



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП
ВТОР ЦИКЛУС НА АКАДЕМСКИ УНИВЕРЗИТЕТСКИ СТУДИИ
ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ
Студиска програма: Индустриска логистика

МИЛЕ КОКОТОВ

ПЛАНИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРОНСКИ КОМУНИКАЦИСКИ МРЕЖИ

- МАГИСТЕРСКИ ТРУД -

Штип, јануари 2017

Комисија за оценка и одбрана:

Претседател: Проф. д-р Ристо Поповски
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Член: Проф. д-р Зоран Десподов
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Член / Ментор: Проф. д-р Борис Крстев
Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Благодарност

Чувствувам обврска да изразам благодарност до сите кои помогнаа при реализирањето на овој магистерски труд.

За прифаќањето да биде ментор на овој магистерски труд, за укажаните совети и сугестии, изразувам голема благодарност на менторот проф. д-р Борис Крстев.

ПЛАНИРАЊЕ НА ЕЛЕКТРОНСКИ КОМУНИКАЦИСКИ МРЕЖИ

Краток извадок:

Електронска комуникациска мрежа е преносен систем кој овозможува пренос на сигнали преку жичени водови, радиобранови, оптички или други електромагнетни средства, вклучувајќи сателитски мрежи, фиксни и мобилни земски мрежи, електромагнетски кабелски системи, радиодифузни мрежи и кабелски телевизиски мрежи, независно од видот на информациите што се пренесуваат.

Во овој труд, го обработувам преносниот систем кој овозможува пренос на информации преку жичени (оптичко-коаксијални) мрежи, попознат како кабелски дистрибутивен систем, а кај народот популарно наречен кабелска телевизија. Посебно се опфатени речиси сите функционални целини од еден современ кабелски дистрибутивен систем, почнувајќи од антенскиот систем, главната станица, кабелската мрежа, аналогни и дигитални технологии, кабелски интернет, VoIP-телефонија, пресметки, анализа, оптимизација и др.

Преку современите кабелски дистрибутивни системи до корисниците се пренесуваат повеќе услуги, односно сервиси. На пример, аналогна и дигитална ТВ, радио канали, брз широкопојасен интернет, како и фиксна телефонија. Исто така, се воведуваат интерактивни услуги како што се „плати за да гледаш“ (*PPV – Pay Per View*) и „видео содржини на барање на корисникот“ (*VOD – Video On Demand*).

Можноста од избор на поголем број телевизиски и радио програми како и можноста за брза меѓусебна дигитална комуникација, со себе носи и можност за побрз севкупен развој на општеството во целина. Со своите интерактивни можности, кабелските дистрибутивни системи денес претставуваат основен елемент на глобалното информациско општество.

Клучни зборови

Електронски комуникациски мрежи, кабелска телевизија, хибридни оптичко-коаксијални кабелски мрежи, кабелски дистрибутивни системи, КДС, кабелски дистрибутивни мрежи, оптички кабел, коаксијален кабел, оптички нод, засилувачи, медија конвертор, кабелски интернет, дигитална телевизија, дигитална видео компресија, кабелски модем, ЛАН мрежи, воип, докис, Миле Кокотов, Штип, Македонија, ФПТН.

ELECTRONIC COMMUNICATIONS NETWORKS PLANNING

Abstract:

Electronic communications network is defined as transmission system that allows transmission of analog and digital signals by wire, radio waves, optical or other electromagnetic equipment, including satellite networks, fixed and mobile terrestrial networks, electromagnetic cable systems, broadcast networks and cable television networks, irrespective of the type of informations that is transferred.

In this paper, I am explaining the fundamentals of transmission systems that allows analog and digital communications via wired (hybrid optical-coaxial) networks (HFC) known as cable distribution systems, commonly named as cable TV (CATV). Almost all functional units as integral parts of one contemporary cable distribution system are covered here. Starting from the antenna system, the main headend, cable network, analog and digital channels, cable internet, VoIP-telephony, calculations, analysis and optimization.

Through modern cable distribution systems, multiple services for the customers are provided. For example, analogue and digital TV and radio channels, high-speed broadband internet and fixed telephony. There are interactive services such as "Pay Per View" (PPV) and "video on demand" (VOD) also.

The possibility of choice from a multiple television and radio channels as well as the possibility of high speed mutual digital communication imply the possibility of faster overall society development.

Modern cable distribution systems with its interactive capabilities today, have become an essential element of the global information society.

