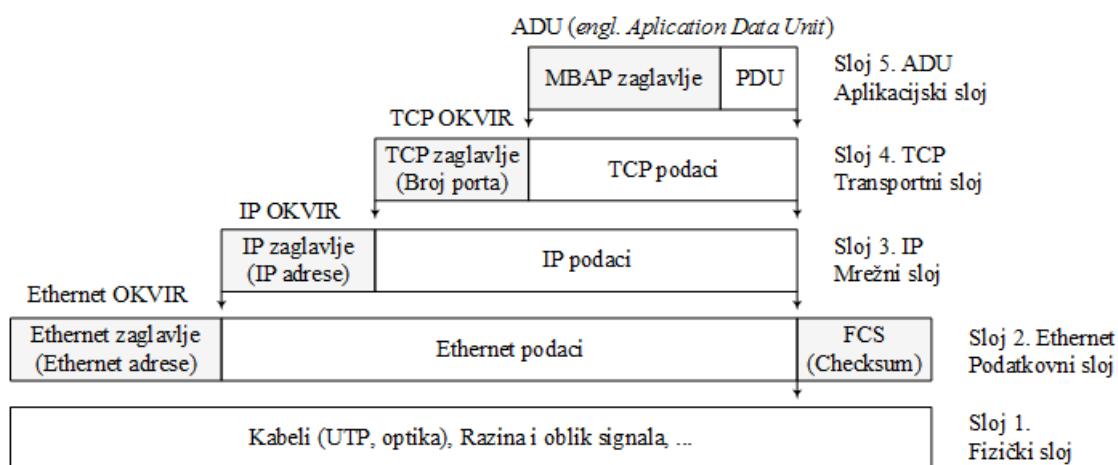
SLOJEVI OSI MODELA	MODBUS TCP SLOJEVI
7. Aplikacijski sloj	Modbus aplikacijski protokol
5.-6. sloj	Ne koristi se
4. Transportni sloj	TCP protokol
3. Mrežni sloj	IP – Internet Protokol
2. Podatkovni sloj	IEEE 802.3 CSMA/CD
1. Fizički sloj	IEEE 802.3 Coax, UTP

Tablica 13.5. Modbus TCP i OSI model

Modbus linija zamijenjena je IP linijom, a fizički i podatkovni sloj nisu specificirani. Protokol nam praktički daje uvid u način na koji je Modbus serijska poruka utisnuta u protokol više razine.

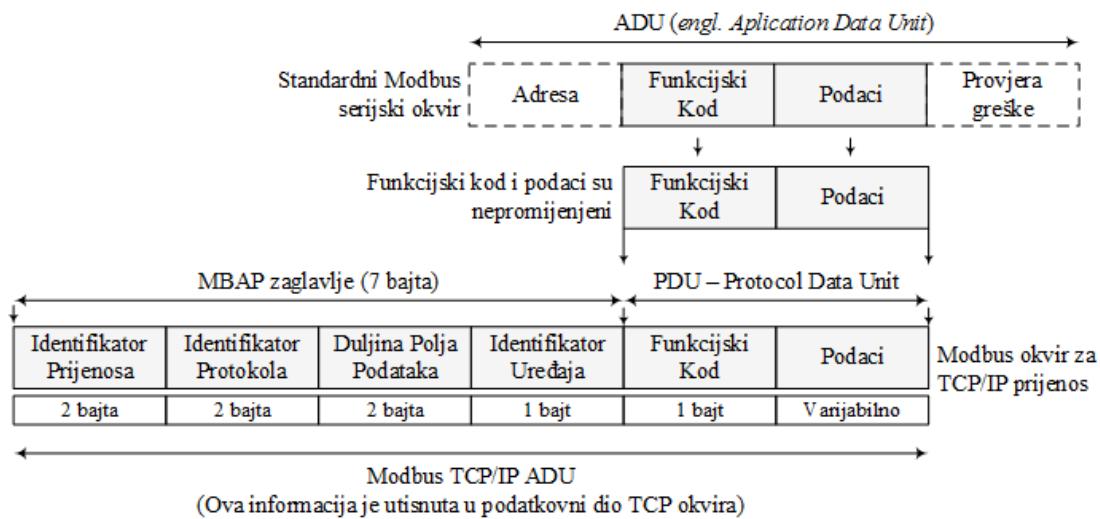
13.11.2. Struktura Modbus TCP poruke

Formiranje Ethernet TCP/IP poruke u Modbus TCP-u prikazano je na slijedećoj slici.

**Slika 13.16.** Struktura ethernet poruke u Modbus TCP

Primarna funkcija TCP-a je da se ispravno prime sve poruke, dok IP omogućuje ispravno adresiranje i prosljeđivanje poruka. TCP/IP je samo transportni protokol i ne definira značenje podataka i kako se podaci interpretiraju. Ovo radi aplikacijski protokol, odnosno Modbus u ovom slučaju.

Modbus struktura poruke je aplikacijski protokol koji definira pravila za organiziranje i interpretiranje podataka neovisno o prijenosnom mediju. Modbus TCP uključuje standardni Modbus PDU (*engl. Protocol Data Unit*) utisnut unutar TCP/IP okvira na način da uz dodavanje zaglavlja MBAP (*engl. Modbus Application Protocol Header*) kreira Modbus TCP podatkovni paket ili ADU (*engl. Application Data Unit*).



Slika 13.17. Modbus TCP ADU

Standardna RTU Modbus poruka se uzima sa neizmijenjenim dijelom naredbi i korisničkih podataka ali bez adrese i dijela za provjeru greške. Modbus adresa je nadomještена identifikatorom uređaja, a provjera greške je ostvarena standardnom Ethernet TCP/IP metodom.

MBAP zaglavje sadrži ukupno 7 bajta, a sastoji se od sljedećih polja:

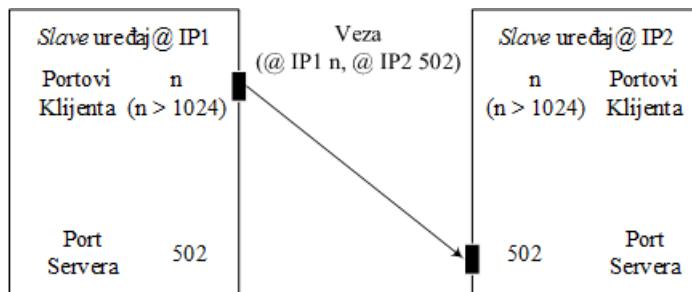
- **Identifikator Prijenosa** (*engl. Transaction Identifier*), predstavlja identifikacijski broj transakcije i određen je od strane klijenta. Vodi računa da li je svaki upit dobio pripadajući odgovor. Server u odgovoru šalje isti ID transakcije koji je dobio upitom. Naime Modbus TCP uređaji mogu poslati više upita prema serverima bez da čekaju odgovor. Obično se za ovu svrhu koristi sekvenčinalni brojač pri čemu je njegova vrijednost uvećana za svaki upit. Maksimalni broj transakcija klijenta ovisi o samom uređaju i općenito iznosi od 1-16. Isto vrijedi i za servere.
- **Identifikator Protokola** (*engl. Protocol Identifier*), omogućava podršku za više protokola. Ova vrijednost je uvjek „0“ za Modbus, a ostale vrijednosti su rezervirane za buduće upotrebe.
- **Duljina Polja Podataka** (*engl. Length Field*), predstavlja broj bajta koji slijede uključujući ID Uredaja i broj bajta u Modbus PDU.

- **Identifikator Uredaja** (*engl. Unit ID*), definira adresu *slave* uređaja na Modbus serijskoj liniji kojoj se može pristupiti preko mrežnog poveznika (*engl. gateway-a*). Adresiranje u Modbus TCP-u se vrši pomoću IP adresa. Ako je *slave* uređaj spojen na seriju liniju tada aktualna *slave* adresa mora biti specificirana. *Gateway* adresa je u tom slučaju IP adresa .

13.12. Primjeri Modbus TCP komunikacije

13.12.1. Uspostava veze u Modbus TCP-u

Da bi se posao ADU preko TCP-a mora se koristiti registrirani TCP port. Modbus port registriran za ovu namjenu je 502. Modbus server osluškuje komunikaciju na portu 502 i kad klijent želi poslati poruku serveru mora otvoriti vezu prema tom portu. Lokalni port mora biti veći od 1024 i različit za svaku klijent otvorenu vezu. Čim je veza uspostavljena ista se može koristiti za prijenos podataka u oba smjera između klijenta i servera. Klijent i server mogu uspostaviti nekoliko TCP/IP veza istovremeno. Kada je veza uspostavljena sve transakcije koje su dio te veze, a može ih biti više i u oba smjera istovremeno, moraju imati pridijeljene različite Identifikatore Prijenosa. Nakon završetka prijenosa podataka komunikacijska veza može se zatvoriti i po potrebi opet otvoriti.



Slika 13.18. Modbus TCP uspostava veze

13.12.2. Čitanje holding registara u Modbus TCP-u

U nastavku je prikazan primjer upita poslanog Modbus TCP protokolom na serijski *slave* uređaj sa adresom 17 u kojem je ostvareno čitanje sadržaja holding registara 40108 – 40110.

Modbus RTU dio poruke koji će biti poslan na uređaj je dan kao: 11 03 006B 0003 7687

- 11 : Adresa *slave* uređaja je 0x0011 ili decimalno 17.
- 03 : Funkcijski kod (čitanje analognog izlaznog holding registra)
- 006B : Početna adresa traženog registra 40108 je 0x006B ili decimalno 107.
- 0003 : Ukupan broj registara za čitanje je 3, registri od 40108 – 40110.
- 7687 : CRC vrijednost (za provjeru greške)

Nakon eliminiranja adrese i CRC-a PDU koji se utiskuje u Modbus telegram će biti jednak: 03 006B 0003

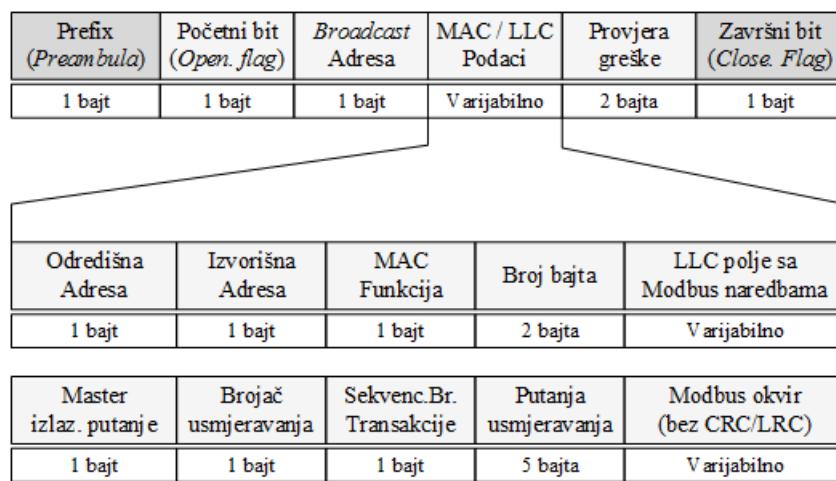
Modbus TCP poruka će u konačnici biti dana kao: 0001 0000 0006 11 03 006B 0003

- 0001 : Identifikator Prijenos (Transakcije)
- 0000 : Identifikator Protokola
- 0006 : Dulina podataka u bajtima (slijedi 6 bajtova)
- 11 : Identifikator slave uređaja (17 = 0x0011)
- 03 : Funkcijski kod (čitanje analognog izlaznog holding registra)
- 006B : Početna adresa traženog registra 40108 je 0x006B ili decimalno 107.
- 0003 : Ukupan broj registara za čitanje je 3, registri od 40108 – 40110.

13.13. Modbus PLUS

Pored standardnog Modbus protokola postoji još i Modbus PLUS i Modbus II. Modbus II se uglavnom ne koristi zbog dodatnih zahtjeva kod kabliranja i postojećih poteškoća. Za razliku od standardnog Modbus protokola Modbus PLUS nije otvoreni protokol. Koristi se za povezivanje različitih Modbus mreža na globalnoj razini kod kojih su uređaji geografski dislocirani.

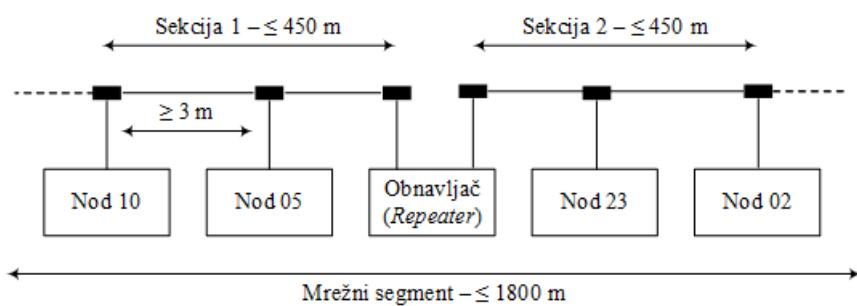
Modbus PLUS protokol omogućuje povezivanje do 64 uređaja na mreži, uz mogućnost povezivanja većeg broja segmenata. Svakom uređaju mora biti pridijeljena jedinstvena mrežna adresa od 01 do 64. Poruke se mogu slati na različite segmente adresiranjem samog uređaja ili korištenjem mrežne adrese. Informacija o odredištu poruke (*engl. routing*) može biti utisнутa u poruku u svih 5 slojeva Modbus modela. Struktura Modbus PLUS poruke je prikazana na sl. 13.19.



Slika 13.19. Struktura Modbus PLUS poruke

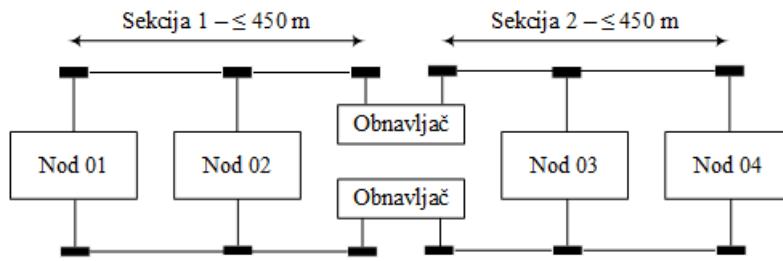
13.13.1. Modbus PLUS topologija

Modbus PLUS mreža, kao što je rečeno, podržava komunikaciju do 64 *noda* odnosno uređaja. Na istom kabelu maksimalne duljine 450 m mogu biti povezana najviše 32 uređaja. Minimalna udaljenost između dva uređaja mora iznositi 3 m. Svaki segment kabela mora biti na krajevima zaključen sa otporom od 220Ω . Primjenom obnavljača (*engl. Repeaters*) može se povećati ukupni broj uređaja povezanih na isti segment do 64, a duljina segmenta odnosno kabela prodlužiti do 1800 m, sl. 13.20. Za povezivanje se koristi standardni dvožilni kabel sa upletenom paricom i omotačem. Promjena polariteta ne utječe na komunikaciju. Za veće udaljenosti moraju se koristiti optički obnavljači i kabeli.



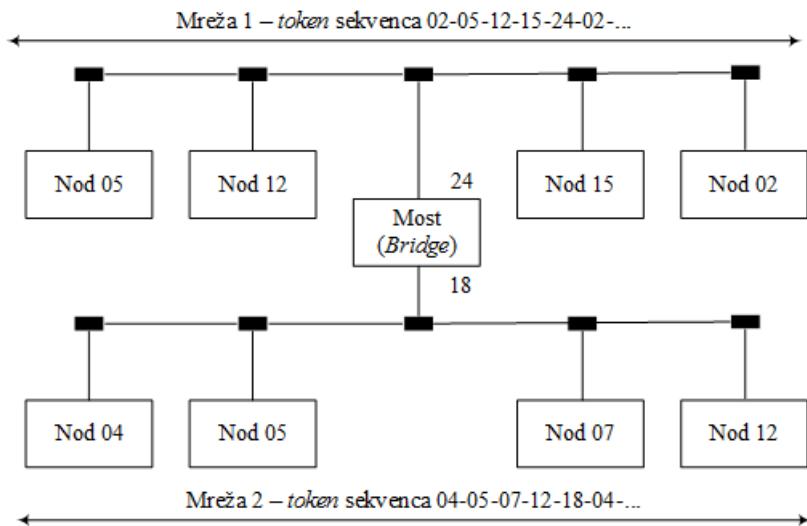
Slika 13.20. Topologija Modbus PLUS mrežnog segmenta

Također se koristi i topologija sa dva kabela, sl. 13.21. (u praksi se označavaju kao A i B). Maksimalna duljina svakog kabela u sekciji ne smije preći 450 m, a razlika između duljine kabela A i B na svakoj sekciji između dva uređaja ne smije biti veća od 150 m.



Slika 13.21. Topologija Modbus PLUS sa dva kabela

Povezivanje više mrežnih segmenata moguće je ostvariti primjenom mostova (*engl. Bridges*), sl. 13.22., s tim da se oni ne mogu koristiti za deterministički oblik komunikacije u kojem je vrijeme odziva između dva uređaja uvijek jednako. U takvim slučajevima komunikacija mora biti ostvarena unutar istog segmenta bez prosljeđivanja poruke kroz most na drugi segment mreže.



Slika 13.22. Topologija Modbus PLUS mreže

Komunikacija u Modbus PLUS protokolu ostvarena je na principu *token passing* metode na način da se *token* prosljeđuje između aktivnih *nodova* u rastućem nizu njihovih adresa. Adrese *nodova* ne ovise o fizičkoj lokaciji uređaja niti moraju biti pridjeljenje u uzastopnom nizu. Svaka sekvenca slanja *token-a* započinje na *nodu* sa najnižom adresom, a završava tako da *nod* sa najvišom adresom opet vrati *token* *nodu* sa najnižom adresom i tako zatvori logički prsten. Svaki mrežni segment koristi vlastiti nezavisni *token* koji se ne prosljeđuje na druge mrežne segmente.

Nod koji je u posjedu *token-a* ima mogućnost slanja poruka, tako da zadržava *token* kod sebe dok ne pošalje sve poruke. *Nod* kojemu je poruka upućena mora na nju odgovoriti potvrdom ili slanjem traženih podataka. Da bi mogao poslati podatke mora od *noda* koji drži *token* primiti dodatnu vrstu *token-a* koji će mu omogućiti slanje podataka. Nakon što *nod* pošalje sve poruke

prosljeđuje *token* slijedećem *nodu*. Prilikom slanja *token-a nod* može upisivati podatke i u globalnu bazu koja se šalje kao *broadcast* poruka svim *nodovima* na mreži. Globalni podaci se šalju unutar polja *token* okvira. *Nodovi* nakon prijema *token-a* mogu provjeriti kome su globalni podaci upućeni. Upotreba globalne baze omogućuje brže ažuriranje alarma, postavki i drugih podataka. Svaka mreža ažurira svoju globalnu bazu podataka.

Uređaji se mogu spajati i odspajati sa mreže bez utjecaja na rad ostalih uređaja u mreži. U slučaju odspajanja uređaja sa mreže formira se nova *token passing* sekvenca, tipično unutar 100 ms. Ako se spoji novi uređaj na mrežu biti će uključen u adresnu sekvencu unutar 5 sekundi (najkasnije do 15 sekundi).

Literatura

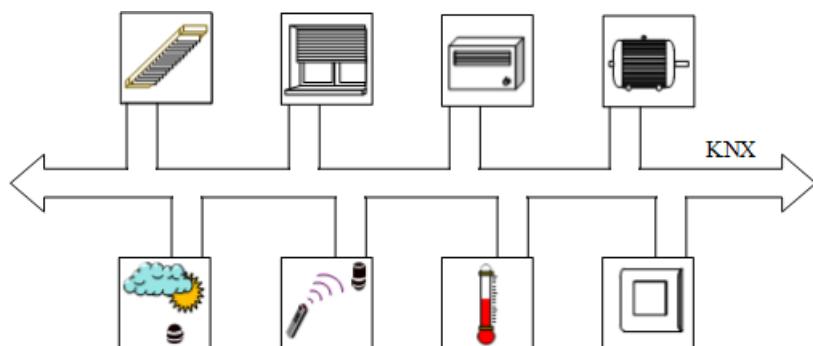
- [1] MODBUS.org (1996.) *Modbus Protocol Reference Guide Rev. J*, <http://www.Modbus.org/>
- [2] MODBUS.org (2006.) *Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0.b.*,
<http://www.Modbus.org/>
- [3] MODBUS.org (2006.) *Modbus Application Protocol Specification V1.1.b.*,
<http://www.Modbus.org/>
- [4] MODBUS.org (2006.) *Modbus over Serial Line Specification and Implementation Guide V1.02.*,
<http://www.Modbus.org/>
- [5] ACROMAG Inc. (2005.) *Introduction to Modbus TCP/IP – White paper*,
<http://www.amplicon.com/>
- [6] Mackay. S., Park, J. (2004.) *Practical Industrial Data Networks*, Elsevier-Newnes.

14. KNX

Razvoj EIB (*engl. European Installation Bus*) tehnologije omogućio je automatizaciju upravljanja uređajima u stambenim i poslovnim objektima. Automatizacija je ostvarena kroz funkcije regulacije rasvjete, upravljanja roletama i žaluzinama, HVAC sistemima (sistemi za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju) te nadzornim sistemima zaštite i uzbunjivanja, sl. 14.1.

EIB se najčešće izvodi kao decentralizirani sistem u kojem je ostvarena komunikacija između uređaja bez posredovanja kontrolera, ali je moguća i konfiguracija sa središnjim aplikacijskim kontrolerom (ApC) koji se može postaviti bilo gdje na sabirnici.

Korištenjem EIB tehnologije omogućena je znatna ušteda energije i pojednostavljena instalacija. Sistem naime može koristiti postojeću električnu instalaciju ili se paralelno sa njom može polagati nova instalacija.



Slika 14.1. KNX instalacija

Godine 1999. osnovana je *KNX Association* udruživanjem tri organizacije koje su promovirale tehnologiju automatizacije stambenih i poslovnih objekata:

- BatiBUS Club International (BCI)
- European Installation Bus Association (EIBA)
- European Home Systems Association (EHSA)

Rezultat je bio kreiranje novog standarda KNX-a koji je zasnovan na postojećoj tehnologiji EIB-a koja je dopunjena novim metodama konfiguracije i komunikacijskim medijima razvijenim u BatiBUS i EHS-u. Prva specifikacija standarda izdana je u proljeće 2002. Danas je KNX međunarodno standardiziran kao:

- Internacionalni Standard ISO/IEC 14543-3
- Evropski Standard CENELEC EN50090, CEN EN 13321-1 i 13321-2
- Kineski Standard GB/T 20965
- Američki Standard ANSI/ASHRAE 135

Svi KNX proizvodi moraju biti certificirani od strane *KNX Association* što osigurava kompatibilnost između uređaja različitih proizvođača kao i veći stupanj fleksibilnosti u konfiguraciji mreže. S obzirom na kompatibilnost EIB-a i KNX-a uređaji mogu na sebi imati utisnuta oba loga.

KNX podržava komunikaciju preko 4 osnovna prijenosna medija:

- **TP1 (engl. Twisted Pair)** - dvožilni kabel sa upletenom paricom (podržava brzinu prijenosa od 9600 bit/s)
- **PL 110 (engl. Power Line)** - koristi postojeću instalaciju električne mreže (podržava brzinu prijenosa od 1200 bit/s)
- **RF (engl. Radio Frequency)** - komunikacija je ostvarena radio signalima na frekvencijskom opsegu od 868 do 870 MHz koji pripada SRD (*engl. Short Range Devices*) bandu (863-870 MHz). Maksimalna snaga predaje KNX RF uređaja je ograničena na 25 mW uz podržanu brzinu prijenosa od 16.384 kBit/s sa mogućnošću jednosmjerne ili dvosmjerne komunikacije.
- **IP Ethernet** - komunikacija je ostvarena utiskivanjem KNX poruka u IP okvire prema KNXnet/IP specifikaciji čime je omogućeno usmjeravanje i tuneliranje KNX poruka preko LAN i WLAN mreže.

Kod povezivanja mreža sa različitim prijenosnim medijima komunikacija mora biti ostvarena primjenom odgovarajućih medijskih sprežnika.

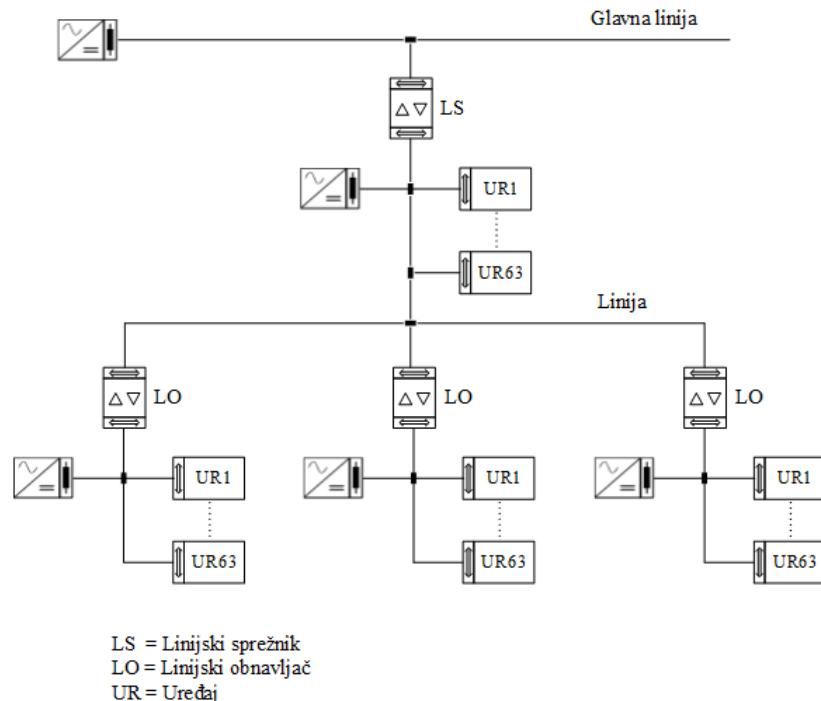
14.1. Topologija KNX TP1 mreže

Povezivanje uređaja u TP1 mreži može biti ostvareno korištenjem linearne, zvjezdaste i stablaste topologije. Prstenasta topologija nije dozvoljena kao ni povezivanje različitih linija. Zaključivanje linije nije potrebno.

KNX je hijerarhijski strukturiran na linije i zone. Prema specifikaciji na svakom električnom segmentu može biti spojeno 64 uređaja. Svaki segment mora imati svoj izvor napajanja. Linija se može sastojati od najviše 4 segmenta što omogućuje spajanje 256 uređaja po liniji, uključujući sprežnike i obnavljače. Stvarni broj uređaja ovisi o karakteristikama izvora napajanja i snazi priključenih uređaja.

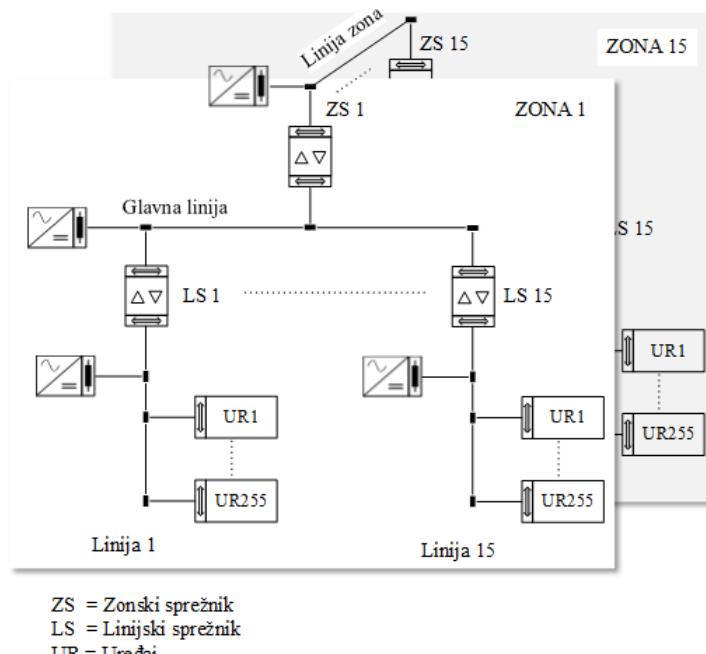
Za povezivanje više od 64 uređaja na liniju potrebno je formirati dodatne segmente na liniji pomoću obnavljača (*engl. repeaters*). Obnavljači se spajaju paralelno sa segmentom u zvijezdu, a moguće je spojiti najviše tri obnavljača, sl. 14.2. Razlog tome je što telegram na svom prijenosnom putu može proći najviše 6 sprežnika (linijskih, zonskih ili obnavljača).

Spajanje obnavljača nije dozvoljeno na glavnoj liniji i liniji zona.



Slika 14.2. Topologija KNX linije sa obnavljačima

Ukupno je moguće grupirati 15 linija u jednu zonu te povezati 15 zona u zajedničku cjelinu, slika 14.3. Za grupiranje linija i zona koriste se linijski (*engl. line couplers*) odnosno zonski sprežnici (*engl. area couplers*).



Slika 14.3. Topologija KNX TP1 mreže

Također je moguće spojiti po 64 uređaja na liniju zona (*engl. backbone*) i svaku glavnu liniju. Maksimalni broj uređaja na liniji zona i glavnim linijama se smanjuje sa brojem uporabljenih zonskih odnosno linijskih sprežnika. Na ovaj način se u mrežu ukupno može povezati preko 58000 uređaja. Svaka linija, uključujući glavnu i zonsku, mora imati svoj izvor napajanja.

Linijski i zonski sprežnici omogućuju komunikaciju između uređaja koji se nalaze u različitim linijama ili zonama. Sprežnici posjeduju filtersku tablicu koja se kreira kod konfiguracije sistema i pomoću nje se uređajima prosljeđuju telegrami. Telegrami adresirani na uređaje iste linije kao i dolazni telegrami koji nisu adresirani na uređaje dotične linije se ne propuštaju. Na ovaj način interna komunikacija unutar linija i zona je neovisna o komunikaciji na ostalim linijama i zonama što osigurava manju koliziju telegrama i veću pouzdanost sistema. Naime u slučaju kvara na pojedinim segmentima mreže ostali dio mreže može i dalje funkcionirati normalno. U tome veliku ulogu imaju i sprežnici koji galvanski odvajaju glavne linije od sekundarnih.

Zonski sprežnik, linijski sprežnik i linijski obnavljač su po svojoj izvedbi jednaki uređaji. Funkcija uređaja je definirana lokacijom unutar topologije i fizičkom adresom. Razlika je u činjenici da linijski obnavljač nema filtersku tablicu te propušta sve telegrame.

14.2. KNX i OSI model

U usporedbi sa OSI modelom KNX komunikacijski stog ne koristi 5 i 6 sloj, tablica 14.1.

SLOJEVI OSI MODELAA	KNX SLOJEVI
7. Aplikacijski sloj	Komunikacija grupnim objektima Konfiguiranje uređaja
5.-6. sloj	Ne koristi se
4. Transportni sloj	Adresiranje Potvrda prijema
3. Mrežni sloj	Usmjeravanje telegrame
2. Podatkovni sloj	Kreiranje okvira CSMA/CA pristup mediju
1. Fizički sloj	Medij, topologija, signal

Tablica 14.1. KNX komunikacijski stog

- 7. Aplikacijski sloj – omogućuje aplikacijskim programima komunikaciju u KNX mreži primjenom grupnih objekata te mogućnost konfiguriranja uređaja.
- 4. Transportni sloj – osigurava ispravno povezivanje grupnih objekata sa pripadajućim izvořišnim i odredišnim adresama te potvrdu ispravnosti primljenog telegrama.

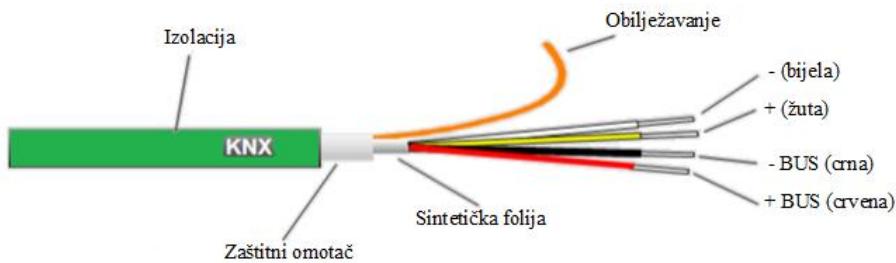
- 3. Mrežni sloj – vrši usmjeravanje telegrama na odredišnu adresu. Usmjeravanje je ostvareno primjenom filterskih tablica u sprežnicima čime je definirana putanja telegrama. Naime sprežnici dozvoljavaju prolaz telegrama samo s onim grupnim adresama koje su zapisane u filterskim tablicama.
- 2. Podatkovni sloj – zadužen je za formiranje okvira te njegovo slanje i prijem uz provjeru ispravnosti primljenog telegrama. Pristup mediju odnosno prioritet slanja telegrama ostvaren je kroz metodu CSMA/CA.
- 1. Fizički sloj - određuje električne i mehaničke karakteristike prijenosnog medija, razine signala, topologiju te način i prijenos signala.

14.3. KNX TP1 instalacija

Kod dizajniranja KNX instalacije treba voditi računa o ograničenjima koja se odnose na linije, a posljedica su načina komunikacije i karakteristika instalacijskih komponenata:

- Ukupna duljina kabela linije mora biti manja od 1000 m, a određena je prijenosnom karakteristikom impulsa te slabljenjem amplitude impulsa zbog otpora i kapaciteta kabela. Duljina linije se može za svaki priključeni obnavljač produljiti za dodatnih 1000 m.
- Duljina linije između dva uređaja na sabirnici ne smije biti veća od 700 m. Ukoliko više uređaja šalju istovremeno telegrame ova udaljenost osigurava pouzdan postupak rješavanja kolizije.
- Duljina linije između izvora napajanja i uređaja na sabirnici mora biti manja od 350 m. Ova udaljenost određena je činjenicom da vrijeme trajanja negativnog impulsa komunikacije zajedno sa pozitivnim kompenzirajućim impulsom prigušnice mora biti jednako vremenskom trajanju bita.
- Duljina linije između dva izvora napajanja mora biti veća od 200 m, a određena je maksimalnim naponskim opterećenjem prigušnice. Kod novijih uređaja ova udaljenost je specificirana od strane proizvođača.

KNX je specificirao za upotrebu standardni zeleni kabel KNX TP1 oznake YCYM 2x2x0.8 za vanjsku instalaciju ili I Y(St) Y 2x2x0.8 VDE 0815 za unutarnju instalaciju sa otporom petlje od 72Ω i kapaciteta $0.12\mu\text{F}$ na 1000m. Na crveni vodič se spaja BUS+ a na crni BUS-. Žuti i bijeli vodič koriste se za napajanje uređaja bez primjene prigušnice.



Slika 14.4. KNX zeleni kabel

Kod polaganja kabela zajedno sa instalacijom električne mreže 230/400V kabeli se mogu polagati jedni pored drugih bez razmaka osim za slučaj korištenja izdvojenih izoliranih vodiča (žila) KNX TP1 kabela. U tom slučaju razmak mora biti barem 4 mm u odnosu na svaki izolirani vodič. U razvodnim kutijama nije potrebno povezivati zaštitne omotače KNX TP1 kabela.

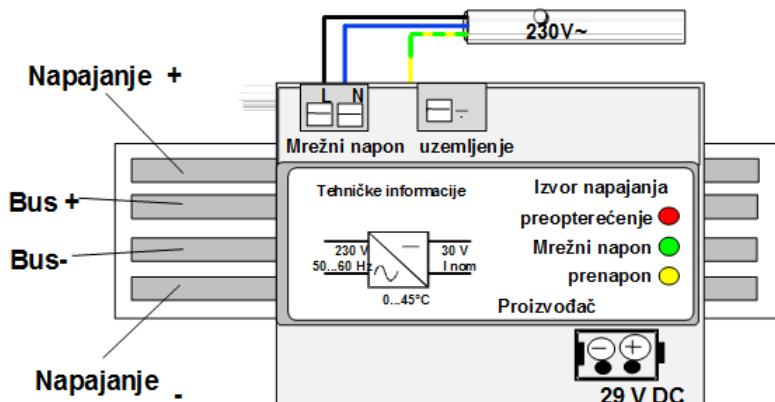
14.3.1. Izvor napajanja

KNX za napajanje uređaja koristi mrežu sigurnog niskog napona SELV (*engl. Safety Extra Low Voltage*). Najviše dopuštene vrijednosti napona na sabirnici su 50V~ ili 120V=. Sabirnica je galvanski izolirana od napajanja električne mreže 230V i za korisnika nema opasnosti od direktnog dodira sabirnice ukoliko napon ne prelazi 25V~ ili 60V=. SELV mreža ne smije biti uzemljena.

Izvor napajanja je spojen na komunikacijsku sabirnicu preko posebnog sprežnog dijela s prigušnicom, tzv. *choke*.

Prigušnica ima zanemariv otpor za istosmjerni napon napajanja a za prijenos podataka koji je ostvaren izmjeničnim naponskim impulsima predstavlja visoku impedanciju tako da izvor napajanja ne utječe na komunikaciju.

Radni napon sistema je 29 V. Za pouzdan rad uređaja potreban je minimalni napon od 21V uz maksimalnu snagu svakog uređaja od 200 mW. U praktičnoj primjeni dostupni su izvori napajanja od 160 mA, 320 mA, 640 mA i 1280 mA. S obzirom na maksimalno strujno opterećenje izvora napajanja s napajanjem od npr. 640 mA moguće je tako spojiti 64 uređaja. Jedinice za napajanje uglavnom su izvedene za montažu na DIN šine, pri čemu se vanjski par kontakata koristi za napajanje uređaja bez prigušnice, a unutarnji par kontakata je povezan na KNX sabirnicu preko prigušnice, sl. 14.5.



Slika 14.5. KNX izvor napajanja

Svaka linija odnosno segment mora imati zaseban izvor napajanja. U slučaju njegove neispravnosti komunikacija neće funkcionirati samo na dotičnom segmentu i neće utjecati na cijelokupnu komunikaciju u sistemu. U slučaju neispravnosti napajanja na glavnoj liniji ili liniji zona komunikacija neće biti moguća sa uređajima koji pripadaju tim linijama. Isto vrijedi i u slučaju kratkog spoja ili prekida linije. U slučaju smetnji ili neispravnosti napajanja podaci ostaju sačuvani u uređajima.

14.3.2. Struktura KNX uređaja

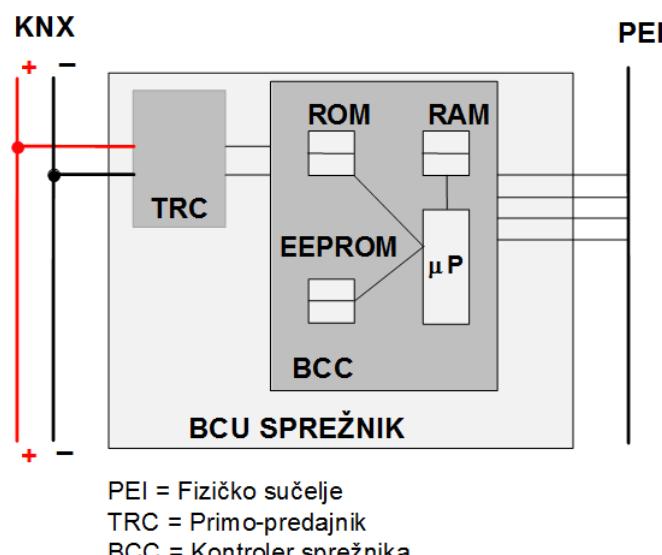
Svaki uređaj se sastoji od:

- Komunikacijskog sučelja - BCU (*engl. Bus Coupling Unit*)
- Aplikacijskog modula
- Aplikacijskog programa

Aplikacijski modul i BCU mogu biti izvedeni kao zasebni moduli ili integrirani u zajedničko kućište. Neovisno o izvedbi moraju biti od istog proizvođača. Ako su odvojeni, aplikacijski modul je spojen na komunikacijsko sučelje preko standardiziranog aplikacijskog sučelja sa 10 priključaka tzv. PEI (*engl. Physical External Interface*). Trenutno su komunikacijska sučelja ili *Bus* sprežnici dostupni samo za spajanje na dva medija, TP1 i PL110.

BCU sprežnik procesira podatke primljene sa sabirnice, šalje i prima podatke, održava napajanje i čuva važne podatke kao što je aktualna fizička adresa, adresa jedne ili više grupa kao i aplikacijski program sa parametrima. Aplikacijski modul i aplikacijski program definiraju funkciju uređaja na sabirnici. To omogućuje npr. da senzor radi kao taster ili digitalni ulaz, a aktuator da radi kao digitalni izlaz ili sklopnik, itd.

Struktura komunikacijskog sučelja je prikazana na sl. 14.6.

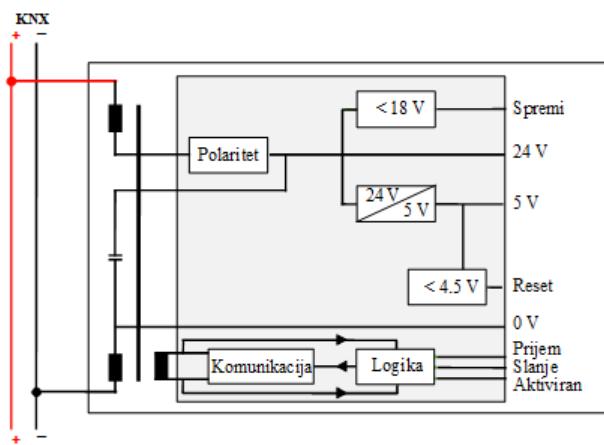


Slika 14.6. KNX Bus sprežnik

KNX komunikacijsko sučelje sastoje se od dva dijela: kontrolera (BCC) i prijenosnog modula (TRC) koji je povezan na sabirnicu. Kontroler pored samog mikroprocesora sadrži ROM memoriju u koju je upisan program sustava koji se u većini slučajeva ne može mijenjati, zatim RAM u koji se privremeno upisuju trenutne vrijednosti sustava i aplikacije, te EEPROM memoriju koja sadržava aplikacijski program, individualne (fizičke) i grupne adrese koje se mogu mijenjati. Aplikacijski program proizvođača dostupan je u obliku ETS baza podataka i važno je da aplikacijski program, sprežnik i aplikacijski modul budu od istog proizvođača da bi se program mogao izvršavati. Za provjeru kompatibilnosti aplikacijskog programa i modula postoji na priključnom vodu 6 PEI sučelja otpornik R-Tip. Vrijednost napona ovog otpornika provjerava komunikacijski sprežnik kod svakog učitavanja aplikacijskog programa u aplikacijski modul. Ako vrijednost napona ne odgovara po specifikaciji program će se djelomično ili uopće neće izvršavati.

Prijenosni modul TRC (*engl. Transceiver*) komunikacijskog sučelja, sl. 14.7., ima više funkcija i to:

- Stabilizacija napona napajanja od 5 i 24 V uz zaštitu spajanja od krivog polariteta
- Spremanje podataka kod smanjenja napona napajanja ispod 18V
- Resetiranje procesora za napone manje od 4.5V
- Slanje i prijem telegrama

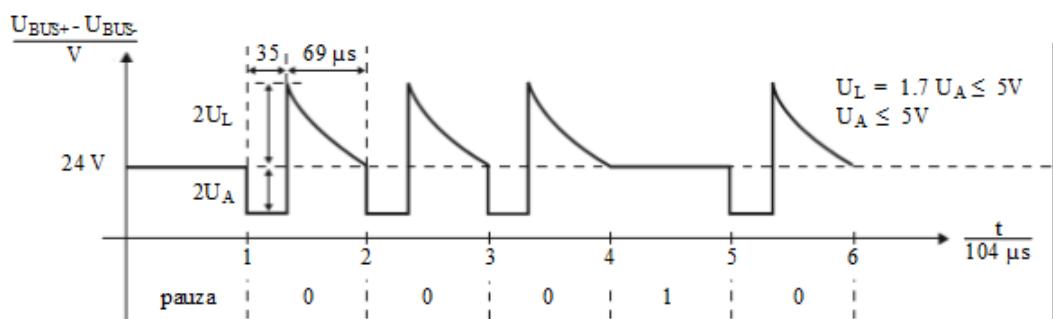


Slika 14.7. Prijenosni modul KNX komunikacijskog sprežnika

14.4. KNX TP1 prijenos signala

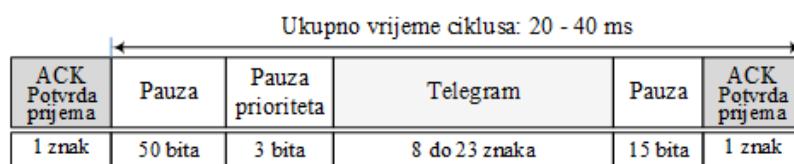
Prijenos signala u KNX mreži ostvaren je preko simetrične linije čime je smanjen utjecaj smetnji na prijenos podataka. Komunikacija je ostvarena kao asinkroni prijenos znakova. Svaki znak predstavljen je sa 13 bita koje čine start bit, 8 bita podataka, parni paritetni bit i stop bit iza kojeg slijede dva bita pauze. Brzina prijenosa podataka je 9600 bps uz vrijeme bita od 104 μ s. Prosječno vrijeme prijenosa između poslane i primljene poruke je oko 25 ms.

Informacijski signal je predstavljen kao razlika napona između BUS+ (crvenog) i BUS- (crnog) vodiča nominalne vrijednosti 24V. Logička '1' odgovara razini signala na sabirnici kada na njoj nema komunikacije. Logička '0' je kodirana kao kombinacija negativnog i pozitivnog naponskog impulsa, sl. 14.8., tako da je istosmjerna komponenta unutar bita uvijek jednaka nuli pa ne utječe na napon napajanja uređaja koji se prenosi preko iste sabirnice. Negativni naponski impuls kreira uređaj koji šalje telegram, a iza njega uvijek slijedi pozitivni kompenzacijski impuls kojeg generira prigušnica izvora napajanja.



Slika 14.8. KNX prijenosni signal

Pristup sabirnici je ostvaren CSMA/CA (*engl. Carrier-Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) metodom. CSMA/CA metoda omogućuje u istom trenutku slanje telegrama samo jednog uređaja. Ukoliko više uređaja šalje istovremeno telegram nastaje kolizija koja se rješava postupkom arbitracije. Naime telegrami se međusobno uspoređuju bit po bit, a prioritet u slanju telegrama ima onaj uređaj koji u tom trenutku šalje dominantni bit ili logičku '0'. Svi ostali telegrami koji imaju u tom trenutku recesivni bit ili logičku '1' prestaju sa slanjem. Na kraju postupka arbitracije slanje nastavlja samo uređaj koji šalje telegram sa najvećim prioritetom ili najnižom binarnom vrijednošću. U postupku arbitracije uzimaju se u obzir svi bitovi telegrama.



Slika 14.9. Vremenski ciklus prijenosa signala

Razmjena podataka između uređaja je ostvarena slanjem telegrama koji može biti različite veličine, od 8 do 23 znaka ovisno o duljini korisničkih podataka, sl. 14.9. Prijem telegrama uvijek se mora potvrditi. Telegram potvrde šalje se nakon pauze od 15 vremena bita, a sastoji se od jednog znaka koji sadrži informaciju da li je telegram ispravno primljen, nije primljen ili je primljen s greškom. Telegrami koji nisu ispravno primljeni ponavljaju se do tri puta. Da bi uređaj posao telegram na sabirnicu linija mora biti neaktivna barem 50 vremena bita. Uredaj koji želi poslati telegram standardnog ili niskog prioriteta mora sačekati dodatna tri vremena bita dajući na taj način prednost sistemskim telegramima, alarmima ili telegramima koji se ponavljaju.

Svaki telegram koji prođe kroz sprežnike će biti potvrđen s njihove strane. Ako je potrebno sprežnici mogu potpuno autonomno ponoviti slanje telegrama na druga sučelja. Ukupno vrijeme trajanja ciklusa slanja i potvrde prijema teleograma iznosi od 20 do 40 ms.

14.5. KNX TP1 struktura teleograma

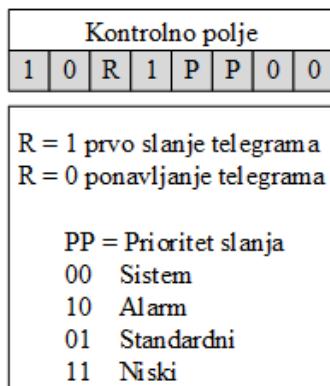
Struktura KNX teleograma je prikazana na sl. 14.10. Bitovi se na sabirnicu unutar svakog znaka (bajta podataka) šalju u nizu od najmanje značajnog ka najznačajnijem bitu.



Slika 14.10. Struktura KNX teleograma

- **Kontrolno polje (engl. Control Field)**

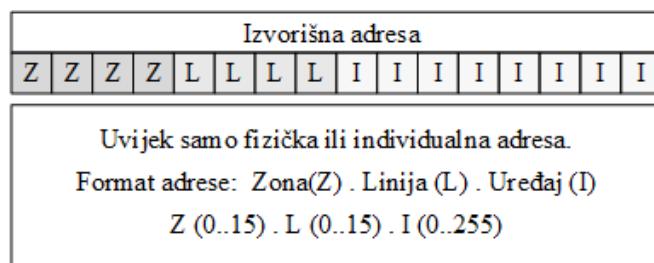
Kontrolno polje (1.znak ili nulti bajt) sadrži podatke o prioritetu. Bitovi prioriteta (PP) definiraju koji telegrami će imati prvenstvo slanja. R bit (*engl. Repeat flag*) označava telegram koji je ponovljen jer uređaj koji šalje nije dobio potvrdu njegovog ispravnog primitka. Dva najznačajnija bita ovog znaka se koriste za definiranje formata teleograma. Bitovi 00 se koriste za definiranje proširenog formata teleograma čija duljina prelazi maksimalno dozvoljena 23 znaka i sadrži dodatne bitove za buduća proširenja protokola.



Slika 14.11. Kontrolno polje KNX telegrama

- **Izvořišna adresa (engl. Source Address)**

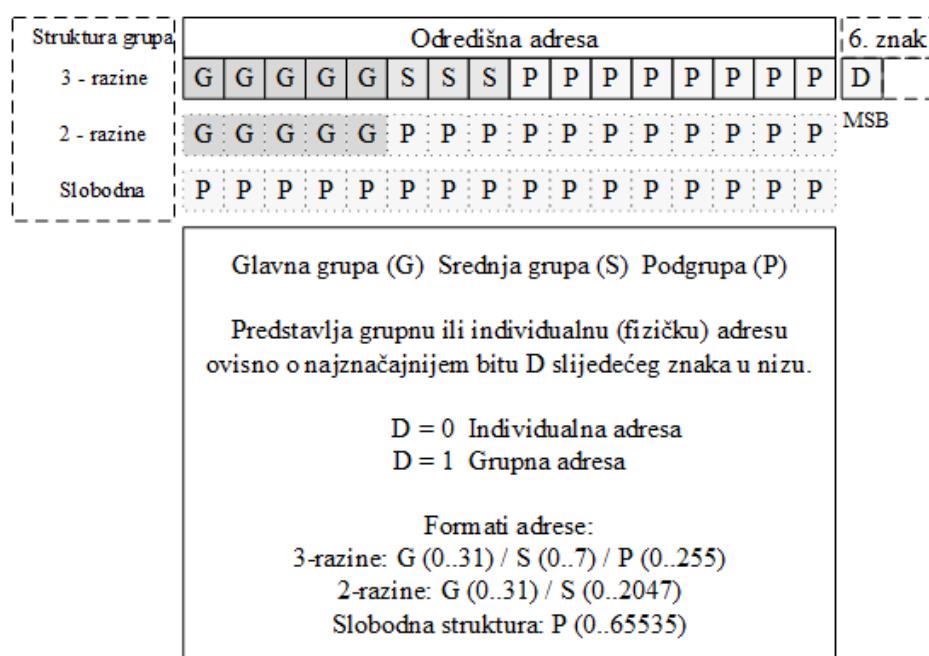
Izvořišna adresa je predstavljena sa 2 znaka kao 16-bitna adresa i uvijek se odnosi na fizičku ili individualnu adresu uređaja, sl. 14.12. Ona definira uređaj koji šalje telegram. Adresa se prikazuje u formi broja zone, linije i samog uređaja međusobno odvojenim točkom. Individualna adresa je trajno pridijeljena uređaju za vrijeme faze projektiranja i samo se koristi kod puštanja u pogon, reprogramiranja ili dijagnostičkih funkcija.



Slika 14.12. Izvořišna adresa KNX telegrama

- **Odredišna adresa (engl. Destination Address)**

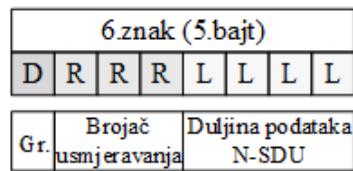
Odredišna adresa predstavljena je sa 2 znaka kao 16-bitna adresa i definira kojem uređaju je upućen telegram, sl. 14.13. Odredišna adresa može biti definirana kao individualna ili grupna adresa u ovisnosti o statusu najznačajnijeg MSB bita 6. znaka odnosno 5. bajta. Ako je status ovog bita '1' odredišna adresa predstavlja grupnu adresu, a ako je '0' predstavlja individualnu adresu. Grupna adresa određuje komunikacijske relacije između uređaja. Sa istom grupnom adresom može se adresirati jedan ili više uređaja istovremeno. Individualnom adresom može se adresirati samo jedan uređaj. Ova adresa pripada grupi sistemskih telegrama i ima najveći prioritet slanja.



Slika 14.13. Odredišna adresa KNX telegrama

- **Brojač usmjerivanja (engl. Routing Counter)**

Brojač usmjeravanja osigurava da telegram može doseći maksimalno 7 fizičkih segmenata kako bi se izbjeglo cirkuliranje telegrama unutar beskonačne petlje koje se može pojaviti uslijed grešaka u instalaciji mreže. Početna vrijednost brojača je uvijek 6 i svaki put se umanji za 1 kada telegram prođe kroz sprežnik ili obnavljač. Kada je vrijednost brojača 0 telegram se više ne proslijeđuje dalje. Kod sistemskih telegrama brojač je automatski postavljen na vrijednost 7 i u tom slučaju njegova vrijednost se ne umanjuje tako da telegram može doći do svakog uređaja na mreži.



Slika 14.14. 5 bajt KNX teleograma (*Routing Counter* i duljina podataka)

- **Duljina korisničkih podataka (engl. Length)**

Duljina polja iz 5. bajta definira veličinu polja podataka N-SDU (*engl. Network Layer Service Data Unit*) koje može iznositi od 1 do 16 bajta.

- **Podaci (engl. Useful Data N-SDU)**

Polje podataka sadrži korisne informacije kao što su naredbe, poruke, postavke ili mjerne vrijednosti. U normalnom radu kada se koriste samo preklopne funkcije veličina je 2 bajta.

- **Provjera greške (engl. Check Byte)**

Telegram je zaključen bajtom za provjeru ispravnosti teleograma koji koristi neparni horizontalni paritet kalkuliran nad svim podatkovnim bitima prethodnih bajtova, tablica 14.2. Zajedno sa parnim vertikalnim paritetom koji je sadržan unutar znakova protokola omogućeno je da prijemni uređaj može ostvariti dvostruku provjeru pariteta i detektirati grešku u dva bita.

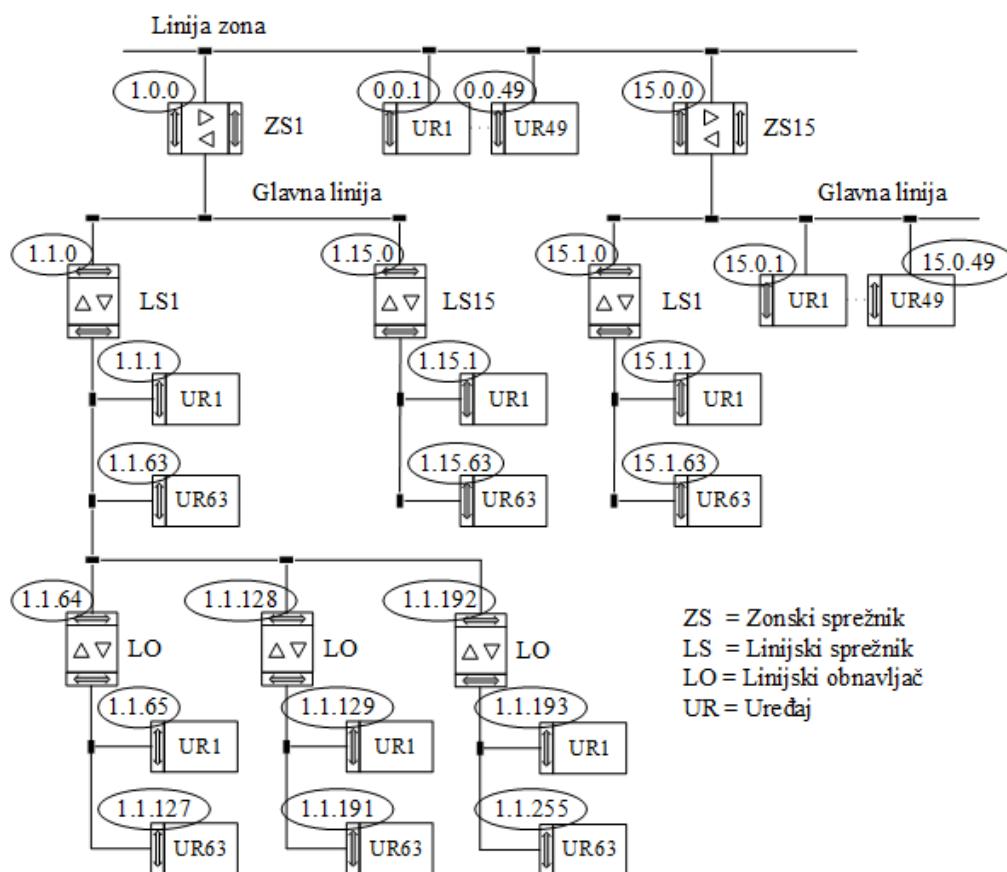
KNX TELEGRAM	Polje	Start bit	Podaci	Paritet (parni)	Stop bit	Bitovi Pauze
	Kontrolno polje	0	10111100	→ 1	1	11
	Izvorišna adresa	0	00010010	→ 0	1	11
	Izvorišna adresa	0	00011010	→ 1	1	11
	Odredišna adresa	0	00110010	→ 1	1	11
	Odredišna adresa	0	00010001	→ 0	1	11
	Gr/Brojač/Duljina	0	11100001	→ 0	1	11
	Podaci	0	00000000	→ 0	1	11
	Podaci	0	10000001	→ 0	1	11
Provjera greške				↓↓↓↓↓↓ 00001000	→ 1	11
Neparni paritet						

Tablica 14.2. Provjera greške KNX teleograma

14.6. Adresiranje

14.6.1. Individualna ili fizička adresa

Individualna adresa predstavlja jedinstvenu oznaku svakog uređaja u KNX mreži. Adresa je zapisana u formatu koji sadrži broj zone, linije i uređaja i prikazuje se u notaciji ovih brojeva međusobno odvojeni točkom, *Zona (Z)* . *Linija (L)* . *Uredaj (I)*. Npr. uređaj 3 u zoni 4 i liniji 7 ima individualnu adresu 4.7.3 . Na ovaj način individualnom adresom određena je lokacija samog uređaja unutar topologije. Ukupno je moguće adresirati od 0-15 zona, 0-15 linija i 0-255 uređaja, sl. 14.15.



Slika 14.15. Individualne adrese u KNX TP1 topologiji

Nulte vrijednosti adresa su rezervirane za sprežnike i posebne uređaje i ne smiju se koristiti za same uređaje na sabirnici. Kod adresiranja uređaja vrijedi slijedeće:

- Broj linije i uređaja kod adresa zonskih sprežnika jednaka je nuli - x.0.0
- Broj uređaja kod adresa linijskih sprežnika jednaka je nuli - x.x.0.
- Zonska adresa 0.0.x je rezervirana za uređaje koji su locirani na liniji zona.

- Linijska adresa x.0.x je rezervirana za uređaje koji su locirani na glavnoj liniji određene zone
- Adresa tvornički podešenog uređaja kao i ispraznjenog uređaja je 15.15.255

14.6.1.1. Programiranje individualne adrese

Individualna adresa omogućuje direktnu komunikaciju sa svakim uređajem i preduvjet je da bi se mogle isprogramirati grupne adrese i upisati aplikacijski programi. Programiranje se vrši softverskim alatom *Engineering Tool Software* (ETS) na način da se na strani PC-a najprije upiše individualna adresa uređaja te se pokrene postupak za spuštanje adrese na uređaj. Na samom uređaju se nakon toga mora pritisnuti programsko dugme. Početak programiranja je signalizirano na samom uređaju uključenjem crvene LED lampice. Lampica se ugasi kada je programiranje adrese uspješno završeno.

Također je moguće na PC-u odabrati opciju programiranja adresa više uređaja odjednom ali se u tom slučaju programsko dugme mora pritiskati pojedinačno za svaki uređaj redom kako je odabранo u softverskoj aplikaciji. Individualna adresa se može uvijek promijeniti.

14.6.2. Grupna ili logička adresa

Grupnim adresama definira se komunikacija između uređaja. Grupna adresa se može dodijeliti svakom uređaju na mreži neovisno o njegovoj fizičkoj lokaciji.