Keywords:

Electronic communications network, cable television, CATV, cable distribution system, fiber optic communications, hybrid fiber-coaxial network, HFC, coaxial cable, optical node, amplifier, media converter, cable internet, digital television, digital video broadcast, DVB, digital video compression, cable modem, LAN, VoIP, docsis, Mile Kokotov, Shtip, Stip, Macedonia, Republic of Macedonia.

СОДРЖИНА

1. Вовед	-	-	-	-	-	-	-	-	12
1.1. Кабелски дистрибутивни системи	-	-	-	-	-	-	-	-	13
1.2. Предности на кабелскиот дистрибутивен систем	-	-	-	-	-	-	-	-	15
1.3. Концепција на кабелскиот дистрибутивен систем	-	-	-	-	-	-	-	-	16
2. ГЛАВНА СТАНИЦА НА КДС	-	-	-	-	-	-	-	-	17
2.1. Антенски приемен систем	-	-	-	-	-	-	-	-	17
2.1.1. Антени за прием на <i>VHF</i> и <i>UHF</i> („земски програми“)	-	-	-	-	-	-	-	-	18
2.1.1.1. Поставување на антени за прием на <i>VHF</i> и <i>UHF</i> програми	-	-	-	-	-	-	-	-	19
2.1.2. Антени за прием на сателитски програми	-	-	-	-	-	-	-	-	20
2.1.2.1. Пресметување на азимутот и елевацијата на антените за прием на сателитски програми	-	-	-	-	-	-	-	-	23
2.2. Главна станица на КДС (внатрешен дел)	-	-	-	-	-	-	-	-	25
2.3 Составни делови и уреди на главната станица	-	-	-	-	-	-	-	-	27
2.3.1. Приемници за прием на <i>VHF</i> и <i>UHF</i> („земски“ програми)	-	-	-	-	-	-	-	-	27
2.3.2. Блок шема на главна станица на КДС	-	-	-	-	-	-	-	-	28
2.3.3. Приемници за прием на сателитски програми	-	-	-	-	-	-	-	-	29
2.3.4. Модулатори	-	-	-	-	-	-	-	-	29
Неколку зборови за шумот кој се генерира во модулаторите	-	-	-	-	-	-	-	-	32
Пресметување на шумот од модулаторите во гл. станица	-	-	-	-	-	-	-	-	32
2.3.5. Дел за засилување и здружување на RF сигналите во сложен мултиплексен сигнал	-	-	-	-	-	-	-	-	34
2.3.6. Дел за интернет (<i>Docsis</i> и <i>LAN</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	35
2.3.7. Дел за телефонија (<i>IP</i> телефонија, односно <i>VoIP</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	36
2.3.8. Дигитална главна станица	-	-	-	-	-	-	-	-	36
2.3.8.1. Трансмодулатори	-	-	-	-	-	-	-	-	37
2.3.8.2. Сателитски приемници со <i>MPEG-TS</i> излез	-	-	-	-	-	-	-	-	38
2.3.8.3. <i>MPEG-2</i> (<i>MPEG-4</i>) енкодери	-	-	-	-	-	-	-	-	39
2.3.8.4. <i>MUX</i> – дигитални мултиплексери и скремблери	-	-	-	-	-	-	-	-	39
2.3.8.5. Дигитални <i>QAM</i> модулатори	-	-	-	-	-	-	-	-	40
2.3.8.6. Уреди за условен пристап (<i>CAS</i>)	-	-	-	-	-	-	-	-	42