Grupne adrese su strukturirane na 3 načina i to kao:

- **Struktura na 2 razine**
Kod ove strukture adresa se sastoji od glavne grupe (*engl. Main group*) i podgrupe (*engl. Subgroup*). Ukupno je moguće definirati 32 glavne (0-31) i 2048 podgrupa (0-2047).
Adresa se prikazuje u formi: *glavna grupa / podgrupa* (G / P).
- **Struktura na 3 razine**
Kod ove strukture adresa se sastoji od glavne grupe (*engl. Main group*), srednje grupe (*engl. Middle group*) i podgrupe (*engl. Subgroup*). Ukupno je moguće definirati 32 glavne (0-31), 8 srednjih (0-7) i 256 podgrupa (0-255).
Adresa se prikazuje u formi: *glavna grupa / srednja grupa / podgrupa* (G / S / P).
- **Slobodna struktura**
Ova struktura sadrži samo podgrupnu adresu kojom se može definirati ukupno 65536 podgrupa (0-65535).

Broj grupa u svim strukturama grupnih adresa ograničen je pridruženim brojem bita u odredišnoj adresi kao što je to prikazano na sl. 14.13. Grupna adresa 0/0/0 je rezervirana za *broadcast* poruke koje se šalju svim dostupnim uređajima u mreži.

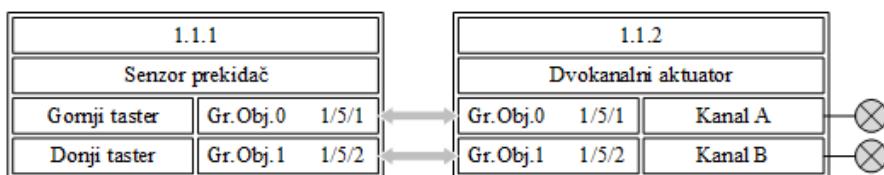
Struktura grupne adrese može se promatrati kao organizacijska struktura. U praksi se pokazalo korisnim da se glavne grupe dodjeljuju prema područjima odnosno prostorima u objektu (npr. prizemlje, kat,...), središnje grupe prema funkcionalnoj domeni (npr. rasvjeta, rolete,...), a podgrupe prema funkciji ili grupi potrošača (npr. uključenje rasvjete kuhinje, uključenje grijanja dnevna soba,...).

Grupne adrese dodjeljuju se grupnim objektima (prethodni naziv *Communication Objects – ComObj*) pripadajućih senzora i aktuatora koji se kreiraju i dodjeljuju sa ETS alatom. Broj grupnih adresa koje mogu biti dodijeljene senzorima i aktuatorima ovise o veličini njihove memorije. Pri tom senzori mogu slati telegram na samo jednu grupnu adresu, dok aktuatori mogu primati telegrame na više grupnih adresa.

14.6.2.1. Grupni objekt

Grupni objekti su memorijске lokacije u uređajima. Mogu sadržavati od 1 bita do 14 bajta, a veličina ovisi o funkciji grupnih objekata. Ako to primijenimo na primjer iz sl. 14.16. gdje koristimo samo dva logička stanja za upravljanje rasvjetom, tada ćemo imati objekte veličine 1 bit. Ako je u prijenos podataka uključen i tekst tada može biti iskorišteno svih 14 bajta.

Povezivanje grupnih objekata vrši se korištenjem grupnih adresa u ETS grafičkom sučelju. ETS dozvoljava povezivanje samo objekata iste veličine. Također je moguće dodijeliti više grupnih adresa jednom grupnom objektu ali se samo jedna grupna adresa koristi za slanje.



Slika 14.16. Grupni objekti

Svaki objekt ima zastavice (*engl. flags*) koje se koriste za definiranje svojstava objekata. Primjer zastavica prikazan je u tablici 14.3. za primjer sa slike 14.16.

Slanje vrijednosti objekta na liniju može se objasniti na primjeru iz sl. 14.16.:

- Ako se pritisne Gornji taster, senzor (prekidač) će upisati '1' u svoj grupni objekt 0. Budući su zastavica komunikacije i slanja označeni za ovaj grupni objekt, uređaj će poslati telegram da se upiše vrijednost '1' na grupnu adresu 1/5/1.

- b) Svi uređaji na mreži sa grupnom adresom 1/5/1 će upisati '1' u svoj grupni objekt.
- c) U našem primjeru '1' će biti upisana u grupni objekt 0 aktuatora.
- d) Aplikacijski program aktuatora će utvrditi da se vrijednost grupnog objekta promjenila i izvršitiće uključenje kanala A.

ZASTAVICA	OPIS
Komunikacija <i>(Communication)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Grupni objekt ima normalnu vezu na sabirnicu. <input type="checkbox"/> Telegrami su potvrđeni. Grupni objekt nije izmjenjen.
Čitanje <i>(Read)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Vrijednost objekta može se očitati preko sabirnice. <input type="checkbox"/> Vrijednost objekta ne može se očitati preko sabirnice.
Pisanje <i>(Write)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Vrijednost objekta može biti izmjenjena preko sabirnice. <input type="checkbox"/> Vrijednost objekta ne može biti izmjenjena preko sabirnice.
Slanje <i>(Transmit)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Telegram je poslan kad su vrijednosti objekta (na senzoru) izmjenjene. <input type="checkbox"/> Grupni objekt će generirati odgovor jedino kad zaprimi zahtjev za čitanje.
Ažuriranje <i>(Update)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Telegrami sa odgovorom koji sadrže vrijednost su interpretirani kao naredbe za pisanje. Vrijednost grupnog objekta se ažurira. <input type="checkbox"/> Telegrami sa odgovorom koji sadrže vrijednost nisu interpretirani kao naredbe za pisanje. Vrijednost grupnog objekta ostaje nepromijenjena.
Čitaj za inicijalizaciju <i>(Read On Init)</i>	<input checked="" type="checkbox"/> Uredaj samostalno šalje naredbu za čitanje vrijednosti radi inicijalizacije grupnog objekta nakon povratka trenutne vrijednosti (samo za određene tipove uređaja). <input type="checkbox"/> Nakon povratka trenutne vrijednosti uređaj ne inicijalizira vrijednost grupnog objekta putem naredbi za čitanje vrijednosti.

Tablica 14.3. Zastavice grupnog objekta

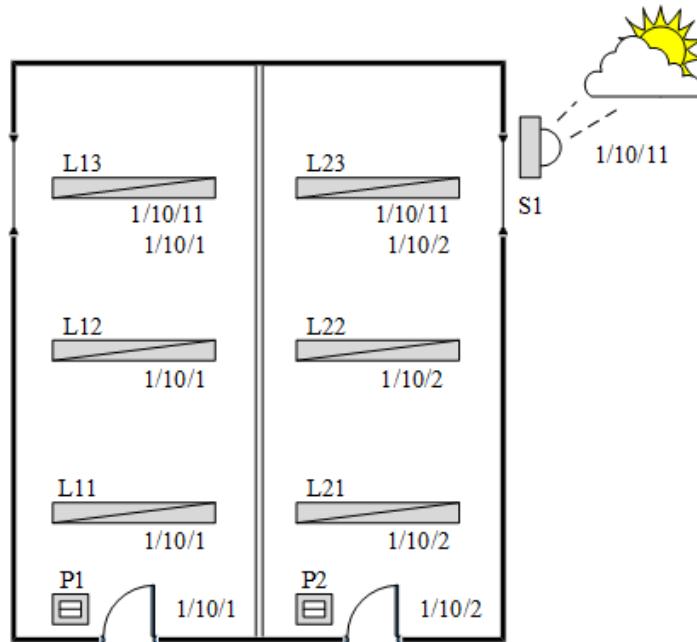
14.6.2.2. Tablice filtera

Zonski i linijski sprežnici omogućuju usmjeravanje telegrama uređajima pomoću grupnih adresa. Za ovu svrhu programom ETS kreira se tablica filtera, za svaki sprežnik, u kojoj su zapisane sve grupne adrese telegrama koje treba proslijediti. Ova tablica se upisuje u sprežnik nakon upisivanja individualne adresu i aplikacijskog programa. Ako se specificiraju nove grupne adrese za uređaje unutar linija ili zona ili se mijenjaju postojeće nakon puštanja u rad njihovi sprežnici se moraju ažurirati sa novim tablicama filtera.

Programiranje sprežnika linija i zona sa individualnim adresama, aplikacijskim programima i tablicama filtera mora se obaviti prije programiranja samih uređaja.

14.7. Primjer KNX komunikacije

Na sl. 14.17. prikazan je primjer upravljanja rasvjetom u objektu primjenom senzora osvjetljenja i prekidača.

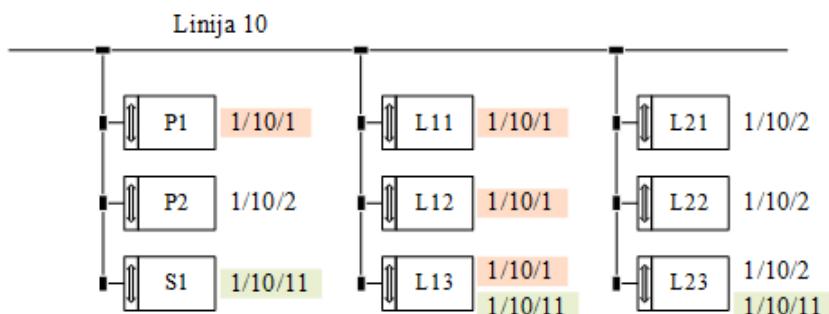


Slika 14.17. Primjer upravljanja rasvjetom

Prekidačem P1 uključujemo lampe L11, L12 i L13. Kod konfiguracije grupna adresa 1/10/1 je dodijeljena prekidaču P1 i aktuatorima istih lampi. Na isti način je konfiguriran prekidač P2 za uključivanje lampi L21, L22 i L23 preko aktuatora ali sa grupnom adresom 1/10/2.

Senzor osvjetljenja S1 uključuje lampe locirane kod prozora tako da je u konfiguraciji grupna adresa 1/10/11 dodijeljena senzoru i aktuatorima koji upravljaju lampama uz prozore. Na ovaj način lampe L13 i L23 su upravljane prekidačima i senzorom.

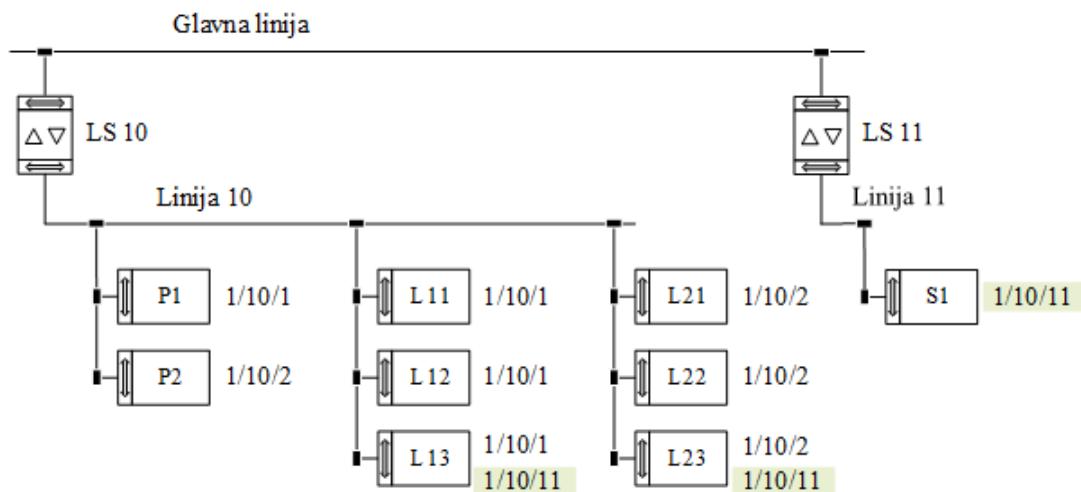
14.7.1. Komunikacija unutar linije



Slika 14.18. Komunikacija unutar linije

Uključenjem prekidača P1 šalje se telegram sa grupnom adresom 1/10/1. Iako svi uređaji primaju ovaj telegram samo će aktuatori L11, L12 i L13 sa istom grupnom adresom izvršiti uključenje. Isto tako kada senzor pošalje telegram sa grupnom adresom 1/10/11 samo će aktuatori L13 i L23 izvršiti uključenje lampi iako svi uređaji primaju telegram.

14.7.2. Komunikacija između linija

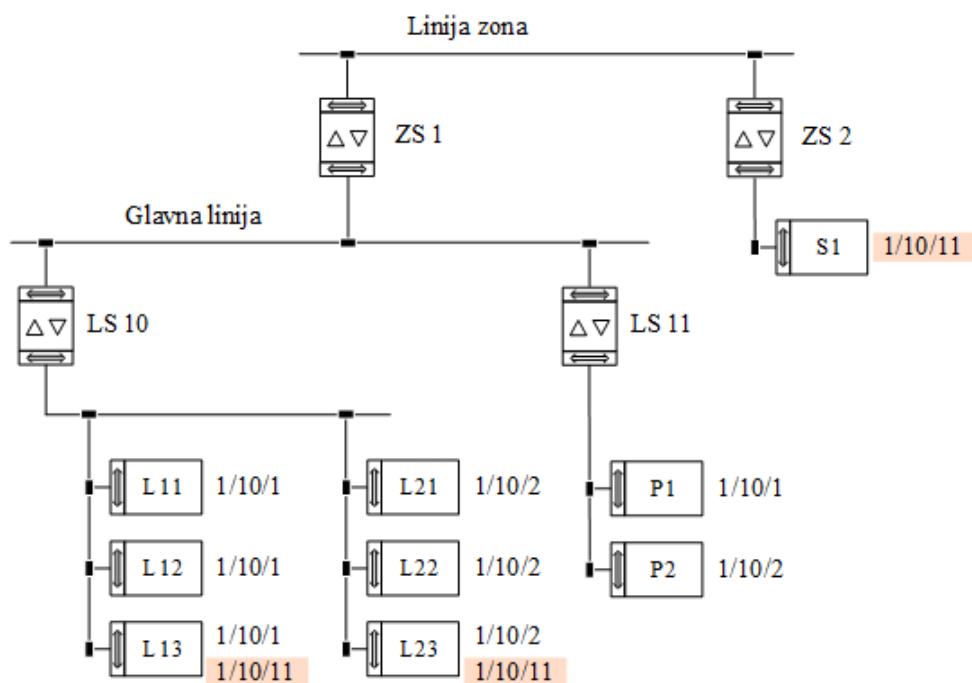


Slika 14.19. Komunikacija između linija

Senzor osvjetljenja u ovom slučaju nije spojen u istoj liniji kao i lampa kojom upravlja pa telegram mora biti poslan preko glavne linije. Na osnovu filterske tablice sprežnik LS11 zna da telegram sa grupnom adresom 1/10/11, kojeg šalje senzor osvjetljenja, treba primiti uređaj koji se nalazi izvan njegove linije. Stoga ga usmjerava na glavnu liniju.

Sprežnik LS10 pak na osnovu svoje filterske tablice zna da se uređaj sa grupnom adresom 1/10/11 nalazi na njegovoj liniji pa prosljeđuje telegram na liniju. Svi uređaji na liniji će primiti telegram ali će samo aktuatori L13 i L23 sa istom grupnom adresom izvršiti uključenje.

14.7.3. Komunikacija između zona



Slika 14.20. Komunikacija između zona

Za uređaje koji se nalaze u različitim zonama telegrami će biti proslijedjeni preko zonskih i linijskih sprežnika. Telegram sa grupnom adresom 1/10/11, kojeg šalje senzor osvjetljenja smješten u zoni 2, tako će biti preusmjerjen na liniju 10 preko zonskih sprežnika ZS1 i ZS2 te linijskog sprežnika LS10.

14.8. KNX Powerline PL 110

KNX PL 110 omogućuje prijenos signala preko vodova električne instalacije 230/400V tako da nije potrebno polagati dodatne kable za komunikacijsku sabirnicu. Komunikacija je ostvarena preko faznih i neutralnih vodiča koji moraju biti spojeni na svaki uređaj.

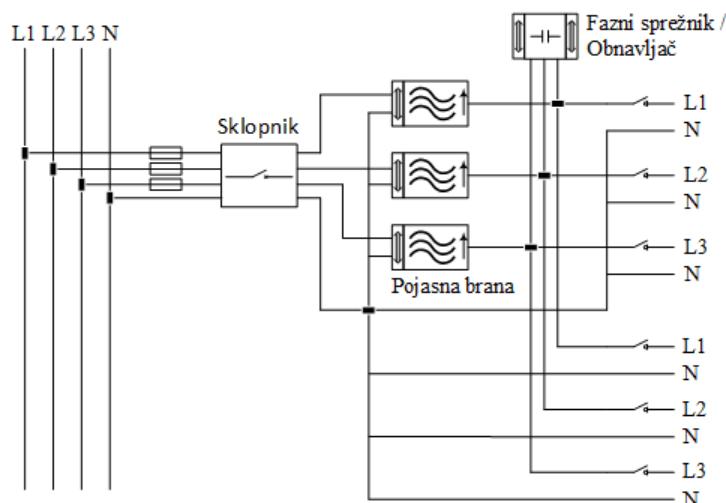
Mreža mora imati neizobličen sinusni napon uz dozvoljenu toleranciju od $\pm 10\%$. Sistem je dizajniran za rad na frekvenciji od 50 Hz uz dozvoljenu devijaciju od ± 0.5 Hz. Ovo je osigurano u energetskom sustavu distribucije električne energije, ali kod primjene napajanja iz nužde (npr. agregata) može doći do većih devijacija i izobličenja signala a time i prekida u komunikaciji. Komunikacija preko transformatora nije moguća.

S obzirom da svaki uređaj koji radi na mreži od 230/400V generira radio smetnje CENELEC standardom EN 50065 specificirana je između ostalog i dozvoljena razina elektromagnetskog zračenja uređaja.

14.9. KNX PL 110 topologija

Da bi se osigurala pouzdana komunikacija kod KNX-a preko vodova električne mreže smanjen je ukupni broj dostupnih adresa odnosno uređaja na 32 768. Adresiranje se izvodi na isti način kao i kod TP1 instalacije. Sistem je također podijeljen na linije i zone. Može se adresirati maksimalno 8 zona sa 16 linija, a svaka linija podržava 256 uređaja.

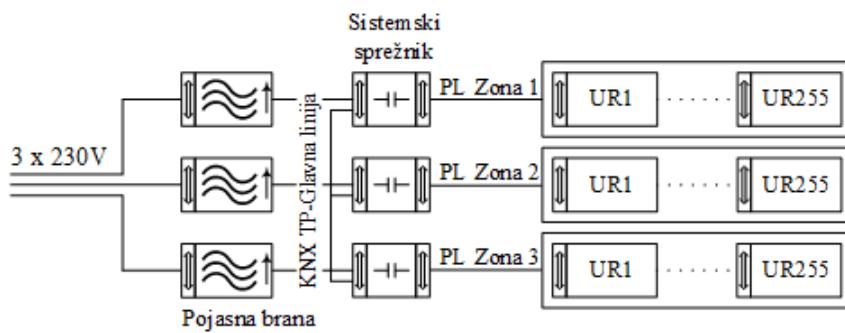
Segmentiranje mreže na linije i zone ostvareno je korištenjem faznih i sistemskih sprežnika, a ne linijskih i zonskih kao kod TP1, sl. 14.21. Ovim je pojednostavljena instalacija ali je povećan promet na sabirnici.



Slika 14.21. Instalacija KNX PL mreže

Fazni i sistemski sprežnici pored usmjeravanja telegrama omogućuju komunikaciju preko sve tri faze 230V instalacijske mreže, a dodatno proširenje mreže može se ostvariti pomoću obnavljača. Za svaki KNX PL sistem dozvoljeno je koristiti samo jedan obnavljač koji se instalira u središnjem dijelu sistema kako bi se osigurao najveći domet signala. Fazni sprežnici koriste se kod manjih instalacija, a kod većih sistemski sprežnici. Novije izvedbe sprežnika imaju u sebi integrirane obnavljače. Fazni i sistemski sprežnici ne smiju biti instalirani istovremeno.

Sistemski sprežnik također obavlja funkciju zonskog i medijskog sprežnika. Kao medijski sprežnik predstavlja sučelje prema drugim prijenosnim medijima. Na sl. 14.22. prikazano je povezivanje zona KNX PL instalacije preko KNX TP1 glavne linije i sistemskih sprežnika.



Slika 14.22. Topologija KNX PL sa sistemskim/medijskim sprežnicima

Komunikacijska KNX PL mreža se mora odvojiti od električne mreže napajanja pojasnim branama (*engl. band stop*) kako bi se izbjegli međusobni utjecaji (komunikacijski, induktivni i sl.) susjednih KNX PL mreža. Pojasna brana potiskuje signal frekvencijskog opsega od 95 do 125 kHz. Prigušenje signala središnje frekvencije od 110 kHz mora biti veće od 30 dB, a za granične frekvencije je dovoljno 25 dB. Na ovaj način smetnje na električnoj mreži unutar ovog opsega ne mogu utjecati na komunikaciju, a komunikacijski signal se ne proslijeđuje u električnu mrežu. Pojasne brane su jednofazni uređaji i moraju se instalirati iza glavnih osigurača ili dozemnih sklopnika, sl. 14.21. Filtriranje mora biti provedeno za sve faze. Maksimalno opterećenje pojasevine iznosi 63A po svakoj fazi.. Presjek vodiča instalacije ne smije biti veći od 25 mm^2 zbog povećanog slabljenja signala uzrokovanoj kapacitetom između svakog vodiča i omotača ili vodiča i uzemljenja.

14.10. KNX PL 110 prijenos signala

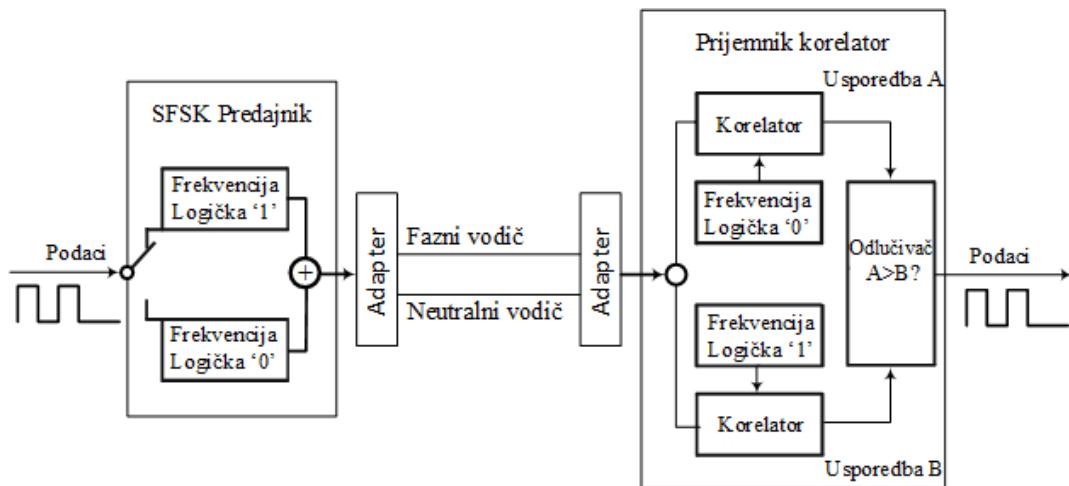
Prijenos signala kod PL 110 ostvaren je primjenom SFSK (*engl. Spread Frequency Shift Keying*) modulacije u frekvencijskom području od 95 do 125 kHz u skladu sa CENELEC standardom EN 50065. Logička '0' definirana je frekvencijom od 105.6 kHz, a logička '1' frekvencijom 115.2 kHz. Zbog srednje frekvencije od 110 kHz mreža se često označava kao PL 110. Brzina prijenosa signala iznosi 1200 bps što odgovara vremenu trajanja bita od 833 μs . Cijeli proces prijenosa signala traje oko 130 ms ili 6 telegrama po sekundi.

Razmjena signala ostvarena je primjenom tzv. *correlative pattern comparision* tehnologije i složene procedure korekcije, sl. 14.23. Primljeni signal se stalno pretvara u digitalnu vrijednost koja se pohranjuje unutar dva korelatora (komparatora vrijednosti), koji uspoređuju primljenu digitalnu vrijednost s pohranjenim digitalnim frekvencijskim referentnim uzorkom. Na ovaj način signal se može na prijemu pravilno detektirati čak i u uvjetima smetnji za vrijeme komunikacije. Uređaj mora uvijek potvrditi prijem teleograma inače predajnik ponavlja slanje.

PL 110 koristi i metodu automatske prilagodbe prijenosnog napona i osjetljivosti prijemnika prema mrežnim karakteristikama. Vrijednost napona komunikacijskog signala se može

mijenjati uz najveću dopuštenu vrijednost od $1.26 \text{ V}_{\text{eff}}$. To rezultira optimalnom dometu prijenosa čak i kod promjenjivih uvjeta napajanja.

Prema standardu EN 50065 svi uređaji su klasificirani kao uređaji 'klase 116' jer najveća dopuštena razina zračenja iznosi $116 \text{ dB}\mu\text{V}$.



Slika 14.23. KNX PL 110 prijenos signala

14.11. KNX PL 110 struktura telegrama

U odnosu na TP1 telegram PL 110 telegram sadrži dodatne informacije za prijenos podataka, sl. 14.24.

Trenirajuća sekvenca	Početni niz Preamble	Telegram KNX-TP1 struktura	ID sistema
4 bita	2 x 8 bita	Promjenjive duljine	8 bita
← Dodatna 4 bita po svakom bajtu za korekciju greške →			

Slika 14.24. Struktura KNX PL 110 teleograma

- **Trenirajuća sekvenca** (*engl. Training sequence*), predstavlja sekvencu za automatsko podešavanja prijema uređaja uvjetima mreže.
- **Početni niz** (*engl. Preamble field*), definira početak prijenosa i upravlja pristupom sabirnicama.
- **Telegram TP1**, iste je strukture kao kod TP1 uz dodatna 4 bita po svakom odaslanom bajtu za korekciju greške.

- **ID sistema** (*engl. System ID*), označava kraj telegrama. Sadrži 8 bita (sa 4 dodatna bita za korekciju greške), a može se konfigurirati kod instalacije na vrijednost 1 do 254. Uloga mu je da sprječi međusobni utjecaj različitih mreža koje su instalirane po istim trasama. Pomoću ID sistema uređaj može ustanoviti da li telegram pripada drugoj PL mreži.

14.11.1. KNX PL 110 telegram odgovora

Uređaj koji je poslao telegram mora primiti odgovor u određenom vremenu. Telegram se ponavlja ako se ne primi telegram odgovora. Za razliku od TP1 teleograma ovdje se šalju samo dva tipa odgovora, sl. 14.25.:

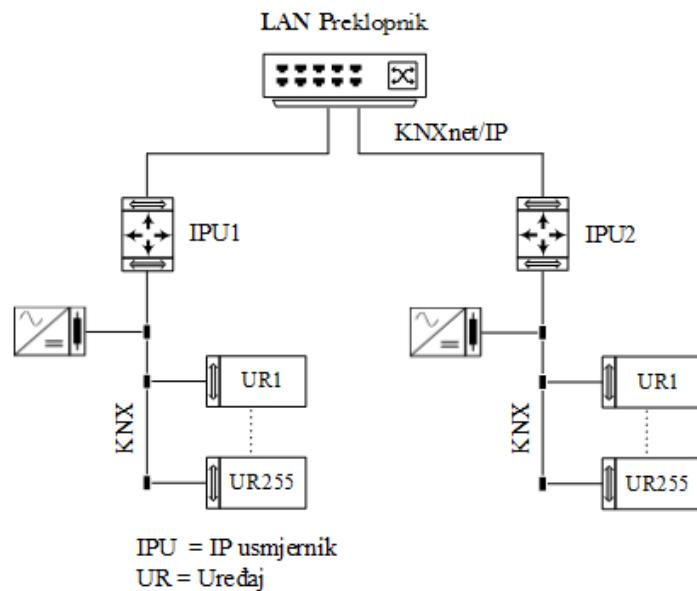
- ACK, ako je telegram primljen u redu.
- NACK, ako telegram nije primljen u redu. Koristi ga samo sistemski sprežnik.

Trenirajuća sekvenca	Početni niz Preamble	Telegram odgovora
4 bita	2 x 8 bita	8 bita + 4 bita za korekciju greške

Slika 14.25. Struktura KNX PL 110 teleograma odgovora

14.12. KNXnet IP mreža

IP mreža može se koristiti na svim razinama povezivanja na druga sučelja gdje je neophodno omogućiti veću brzinu prijenosa podataka. Ovo je naročito prisutno kod primjene vizualizacijskih programa. U takvima slučajevima brzina prijenosa signala od 9.6 kBit/s koja se koristi kod TP1 topologije predstavlja ograničenje pa se u takvom slučaju može koristiti IP mreža na glavnim linijama i liniji zona. Primjer IP mreže prikazan je na sl. 14.26.



Slika 14.26. KNXnet/IP mreža

U primjeru na slici linijski sprežnici zamijenjeni su IP usmjernicima čime je povećana mogućnost prijenosa podataka preko glavne linije na 1 Gbit/s. Veza između IP usmjernika ostvarena je Ethernetom. Ukoliko se IP usmjernik koristi kao zonski sprežnik na linijama se mogu i dalje koristiti TP1 sprežnici ali linija zone mora biti ostvarena preko LAN-a. Pored standardnog načina komunikacije usmjeravanja telegrama IP usmjernik koristi i komunikaciju 'Tuneliranjem' koja omogućuje preko IP veze veću brzinu pristupa pa se koriste za pristup s vizualizacijskim programima ili daljinski pristup sa ETS-om.

Literatura

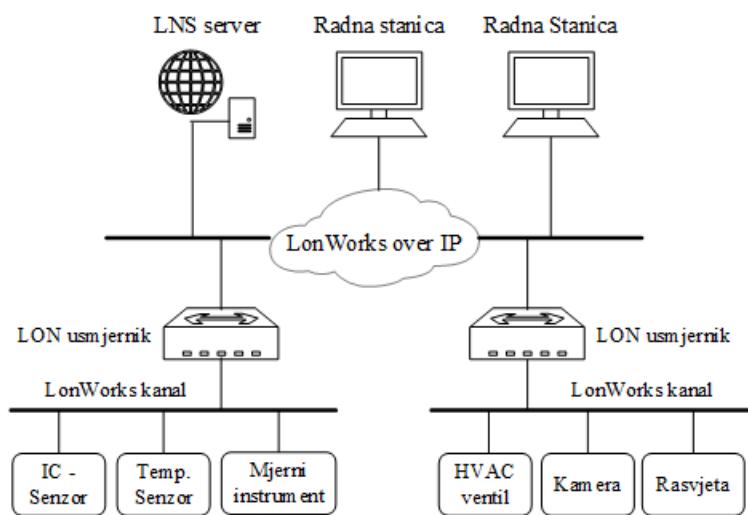
- [1] EIBA scrl, (1998.) *Project Engineering for EIB Installations Basic Principles 4ed.*
- [2] EIBA scrl, (1999.) *EIBA Handbook Series 3.0, Introduction to the system.*
- [3] KNX Association, (2013.) *KNX Basic Course.*
- [4] KNX Association: <http://www.knx.org/>

15. LON Works

LonWorks mrežnu tehnologiju razvio je Echelon Corporation 1988. god. i danas predstavlja jednu od vodećih tehnologija u automatizaciji stambenih i poslovnih objekata, javne rasvjete, javnog prijevoza i usluga, te tehnologiji industrijskih upravljačkih mreža temeljenih na M2M (*engl. machine-to-machine*) i IoT (*engl. Internet of Things*) komunikaciji.

LonWorks je *peer-to-peer* mreža u kojoj ne postoji nadređeni uređaj već svaki uređaj na mreži može komunicirati sa bilo kojim drugim uređajem. Ovo je omogućeno na način da je u svakom uređaju ili čvoru ugrađen tzv. *Neuron* čip koji sadrži LonTalk protokol kao *firmware*. Ovim je osigurana kompatibilnost uređaja i alata različitih proizvođača te pojednostavljena konfiguracija, nadzor i upravljanje mrežom. Na ovaj način svaki uređaj može na osnovu primljenih podataka vršiti odgovarajuće upravljačke funkcije pa naziv mreže i dolazi od akronima LON (*engl. Local Operating Network*) ili lokalna mreža sa upravljačkim funkcijama.

Na slici 15.1. prikazan je primjer LonWorks mrežne konfiguracije u kojoj su senzori i aktuatori povezani preko usmjernika na Ethernet mrežu čime je omogućen pristup uređajima preko WAN mreže sa radne stanice ili servera. Prednost je ovakve konfiguracije da se usmjernici ne moraju reprogramirati ako se želi pristupiti preko njih nekom drugom mrežnom segmentu kao što je slučaj kod primjene poveznika (*engl.gateway*).



Slika 15.1. LonWorks mreža u WAN okruženju

Komunikacija u LonWorks mreži zasnovana je na mrežnim varijablama koje se definiraju u svakom čvoru. Međusobna povezanost mrežnih varijabli u komunikaciji kreira se pomoću mrežnog alata (kao npr. Echelon LonMaker) kroz postupak koji se naziva *binding*. Mrežna varijabla je podatkovni element koji može biti predstavljen ili kao numerička varijabla ili kao strukturna varijabla. Većina varijabli je definirana u skladu sa SNVT (*engl. Standard Network*

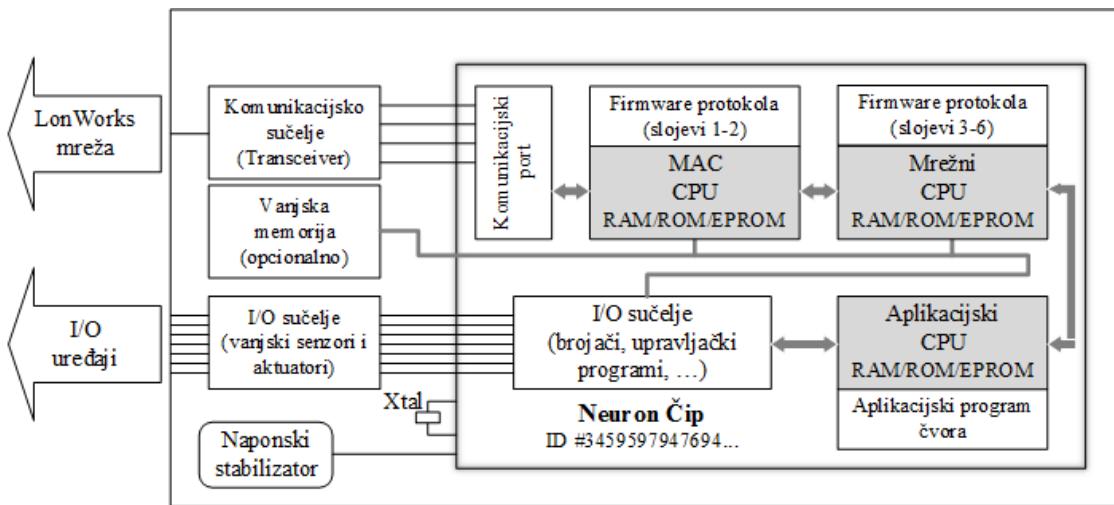
Variable Type) definicijama, koje omogućuju da varijabla bude predstavljena ne samo kao numerička vrijednost već i kao tipski podatak, npr. temperatura, pritisak, vlažnost i sl.

LonWorks mreža ne ovisi o prijenosnom mediju, a najčešće se koristi kabel sa upletenim paricama u tzv. slobodnoj topologiji (*engl. Free Topology*) koji podržava brzinu prijenosa od 78 kbit/s te prijenos preko IP mreže (*engl. LonWorks IP tunneling over Ethernet*).

LonTalk protokol je 1999. god. standardiziran kao ANSI/CEA-709.1, 2005. je prihvaćen kao europski standard za automatizaciju zgrada EN 14908, a 2008. god. je izdan i kao ISO/IEC 14908 standard.

15.1. LonWorks uređaji

Svaki se LonWorks uređaj, ili čvor, sastoji od Neuron čipa i komunikacijskog sučelja (*engl. transceiver*). Ovisno o funkciji uređaja u njega mogu biti ugrađeni senzori i aktuatori ili ulazno-izlazna sučelja za vanjske senzore i aktuatore (tzv. *LonPoint* moduli). Današnji uređaji podržavaju 11-pinsko I/O sučelje. Također mogu biti ugrađena sučelja za druge procesore, ili sučelje prema drugom Neuron čipu ili usmjerniku. Struktura LonWorks uređaja prikazana je na sl. 15.2.



Slika 15.2. Struktura LonWorks uređaja

15.1.1. Neuron čip

Neuron čip je više procesorski integrirani sklop koji podržava komunikacijske, upravljačke i I/O funkcije. Projektiran je da radi kao sistemski čip tako da ima ugrađeni *firmware* sa LonTalk protokolom, osnovna mrežna komunikacijska sučelja, aplikacijska I/O sučelja te operacijski sustav. Operacijski sustav zajedno sa LonTalk protokolom naziva se *Neuron Chip Firmware* a

upisan je u ROM memoriju svakog Neuron čipa. Na ovaj način je osigurano da je isti protokol implementiran u svim uređajima. Neuron čip podržava prvih 6 slojeva komunikacijskog protokola tako da je za konfiguriranje svakog uređaja na mreži dovoljno pridijeliti aplikacijski program i konfiguracijske parametre. Čip je dakle ujedno komunikacijski i aplikacijski procesor što osigurava da bez obzira tko je proizvođač uređaja protokol omogućuje njihovu komunikaciju na mreži.

RAM memorija čipa koristi se za konfiguracijske podatke i aplikacijski program koji se mogu upisati preko mreže. Aplikacijski program također može biti i permanentno zapisan u ROM memoriji. Aplikacijski program pored slanja i primanja podataka preko mreže vrši i funkciju procesiranja podataka i mjernih varijabli (npr. linearizaciju, skaliranje) te upravljačke logičke funkcije kao što su PID kontrola petlje, zapisivanje podataka ili vremensko planiranje.

Svaki čip je označen jedinstvenim tvorničkim 48-bitnim kodom (*Neuron ID*), koji ujedno predstavlja i fizičku adresu koja se koristi kod instalacije mreže i za potrebe dijagnostike.

Postoje dva osnovna tipa Neuron čipova, 3120 i 3150. Neuron čip sadrži tri 8-bitna CPU-a. Jedan je MAC procesor (*engl. Media Access Processor*) koji je zadužen za slanje i prijem poruka na mreži, provjeru odredišta i ispravnosti poruke (CRC). Drugi CPU je mrežni procesor i odgovoran je za srednje slojeve protokola. Zadaće koje obavlja su usmjeravanje paketa, adresiranje prema odredištu, potvrda prijema poruke, ponavljanje poruke, itd. Treći CPU je aplikacijski procesor na kojem se izvršava korisnički program.

Aplikacije za LonWorks su napisane u Neuron C jeziku koji je zapravo dopunjeni standardni ANSI C jezik. Dopune se odnose na nove naredbe, nove tipove podataka i objekata, te integrirani mehanizam razmjene poruka (uključuje fizičko, logičko i odredišno adresiranje te upotrebu mrežnih varijabli - NV). Neuron C temelji se na programskom modelu zasnovanom na događajima (*engl. events*), tako da aplikacije u svakom uređaju reagiraju tek nakon što se na nekom drugom uređaju u mreži detektira promjena varijable odnosno novi događaj. LonWorks mreža na ovaj način je znatno manje opterećena jer uređaji ne moraju stalno razmjenjivati podatke u ciklusima.

15.1.2. Komunikacijsko sučelje

Komunikacijsko sučelje (*engl. transciever*) predstavlja fizičku vezu između komunikacijskog priključka (*engl. port*) Neuron Čipa i LonWorks mreže odnosno prijenosnog medija. Mrežni segment na koji su priključeni uređaji naziva se LonWorks kanalom. Komunikacijska sučelja su dostupna za različite vrste medija i topologije. Svi uređaji priključeni na isti kanal moraju imati jednaka komunikacijska sučelja i prijenosne brzine. Kod mreže sa više kanala koji mogu biti izvedeni na istom ili različitim prijenosnim medijima, kanali moraju biti povezani LonWorks usmjernicima.

Komunikacijsko sučelje Neuron čipa izvedeno je sa 5 priključaka i može se konfigurirati na tri načina ovisno o prijenosnom mediju kanala::

- **Konfiguracija sa Manchester kodiranjem** koristi se za povezivanje na RS-485 ili slobodnu topologiju.
- **Konfiguracija sa Diferencijalnim Manchester kodiranjem** koristi se kod 2-žilnih sučelja. Najčešće je to topologija sa upletenim paricama. Ovo je inače početna konfiguracija za Neuron čip.
- **Konfiguracija posebne namjene** omogućuje dvosmjernu komunikaciju za povezivanje inteligentnih čvorova. Echelon koristi ovo sučelje za komunikaciju preko vodova električne mreže.

Inače Neuron čip ima već ugrađeno sučelje za komunikaciju preko upletenih parica ali se njegova upotreba ne preporuča jer su komunikacijske linije u tom slučaju spojene direktno na integrirani sklop bez električne izolacije (zaštite).

15.2. LonTalk protokol i OSI model

LonTalk protokol je dizajniran za posebne zahteve upravljačkih mrežnih sustava tako da je u razvoju prednost dana više pouzdanosti prijenosa podataka i vremenu odziva a manje brzini prijenosa. Stoga je LonTalk optimiziran za kratke poruke (tipično 12 bajtova, moguće do 255 bajtova) i brzine do 1.25 Mbit/s.

Protokol omogućuje komunikaciju između uređaja na mreži neovisno o topologiji mreže, adresi ili funkciji uređaja. Opcionalno protokol omogućuje potvrdu prijema poruka, njihovu autentikaciju te slanje po prioritetu unutar predvidenog vremena prijenosa. Svaki paket je sastavljen od promjenjivog broja bajtova i sadrži informacije svih slojeva. Svaki uređaj na liniji prema adresi paketa provjerava da li je paket upućen njemu i ako je da li sadrži podatke za aplikacijski program čvora ili je to mrežni upravljački paket. Ako se radi o podacima za aplikacijski program može se ako je potrebno poslati odgovor, poruka potvrde ili provjeriti autorizacija pošiljatelja.

Mrežnim upravljačkim uslugama omogućen je pristup svim uređajima na mreži, mogućnost njihove re-konfiguracije (adresa i parametara), spuštanje aplikacijskih programa na uređaje i njihovo pokretanje, te izvješćivanje o greškama.

LonTalk protokol podržava svih 7 slojeva OSI referentnog modela kao što je prikazano u tablici 15.1.

SLOJEVI OSI MODEL A	FUNKCIJA	LONTALK USLUGE PO SLOJEVIMA
7. Aplikacijski sloj	Aplikacijske funkcije	Konfiguracija parametara, dijagnostika, prijenos datoteka, mrežne usluge
6. Prezentacijski sloj	Interpretacija podataka	Mrežne varijable, aplikacijske poruke, prijenos okvira drugih mreža
5. Sesiji sloj	Upravljanje	Slanje i prijem podataka, autentikacija
4. Transportni sloj	Pouzdanost prijenosa	Potvrda prijema, tip usluge, definiranje paketa, detekcija duple poruke
3. Mrežni sloj	Prijenos poruke	Usmjeravanje paketa, adresiranje jednog ili više uređaja
2. Podatkovni sloj	Pristup mediju i kreiranje okvira	Kreiranje okvira, kodiranje, CRC detekcija greške, pristup mediju, detekcija i izbjegavanje kolizije, prioritet
1. Fizički sloj	Električne karakteristike	Sučelja i modulacijski postupci, prijenosni mediji

Tablica 15.1. LonTalk i OSI model

- **Aplikacijski sloj** omogućuje kompatibilnost razmjene podataka između različitih aplikacija kao i definiranje samog protokola prijenosa podataka.
- **Prezentacijski sloj** definira kodiranje podataka nižih slojeva. Poruke mogu biti kodirane kao mrežne varijable, aplikacijske poruke ili okviri drugih mreža.
- **Sesiji sloj** vrši upravljanje razmjene podataka nižih slojeva te omogućuje udaljeni pristup na poslužitelje u mreži. Također definira autentikacijski protokol koji omogućuje uređaju koji prima poruku da li je pošiljatelj autoriziran za slanje te poruke.
- **Transportni sloj** osigurava pouzdani prijenos paketa. Poruke se mogu razmjenjivati korištenjem usluge sa potvrdom primitka. Sloj također definira kako se mogu detektirati i odbaciti duplicitne poruke ponovno poslane zbog neprimljene potvrde primitka.
- **Mrežni sloj** određuje kako se paketi prosljeđuju do uređaja bez obzira da li se radi o istom mediju. Također definira adresiranje i nazive uređaja.
- **Podatkovni sloj** definira metodu pristupa mediju, kodiranje i kreiranje okvira. Metoda pristupa određuje kada uređaj može poslati podatke i kako prijemni uređaj može primiti i detektirati greške u prijenosu. Metoda prioriteta osigurava prijenos važnih poruka.

- **Fizički sloj** osigurava povezivanje uređaja preko prijenosnog medija. LonWorks protokol je neovisan o mediju tako da podržava više protokola.

15.3. Prijenosni mediji i topologije

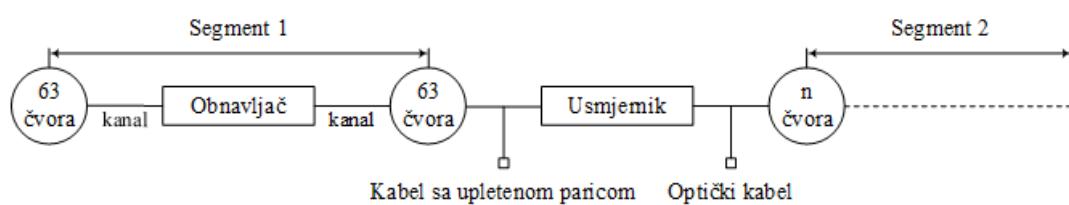
LonTalk protokol je razvijen da bude neovisan o prijenosnom mediju te je na taj način omogućena komunikacija preko svih vrsta fizičkih medija uključujući kabele sa uplenom paricom, vodove električne mreže, koaksijalne i optičke kabele te putem infracrvene i radio veze. Svaki tip medija ima svoja ograničenja u smislu maksimalnog broja podržanih uređaja po segmentu, brzini prijenosa podataka ili fizičkoj duljini segmenta. U tablici 15.2. su navedene karakteristike za najčešće korištene LonWorks topologije i tipove prijenosnih medija.

TIP KANALA	PRIJENOSNI MEDIJ	TOPOLOGIJA	BRZINA PRIJENOSA	BROJ UREĐAJA PO SEGMENTU	MAX UDALJENOST IZMEĐU UREĐAJA	DULJINA SEGMENTA
TP/FT-10	Upletene parice	Slobodna topologija, sabirnica	78 kbit/s	64	500 m (slobodna topologija)	Slobodna topologija 500 m Sabirnica 2700 m
TP/LP-10	Upletene parice	Slobodna topologija, sabirnica	78 kbit/s	128	500 m (slobodna topologija)	Slobodna topologija 500 m Sabirnica 2700 m
TP/XF-1250	Upletene parice	Sabirnica	1.25 Mbit/s	64	125 m	125 m
PLT-22	Električna mreža	Slobodna topologija, sabirnica	~ 5 kbit/s	N/a	N/a	Kilometri
LonWorks IP	CAT-5, koaks. kabel, ...	Slobodna topologija	N/a	N/a	N/a	Neograničeno - WAN
FO-10	Optički kabel	Sabirnica	~ 1.25 Mbit/s	Stotine	N/a	30 km

N/a - određeno uvjetima na mreži i mrežnim postavkama

Tablica 15.2. Vrste LonTalk kanala

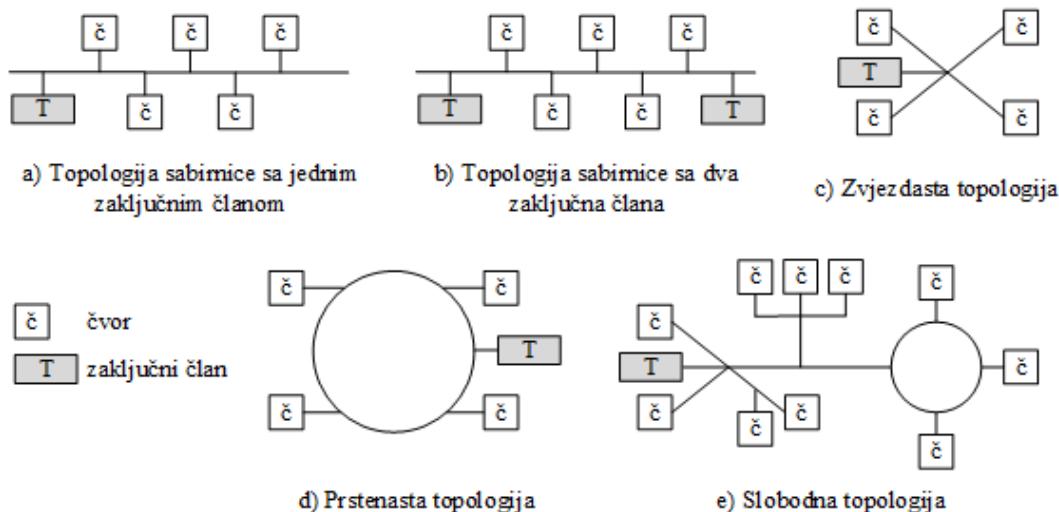
Svaki segment u LonWorks mreži podržava najviše 64 uređaja. Broj uređaja se na istom segmentu može povećati povezivanjem kanala pomoću obnavljača ili mosta. Za povezivanje kanala na različitim prijenosnim medijima koriste se usmjernici. Oni se također koriste i u slučajevima kada je broj uređaja na segmentu veći od 127 ili ako je duljina segmenta veća od dozvoljenog za danu topologiju. Usmjernici se mogu konfigurirati za rad kao obnavljači, mostovi ili tzv. intelligentni usmjernici. Intelligentni usmjernici se mogu ručno konfigurirati ili to mogu radi autonomno (*engl. learning router*). LonWorks mreža ukupno podržava 32 385 čvorova. Povezivanje kanala u LonWorks mreži je prikazano na sl. 15.3.



Slika 15.3. Topologija mreže

15.3.1. TP/FT-10 slobodna topologija

TP/FT-10 slobodna topologija najčešće se koristi od svih topologija zbog jednostavnosti instalacije i ekonomičnosti. Omogućuje povezivanje uređaja preko kabela sa upletenom paricom. Za razliku od linearne sabirnice uređaji kod slobodne topologije mogu biti povezani neovisno o broju grana ili duljini ogranaka i to u svim konfiguracijama linearne, zvjezdaste i prstenaste topologije, sl. 15.4.



Slika 15.4. TP/FT-10 podržane topologije

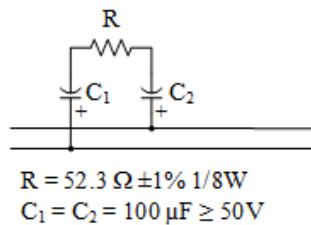
Slobodna topologija TP/FT-10 podržava brzine prijenosa od 78 kbit/s uz korištenje diferencijalnog Manchester kodiranja za prijenos signala. Linija je zaključena na samo jednom kraju i neovisna o polaritetu vodiča. Mrežni segment podržava do 64 uređaja, a primjenom tzv. *Link Power System-a* moguće je povećati broj uređaja na 128. *Link Power System* omogućuje napajanje uređaja i komunikaciju preko iste linije. Dodatna proširenja segmenata i mreže moguće je ostvariti primjenom obnavljачa i usmjernika.

Prema specifikaciji preporuča se upotreba kabela presjeka 16AWG ili promjera 1.3 mm. Ovoj kategoriji kabela pripadaju kabeli TIA kategorije 5, JY(St)Y, Belden 8471 i sl.

15.3.2. TP/FT-10 zaključenje

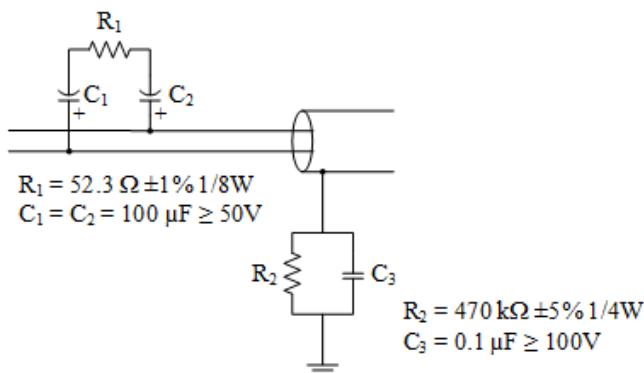
Zaključenje mrežnog segmenta u TP/FT-10 ovisi o topologiji te da li se koristi kabel sa ili bez oklopa. U slobodnoj topologiji koristi se samo jedan zaključni element koji može biti smješten bilo gdje na segmentu. Zaključni element može biti izведен na dva načina: primjenom RC člana, sl. 15.5., sa $R=52.3\Omega \pm 1\%$ 1/8W, ili postavljanjem kratko spojnika '1 CPLR' na LPI-10 sučelju (*engl. Link Power Interface*). Kod topologije sabirnice zaključenje mora biti izvedeno na oba kraja sabirnice. Zaključenje također može biti izvedeno na dva načina: primjenom RC

člana u istoj konfiguraciji, sl. 15.5., ali sa $R=105\Omega \pm 1\% 1/8W$, ili postavljanjem kratko spojnika '2 CPLR' na LPI-10 sučelju. Dozvoljeno je koristiti samo jedno LPI-10 sučelje po segmentu.



Slika 15.5. Zaključenje TP/TF-10 mrežnog segmenta za neoklopljeni kabel

Kod oklopljenog kabela zaključenje segmenta je ostvareno na isti način kao i kod neoklopljenog s tom razlikom da se omotač mora dodatno uzemljiti preko RC člana ($C_3=0.1\mu F$ 10% $\geq 100V$, $R_2=470 k\Omega \pm 5\% 1/4W$), sl. 15.6. Omotač nije spojen direktno na uzemljenje već preko kondenzatora kako bi se izbjeglo kreiranje AC i DC strujnih petlji duž omotača. Prema preporuci uzemljenje omotača trebalo bi biti izvedeno kod svakog uređaj ili barem na jednom mjestu za svaki mrežni segment.



Slika 15.6. Zaključenje TP/TF-10 mrežnog segmenta za oklopljeni kabel

15.4. Metoda pristupa liniji

Podatkovni sloj LonTalk protokola specificira način kodiranja i prijenos podataka. Ovim je određeno kada uređaj može poslati poruku te kako je primiti i provjeriti njenu ispravnost. Za pristup liniji LonTalk protokol koristi *predictive p-persistent CSMA* algoritam, sličan onom koji se koristi na Ethernetu. Naime svaki uređaj može poslati poruku za vrijeme neaktivnosti kanala samo unutar vremenskog odsječka koji mu je definiran prema slučajnoj vrijednosti. Protokol svakom uređaju dodjeljuje vrijednost ovog vremenskog odsječka prema vjerojatnosti p . Ovim je znatno smanjena kolizija odnosno vjerojatnost da više uređaja šalje poruke u isto vrijeme. Dodatno poboljšanje ostvareno je dinamičkim podešavanjem vjerojatnosti p prema

mrežnom prometu. Broj vremenskih odsječaka se u tom slučaju povećava sa porastom mrežnog prometa čime se smanjuje vrijeme pristupa svakog uređaja, a time i kolizija poruka.

Prediktivni p -algoritam najbolje rezultate pokazuje kod prijenosa poruka sa potvrdom prijema jer se broj potvrđenih poruka koristi tada u prediktivnom algoritmu za dinamičko povećanje vremenskih odsječaka. Dinamičkim podešavanjem algoritam omogućuje da mreža radi jednakom bez obzira na opterećenost uz minimalne kolizije.

15.5. LonTalk adresiranje

Adresiranje uređaja ostvareno je kroz mrežni sloj LonTalk protokola. Adrese se definiraju kod mrežne konfiguracije, a ovisno o tipu adrese poruke se mogu slati pojedinačno svakom uređaju, grupi uređaja ili svim uređajima. Kod LonTalk protokola možemo razlikovati fizičku adresu, adresu uređaja, grupnu adresu i *broadcast* adresu.

15.5.1. Fizička adresa

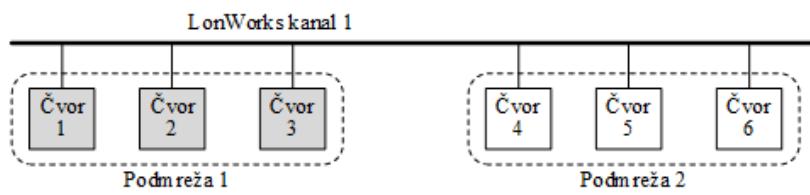
Svaki uređaj ima jedinstvenu 48-bitnu adresu, *Neuron ID*, koja je dodijeljena tvornički i ne može se mijenjati. Ova adresa se prvenstveno koristi kod instalacije i konfiguracije mreže, jer omogućuje komunikaciju sa uređajem koji nema konfiguiranu logičku adresu.

15.5.2. Adresa uređaja

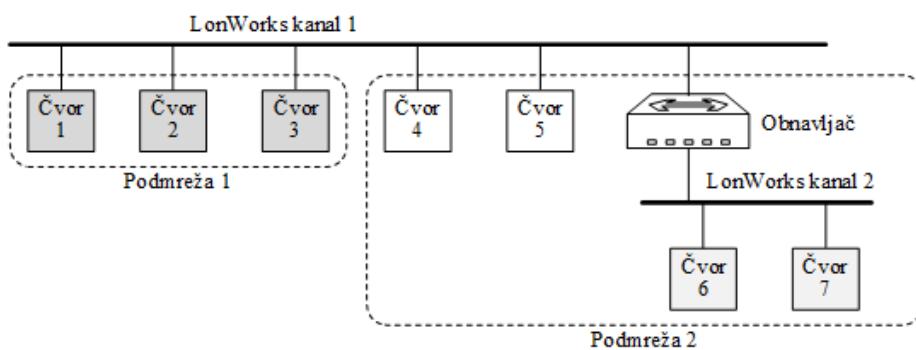
Adresa uređaja je logička adresa koja se dodjeljuje svakom uređaju koji se instalira na mrežu. Sastoji od tri dijela: adrese domene, podmreže i čvora.

- **Adresa domene** predstavljena je identifikatorom domene (*engl. domain ID*) koji može biti konfiguriran sa 0, 1, 3 i 6 bajta ovisno o veličini domene i načinu upravljanja mrežom. Identifikator sa 0 bajta je rezerviran za potrebe administracije mreže, dok su identifikatori sa 1 i 3 bajta namijenjeni kod mreža sa jednim administratorom. Domena predstavlja logički skup uređaja koji se mogu nalaziti na različitim kanalima jedne ili više mreža. Uređaji mogu pripadati i različitim domenama ali je komunikacija dozvoljena samo između uređaja iste domene. Ukupno je moguće u domeni imati 32 385 uređaja.
- **Adresa podmreže** (*engl. Subnet*) definira grupu uređaja koji se nalaze na istom segmentu. Unutar segmenta uređaji se mogu nalaziti na istom kanalu, a ako se nalaze na različitim kanalima moraju se međusobno povezati obnavljačem. Segmenti a time i podmreže se ne mogu kreirati preko usmjernika. Podmrežna adresa predstavljena je sa identifikatorom podmreže (*engl. Subnet ID*) i koristi se za usmjeravanje poruka u većim mrežama. Svaka podmrežna grupa može imati najviše 127 uređaja, a unutar domene je

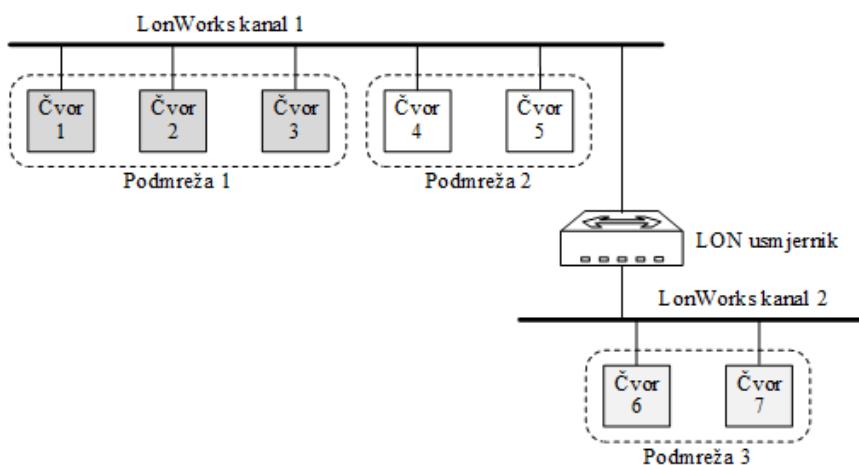
moguće definirati 255 podmreža. Na slikama 15.7., 15.8. i 15.9. su prikazani primjeri konfiguracija podmrežnih grupa kreiranih na istim i različitim kanalima.



Slika 15.7. Konfiguracija podmrežnih grupa na istom kanalu



Slika 15.8. Konfiguracija podmrežne grupe na dva kanala sa obnavljачem



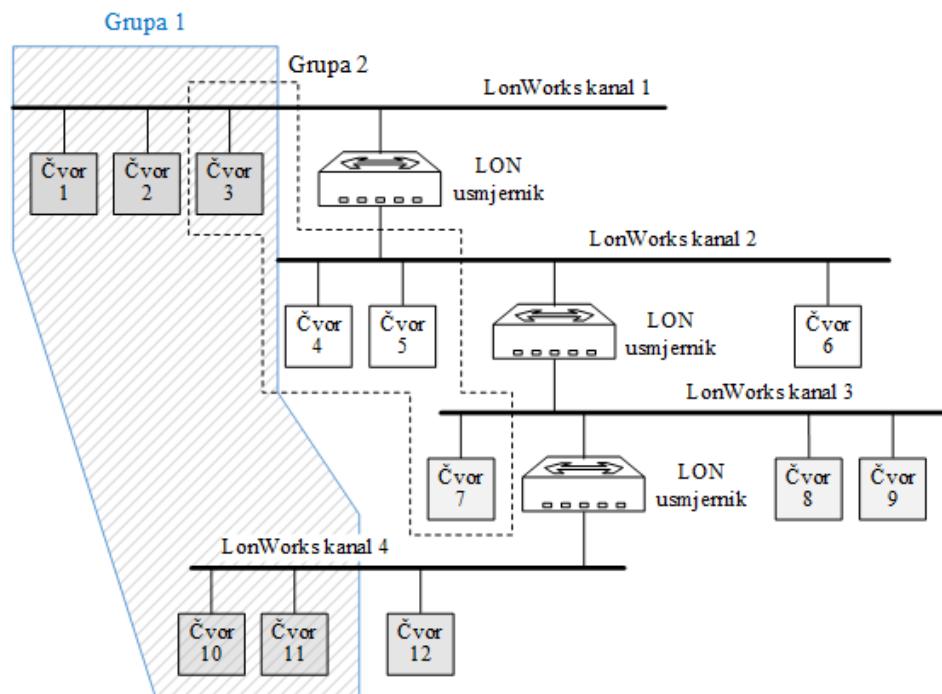
Slika 15.9. Konfiguracija podmrežnih grupa povezanih usmjernikom

- **Adresa čvora** predstavljena je 7-bitnim identifikatorom (*engl. Node ID*) što omogućava adresiranje 127 uređaja unutar svake podmrežne grupe.

Svaki uređaj na mreži je jednoznačno određen adresom uređaja. Ukupni broj uređaja u domeni definiran je brojem dostupnih adresa podmreža (255) i dostupnih adresa uređaja u svakoj podmreži (127) što iznosi sveukupno 32 385.

15.5.3. Grupna adresa

Grupa predstavlja logički skup uređaja unutar jedne domene. Za razliku od podmreže uređaji su ovdje grupirani neovisno o lokaciji na mreži unutar domene. Za adresiranje grupe koristi se 8 bita što omogućuje kreiranje 256 grupa. Svaka grupa može sadržavati najviše 64 uređaja ako se koristi usluga slanja potvrde primljene poruke, u suprotnom nema ograničenja. Po *Neuron firmware* specifikaciji svaki uređaj može istovremeno biti konfiguriran u najviše 15 grupa. Na slici 15.10. prikazan je primjer mreže sa dvije grupe.



Slika 15.10. Konfiguracija mreže sa dvije grupne adrese

Broadcast Adresa - Koristi se kada se želi uputiti poruka svim uređajima u podmreži ili domeni.

15.6. LonTalk poruke

Transportni sloj LonTalk protokola osigurava pouzdanost prijenosa poruka do odredišta. U sklopu ovog sloja protokol pruža tri osnovna tipa usluga u razmjeni poruka:

- **Potvrda prijema poruke sa ponavljanjem (engl. Acknowledged messaging)**

Kod ove usluge poruka se šalje uređaju ili grupi uređaja, a svaki uređaj mora potvrditi prijem poruke. Usluga podržava najviše 64 uređaja u grupi. Ako nije primljena potvrda prijema od svih uređaja pošiljatelj će ponoviti slanje nakon definiranog vremena isteka (*engl. timeout*). Broj ponavljanja kao i vrijeme isteka za prijem mogu se podešavati. Osnovna postavka je podešena na 3 ponavljanja. Ako se i nakon definiranog broja ponavljanja ne potvrdi prijem poruke označava se zastavica za indikaciju o grešci prijenosa poruke. U aplikaciji je u tom slučaju definirano kakva je reakcija sustava na pogrešku.

- **Prijem poruke bez potvrde sa ponavljanjem (engl. Unacknowledge repeated)**

Poruka kod ove usluge može biti poslana uređaju ili grupi uređaja više puta. Broj ponavljanja se može podešavati. Ova usluga se obično koristi kod slanja *broadcast* poruke većoj grupi uređaja. Korištenje usluge potvrde prijema u ovom slučaju bi uzrokovalo slanje odgovora svih uređaja u isto vrijeme što bi samo dodatno opteretilo komunikaciju.

Primjer kontrole vatrodojavnog sustava u objektu: Ako se detektira požar prioritet sustava je da aktivira alarm, uključi sustav gašenja (npr. sprinkler sustav) i sva svjetla. Traženje potvrde prijema poruke od svakog svjetla bi stvorilo preveliko opterećenje komunikacije na mreži i utjecalo na pouzdanost prijema važnih poruka. Ponavljanje poruke u ovom slučaju povećava vjerojatnost da će lampe dobiti poruku bez opterećenja mreže.

- **Prijem poruke bez potvrde (engl. Unacknowledge)**

Kod ove usluge nakon slanja poruke se ne očekuje odgovor. Obično se koristi za poruke manje važnosti gdje nije kritično ako se poruka uvijek ne primi (npr. slanje poruke uređaja o vanjskoj temperaturi ili tlaku zraka svakih 5 minuta).

LonTalk protokol također podržava autentikaciju poruka. Ovo je ostvareno na razini sesijskog sloja.

- **Usluga autentikacije** dozvoljava uređajima koji primaju poruku provjeru da li je uređaj koji je poslao poruku autoriziran za slanje. Autentikacija sprječava neovlašteni pristup uređajima i implementirana je distribuiranjem 48-bitnog ključa uređajima u vrijeme instalacije.

Razmjena poruka između aplikacija ostvarena je kroz prezentacijski sloj. Tip poruke definiran je kodom poruke veličine 1 bajta a svaka poruka može sadržavati do 277 bajta podataka. Izuzetak čine mrežne varijable koje se sastoje od 1 do 31 bajta podataka. U tablici 15.3. prikazani su podržani kodovi poruka u LonWorks mreži.

VRSTA PORUKE	KOD PORUKE (HEKSADECIMALNI)	KOD PORUKE (DECIMALNI)
Korisnička aplikacijska poruka	00 – 2F	0 - 47
Standardna aplikacijska poruka	30 – 3E	48 - 62
Poruka koja predstavlja okvire drugih mreža	40 – 4E	64 - 78
Mrežna dijagnostička poruka	50 – 5F	80 - 95
Mrežna upravljačka poruka	60 – 7F	96 - 127
Poruka sa mrežnom varijablom	80 - FF	128 - 255

Tablica 15.3. Kodovi LonWorks poruka

15.7. LonTalk mrežne varijable

LonTalk protokol koristi koncept mrežnih varijabli (*engl. Network Variables – NV*) u komunikaciji između uređaja. Neuron C programskim jezikom omogućeno je da se varijabla u aplikaciji može deklarirati kao mrežna varijabla – NV, i to kao ulazna (*engl. Network Input*) ili izlazna varijabla (*engl. Network Output*) odgovarajućeg tipa podataka. Operacijski sustav Neuron čipa prema deklaraciji varijable zna da li izmjenjeni podatak u mrežnoj varijabli treba proslijediti aplikaciji uređaja ako se radi o ulaznoj varijabli ili na mrežu ako se radi o izlaznoj varijabli. Pri tom nije potrebno programirati komunikacijske funkcije u aplikaciji jer su one već sastavni dio protokola (npr. definicija strukture paketa, format okvira, funkcije slanja i prijema varijabli, ...). Mrežne varijable su definirane na svakom uređaju.

Povezivanje ulaznih i izlaznih mrežnih varijabli u komunikacijsku vezu izvodi se kroz postupak koji se naziva '*binding*'. Ovo se obično radi kada se konfigurira mreža i to primjenom programskog alata kao što je Echelon LonMaker. Pridruživanjem varijabli definira se koje ulazne i izlazne mrežne varijable međusobno mogu razmjenjivati podatke. Pri tom je moguće da jednoj ulaznoj varijabli bude pridruženo više izlaznih, i obratno da je jednoj izlaznoj pridruženo više ulaznih varijabli. Pridruživanje se može izvesti samo za mrežne varijable istog podatkovnog tipa. Svaki put kad program uređaja zapise novu vrijednost u jednu od svojih izlaznih varijabli, nova vrijednost se prenese preko mreže na sve uređaje sa ulaznom mrežnom varijablom koja je u postupku *binding-a* povezana na ovu izlaznu mrežnu varijablu. Ovo obavlja protokol unutar Neuron čipa. Na ovaj način u aplikacijskom programu uređaja nije potrebno definirati odakle dolazi i kud odlazi mrežna varijabla. Postupkom '*bindinga*' LonTalk *firmware* je konfiguriran da zna logičku adresu uređaja ili grupe uređaja u mreži gdje očekuje

određenu mrežnu varijablu, te u skladu s tim prikuplja i šalje odgovarajuće pakete tim uređajima. Postupak pridruživanja mrežnih varijabli a time i uređaja moguće je uvijek ostvariti i nakon puštanja mreže u rad. Ovim je znatno pojednostavljen razvoj i održavanje mreže jer je za npr. promjenu upravljanja rasvjetom dovoljno definirati nove komunikacijske veze između senzora i lampi odnosno njihovih odgovarajućih mrežnih varijabli.

Kompatibilnost uređaja različitih proizvođača dodatno je ostvarena upotrebom standardnih mrežnih varijabli SNVT-a (*engl. Standard Network Variable Types*). Echelon podržava listu od preko 100 tipova SNVT-a koje uzimaju u obzir sve fizičke mjerne tipove varijabli. Varijable mogu biti izražene kao cjelobrojne ili realne vrijednosti, ali i kao strukturne variable koje se sastoje od više elemenata. Posebna je karakteristika mrežnih varijabli da su tipizirane za određene mjerne jedinice i skalirane za odgovarajuću rezoluciju. Na primjer varijable mogu biti deklarirane kao tip *SNVT_temp* koja je tipski predstavljena u stupnjevima Celzijus sa točnošću od 0.05 °C. Primjer dijela SNVT varijabli prikazan je u tablici 15.4.

TIP SNVT VARIABLE	JEDINICA	TIP SNVT VARIABLE	JEDINICA
Temperatura	° C	Težina	lbs, kg
Relativna vlažnost	%	Vrijeme	MM, DD, YYYY
Energija	kWh	Dan u tjednu	Lista dana u tjednu
Napon	DC ili AC RMS	Razina zvuka	dBmc
Otpor	Ω	Brzina	M/h ili km/h
Protok	Galoni ili lit./h	----	----

Tablica 15.4. SNVT primjeri tipova varijabli

Literatura

- [1] Echelon Corporation, (1999.) *Introduction to the LonWorks System ver. 1.0*.
- [2] Echelon Corporation, *Introduction to the LonWorks Platform ver. 2.0*.
- [3] Echelon Corporation, (2009.) *Introduction to the LonWorks Platform Revision 2*.
- [4] Zurawski, R. (2005.) *Industrial Communication Technology Handbook*, 2. edition, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [5] Real Time Automation, *LonWorks White Paper*, <http://www.rtaautomation.com/>

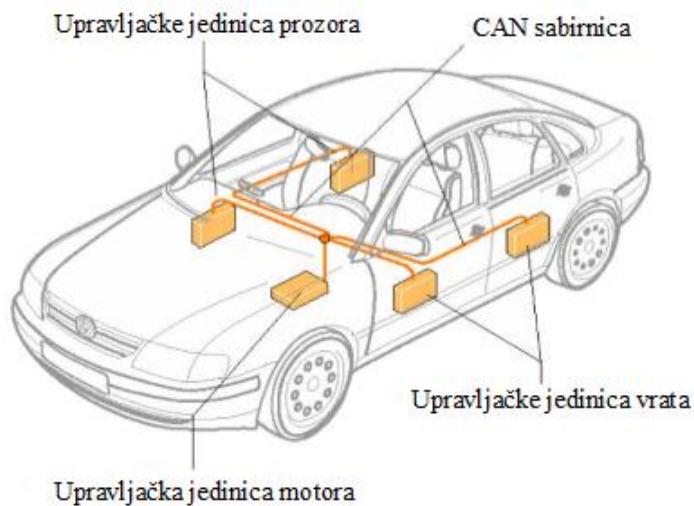
16. CAN Bus

CAN (*engl. Controller Area Network*) je serijski komunikacijski protokol razvijen za potrebe automobilske industrije, ali je zbog svoje ekonomičnosti, pouzdanosti prijenosa, brze mogućnosti detekcije i otklanjanja grešaka te malog vremenskog odziva našao široku primjenu od industrijske automatizacije, zrakoplovstva, pomorstva, medicinske opreme, do kućanskih uređaja.

Protokol je razvila tvrtka Robert Bosch GmbH početkom 80-tih, a službeno je predstavljen 1986. na SAE (*engl. Society of Automotive Engineers*) kongresu u Detroitu. God. 1991. Bosch je izdao specifikaciju protokola CAN 2.0., a 1993. protokol je standardiziran kao ISO 11898. Standard je 1995. dopunjen specifikacijom za prošireni okvir sa 29-bitnim identifikatorom. Razvoj i potpora CAN standardu ostvareni su kroz međunarodnu organizaciju CiA (*CAN-in-Automation*) koja je utemeljena 1992. god.

CAN omogućuje preko dvožične linije brzu komunikaciju između mikrokontrolera odnosno elektronskih upravljačkih jedinica ECU (*engl. Electronic Control Units*). Za udaljenosti do 40 m moguće su brzine prijenosa podataka do 1 Mbit/s, a smanjenjem brzine prijenosa povećava se udaljenost komunikacije (npr. 500 m za 125 kbit/s).

Moderni automobili imaju oko 70-tak elektroničkih upravljačkih jedinica za različite podsisteme, sl. 16.1. Tipično najveći procesor je upravljačka jedinica motora (*engl. ECM - Engine Control Module*); ostali se koriste za prijenos, zračne jastuke, ABS, navigaciju, audio sisteme, vrata, prozore, akumulatore, punjenje baterija kod hibridnih sistema itd.



Slika 16.1. CAN mreža u automobilu

CAN je također jedan od pet protokola koji se koriste u OBD-II (*engl. On-Board Diagnostics*) dijagnostičkim standardima za vozila. OBD-II standard je obvezatan za sve automobile i manje kamione u SAD-u od 1996.god., a EOBD (*engl. European On-Board Diagnostics*) standard je obvezatan za sva benzinska vozila u Evropi od 2001, te dizel vozila od 2004.god.

Uređaji povezani na CAN mrežu su tipično senzori i aktuatori ali mogu biti i drugi upravljački uređaji. Na mrežu su spojeni preko čvorova (*engl. nodes*) koji se sastoje od:

- **Mikrokontrolera** (*engl. host processor*) – upravlja slanjem poruka, dekodira primljene poruke i na njega su spojeni uređaji.
- **CAN kontrolera** – ima ulogu međuspremnika između mikrokontrolera i primopredajnika. Kod prijema CAN kontroler mora preuzeti cijelu poruku prije nego je proslijedi mikrokontroleru. Kod slanja mikrokontroler prosljeđuje poruku CAN kontroleru za kreiranje okvira.
- **Primopredajnika** (*engl. Transceiver*) – predstavlja sučelje CAN kontrolera prema sabirnici.

Komunikacija između uređaja u CANBUS-u je ostvarena u *multi-master broadcast* modu što znači da svi čvorovi mogu slati i primati poruke, ali ne istovremeno.. Poruke se na prijemu ne razlikuju prema odredišnoj adresi čvora kao što je to slučaj kod ostalih *fieldbus* mreža već prema identifikatoru poruke koji ujedno definira prioritet poruke. Ukoliko dođe do istovremenog slanja poruka više čvorova kolizija se rješava postupkom arbitraže poruke na sabirnici (*engl. priority based bus arbitration*). Rezultat arbitraže je da će na kraju ovog postupka slanje poruke nastaviti samo onaj čvor koji šalje poruku najvećeg prioriteta odnosno poruku čiji identifikator ima najmanju binarnu vrijednost. Poruka može sadržavati do 8 bajtova podataka.

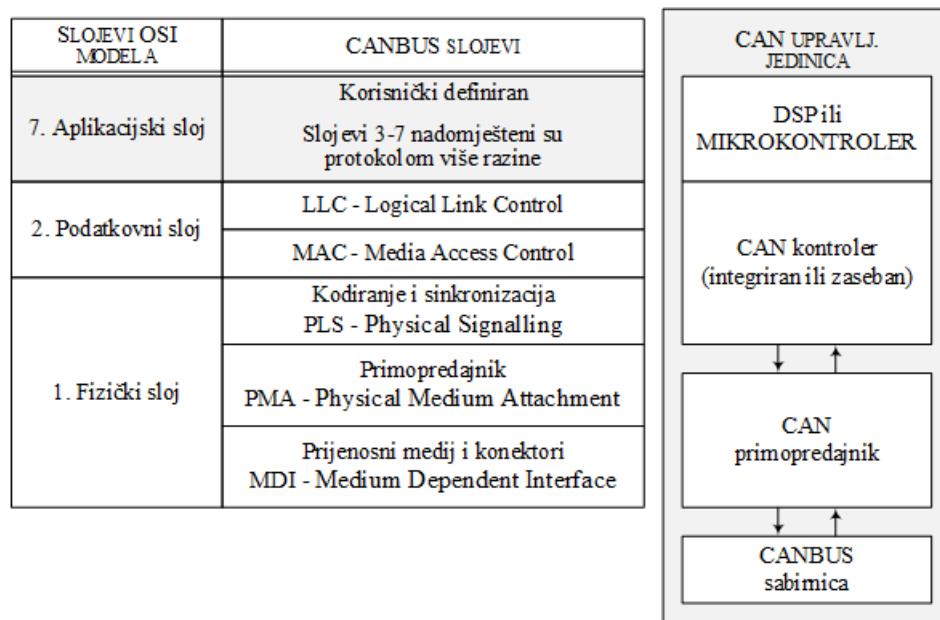
16.1. CAN i OSI model

U usporedbi sa OSI referentnim modelom CAN protokol koristi samo fizički (1) i podatkovni (2) sloj, sl. x.2. Povezivanje podatkovnog sloja sa aplikacijskim je ostvareno kroz protokole više razine kao što su CANopen, DeviceNet ili SAE J1939. Izbor protokola više razine ovisi o proizvođaču odnosno onome tko projektira mrežu.

- **Aplikacijski sloj** predstavlja poveznicu CAN protokola sa operacijskim sustavom ili aplikacijom CAN uređaja.
- **Podatkovni sloj** zadužen je za slanje i primanje podataka te provjeru njihove ispravnosti. Sastoji se od dva podsloja, LLC-a (*engl. Logical Link Control*) i MAC-a (*engl. Media Access Control*). LLC podsloj vrši funkcije izdvajanja podataka iz okvira,

ispravke grešaka i signalizira preopterećenje u komunikaciji. MAC podsloj je zadužen za kreiranje okvira poruke, potvrdu njihovog prijema, vrši arbitražu pristupa sabirnici, te detekciju i signalizaciju greške.

- **Fizički sloj** definira sklopolje (*engl. hardware*), karakteristike električnog signala, način kodiranja i sinkronizacije, prijenosni medij i sl. Sastoje se od 3 podsloja: PLS (*engl. Physical Signalling*), PMA (*engl. Physical Medium Attachment*) i MDI (*engl. Medium Dependent Interface*).

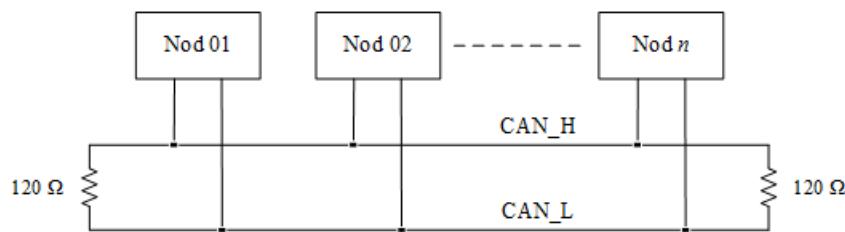


Slika 16.2. CAN i OSI model

16.2. Fizički sloj

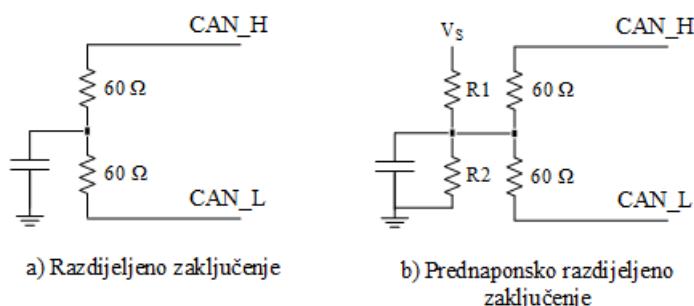
16.2.1. Topologija i zaključenje linije

Uređaji u CAN mreži povezani su na dvožilnu simetričnu liniju, sabirnicu, koja je na krajevima zaključena otpornikom tipične vrijednosti 120Ω radi smanjenja utjecaja refleksije signala, sl. 16.3.



Slika 16.3. CAN topologija

Prema specifikaciji ISO 11898-2 zaključni otpornik treba biti vrijednosti od 100 do 130 Ω minimalne disipacije 220 mW. Smanjenjem vrijednosti zaključnih otpornika smanjuje se broj priključnih CAN čvorova u mreži. Pored ovog standardnog oblika zaključenja koriste se još dva načina, razdijeljeno (engl. *Split termination*) i prednaponsko razdijeljeno (engl. *Bias split termination*) zaključenje. Razdijeljeno zaključenje, sl. 16.4.a. omogućuje smanjeno zračenje linije, a prednaponsko razdijeljeno zaključenje, sl. 16.4.b., povećava ukupnu EMC (engl. *Electromagnetic Compatibility*) performansu linije tj. smanjenu osjetljivost na utjecaje elektromagnetskih zračenja te nisku razinu emisije.



Slika 16.4. Zaključenje CAN linije a) razdijeljeno, b) prednaponsko razdijeljeno

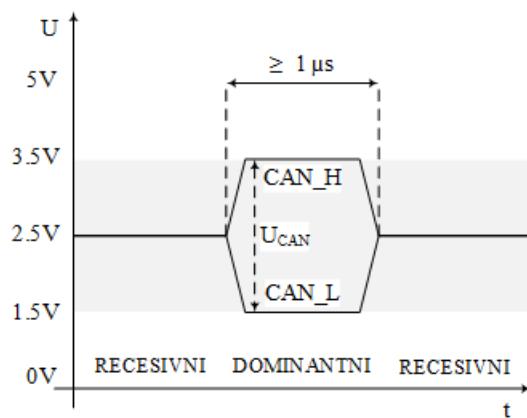
Maksimalna duljina sabirnice ovisna je o brzini prijenosa podataka kao što je prikazano u tablici 16.1. CAN protokolom je definirana maksimalna brzina od 1 Mb/s uz dozvoljenu duljinu sabirnice od 40 m. Priključni ogranci za povezivanje čvorova na sabirnicu ne smiju kod ove brzine biti veći od 0.3 m. Smanjenjem brzine može se povećati duljina linije do 6700 m. Razlog ovog ograničenja je vrijeme propagacije signala i činjenice da je pristup sabirnici određen postupkom arbitraže na razini svakog bita. Da bi se mogla provesti arbitraža signal odgovora mora se vratiti pošiljatelju od najdaljeg čvora unutar vremenskog trajanja jednog bita kako bi on mogao usporediti razinu signala na sabirnici u odnosu na vrijednost koju je poslao za svaki bit.

BRZINA (kb/s)	VRIJEME BITA (μs)	DULJINA SABIRNICE (m)
10	100	6700
20	50	3300
50	20	1300
125	8	530
250	4	270
500	2	130
1000	1	49

Tablica 16.1. CANBus sabirnica i brzine prijenosa podataka

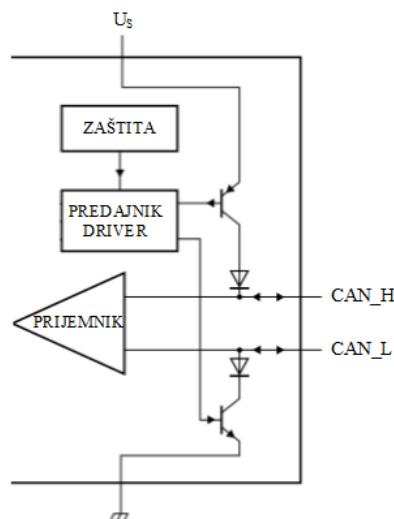
16.2.2. CAN signal

Signal je u CAN protokolu predstavljen sa dva logička stanja, dominantnim (logička '0') i recesivnim bitom (logička '1'), kao što je prikazano na sl. 16.5. Za vrijeme dominantnog bita naponska razina signala CAN_H vodiča u odnosu na napon 0V referentnog vodiča iznosi 3.5V, a na CAN_L vodiču iznosi 1.5V. Naponska razina na oba vodiča za vrijeme recesivnog bita jednaka je i iznosi 2.5V.

**Slika 16.5.** CANBus signal

Budući sabirnica predstavlja simetričnu liniju logička stanja predstavljena su razlikom napona na oba vodiča, $U_{CAN} = U_{CAN_H} - U_{CAN_L}$. Napon na liniji je za vrijeme dominantnog bita jednak 2V, a za vrijeme recesivnog 0V. Zbog simetričnosti linije signal će biti manje osjetljiv na smetnje budući one utječu jednako na oba vodiča tako da razlika napona ostaje uvijek ista. Eventualne promjene napona linije U_{CAN} uzete su u obzir definiranjem praga detekcije dominantnog i recesivnog bita. Minimalni napon detekcije dominantnog bita je 0.9V, a detekcija recesivnog bita je određena naponom linije manjim od 0.5V.

CAN kontroler je povezan na sabirnicu preko sučelja (*engl. Transceiver*) koji omogućuje pretvorbu izlaznog napona kontrolera 0 i 5V (TTL logika) na CAN naponske razine sabirnice. Izlazni stupanj sučelja je obično izведен u spoju otvorenog kolektora i povezan interna na ulaz prijemnika, sl. 16.6. Kada je više uređaja spojeno na sabirnicu napon linije je određen logičkim T' (*engl. AND*) stanjem svih izlaza (tzv. *Wired AND* konfiguracija). U tom slučaju logičko stanje linije biti će određeno dominantnim bitom bilo kojeg CAN uređaja na sabirnici. Linija će biti u recesivnom stanju samo ako su izlazi sučelja svih CAN uređaja recesivni. Na sl. 16.6. prikazan je izlazni stupanj tipičnog CAN sučelja (model PCA82C250, NXP Semiconductors). Primjenom PCA82C250 sučelja moguće je povezati preko 110 CAN čvorova na mrežu.



Slika 16.6. Izlazni stupanj CANBus sučelja (CAN *transceiver* PCA82C250)

16.2.3. Umetanje bita

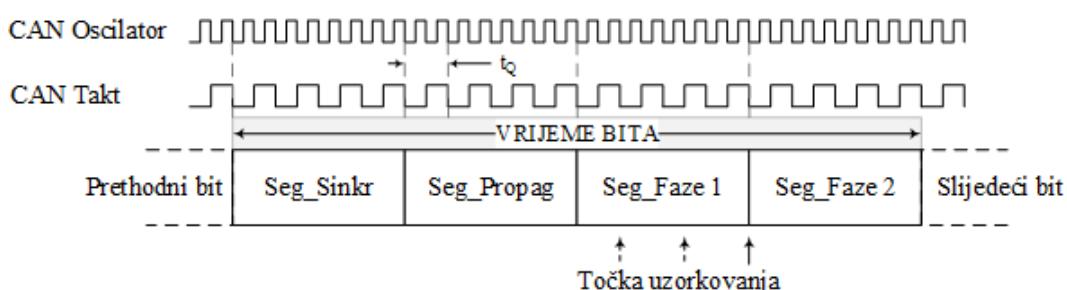
CAN protokol koristi u prijenosu signala NRZ (*engl. Non-Return-To-Zero*) kodiranje. Nedostatak ovakvog načina kodiranja je gubitak sinkronizacije kod dužih nizova istih bita. Pored toga prema specifikaciji CAN protokola svaka pojava niza većeg od 5 uzastopnih bita istog polariteta predstavlja grešku. Ovo se odnosi na sve bite okvira od SOF do uključujući CRC polja bez CRC bita razdvajanja. Da bi se osigurala sinkronizacija kao i mogućnost slanja dužih nizova istih bita koristi se postupak umetanja bita (*engl. Bit Stuffing*).

Postupak umetanja bita sastoji se u tome da se uvijek kod slanja nakon niza od 5 uzastopnih bita istog polariteta dodaje bit suprotnog polariteta. Umetnuti bitovi (*engl. Stuff Bit*) se na prijemu uklanjuju prije nego CAN kontroler proslijedi podatke mikrokontroleru.

Postupak umetanja bita se ne koristi kod okvira grešaka i okvira preopterećenja.

16.2.4. Struktura bita

Pristup sabirnici i prijenos podataka u CANBus mreži ostvaren je postupkom u kojem se na razini svakog bita uspoređuje razina signala sabirnice i poslanog bita. Da bi se to postiglo neophodno je da vrijeme propagacije signala od čvora koji šalje do najudaljenijeg čvora i nazad bude unutar vremena trajanja bita. Pored toga da bi prijemni čvor mogao prepoznati bitove unutar okvira oni se moraju slati sa odgovarajućim taktom. Svi prijemnici u CAN mreži moraju stoga vršiti stalnu sinkronizaciju internog takta u odnosu na poslani niz. Takt se sinkronizira stalnim podešavanjem točke uzorkovanja unutar svakog bita. Ovo je ostvareno na način da je svaki bit podijeljen vremenski na 4 segmenta, kao što je to prikazano na sl. 16.7.:



Slika 16.7. Struktura bita

- **Segment Sinkronizacije (engl. Sync_Seg – Synchronization Segment)**
Ovaj segment se koristi za sinkronizaciju čvorova u CAN mreži. Sinkronizacija je ostvarena u odnosu na početni brid impulsa, koji se mora pojaviti unutar ovog segmenta. Svako vremensko odstupanje brida (preuranjeno ili sa kašnjenjem) se detektira od svih čvorova i svaki čvor u skladu sa tim podešava svoje fazne segmente. Podešavanjem vremena faznih segmenata mijenja se pozicija točke uzorkovanja i vrši re-sinkronizacija čvora.
- **Propagacijski Segment (engl. Prop_Seg – Propagation Time Segment)**
Ovaj segment se koristi za kompenziranje kašnjenja signala na sabirnici unutar mreže, kao što je na primjer propagacijsko kašnjenje signala između dva čvora. Vrijeme trajanja ovog segmenta mora biti dvostruko veće od vremena kašnjenja kako bi se uvelo u obzir kašnjenje signala u oba smjera (od predajnog do prijemnog čvora i nazad).
- **Segment Faze 1 i Faze 2 (engl. Phase_Seg 1/2 – Phase Buffer Segment 1/2)**
Ovi segmenti se koriste za kompenziranje faznih odstupanja bridova signala. Segmenti se mogu povećavati i smanjivati u skladu sa re-sinkronizacijom čvora. Uzorkovanje bita ostvaruje se na kraju segmenta faze 1 i u toj točci se određuje naponska razina bita. Parametrom SJW (engl. Synchronization Jump Width) može se definirati najveća ili najmanja vrijednost za koju se može povećati ili smanjiti vrijeme trajanja ovih segmenata.

Vrijeme bita (t_{Bit}) određeno je brzinom prijenosa signala (v_{Baud}) prema izrazu: $t_{Bit} = 1 / v_{Baud}$. Svaki segment je podijeljen na vremenske odsječke t_Q koje nazivamo vremenskim kvantima. Vremenski kvant odgovara periodi CAN takta, sl. 16.7., a definiran je u odnosu na frekvenciju CAN oscilatora faktorom dijeljenja koji se može podešiti u opsegu od 1 do 32 u CAN kontroleru. Svi uređaji na CAN mreži moraju koristiti isti CAN takt neovisno o internoj frekvenciji oscilatora. Minimalno vrijeme trajanja kvanta može iznositi jednu periodu signala oscilatora. Vrijeme bita se u tom slučaju može podešiti ukupnim brojem vremenskih kvanta, budući su vremenska trajanja segmenata definirana i podešena u vremenskim kvantima.

Vrijeme trajanja svakog segmenta može se programski podešavati u CAN kontroleru u opsegu od 1 do 8 vremenskih kvanta kao što je prikazano u tablici 16.2.

SEGMENT BITA	DULJINA SEGMENTA (t_Q)
Segment Sinkronizacije	Uvijek iznosi 1 t_Q
Propagacijski Segment	Programabilan od 1 t_Q - 8 t_Q
Segment Faze 1	Programabilan od 1 t_Q - 8 t_Q
Segment Faze 2	Programabilan i jednak maksimumu segmenta faze 1 uvećanom za iznos vremena procesiranja informacije*.

Tablica 16.2. Duljine segmenata u vremenskim kvantima

*Vrijeme procesiranja informacije – započinje od točke uzorkovanja i rezervirano je za izračun slijedeće razine bita. Obično iznosi 2 t_Q , ali može biti jednak i 3 t_Q ako je faktor dijeljenja oscilatora podešen na 1 ili se koriste 3 uzorka po bitu.

Iz ovih razmatranja slijedi da vrijeme trajanja bita može iznositi najmanje 5 t_Q i najviše 25 t_Q prema izrazu:

$$t_{Bit} = t_Q \cdot (\text{Seg_Sinkr} + \text{Seg_Propag} + \text{Seg_Faze 1} + \text{Seg_Faze 2}) \quad (16.1)$$

U praksi većina CAN kontrolera ne dozvoljava vrijeme trajanja bita manje od 8 t_Q . Vrijeme kvanta se određuje iz frekvencije oscilatora i programabilnog faktora dijeljenja prema izrazu:

$$t_Q = 2 \cdot F/fosc \quad (16.2)$$

gdje je: t_Q u μs , $fosc$ u MHz, a F faktor dijeljenja 1-32.

Primjer izračuna:

Ako prepostavimo da takt CAN kontrolera iznosi 16 MHz, uz faktor dijeljenja 2, te da je vrijeme bita $t_{Bit} = 8 \cdot t_Q$ iz izraza 16.2 možemo odrediti brzinu prijenosa:

$$t_Q = 2 \cdot F/fosc = 2 \cdot 2/16 = 0.25 \mu s$$

$$t_{Bit} = 8 \cdot t_Q = 8 \cdot 0.4 = 2 \mu s$$

$$v_{Baud} = 1/t_{Bit} = 1/2 \mu s = 500 \text{ kbit/s}$$

Ovisno o veličini propagacijskog segmenta može se odrediti maksimalna brzina prijenosa podataka za određenu duljinu sabirnice. Propagacija signala određena je vremenom propagacije između dva najudaljenija čvora u mreži, sl. 16.8. Za čvor A koji šalje bit čvoru B ukupno vrijeme propagacije bita $t_{PROP(A,B)}$ se sastoji od kašnjenja signala t_{CAN_A} unutar kontrolera čvora A, propagacijskog kašnjenja bita $t_{BUS(A,B)}$ duž sabirnice, te kašnjenja signala t_{CAN_B} unutar prijemnog kontrolera čvora B. Isto vrijedi za signal odgovora ili slanja u suprotnom smjeru. Ako to prikažemo matematički vrijede izrazi:

$$t_{PROP(A,B)} = t_{CAN_A} + t_{BUS(A,B)} + t_{CAN_B} \quad (16.3)$$

$$t_{PROP(B,A)} = t_{CAN_B} + t_{BUS(B,A)} + t_{CAN_A} \quad (16.4)$$

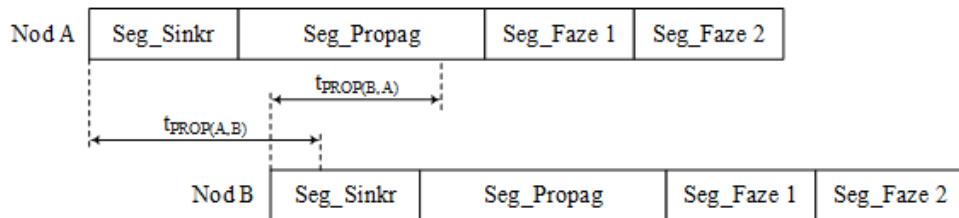
Ukupno vrijeme propagacije signala od čvora A do čvora B i nazad jednako je:

$$\begin{aligned} t_{PROP_SEG} &= t_{PROP(A,B)} + t_{PROP(B,A)} = \\ &= t_{CAN_A} + t_{BUS(A,B)} + t_{CAN_B} + t_{CAN_B} + t_{BUS(B,A)} + t_{CAN_A} \\ &= 2 \cdot (t_{CAN_A} + t_{BUS} + t_{CAN_B}) \end{aligned} \quad (16.5)$$

To ujedno predstavlja i minimalno vrijeme trajanja propagacijskog segmenta. Ono nam ujedno određuje i najmanji broj vremenskih kvanta koji se mogu dodijeliti propagacijskom segmentu prema izrazu:

$$Seg_Propag = \text{Najbliža_Viša_Cjelobrojna_Vrijednost} \cdot (t_{PROP_SEG} / t_Q) \quad (16.6)$$

gdje se **Najbliža_Viša_Cjelobrojna_Vrijednost** određuje nakon izračuna dijeljenja.



Slika 16.8. Vrijeme propagacijskog kašnjenja između dva čvora

U tablici 16.3. prikazane su preporučene vrijednosti vremena trajanja bita, vremenskog kvanta i pozicije točke uzorkovanja u CAN mreži.

BRZINA (kb/s)	VRIJEME BITA (μs)	BROJ KVANTA (PO BITU)	VRIJEME KVANTA (ns)	MJESTO TOČKE UZORKOV. (tQ)
10	100	16	6250	14
50	20	16	1250	14
125	8	16	500	14
250	4	16	250	14
500	2	16	125	14
1000	1	8	125	6

Tablica 16.3. Preporučene vremenske vrijednosti signala u CAN mreži

16.2.5. Sinkronizacija

Sinkronizacija u CAN protokolu je ostvarena na dva načina, metodom sinkronizacije okvira (*engl. Hard Syncronization*) i resinkronizacije bita.

Sinkronizacija okvira se vrši na silaznom bridu početnog bita okvira (SOF bit). Nakon ove sinkronizacije interni takt bita prijemnog CAN čvora se postavlja na početnu vrijednost odnosno vrijeme takta se nadalje definira u odnosu na početak sinkronizacijskog segmenta. Drugim riječima brid impulsa koji je uzrokovao sinkronizaciju okvira se pozicionira na početak sinkronizacijskog segmenta.

Resinkronizacija bita je ostvarena podešavanjem duljine segmenata faze 1 i 2 čime se korigira mjesto točke uzorkovanja.

Kod obje metode moraju biti zadovoljeni slijedeći uvjeti:

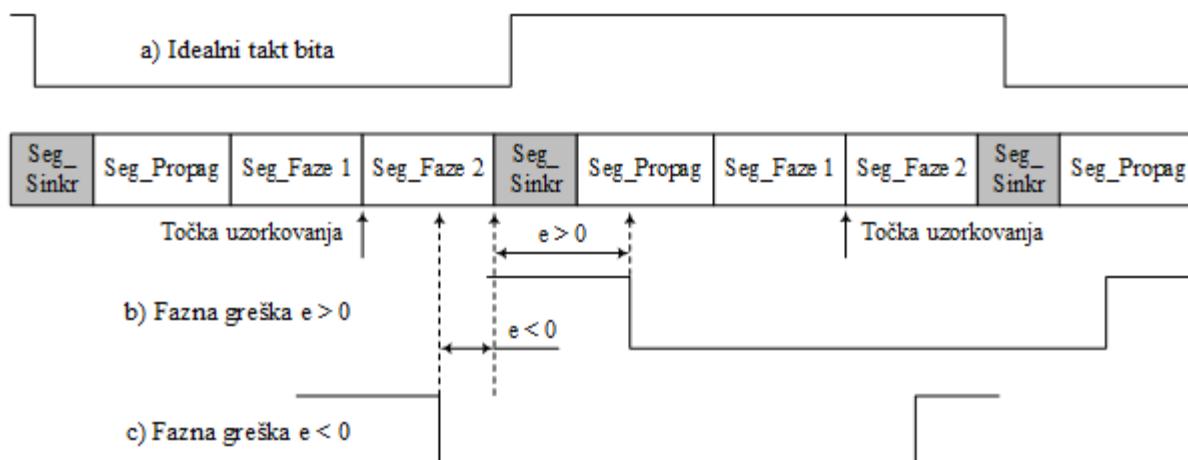
- Moguće je ostvariti samo jednu sinkronizaciju unutar jednog bita odnosno između dvije točke uzorkovanja.
- Silazni brid (recesivnog ili dominantnog bita) se koristi za sinkronizaciju samo ako se prethodno detektirana razina napona na sabirnici razlikuje od razine sabirnice detektirane odmah nakon brida. Ovim je onemogućena sinkronizacija kod pojave istitravanja signala koji mogu nastati uslijed utjecaja smetnji.
- Sinkronizacija okvira se inicira samo kod prijelaza iz recesivnog u dominantni bit unutar IFS polja (linija u stanju neaktivnosti), uz izuzetak prvog bita ovog polja.

16.2.5.1. Resinkronizacija bita i fazna greška

Fazna greška predstavljena je odstupanjem brida impulsa u odnosu na početak sinkronizacijskog segmenta, a izražena je u vremenima kvanta. U idealnom slučaju što je vrlo rijetko detektirani brid signala će se uvijek nalaziti unutar sinkronizacijskog segmenta, sl. 16.9.a. Faznom greškom se smatra samo odstupanje brida impulsa van segmenta sinkronizacije.

Fazna greška je pozitivna, $e > 0$, ako se brid impulsa pojavi nakon segmenta sinkronizacije, a prije točke uzorkovanja trenutnog bita, sl. 16.9.b.

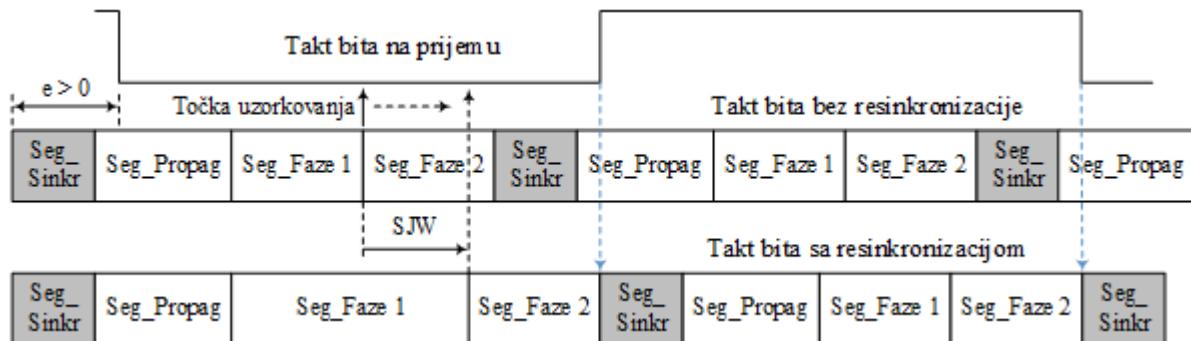
Fazna greška je negativna ako se brid impulsa pojavi prije segmenta sinkronizacije trenutnog bita, a nakon točke uzorkovanja prethodnog bita, sl. 16.9.c.



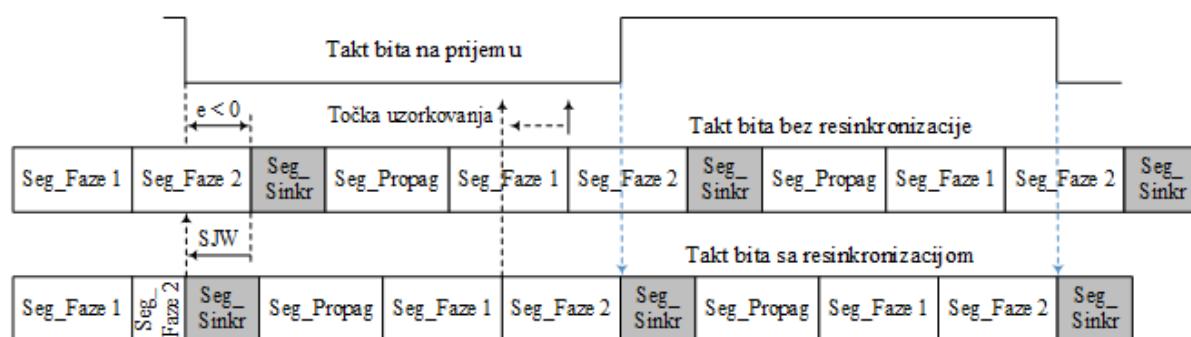
Slika 16.9. Idealni takt bita i fazne greške

Resinkronizacija bita ostvarena je kompenziranjem faznih odstupanja na način da se poveća segment faze 1 ili smanji segment faze 2 u ovisnosti o predznaku i iznosu fazne greške. Kod resinkronizacije fazna greška mora uvijek biti veća od iznosa parametra SJW (*engl. Resynchronization Jump Width*). Kod pozitivne fazne greške povećanje segmenta faze 1 može iznosi najviše SJW, a kod negativne segment faze 2 se može smanjiti najviše za iznos SJW. Ovime će biti korigirana točka uzorkovanja i podešen brid impulsa na početak sinkronizacijskog segmenta što je ostvareno i kod metode sinkronizacije okvira.

Na slici 16.10. i 16.11. prikazana je resinkronizacija bita za slučaj pozitivne i negativne fazne greške.



Slika 16.10. Resinkronizacija bita kod pozitivne fazne greške



Slika 16.11. Resinkronizacija bita kod negativne fazne greške

16.2.6. CAN konektor

Standardom CiA DS-102 specificiran je 9-polni D-tip priključni konektor na CANBus liniju u skladu sa standardom DIN 41652. Izvodi konektora prikazani su u tablici 16.4.

IZVOD	SIGNAL	OPIS
1	-	Rezervirano
2	CAN_L	CAN_L vodič (niža razina dominantnog napona)
3	CAN_GND	CAN Uzemljenje
4	-	Rezervirano
5	CAN_SHLD	CAN Omotač - optionalno
6	GND	Uzemljenje - optionalno
7	CAN_H	CAN_H vodič (viša razina dominantnog napona)
8	-	Rezervirano (linija greške)
9	CAN_V+	CAN vanjsko napajanje - optionalno

Tablica 16.4. CAN D-tip raspored priključaka

CAN sabirnica spojena je na priključke 2 (CAN_L) i 7 (CAN_H), dok se preko priključaka 3 (CAN_GND) i 9 (CAN_V+) mogu napajati uređaji na mreži. Kod većih udaljenosti, velikih brzina prijenosa ili u okruženju izloženom smetnjama preporuča se upotreba kabela sa omotačem. Kabel se u tom slučaju treba uzemliti samo na jednom kraju preko priključka 5 (CAN_SHLD).

16.2.7. Standardi fizičkog sloja

CAN standard definirao je 4 osnovna standarda prijenosnih medija: ISO 11898-2, ISO 11898-3, SAE J2411 i ISO 11992.

- **Standard ISO 11898-2 *high speed***

Ovo je najčešće korišteni standard za CAN mreže. Podržava brzine do 1 Mbit/s uz maksimalnu duljinu sabirnice od 40 m. Linija je simetrična a broj uređaja ovisi o električnom opterećenju sabirnice. Karakteristična impedancija linije je 120Ω , naponi vodiča prema referentnoj nuli su od -2V na CAN_L do +7V na CAN_H. Nominalno specificirano propagacijsko kašnjenje na liniji je 5 ns/m. Svi čvorovi na mreži zbog fizičke kompatibilnosti moraju imati istu ili sličnu strukturu bita koja je u specifikaciji definirana za sve brzine.

- **Standard ISO 11898-3 *fault-tolerant***

Ovaj standard se uglavnom koristi za elektroniku karoserije (*engl. body electronics*) u automobilskoj industriji. Budući su ove mreže jako kratke utjecaj refleksija se može zanemariti tako da nije potrebno zaključivati liniju na krajevima. Zbog male potrošnje uređaja moguće je koristiti i ostale topologije te ostvariti asimetričan prijenos podataka preko samo jednog vodiča sabirnice. Standard podržava brzine do 125 kbit/s te maksimalno 32 čvora. Naponi CAN_L i CAN_H linija su također od -2V do +7V uz definirani napon napajanja od 5V.

- **SAE J2411 *single wire***

Standard podržava brzine od 33.3 kbit/s uz maksimalni broj od 32 čvora. Brzine od 83.3 kbit/s moguće je koristiti samo u dijagnostičkom modu. Najčešća upotreba ovog standarda je za kontrolu udobnosti (*engl. comfort electronics*) u autima. Kao prijenosni medij koristi se jedan vodič a moguće je koristiti i druge topologije.

- **Standard ISO 11992 *point-to-point***

Standard se koristi za *point-to-point* vezu kod vozila sa prikolicom. Podržana je brzina od 125 kbit/s uz maksimalnu duljinu linije od 40 m. Napon napajanja je 12V ili 24V, a označenje ostvareno neoklopljenom upletonom paricom.

16.3. Podatkovni sloj

Prijenos podataka u CAN protokolu zasnovano je na CSMA/CD+AMP metodi (*engl. Carrier-Sense, Multiple Access with Collision Detection and Arbitration on Message Priority*). Kod CSMA svaki uređaj na sabirnici mora sačekati određeno vrijeme neaktivnosti na sabirnici prije slanja poruke. Neaktivnost linije je predstavljena nizom od 11 uzastopnih recesivnih bita. Minimalno vrijeme između slanja dviju poruka iznosi 3 vremenska trajanja bita. Ako više uređaja istovremeno počne slati poruku kolizija se rješava CD+AMP postupkom odnosno arbitražom bita zasnovanom na definiranom prioritetu poruke unutar identifikacijskog polja. Identifikator sa većim prioritetom će uvijek prevladati u komunikaciji odnosno slanje će nastaviti samo uređaj sa najnižom vrijednošću identifikatora.

CANBus koristi *multi-master* sistem komunikacije u kojem poruke mogu slati i primati svi CAN uređaji. Poruke se ne adresiraju već se šalju svim uređajima na mreži. Svaki uređaj prema identifikatoru poruke odlučuje da li će poruka biti primljena. Identifikatori poruka koje se mogu primiti konfigurirane su u filterskim tablicama svakog CAN kontrolera. Prednost ovakvog načina komunikacije je da se uređaji mogu spajati i odspajati sa mreže bez potrebe za njihovim konfiguriranjem. Broj uređaja koji se mogu spojiti na mrežu teoretski je neograničen, a u praksi je ovisan o vremenskom kašnjenju signala na liniji i električnom opterećenju sabirnice.

Prijem poruke mora biti potvrđen, a u slučaju greške prijema uređaj o tome obavještava sve ostale uređaje. Rezultat toga je da uređaji koji šalju podatke sa greškom kao i oni koji ih stalno primaju imaju mogućnost da se izuzmu iz komunikacije i tako omoguće normalni rad na liniji.

16.3.1. Struktura CAN okvira

CAN protokol podržava dva formata okvira za slanje poruka:

- **CAN 2.0 A** standardni ili osnovni format (*eng. base frame*)
- **CAN 2.0 B** prošireni format (*eng. extended frame*)

Osnovna razlika između ova dva formata je u identifikacijskom polju. Osnovni format koristi 11-bitni identifikator, a prošireni 29-bitni razdvojen na dva dijela: 11-bitni osnovni identifikator i 18-bitni prošireni identifikator. Razlikovanje formata je ostvareno korištenjem IDE bita.

Format identifikacijskog polja ujedno definira i ukupan broj poruka koje se mogu poslati. Proširenje formata okvira i veći broj poruka bio je neophodan u primjeni CAN protokola kod transportnih vozila.

16.3.1.1. Struktura osnovnog okvira

		Arbitražno polje		Kontrolno polje							
SOF	11-bitni identifikator	RTR	IDE	r0	DLC	Podaci	CRC	ACK	EOF	IFS	
1 bit	11 bita	1 bit	1 bit	1 bit	4 bita	0 – 8 bajta	16 bita	2 bita	7 bita	3 bita	

Slika 16.12. Standardni CAN okvir: 11-bitni identifikator

- **Početak okvira - SOF (engl. Start-of-frame)** - 1 bit
Dominantni bit označava početak slanja okvira, a ujedno se koristi i za sinkronizaciju čvorova. CAN čvor može početi slati poruku nakon što detektira neaktivnost linije u vremenu koji odgovara nizu od 11 recesivnih bita u koje su uključeni ACK bit razdvajanja, 7 bita EOF i 3 bita IFS.
- **Arbitražno polje** – 12 bita
Određuje u postupku arbitraže koja će poruka biti poslana. Sastoji se od dva dijela:
 - **Polje identifikatora** – 11-bitna
Predstavlja identifikator poruke i definira njezin prioritet. Prioritet je veći što je binarna vrijednost manja.
 - **RTR (engl. Remote Transmission Request)** – 1-bit
Koristi se za razlikovanje okvira podataka od okvira upita. Za označavanje okvira sa podacima koristi se dominantni bit.
- **Kontrolno polje** – 6 bita
Određuje format okvira i duljinu polja podataka. Sastoji se iz tri dijela:
 - **Identifikator formata okvira - IDE (engl. Identifier Extension)** – 1-bit
Koristi se za razlikovanje standarnog i proširenog formata. Za standardni format koristi se dominantni bit.
 - **r0 – 1-bit**
Bit rezerviran za buduće namjene. Uvijek je postavljen kao dominantan uz mogućnost da se može koristiti i kao recesivan.
 - **Duljina polja podataka - DLC (engl. Data Length Code)** – 4-bit
Predstavlja broj bajta u polju podataka.

- **Polje Podataka** – 0-8 bajta
Predstavlja podatke za slanje određene DLC duljinom.
- **Provjera greške - CRC** (*engl. Cyclic Redundancy Check*) – 16-bitna
Sastoje se od 15 bita CRC niza i 1 CRC bita razdvajanja (*engl. CRC delimiter*). Provjera greške u prijenosu ostvarena je CRC proračunom nad svim prethodnim bitovima okvira (od SOF do polja podataka). Proračun se vrši na strani predaje i na strani prijema gdje se uspoređuje sa primljenim CRC nizom.

CRC bit razdvajanja je uvijek recesivan i ima ulogu da omogući dodatno vrijeme potrebno za proračun CRC niza.

- **Potvrda prijema - ACK** (*engl. ACKnowledge*) – 2-bitna
Predstavlja potvrdu ispravno primljenog okvira odnosno da je CRC provjera prošla bez greške. Sastoje se od ACK bita i ACK bita razdvajanja. ACK bit se uvijek šalje kao recesivan. Svaki čvor koji ispravno primi okvir zamijeniti će ovaj bit u okviru dominantnim i time potvrditi da je okvir primljen bez greške. Ako je okvir primljen sa greškom ACK bit će ostati nepromijenjen i okvir se neće prihvati. U slučaju greške čvor će ponoviti slanje okvira.

Bit razdvajanja je uvijek recesivan i neophodan je kako bi se naznačila razlika između potvrde prijema i eventualno generiranog okvira greške.

- **Završetak okvira - EOF** (*engl. End-Of-Frame*) – 7-bitna
Označava kraj okvira predstavljen nizom od 7 recesivnih bita.
- **Polje razdvajanja okvira - IFS** (*engl. Intermission Frame Space*) – 3-bitna
Ovo polje je predstavljeno nizom od 3 recesivna bita i određuje minimalni broj bita kojim su razdvojena dva uzastopna okvira od kojih je drugi okvir podataka ili okvir upita. Unutar ova tri bita dozvoljena je samo signalizacija statusa preopterećenja.

16.3.1.2. Struktura proširenog okvira

SOF	Arbitražno polje						Kontrolno polje						
	11-bitni identifikator	SRR	IDE	18-bitni identifikator	RTR	r1	r0	DLC	Podaci	CRC	ACK	EOF	IFS
1 bit	11 bita	1 bit	1 bit	18 bita	1 bit	1 bit	1 bit	4 bita	0 – 8 bajta	16 bita	2 bita	7 bita	3 bita

Slika 16.13. Prošireni CAN okvir: 29-bitni identifikator

Prošireni okvir je u odnosu na standardni okvir dopunjeno 18-bitnim proširenim identifikatorom te sa dva dodatna polja:

- **SRR** (*engl. Substitute Remote Request*) – 1-bit

Zamjenio je RTR bit u proširenom formatu i uvijek je u recesivnom stanju. Zajedno sa IDE bitom koji je recesivan za prošireni format okvira osigurava da je poruka koja se šalje standardnim okvirom uvijek većeg prioriteta.

- **r1** – 1-bit

Predstavlja dodatni rezervni bit za buduće namjene. Uvijek je postavljen kao dominantan uz mogućnost da se može koristiti i kao recesivan.

Arbitražno polje je prošireno na 32 bita u skladu sa 29-bitnim identifikatorom, te dodatno uključuje SRR, IDE i RTR bit.

S obzirom da poruke različitih formata mogu egzistirati na istoj liniji prioritet uvijek imaju poruke standardnog formata ako su im osnovni identifikatori jednak. Prošireni format poruke unosi i određene nedostatke: vrijeme pristupa je duže (minimalno 20 vremena bita), poruke zahtijevaju veći frekvencijski opseg (oko 20%), a performanse detekcije greške su manje (jer je odabrani polinom za 15-bitni CRC optimiziran za dužine okvira do 112 bita).

CAN 2.0B kontroleri koji podržavaju prošireni format okvira mogu slati i primati poruke standardnog formata. CAN 2.0A kontroleri koji podržavaju standardni format ne mogu prepoznati poruke proširenog formata. Pored ovih postoje i CAN 2.0B pasivni kontroleri koji podržavaju poruke standardnog formata, a također mogu prepoznati i one proširenog formata ali ih ignoriraju.

16.3.2. Vrste okvira

CAN protokol razlikuje četiri vrste okvira koje se mogu koristiti u komunikaciji:

- **Okvir podataka** (*engl. Data Frame*)

Okvir podataka omogućuje razmjenu podataka između čvorova. Po svojoj strukturi sadrži sva polja specificirana CAN protokolom. Okvir podataka je označen kao takav dominantnim RTR bitom.

- **Okvir upita** (*engl. Remote Frame*)

Okvir upita omogućuje čvoru da pošalje zahtjev za određenu poruku drugom čvoru. U odgovoru podaci se šalju preko okvira podataka. Okvir upita i okvir odgovora u tom slučaju moraju imati jednaku vrijednost identifikacijskog i DLC polja. Okvir upita za razliku od okvira podataka ne sadrži polje podataka a RTR bit je recesivan. Budući je RTR bit uključen u polje arbitraže kod istovremenog slanja okvira upita i okvira podataka zbog dominantnog RTR bita okvir podataka ima veći prioritet.

- **Okvir greške (engl. Error Frame)**

Okvir greške šalje čvor koji detektira grešku u prijenosu podataka. Okvir se šalje odmah nakon detekcije greške što dovodi do prekida trenutnog prijenosa podataka. Izuzetak je napravljen kod detekcije CRC greške kod koje se okvir greške šalje nakon 2 vremenska trajanja bita kako bi se izbjegla kolizija sa slanjem ACK bitova. Slanje okvira greške na mrežu uzrokuje ujedno i detekciju greške svih ostalih čvorova koji radi toga također šalju svoje okvire greške. Okviri grešaka ostalih čvorova mogu biti poslani u isto vrijeme ili nakon detekcije prvog okvira greške što može dovesti do toga da polje zastavice greške bude prošireno do 12 bita. U slučaju greške pošiljatelj ponavlja slanje poruke. Svaki CAN kontroler sadrži dva brojača grešaka (brojač grešaka slanja i brojač grešaka prijema) koji osiguravaju da čvor ne zauzme sabirnicu stalnim slanjem okvira grešaka. Ako brojač grešaka slanja pređe vrijednost 255 čvoru se nadalje dozvoljava samo prijem poruka bez mogućnosti slanja. Čvor se ponovno može sposobiti za slanje tek ponovnim pokretanjem (engl. *reset*) ili ako primi 128 puta niz od 11 uzastopnih recesivnih bita. (Napomena: Vrijednosti brojača se umanjuju za svaki ispravno poslani i primljeni okvir.)

Okvir greške nije strukturiran u skladu sa CAN formatom i sastoji se kao što je prikazano na sl. 16.14. od:

- **Polje zastavice greške (engl. Error Flag) - 6-12 bita**

Zastavica greške može biti aktivna (engl. *Active Error Flag*) i pasivna (engl. *Passive Error Flag*). Aktivna zastavica sadrži 6 dominantnih bita a šalje je čvor kod kojeg je vrijednost brojača poslanih i primljenih grešaka manja od 128. Pasivna zastavica sadrži 6 recesivnih bita a šalje je čvor kod kojeg je vrijednost brojača poslanih ili primljenih grešaka veća od 127. U slučaju pasivne zastavice čvor mora sačekati određeno vrijeme za ponovno slanje. Preostalih 6 bita predstavljaju proširenje okvira greške zbog superpozicije okvira grešaka ostalih čvorova.

- **Polje razdvajanja greške (engl. Error Delimiter) - 8 bita**

Sastoji se od 8 uzastopnih recesivnih bita a omogućuje sinkronizaciju čvorova prema prvom bitu ovog polja.

Na kraju okvira greške koriste se 3 bita IFS za razdvajanje okvira greške od slijedećeg okvira podataka.

OKVIR GREŠKE 14 - 20 bita					
Nedovršeni okvir	Zastavica greške	Zast. greške Ostali čvorovi	Bitovi razdvajanja	IFS	Ponovno slanje
6 bita	0 – 6 bita		8 bita	3 bita	

Slika 16.14. CAN okvir greške

Prema specifikaciji CAN protokola svaka pojava niza većeg od 5 uzastopnih bita istog polariteta predstavlja grešku. Ovo se odnosi na sve bite od SOF do uključujući CRC polja. Struktura okvira greške kod kojeg se šalje zastavica od 6 uzastopnih dominantnih ili recesivnih bita omogućuje u skladu sa specifikacijom generiranje greške na sabirnici za sve čvorove a time i prekid prijenosa podataka sa greškom.

- **Okvir preopterećenja (engl. Overload Frame)**

Okvir preopterećenja šalje čvor koji još nije spreman primiti podatke te na ovaj način signalizira da mu se okvir pošalje sa zakašnjnjem. Kašnjenje se može ostvariti samo između dva okvira podataka ili okvira upita. Slanjem ovog okvira čvorovi mogu poslati okvir podataka ili okvir upita tek nakon završenog okvira preopterećenja. Slično kao i kod okvira greške slanje okvira preopterećenja na mrežu uzrokovati će slanje okvira preopterećenja svih ostalih čvorova. To će u konačnici rezultirati da polje zastavice preopterećenja bude prošireno na 12 bita zbog superpozicije ostalih okvira. Maksimalno je dozvoljeno slanje dva uzastopna okvira preopterećenja. Slanjem okvira preopterećenja prekida se prijenos svih poruka na mreži.

Struktura okvira preopterećenja jednaka je kao i kod okvira greške, sl. 16.15. a sastoji se od:

- **Polje zastavice preopterećenja (engl. Overload Flag) - 6-12 bita**

Sastoje se od 6 uzastopnih dominantnih bita. Preostalih 6 bita predstavljaju proširenje okvira preopterećenja zbog superpozicije okvira preopterećenja ostalih čvorova.

- **Polje razdvajanja preopterećenja (engl. Overload Delimiter) - 8 bita**

Sastoje se od 8 uzastopnih recesivnih bita a omogućuje sinkronizaciju čvorova prema prvom bitu ovog polja.

Bitovi razdvajanja IFS se ne koriste između okvira greške i okvira preopterećenja.

OK VIR PREOPTEREĆENJA 14 - 20 bita				
EOF	Zastavica preopterećenja	Zast. preopt. Ostali čvorovi	Bitovi razdvajanja	IFS ili Okvir preopterećenja
7 bita	6 bita	0 – 6 bita	8 bita	

Slika 16.15. CAN okvir preopterećenja

Slanje okvira preopterećenja može nastati kao posljedica dva slučaja:

1. Interni uvjeti u prijemniku zbog kojih čvor ne može trenutno primiti podatke. Okvir preopterećenja šalje se u ovom slučaju odmah nakon završetka okvira

umjesto IFS polja budući dominantni bitovi zastavice preopterećenja imaju prioritet nad recesivnim bitima IFS.

2. Detekcija dominantnog bita za vrijeme IFS pauze ili za vrijeme završetka okvira (EOF). U ovom slučaju okvir preopterećenja šalje se odmah iza detektiranog dominantnog bita.

16.3.3. Detekcija i signalizacija greške

Za razliku od ostalih *fielbus* sistema CAN protokol ne koristi sistem potvrde nakon prijema poruke već se greška signalizira istog trenutka kad je nastala.

CAN protokol sadrži 5 metoda provjere greške: tri na razini okvira (podatkovni sloj) i dvije na razini bita (fizički sloj). Ako se greška detektira bilo kojom od ovih metoda poruka neće biti prihvaćena na prijemnom čvoru te će biti generiran okvir greške. Čvor koji je poslao poruku će u tom slučaju ponavljati poruku sve dok se ona ne primi ispravno. Ako čvor zauzme sabirnicu stalnim slanjem okvira greške slanje će biti onemogućeno kada brojač grešaka poslanih okvira pređe vrijednost 255.

Na razini poruke koriste se 3 metode provjere greške:

- **CRC metoda (engl. Cyclic Redundancy Check)**
Provjera greške u prijenosu ostvarena je CRC 15-bitnim proračunom nad svim prethodnim bitovima okvira (od SOF do polja podataka). Za proračun se koristi BCH algoritam (*Bose Chaudhuri Hocquenghem code*) i vrši se na strani predaje i prijema. CRC proračun se na prijemu uspoređuje sa primljenim CRC nizom i ako nije jednak generira se okvir greške.
- **Greška potvrde (ACK) prijema**
Prijemni čvor mora potvrditi ispravni primitak poruke koja ujedno predstavlja i potvrdu uspješno provedene CRC provjere. Potvrda se signalizira preko ACK bita koji se uvijek šalje kao recesivan. Kod ispravno primljene poruke prijemni čvor recesivni ACK bit zamjenjuje dominantnim. Ako pošiljatelj ne detektira ovu promjenu signalizira se greška.
- **Greška formata okvira**
Ova provjera se odnosi na bitove u okviru koji uvijek moraju biti u recesivnom stanju. Bitovi koji se provjeravaju su: ACK i CRC bit razdvajanja, bitovi u polju završetka okvira (EOF) i bitovi u polju razdvajanja okvira (IFS). Greška se generira ako se unutar ovih bitova detektira dominantni bit. Izužeće u ovoj provjeri se vrši za slijedeće slučajevе:

- Ako je zadnji bit polja završetka okvira (EOF) dominantan
- Ako je zadnji bit polja bitova razdvajanja okvira greške dominantan
- Ako je zadnji bit polja bitova razdvajanja okvira preopterećenja dominantan

Na razini bita koriste se 2 metode provjere greške:

- **Nadzor bita** (*engl. Bit Monitoring*)
Detekcija greške je zasnovana na nadzoru signala sabirnice. Svaki čvor kod slanja bita provjerava razinu signala na sabirnici te je uspoređuje sa poslanim bitom. Ako se detektira razlika generira se greška. Izuzetak u ovoj provjeri su bitovi kod kojih je promjena bita uobičajena u postupku prijenosa signala, a to su: bitovi koji se koriste u arbitraži, ACK bit potvrde prijema i bitovi pasivne zastavice greške (niz od 6 uzastopnih recesivnih bita).
- **Greška umetanja bita** (*engl. Bit Stuffing Error*)
Ova greška detektira se ako se na sabirnici pojavi niz veći od 5 uzastopnih bita istog polariteta. Greška umetanja bita odnosi se samo na bitove okvira podataka i upita i to od početnog SOF bita do uključujući bitova CRC polja. Budući se slanjem 6 uzastopnih dominantnih ili recesivnih bita kod okvira greške i preopterećenja narušava pravilo umetanja bita ova greška se za njih ne primjenjuje.

16.3.4. Arbitraža na sabirnici

Prijenos podataka na CAN sabirnici ostvaren je kao poludupleksni prijenos kod kojeg u svakom trenutku podatke može slati samo jedan čvor. Svi drugi čvorovi mogu te podatke primati. Ako se desi da dva ili više čvorova počnu slati podatke istovremeno dolazi do kolizije koja se rješava postupkom arbitraže.

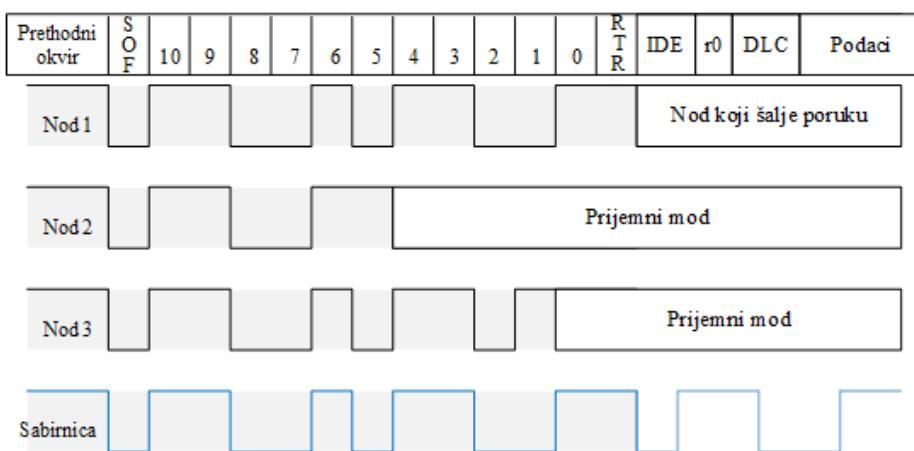
Pristup sabirnici odnosno pravo slanja poruke određeno je na osnovu bitova u arbitražnom polju. Kod osnovnog formata CAN okvira arbitražno polje sastoji se od 11 bita identifikacijskog polja i RTR bita, a kod proširenog formata sadrži 32 bita u koje su uključeni 11 bita osnovnog identifikacijskog polja, 18 bita proširenog identifikacijskog polja te bitovi SRR, IDE i RTR.

Pravo pristupa sabirnici određeno je prioritetom poruke koji je definiran identifikatorom poruke. Prioritet je veći što je vrijednost identifikatora manja. Na ovaj način poruke većeg prioriteta će uvijek doći prije do odredišta čak i u slučaju kad je mreža opterećena komunikacijom poruka nižeg prioriteta.

CAN protokolom je određeno da kod svakog slanja bita čvor provjerava razinu signala na sabirnici u odnosu na razinu signala kojeg je poslao. Budući su izlazni stupnjevi CAN primopredajnika spojeni u spoju otvorenog kolektora dominantni bit bilo kojeg čvora na

sabirnici će prevladati u odnosu na recesivni. Recesivni bit će biti na sabirnici samo ako svi čvorovi šalju recesivne bite.

Arbitraža se provodi za svaki bit posebno unutar bitova arbitražnog polja. Svi čvorovi u postupku arbitraže će slati svoju poruku sve dok su im međusobno bitovi identični. U trenutku kada jedan od čvorova pošalje recesivni bit, a u istom trenutku postoji jedan ili više čvorova koji šalju dominantni bit, čvorovi sa recesivnim bitom će prestati slati. Čvor koji je prestao slati prelazi u prijemni mod, a poruku može poslati već u slijedećem ciklusu slanja okvira. Postupak arbitraže nastavlja se sve dok na sabirnici ne prevlada samo jedan čvor sa porukom najvećeg prioriteta. Postupak arbitraže za poruke osnovnog okvira prikazan je na sl. 16.16.



Slika 16.16. CANBus arbitraža na sabirnici

Iz sl. 16.16. vidimo da postupak arbitraže tri čvora započinje istovremenim slanjem početnog bita okvira (SOF) na sabirnicu. Dalje slijedi slanje identifikacijskih bita počevši od najznačajnijeg bita. Bitovi za sva tri čvora su identični do 5. bita kada čvor 2 gubi arbitražu zbog recesivnog bita u odnosu na dominantne bitove čvorova 1 i 3. Nakon toga čvorovi 1 i 3 nastavljaju sa slanjem, a čvor 2 prelazi u mod rada u kojem može samo primiti poruku. Arbitraža preostala dva čvora će završiti na 1. bitu u kojem čvor 1 ima dominantni a čvor 3 recesivni bit te time gubi arbitražu i prestaje sa slanjem. Poruka čvora 1 biti će u ovom slučaju poslana na sabirnicu a preostali čvorovi mogu opet početi sa slanjem nakon što na sabirnici detektiraju neaktivnost linije. Linija se smatra neaktivnom odnosno slobodnom za slanje nakon što se pošalje cijeli okvir i 3 bita (IFS) razdvajanja okvira.

16.4. Identifikatori poruka

Identifikator poruke mora biti jedinstven na CAN mreži inače će dva čvora nastaviti sa slanjem i nakon arbitraže što će dovesti do greške. Definicija prioriteta poruka je prepuštena proizvođačima, koji su pak u skladu sa zajedničkim proizvodima definirali važnosti pojedinih poruka. Npr. proizvođač motora može specificirati da se poruka 0010 odnosi na struju namota

motora, a da je 0011 brzina. Budući 0010 ima nižu binarnu vrijednost poruke koje se odnose na struju motora imaju veći prioritet nego one za brzinu.

U ranim 90-tim CAN porukama u automobilskim sistemima su dodjeljivani identifikatori na osnovu tipa podataka i čvora koji šalje. Međutim ovakav način definiranja prioriteta imao je vrlo nisku korisnost CAN mreže od 30%. Pokazalo se da se izborom vremena isporuke poruke (*engl. deadline*) za identifikator poruke može povećati korisnost CAN mreže i do 70-80%. Naime kraće vrijeme isporuke poruke znači veći prioritet a time i veći broj poruka koje će doći na odredište prije isteka vremenskog roka.

Literatura

- [1] CAN-CIA.org: <http://www.can-cia.org>
- [2] Paret, D. (2007.) *Multiplexed Networks for Embedded systems*, England: John Wiley & Sons Ltd.
- [3] Voss, V. (2005.) *A Comprehensible Guide to Controller Area Network*, USA: Copperhill Media Corp.
- [4] Corrigan, S. (2008.) *Introduction to CAN, SLOA101A*, USA: Texas Instruments.

17. FlexRay

FlexRay protokol razvio je FlexRay konzorcij kojeg su činile vodeće tvrtke automobilske industrije na čelu sa BMW i DaimlerChrysler u periodu od 2000. do 2010. god. Protokol je razvijen sa ciljem da se osigura veći stupanj sigurnosti i pouzdanosti u automobilima kao nadogradnja postojeće CAN mreže ili kao samostalni mrežni sustav. Područja primjene su prije svega u aktivnim sustavima kočenja, upravljanja i kontrole brzine (*engl. cruise control*) ili sustavima upozorenja za napuštanje prometne trake (*engl. lane departure warning system*). Protokol je implementiran prvi put u sustavu aktivnog ovjesa BMW serije automobila X5 iz 2006. god., a punu primjenu je ostvario u BMW seriji 7 iz 2008. god. Konačna specifikacija protokola 3.0.1. izdana je krajem 2010. god. kada je FlexRay konzorcij i službeno prestao s radom.

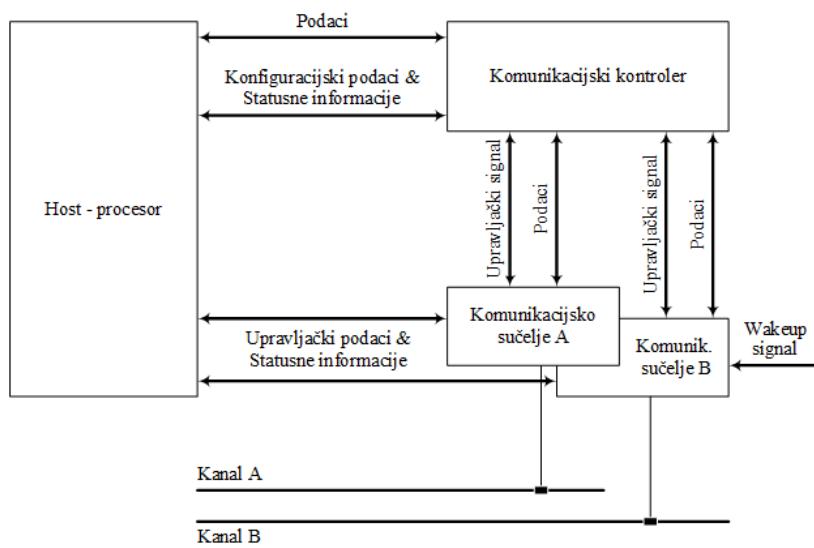
FlexRay protokol zasnovan je na TDMA pristupu (*engl. Time Division Multiple Access*) primjenom topologije s dva kanala pri čemu je omogućeno da svaki kanal radi neovisno. Istu informaciju moguće je prenositi i preko oba kanala istovremeno čime je ostvarena redundancija u komunikaciji (*engl. fault-tolerance*) odnosno mogućnost prijenosa signala čak i u slučaju greške na pojedinom kanalu.

FlexRay protokol je dizajniran za brzine prijenosa od 10 Mbits/s po svakom kanalu za razliku od CAN protokola koji podržava brzine prijenosa do 1 Mbit/s. Time je moguće ostvariti brzine prijenosa od 20 Mbit/s što je 20 puta više nego kod CANBus-a. FlexRay se iz ovog razloga vrlo često koristi kao magistralna linija mreže čak i tamo gdje se već koristi CANBus.

Povezivanje čvorova u mreži ostvareno je preko simetrične linije upotrebom neoklopjenog kabela sa upletonim paricama. Sabirnica na krajevima mora biti zaključena karakterističnom impedancijom između 80 i 110 Ω .

17.1. Struktura uređaja

Svaki čvor u FlexRay mreži se sastoji od aplikacijskog procesora (*engl. host*), komunikacijskog kontrolera i dva komunikacijska sučelja (*engl. bus driver*), po jedan za svaki kanal. Struktura čvora prikazana je na sl. 17.1.



Slika 17.1. Struktura FlexRay uređaja

Uloga procesora je izvršenje aplikacijskog programa, dok je sam protokol implementiran unutar komunikacijskog kontrolera. Kontroler je povezan na sabirnice kanala preko sučelja koja sadržavaju prijemnik i predajnik signala. U *sleep* modu komunikacijsko sučelje također ima mogućnost iniciranja *wakeup* procedure nakon detektiranja *wakeup* simbola. Komunikacijski kontroler vodi računa o kreiranju okvira i provjeri ispravnosti primljenih podataka prije njihovog prosljeđivanja aplikacijskom procesoru. U komunikaciji sa procesorom kontroler razmjenjuje primljene podatke i podatke za slanje te upravljačke i statusne informacije. Komunikacijska veza procesora sa sučeljima omogućuje direktnu promjenu njihovog načina rada kao i čitanje statusnih signala i grešaka.

17.2. FlexRay i OSI model

U usporedbi sa OSI referentnim modelom FlexRay protokol koristi fizički (1), podatkovni (2) i aplikacijski sloj (7), sl. 17.2.

- **Aplikacijski sloj** preko procesorskog programa upravlja načinom rada čvora i komunikacijom sa ostalim uređajima u mreži.
- **Podatkovni sloj** sastoji se od dva podsloja, LLC-a (*engl. Logical Link Control*) i MAC-a (*engl. Media Access Control*). LLC podsloj izvršava upravljačke funkcije protokola, dok je MAC podsloj zadužen za kreiranje okvira poruke i izvođenje komunikacijskog ciklusa.
- **Fizički sloj** definira sklopovlje (*engl. hardware*), topologiju, karakteristike električnog signala, način kodiranja, sinkronizaciju i prijenosni medij. Sastoji se od 3 podsloja: PLS

(engl. *Physical Signalling*), PMA (engl. *Physical Medium Attachment*) i MDI (engl. *Medium Dependent Interface*).

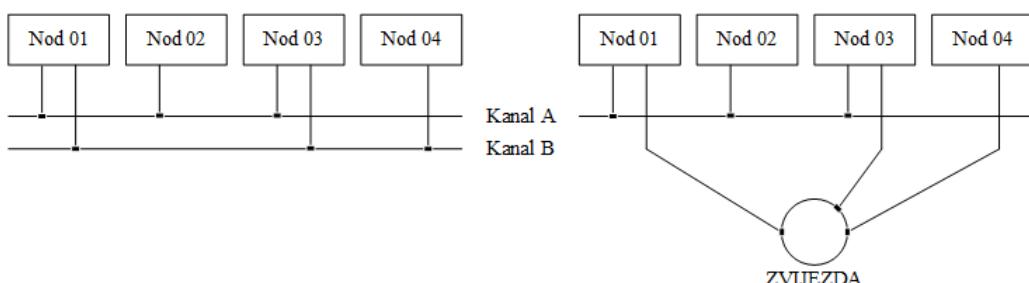
SLOJEVI OSI MODEL A	FLEXRAY SLOJEVI
7. Aplikacijski sloj	Aplikacijski program
2. Podatkovni sloj	Upravljački dio protokola LLC - Logical Link Control Kreiranje okvira i komunikacijski ciklus MAC - Media Access Control
1. Fizički sloj	Kodiranje i sinkronizacija PLS - Physical Signalling Primopredajnik PMA - Physical Medium Attachment Prijenosni medij i konektori MDI - Medium Dependent Interface

Slika 17.2. FlexRay i OSI model

17.3. Fizički sloj

17.3.1. Topologija mreže

FlexRay protokol definira mrežu sa dva kanala, A i B, u kojoj čvor može biti povezan na jedan ili oba kanala, sl. 17.3. Svaki kanal može biti spojen u različitoj topologiji, a kod povezivanja na jedan kanal može se koristiti bilo koji od ova dva kanala. Prijenos signala na kanalima je neovisan jedan o drugom tako da se mogu koristiti različite brzine i različiti prijenosni mediji po svakom kanalu. Maksimalna brzina prijenosa signala na kanalu je 10 Mbit/s ili ukupno 20 Mbit/s na oba kanala. U slučaju prijenosa istih informacija preko oba kanala istovremeno ostvarena je redundancija i veća pouzdanost prijenosa budući se u tom slučaju pogreška u prijenosu na jednom od kanala kompenzira podacima sa drugog kanala.

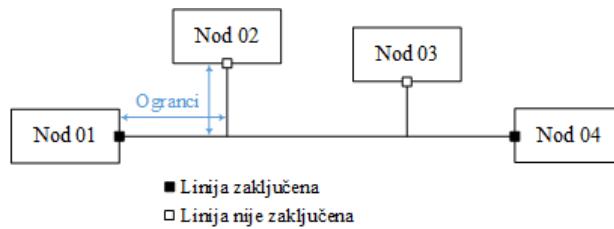


Slika 17.3. Konfiguracije sa dva kanala

Protokol podržava samo linearne topologije i to: topologiju od čvora do čvora (*engl. point-to-point*), pasivne linearne sabirnice, pasivne zvijezde, aktivne zvijezde, kaskadne aktivne zvijezde i hibridnu topologiju. Topologija od čvora do čvora predstavlja direktnu vezu između dva čvora i osnova je za kreiranje ostalih topologija. Udaljenost između čvorova ne smije biti veća od 24 m.

17.3.1.1. Topologija pasivne linearne sabirnice

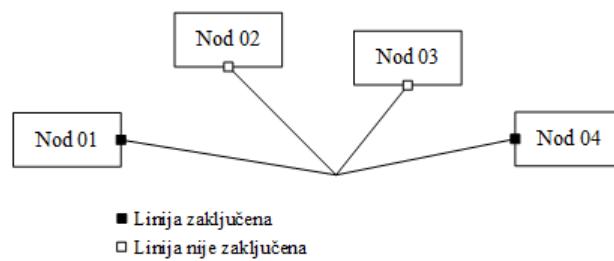
Kod ove topologije čvorovi su povezani na sabirnicu na jedan ili oba kanala. Udaljenost između čvorova ne smije biti veća od 24 m, a na svakom kanalu je moguće povezati najviše 22 čvora. Duljina ogranka određena je ispravnošću prijenosa podataka na koje najviše utječe tip prijenosnog medija i zaključenje linije.



Slika 17.4. Topologija pasivne linearne sabirnice

17.3.1.2. Topologija pasivne zvijezde

Za razliku od linearne sabirnice ovdje su svi čvorovi povezani u istu točku. Za svaki kanal mora biti konfigurirana zasebna zvijezda. Udaljenost između čvorova također ne smije biti veća od 24 m uz maksimalni broj od 22 čvora u konfiguraciji.

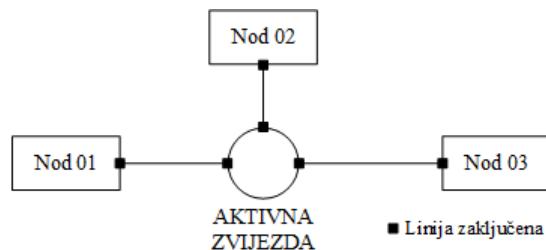


Slika 17.5. Topologija pasivne zvijezde

17.3.1.3. Topologija aktivne zvijezde

Kod topologije aktivne zvijezde čvorovi su direktnom vezom povezani na sprežnik koji sadrži prijemnik i predajnik za svaki priključak čvora. Uloga aktivnog sprežnika je da slijed podataka primljen sa jednog čvora proslijedi na sve ostale čvorove. Na ovaj način su čvorovi međusobno električki izolirani, što je posebno važno kod pojave kratkih spojeva na mreži kod kojih će

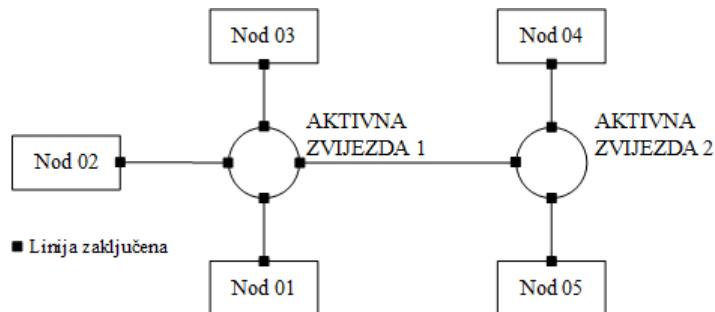
preostali dio mreže nastaviti normalno funkcionirati. Na svaki sprežnik moguće je povezati najviše 16 čvorova uz maksimalnu udaljenost od 24 m za svaki čvor.



Slika 17.6. Topologija aktivne zvijezde

17.3.1.4. Topologija kaskadne aktivne zvijezde

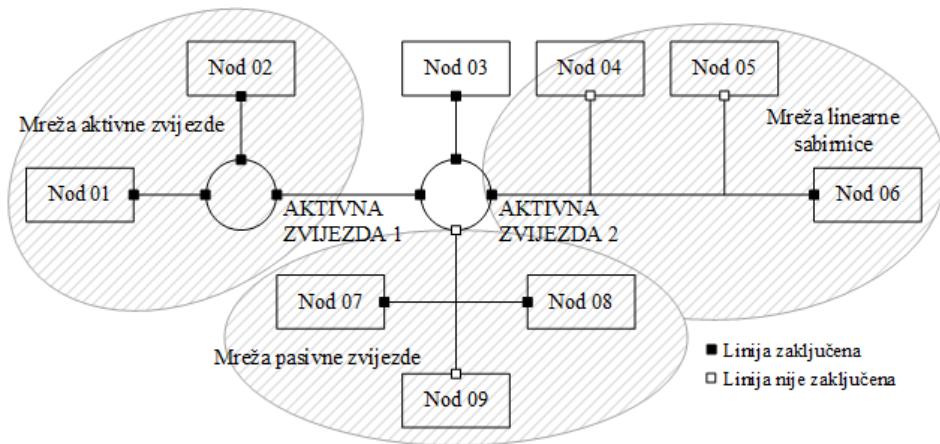
Povezivanjem dva sprežnika u direktnu vezu dobijamo topologiju kaskadne aktivne zvijezde. Veći broj sprežnika nije dozvoljen. Ova topologija može se koristiti samo u mrežama gdje je brzina prijenosa između čvorova povezanih na različite sprežnike definirana na 2.5 Mbit/s ili 5 Mbit/s. Za čvorove povezane na isti sprežnik maksimalna brzina prijenosa je 10 Mbit/s.



Slika 17.7. Topologija kaskadne aktivne zvijezde

17.3.1.5. Hibridna topologija

Hibridna topologija predstavlja kombinaciju svih prethodnih topologija. FlexRay podržava ovu topologiju sve dok ograničenja koja se odnose na pojedinačne topologije (zvijezda i sabirnica) od kojih je sastavljena nisu premašena.



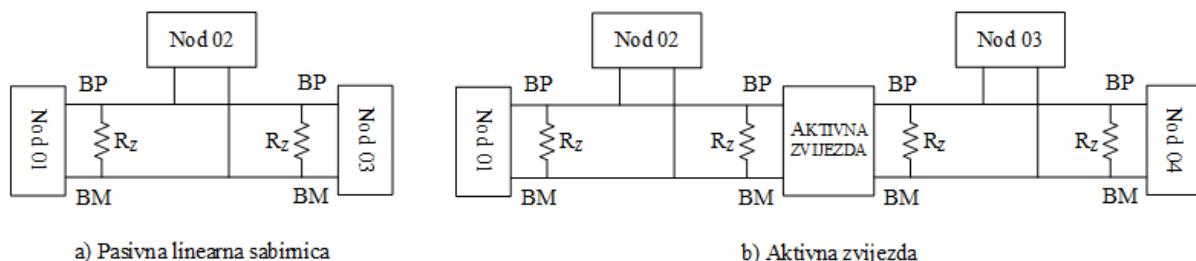
Slika 17.8. Hibridna topologija

17.3.2. Prijenosni medij i zaključenje linije

FlexRay protokol ne specificira vrste kabela koje treba koristiti već njihove električne karakteristike. Kod instalacije mogu se koristiti dvožilni kabeli sa ili bez oklopa sve dok su zadovoljene sljedeće karakteristike:

- Impedancija od $80 - 110 \Omega$ na frekvenciji od 10 MHz
- Najveće kašnjenje signala na liniji od 10 ns/m
- Najveće prigušenje signala na kabelu od 82 dB/km na frekvenciji od 5 MHz

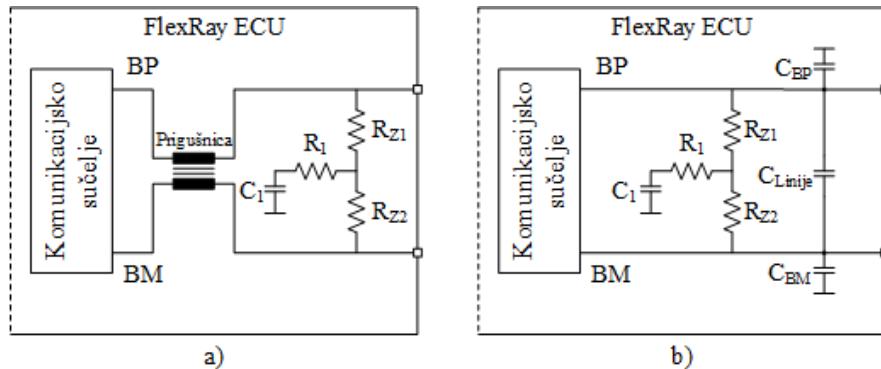
U praksi se najčešće koristi kabel sa upletonom paricom zbog svoje otpornosti na električne smetnje. Za svaki kanal koristi se zasebni kabel koji predstavlja simetričnu liniju. Vodići na liniji se označavaju kao BP (*engl. Bus Plus*) i BM (*engl. Bus Minus*). Linija na krajevima mora biti zaključena kao što je to prikazano na sl. 17.9. kod topologije pasivne linearne sabirnice i aktivne zvijezde. (U topologijama na prethodnim slikama su također označena zaključenja linije)



Slika 17.9. Zaključenje linije

Zaključenjem linija se smanjuju refleksije signala koje doprinose njegovom izobličenju uslijed istitravanja koje nastaje na prijelaznim bridovima impulsa. Utjecaj vanjskih elektromagnetskih

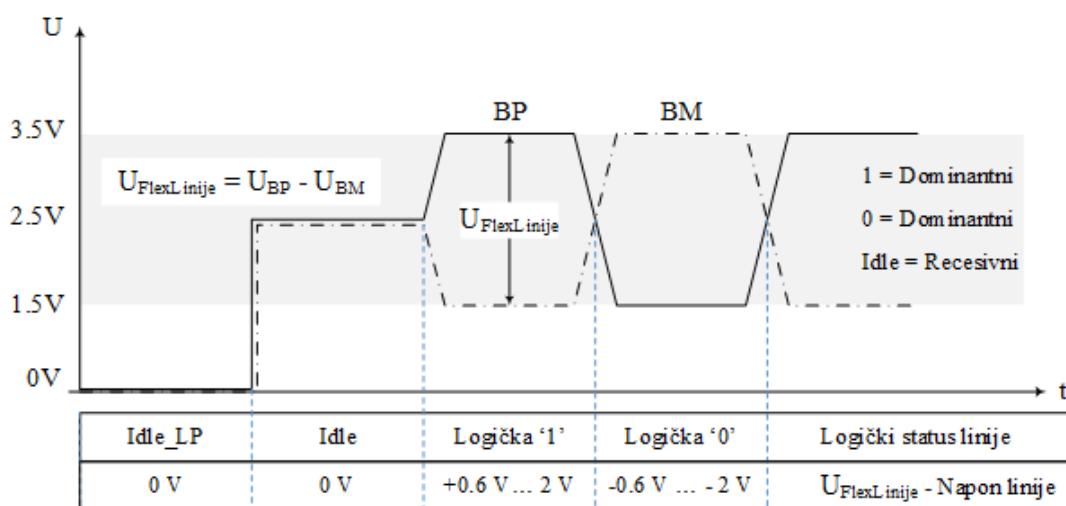
smetnji mogu se dodatno smanjiti upotrebom razdjelnog zaključnog otpornika, sl. 17.10.a., a za smanjenje utjecaja od elektrostatičkih pražnjenja kao zaštita se koristi razdjelna impedancija kao na sl. 17.10.b.



Slika 17.10. Zaključenje linije razdjelnim impedancijama a) za slučaj elektromagnetskih smetnji b) za slučaj elektrostatičkih pražnjenja

17.3.3. FlexRay signal

Logičko stanje na liniji u FlexRay protokolu predstavljeno je razlikom napona između vodiča BP i BM. Naponi na vodičima U_{BP} i U_{BM} su dani u odnosu na referentni napon 0V. Protokol razlikuje 4 stanja linije: logičku '1', logičku '0', stanje neaktivnosti (*engl. Idle*) u normalnom radu i u stanju niske potrošnje, kao što je prikazano na sl. 17.11.



Slika 17.11. FlexRay signal

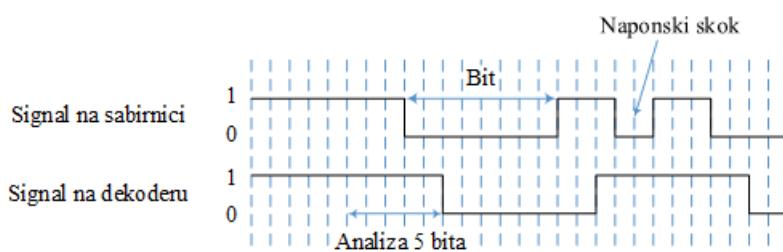
Oba logička stanja '0' i '1' nazivaju se dominantnim bitom, a status neaktivnosti u normalnom radu označava recessivni bit. Kod logičke '1' napon linije $U_{FlexLinije}$ je pozitivan i može poprimiti vrijednosti od +0.6V do +2V, a kod logičke '0' napon linije je negativan uz moguće vrijednosti

od -0.6V do -2V. Da bi linija poprimila stanje dominantnog bita 1 ili 0 dovoljno je da barem jedan čvor šalje signal.

Recesivan bit je prisutan na liniji kada nema komunikacije i tada čvorovi ne opterećuju liniju (nema strujnog opterećenja). U tom slučaju oba vodiča su polarizirana na +2.5V tako da je $U_{FlexLinije} = 0V$. Ako se svi čvorovi uključujući i sprežnike aktivnih zvijezda nalaze u stanju niske potrošnje (*engl. Idle_LP*) vodiči nisu polarizirani tj. napon na svakom vodiču jednak je 0V. U slučaju da je dio čvorova u stanju niske potrošnje a dio nije napon linije biti će manji od 2.5V.

17.3.4. Kodiranje i sinkronizacija

Kodiranje u FlexRay protokolu je ostvareno NRZ metodom (*engl. Non-Return To Zero*), a dekodiranje se provodi uzorkovanjem niza 8 puta većom frekvencijom. Postupak dekodiranja je ostvaren na način da prijemnik uvijek analizira pet posljednjih uzoraka i ako su barem tri u stanju visoke razine generira se bit logičke '1'. U suprotnom se generira bit logičke '0'. Postupak je ilustriran na sl. 17.12. Na ovaj način su izbjegnute greške kod dekodiranja uslijed iznenadnih naponskih skokova koji se mogu pojaviti na prijemu. Ovo vrijedi samo ako naponski skokovi nemaju trajanje duže od trajanja tri uzorka.



Slika 17.12. Dekodiranja signala u FlexRay protokolu

Za normalni rad mreže svi čvorovi moraju biti sinkronizirani. Sinkronizacija je ostvarena uspoređivanjem broja komunikacijskih ciklusa i makro-taktova svakog čvora sa ostalim čvorovima. Detaljniji opis dan u je poglavlju 17.4.1.6.

17.4. Podatkovni sloj

17.4.1. FlexRay komunikacijski ciklus

Prijenos signala ili kontrola pristupa kanalu (*engl. Media Access Control*) kod FlexRay protokola je zasnovana na TDMA metodi. TDMA pristup omogućuje čvoru slanje okvira u dinamičkom obliku. Da bi se ovo ostvarilo protokolom je definiran komunikacijski ciklus koji

se periodično ponavlja. Ovaj ciklus svaki put ima isti format i vrijeme trajanja. Komunikacijski ciklus sastoji se od četiri dijela: statičkog segmenta, dinamičkog segmenta, prozora simbola i mrežne pauze, kao što je prikazano na sl. 17.13. Tipično vrijeme trajanja ciklusa je od 1-5 ms, a dva ili više komunikacijskih ciklusa mogu formirati aplikacijski ciklus.

Statički segment		Dinamički segment			Prozor simbola	Mrežna pauza
Statički odsječak 1	Statički odsječak n	Mini odsječak n+1	Mini odsječak n+m	Opcionalno

Slika 17.13. Komunikacijski ciklus

17.4.1.1. Statički segment

Statički segment sastoji se od vremenskih odsječaka (*engl. slots*) iste dužine trajanja koji se nazivaju statičkim odsječcima. Trajanje i broj statičkih odsječaka definiran je u konfiguracijskim parametrima FlexRay kontrolera koji moraju biti jednaki za sve čvorove u mreži.

Statički odsječci pridijeljeni su jednoznačno prema identifikatorima okvira (ID) tako da se unutar istog komunikacijskog ciklusa može poslati samo jedan okvir sa istom porukom odnosno identifikatorom. Slanje okvira vrši se uvijek unutar istog statičkog odsječka koji je pridijeljen za njegov identifikator okvira. Također je dozvoljeno da različiti čvorovi mogu slati okvir sa istim ID-om na istom kanalu ali u različitim ciklusima. Ovo vrijedi za oba kanala, sl. 17.14. Budući su kanali neovisni jedan o drugom moguće je na oba kanala u istom statičkom odsječku poslati okvir sa istim ili različitim ID-om. Međusobno pridruživanje ID okvira i statičkih odsječaka također je definirano konfiguracijskim parametrima FlexRay kontrolera. Statički odsječak pridijeljen određenoj poruci odnosno okviru ne može se koristiti za druge poruke čak i ako se u komunikacijskom ciklusu ona ne šalje. Odsječak u tom slučaju ostaje prazan i neiskorišten.

Čvorovi u FlexRay protokolu također ne koriste adresiranje za razmjenu poruka već se prijem ostvaruje na način da su čvorovi konfigurirani za primanje okvira sa određenim ID-om odnosno sa određenog statičkog odsječka. Samim tim je sadržaj okvira određen njegovom pozicijom u komunikacijskom ciklusu. Također identifikator poruke unutar podatkovnog polja jednoznačno pokazuje prijemnom čvoru kakva je informacija sadržana u poruci.

17.4.1.2. Dinamički segment

Dinamički segment omogućuje slanje poruka koje se šalju povremeno na način da to ne utječe na ukupno vrijeme trajanja komunikacijskog ciklusa. Naime bez dinamičkog segmenta za dodatne poruke morali bi povećati broj statičkih odsječaka a time i produžiti trajanje ciklusa. Unutar ovog segmenta ne smiju se slati sinkronizacijski okviri, prazni okviri i okviri uključenja.

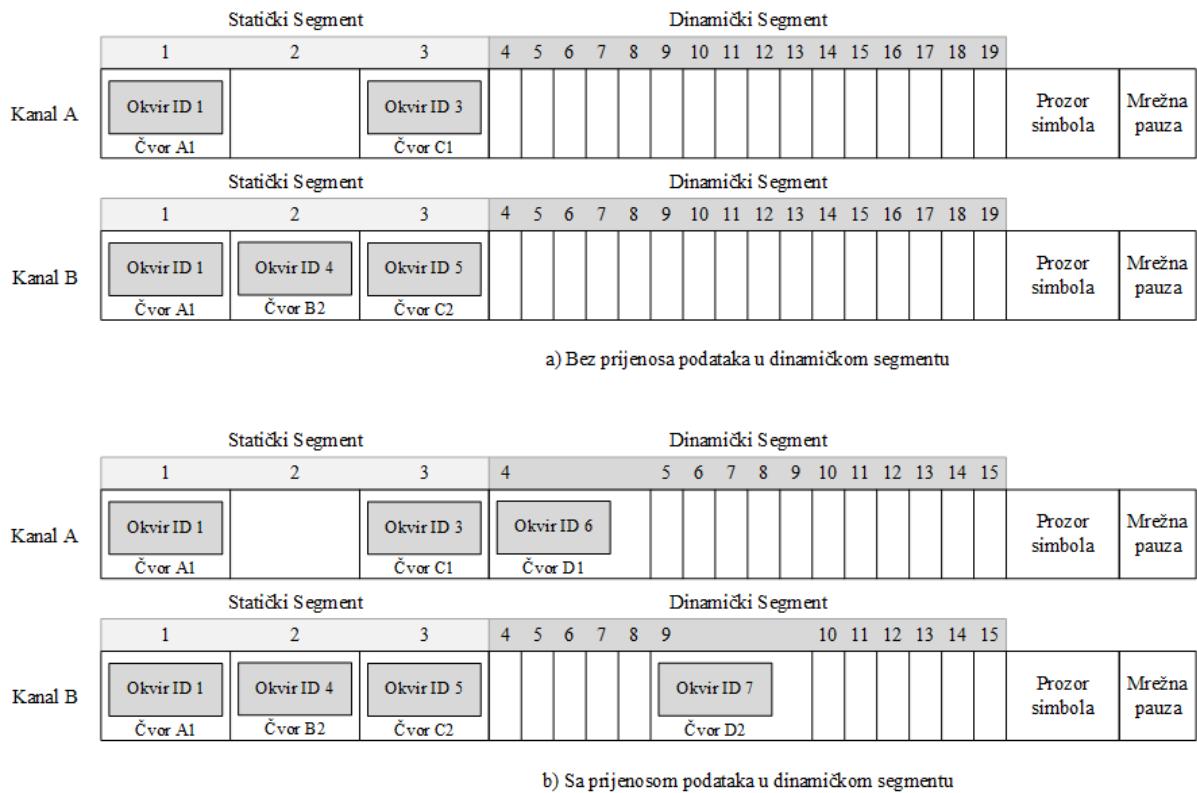
Dinamički segment ima uvijek isto vrijeme trajanje a podijeljen je na tzv. mini vremenske odsječke (*engl. minislots*). Vrijeme trajanja svakog mini odsječka je uvijek isto ali bitno kraće od statičkog odsječka.

Duljina mini odsječka nije dovoljna da se u njega smjesti cijeli okvir tako da mini odsječak definira samo moguće vrijeme početka prijenosa okvira u dinamičkom segmentu. Slično kao i statički odsječak svaki mini odsječak je jednoznačno pridijeljen prema identifikatorima okvira po prioritetu.

Za vrijeme dinamičkog segmenta čvorovi u mreži stalno nadgledaju koji je mini odsječak trenutno aktivan. Za ovu svrhu svaki čvor posjeduje dva brojača odsječaka (za svaki kanal po jedan) unutar dinamičkog segmenta. Čvor može poslati okvir kada nađe mini odsječak koji pridijeljen identifikatoru tog okvira što će detektirati svi ostali čvorovi. Trenutni mini odsječak u kojem je poslan okvir s podacima biti će proširen na račun ostalih mini odsječaka kako bi se smjestio poslani okvir. Nakon završetka slanja okvira dinamički segment se nastavlja sa slijedećim mini odsječkom po redu i slanjem nove poruke. Budući je trajanje dinamičkog segmenta uvijek isto proširenjem mini odsječka smanjuje se ukupan broj dostupnih mini odsječaka u dinamičnom segmentu. Stoga se novi okvir sa podacima može poslati samo ako je preostalo dovoljno vremena u dinamičkom segmentu.

Ako nema podataka za slanje mini odsječak se neće koristiti. To omogućuje slanje poruka nižeg prioriteta koje su pridijeljene mini odsječcima sa većim rednim brojem. Što je dalje smješten mini odsječak u dinamičkom segmentu to je veća vjerojatnost da se neće koristiti u određenom ciklusu zbog proširenja odsječaka kod slanja okvira većeg prioriteta. Okviri sa različitim identifikatorima ili prioritetima na ovaj način se mogu slati u različitim odsječcima dinamičkog segmenta na oba kanala. Na ovaj način dinamički segment je upravljan po prioritetu poruka.

Prikaz rada dinamičkog segmenta se može vidjeti na sl. 17.14. Svaki kanal u ovom primjeru omogućuje 16 mini odsječaka za prijenos podataka u dinamičkom segmentu. Početak segmenta je definiran sa mini odsječkom 4. Slika 17.14.a. pokazuje situaciju kada nemamo prijenos podataka unutar dinamičkog segmenta i tada svi mini odsječci zadržavaju isto vrijeme trajanja. Na sl. 17.14.b. vidimo primjer u kojem je mini odsječku 4 pridijeljen okvir kojeg šalje čvor D1 na kanalu A, a mini odsječku 9 je pridijeljen okvir kojeg šalje čvor D2 na kanalu B. Kod slanja podataka mini odsječci 4 i 9 su prošireni na 5 odsječaka u skladu sa veličinom okvira. Time je broj dostupnih mini odsječaka za okvire na kanalu A i B smanjen na 12. Novi okviri odnosno poruke mogu se slati na kanalu A samo ako su pridijeljeni mini odsječcima 5 do 15, na kanalu B ako su pridijeljeni odsječcima od 10 do 15 i ako su po vremenskom trajanju manji od preostalog vremena unutar kanala dinamičkog segmenta.



Slika 17.14. FlexRay statički i dinamički segment

Trajanje mini odsječka i duljina dinamičkog segmenta su definirani sa globalnim konfiguracijskim parametrima koji moraju biti isti unutar svih čvorova na mreži. Na razini svakog čvora treba osigurati da je svaki mini odsječak konfiguriran samo jednom u mreži. Minimalno trajanje mini odsječka je određeno fizičkim parametrima mreže (kašnjenje) i maksimalnom devijacijom frekvencije lokalnog takta u kontrolerima.

17.4.1.3. Prozor simbola

Prozor simbola (*engl. Symbol Window*) je vremenski odsječak fiksne duljine trajanja u kojem se mogu slati na mrežu posebni simboli. Simboli se koriste za potrebe mrežnog upravljanja kao što je npr. signaliziranje posebnih ciklusa (*wakeup, cold-start,..*). Unutar prozora simbola može biti poslan samo jedan simbol. U slučaju slanja više simbola prioritet slanja simbola mora biti određen protokolom više razine budući FlexRay ne pruža mogućnost arbitraže unutar prozora simbola.

17.4.1.4. Mrežna pauza

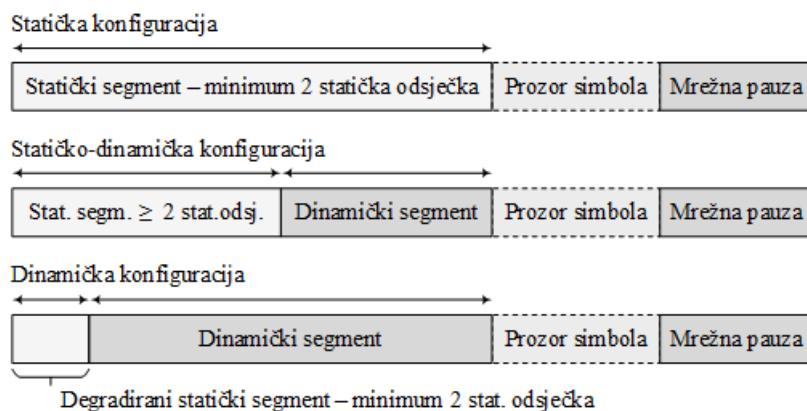
Mrežna pauza (*engl. Network Idle Time*) je posebni vremenski prozor protokola u kojem se ne odvija komunikacija na kanalima. Naime FlexRay kontroleri koriste ovo vrijeme za sinkroniziranje takta tako da se u tom vremenu ne može ostvariti pouzdani prijenos podataka.

Minimalna duljina pauze je određena sa maksimalnom devijacijom između lokalnih taktova čvorova nakon svakog komunikacijskog ciklusa. Trajanje mrežne pauze je definirano globalnim parametrom koji mora bit jednak za sve kontrolere na mreži.

17.4.1.5. Konfiguracije komunikacijskog ciklusa

Svaki komunikacijski ciklus mora obavezno sadržavati statički segment i mrežnu pauzu dok su dinamički segment i prozor simbola optionalni. U FlexRay protokolu moguće su tri osnovne konfiguracije, kao što je prikazano na sl. 17.15.:

- **Statička konfiguracija (engl. Pure static configuration)**
Ova konfiguracija sadrži samo statičke odsječke za prijenos podataka. Da bi se omogućila sinkronizacija takta statički segment mora sadržavati barem dva odsječka. Ako se želi osigurati veća otpornost na greške kod sinkronizacije takta (*engl. fault-tolerant*) statički segment mora sadržavati barem četiri statička odsječka.
- **Statičko-Dinamička konfiguracija (engl. Mixed configuration)**
Statičko-dinamička konfiguracija je uobičajena konfiguracija koja se sastoji se od statičkog i dinamičkog segmenta. Duljine segmenata mogu varirati ovisno o prijenosu podataka.
- **Dinamička konfiguracija (engl. Pure dynamic configuration)**
Ova konfiguracija koristi samo dinamički segment, ali uz uvjet da statički segment sadrži barem dva statička odsječka, tzv. „degradirani statički segment“.

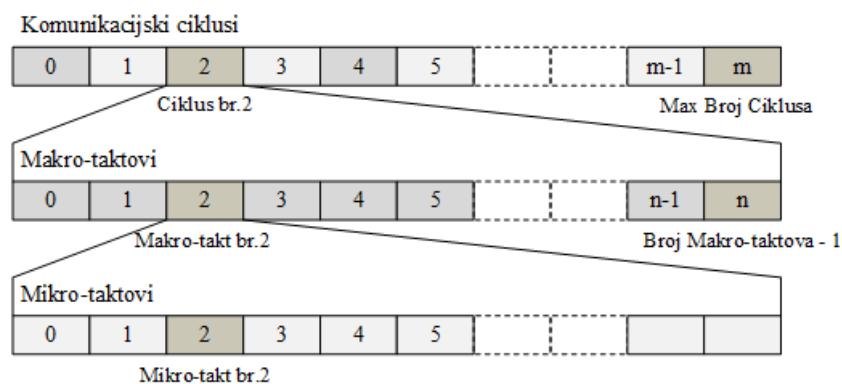


Slika 17.15. FlexRay konfiguracije komunikacijskog ciklusa

17.4.1.6. Sinkronizacija

Sinkronizacija u FlexRay protokolu ostvarena je na način da je svaki komunikacijski ciklus podijeljen na vremenske jedinice koje se nazivaju makro-taktovi (*engl. macroticks*). Vrijeme

makro-taktova se može konfigurirati i obično iznosi oko 1 μ s. Ukupan broj makro-taktova po ciklusu je uvijek jednak za sve čvorove u mreži, a cjelobrojnom vrijednošću makro-takta definiran je i vremenski odsječak u kojem čvor može poslati okvir sa odgovarajućom porukom. Osnovni takt rada sklopova određen je internim taktom lokalnih oscilatora u kontrolerima, a naziva se mikro-taktom (*engl. microtick*). Makro-takt je uvijek jednak cjelobrojnom umnošku mikro-taktova, a broj mikro-taktova može biti različit za sve čvorove i statistički se konfigurira za svaki čvor zasebno. Naime u postupku sinkronizacije broj mikro-taktova odnosno interni takt oscilatora se može povećavati ili smanjivati kako bi se ciklusi sinkronizirali. Sinkronizacijski taktovi u FlexRay protokolu prikazani su na sl. 17.16.

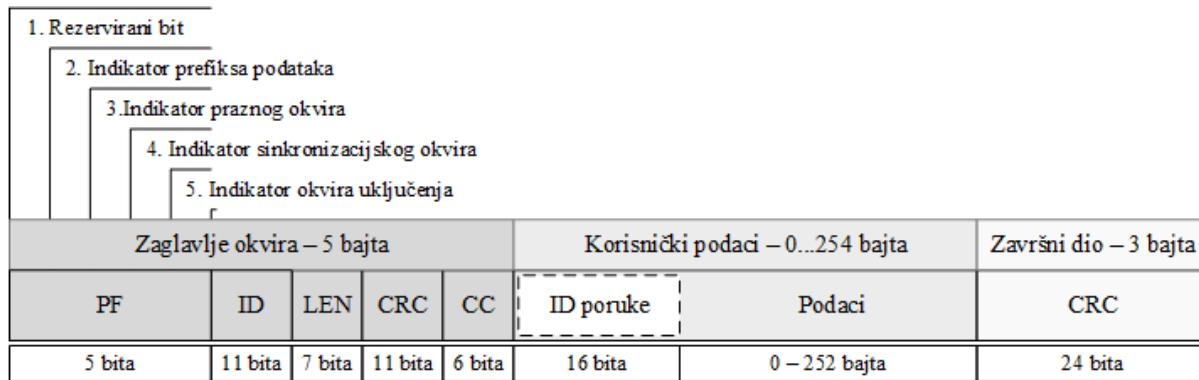


Slika 17.16. FlexRay sinkronizacijski taktovi

Sinkronizacija je ostvarena na razini svakog čvora uspoređivanjem lokalnog makro-takta i brojača ciklusa sa globalnim. Globalna vremena su preko aplikacijskog programa dostupni svim čvorovima a sadržavaju lokalne makro-taktove i statuse brojača ciklusa ostalih čvorova. Sinkronizacijskim algoritmom se usklađuje razlika između lokalnih i globalnih taktova unutar definiranih granica odstupanja promjenom internog takta oscilatora odnosno promjenom vremena trajanja mikro-takta.

17.4.2. Struktura okvira

Struktura okvira u FlexRay protokolu prikazana je na sl. 17.17. Okvir se sastoji od 3 dijela: zaglavljha, korisničkih podataka i završnog dijela. Bitovi unutar okvira se šalju od najznačajnijeg prema najmanje značajnom bitu.



Slika 17.17. Struktura FlexRay Okvira

- **Zaglavlje okvira** (*engl. Header Segment*) – 5 bajta

Zaglavlje okvira sadrži upravljačke informacije, a sastoji se od 5 polja:

- **Zastavice protokola - PF** (*engl. Protocol Flag*) – 5 bita
Polje zastavica protokola sadrži 5 bita slijedećeg značenja:
 - **Rezervirani bit** (*engl. Reserved bit*)
Ovaj bit rezerviran je za buduće namjene i šalje se kao nula.
 - **Indikator prefiksa podataka** (*engl. Payload preamble indicator*)
Indikator prefiksa podataka označava da li se unutar polja podataka šalje i dodatni indikator. Dodatni indikator se šalje ako je ovaj bit jednak logičkoj '1'. Značenje indikatora unutar polja podataka zavisi o tome da li se okvir šalje u sklopu statičkog ili dinamičkog segmenta. Ako se okvir šalje kroz statički segment indikator označava mrežni upravljački vektor. Ako se okvir šalje kroz dinamički segment indikator označava ID poruke.
 - **Indikator praznog okvira** (*engl. Null frame indicator*)
Ovaj bit označava da li okvir sadrži korisničke podatke. Ako se ne šalju korisnički podaci bit je postavljen u nulu i u tom slučaju svi bitovi podataka su također jednaki nuli.
 - **Indikator sinkronizacijskog okvira** (*engl. Sync frame indicator*)
Ovim bitom označava se sinkronizacijski okvir koji se koristi za sinkronizaciju takta između čvorova. Kod sinkronizacijskog okvira ovaj bit je postavljen u '1'.
 - **Indikator okvira uključenja** (*engl. Startup frame indicator*)
Bit okvira uključenja označava početni okvir kojeg šalju samo čvorovi radi sinkronizacije kod ponovnog uključenja (*engl. coldstart*). Kod okvira uključenja ovaj bit je postavljen u '1'.
- **Identifikator okvira - ID** (*engl. Frame ID*) – 11 bita

Identifikator okvira definira vremenski odsječak (*engl. slot*) u kojem će se okvir slati. Moguće vrijednosti identifikatora su od 1 do 2047, a sa 0 je označen neispravan okvir.

- **Duljina polja podataka - LEN** (*engl. Payload length*) – 7 bita
Polje duljine korisničkih podataka određuje broj bajta podataka koji se šalju u okviru. Ukupan broj bajta izražen je kao broj bajta koje treba poslati podijeljen sa 2.
- **CRC** (*engl. Header CRC*) – 11 bita
CRC polje zaglavljiva proračunava se iz prethodnih bitova zaglavljiva okvira: sinkronizacijskog indikatora, indikatora uključenja, polja identifikatora okvira i polja duljine podataka. CRC provjerom može se odrediti da li je zaglavljivo primljeno ispravno.
- **Broj ciklusa - CC** (*engl. Cycle Count*) – 6 bita
Brojač ciklusa je neovisan za svaki čvor i uvećava sa svakim novim komunikacijskim ciklusom kod slanja okvira. Kada dosegne maksimalno definiranu vrijednost brojanje opet započinje od nule.
- **Korisnički podaci** (*engl. Payload Segment*) – 0 – 254 bajta
Veličina polja podataka može biti od 0 do 254 bajta. Polje podataka može sadržavati i dodatne informacije kao opciju što je naznačeno u zaglavljiva okvira sa bitom identifikatora prefiksa podataka. Ako se okvir šalje u statičkom segmentu prvih 12 bajta se koristi za mrežni upravljački vektor, a ako se okvir šalje u dinamičkom segmentu prva dva bajta podataka predstavljaju 16-bitni identifikator poruke koji definira tip podataka koji se šalju.
- **Završni dio** (*engl. Trailer Segment*) – 3 bajta
Završni dio sadrži 24 bita CRC koji se proračunavaju nad svim bajtovima zaglavljiva i podataka. Prijemnik koristi ovaj dio za provjeru da li je okvir primljen bez grešaka. Za duljine podataka do 248 bajta moguće je detektirati grešku do 5 bita (Hamming distance = 6), a za podatke duljine veće od 248 bajta grešku do 3 bita (Hamming distance = 4).

17.4.3. Wakeup i Startup usluge

Wakeup i *Startup* usluge omogućuju integraciju novo konfiguriranih čvorova u FlexRay komunikacijsku mrežu koja je već u radu.

17.4.3.1. Wakeup usluga

Automobilske mreže obično podržavaju stanje niske potrošnje uređaja tzv. *sleep* mod u kojem su upravljačke jedinice - ECU (*engl. Electronic Control Units*) isključene od napajanja te je samo mali dio komunikacijskog sučelja na fizičkom sloju u radu. Da bi se ponovno aktivirala određena upravljačka jedinica koristi se *wakeup* usluga, koja se aktivira na vanjski pobudni signal, npr. ključ umetnut u bravu vrata.

Wakeup usluga koristi poseban simbol, WUP, koji se šalje na sabirnicu i to samo u trenutku kada nema komunikacije između čvorova. Ovaj signal detektiraju sva komunikacijska sučelja na sabirnici i inicijaliziraju uključivanje upravljačke jedinice.

17.4.3.2. Startup usluga

Nakon aktiviranja *wakeup* usluge mreže nastupa tzv. *startup* faza u kojoj se vrši sinkronizacija u odnosu na makro-taktove tj. vremenske odsječke komunikacijskog ciklusa. *Startup* usluga razlikuje dva načina rada: *cold-start* i reintegraciju. *Cold-start* predstavlja uključivanje svih čvorova na mreži, dok reintegracija predstavlja uključivanje čvorova u mrežu koja je u radu.

Za vrijeme *cold-start*-a protokol mora osigurati da na mreži nema aktivnosti jer bi uključivanje čvora na mrežu koja već radi moglo dovesti do ometanja rada ostalih čvorova. Iz tog razloga čvor koji se uključuje mora pričekati dok ne prođe određeno vrijeme neaktivnosti na komunikacijskom kanalu ili tzv. *listen timeout*. Kada je to zadovoljeno čvor počinje slati CAS simbol i okvire uključenja (*engl. cold-start frames*) određeni broj puta. U slučaju da drugi čvor pošalje okvir odgovora u vremenskom odsječku u kojem je čvor koji se uključuje poslao okvir uključenja *startup* se smatra uspješnim i ulazi se u normalno aktivno stanje komunikacije.

Ako se detektira komunikacija za vrijeme perioda uključenja čvor se prebacuje na reintegracijski mod. U ovom modu čvor sinkronizira svoj brojač vremenskih odsječaka (*engl. slots*) sa slanjem okvira na kanalu. Određeno vrijeme čvor provjerava podudarnost primljenih okvira u odnosu sa internim brojačem vremenskih odsječaka i ako se podudaraju čvor ulazi u normalni mod rada razmjene podataka.

Literatura

- [1] Show, R., Jackman, B. (2008.) *An Introduction to FlexRay as an Industrial Network*, Ireland: Waterford Institute of Technology, <http://www.wit.ie>.
- [2] Zurawski, R. (2005.) *Industrial Communication Technology Handbook*, USA: Taylor and Francis Group, CRC Press.
- [3] FlexRay Consortium, (2010.) *FlexRay Protocol Specification ver. 3.0.1*.
- [4] FlexRay Consortium, (2010.) *FlexRay Electrical Physical Layer Specification Version 3.0.1*.
- [5] Paret, D. (2012.) *FlexRay and its Applications*, England: John Wiley & Sons Ltd.