2.3.8.7. Систем за управување со корисници (<i>SMS</i>) -	-	-	-	-	42
2.3.8.8. Уреди за електронски програмски водич (<i>EPG</i>) -	-	-	-	-	43
2.3.9. Систем за непрекинато напојување со електрична енергија	-	-	-	-	43
3. ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА НА КДС	-	-	-	-	44
(Хибридна оптичко-коаксијална мрежа - <i>HFC</i>)	-	-	-	-	45
3.1. ОПТИЧКА КАБЕЛСКА МРЕЖА	-	-	-	-	49
3.1.1. Предности на оптичката кабелска дистрибутивна мрежа во однос на коаксијалната кабелска дистрибутивна мрежа	-	-	-	-	49
3.1.2. Мултимодни оптички влакна	-	-	-	-	52
3.1.3. Мономодни оптички влакна	-	-	-	-	53
3.1.4. Слабеење на сигналите пренесувани низ оптичкото влакно	-	-	-	-	55
3.1.5. Деградација на сигналите пренесувани низ оптичко влакно	-	-	-	-	57
- Мултимодна дисперзија на оптичкиот сигнал	-	-	-	-	57
- Хроматска дисперзија на оптичкиот сигнал	-	-	-	-	57
- Поларизациска дисперзија на оптичкиот сигнал-	-	-	-	-	58
- Слабеење на оптичкиот сигнал при свиткување	-	-	-	-	60
- Stimulated Brillouin Scattering (<i>SBS</i>)	-	-	-	-	61
- Сопствено фазно модулирање (<i>SPM</i>) на оптичкиот сигнал	-	-	-	-	62
3.2. Елементи на оптичката дистрибутивна мрежа	-	-	-	-	64
3.2.1. Оптички кабли	-	-	-	-	65
3.2.2. Оптички сплитери (разделници)	-	-	-	-	67
3.2.3. Поврзување на оптички влакна со сплајсување со оптички конектори	-	-	-	-	68
3.2.4. Видови на оптички конектори-	-	-	-	-	69
3.2.5. Ултра полирани (<i>UPC</i>) и аголно полирани конектори (<i>APC</i>)	-	-	-	-	70
3.2.6. Сплајс-кутии	-	-	-	-	73
3.2.7. Печ-панели	-	-	-	-	74
3.2.8. Печ-корд (<i>Patch Cord</i>)	-	-	-	-	75
3.2.9. Оптички предаватели (трансмитери)	-	-	-	-	76
3.2.10. Оптички приемници	-	-	-	-	77
3.2.11. Оптички засилувачи (<i>EDFA, DBFA, EBFA</i>)	-	-	-	-	79

3.2.12. Оптички нодови	-	-	-	-	-	-	80
3.2.13. Медија конвертори	-	-	-	-	-	-	82
3.3.1. Примена на оптичката технологија во КДС (<i>docsis</i> интернет)							83
3.3.2. Пресметка на слабеењето на оптичкиот сигнал преку оптички линк (оптички буџет)	-	-	-	-	-	-	86
3.4. Истовремено пренесување на повеќе оптички сигнали преку едно оптичко влакно (оптичко мултиплексирање по бранови должини) WWDM, CWDM и DWDM	-	-					89
3.4.1. Уреди за оптичко мултиплексирање по бранови должини							93
3.4.2. Оптички мултиплексери	-	-	-	-	-	-	94
3.4.3. Оптички демултиплексери	-	-	-	-	-	-	94
3.4.4. Практична примена на оптичко мултиплексирање во КДС							94
3.5. КОАКСИЈАЛНА КАБЕЛСКА МРЕЖА	-	-	-	-	-	-	95
3.5.1. Однос сигнал/шум	-	-	-	-	-	-	96
3.5.2. Потребен однос сигнал/шум, минимално и максимално ниво на сигналот за квалитетна слика на аналогната ТВ							97
3.5.3. RF изолација	-	-	-	-	-	-	99
3.5.4. RF оклопеност	-	-	-	-	-	-	100
3.5.5. Повратно слабеење (прилагодување)	-	-	-	-	-	-	101
3.5.6. Магистрални, субмагистрални и крајни (кориснички) мрежи на КДС	-	-	-	-	-	-	103
3.5.7. Топологија на коаксијалните кабелски дистрибутивни мрежи							103
3.5.9. Блок шема на коаксијалните кабелски дистрибутивни мрежи							104
3.6. Елементи на коаксијалната дистрибутивна мрежа од КДС							105
3.6.1. Коаксијален кабел	-	-	-	-	-	-	106
3.6.2. Засилувачи	-	-	-	-	-	-	110
3.6.2.1. Засилувачот треба да биде широкопојасен	-	-					111
3.6.2.2. Засилувачот треба да има мал сопствен шум	-	-					112
- Однос сигнал/шум на еден засилувач	-	-	-	-	-	-	115
- Однос сигнал/шум на повеќе каскадно поврзани засилувачи	-	-	-	-	-	-	116
3.6.2.3. Минимално ниво на сигналот на влез на каскадно поврзани засилувачи	-	-	-	-	-	-	116

3.6.2.4. Засилувачот треба да има голема излезна моќност	-	-	-	118
3.6.2.5. Засилувачот треба да биде отпорен на интермодулација (IMD)	-	-	-	119
3.6.2.6. Засилувачот треба да биде отпорен на "вкрстена модулација" (кросмодулација)	-	-	-	119
3.6.2.7. Засилувачот треба да биде линеарен	-	-	-	120
3.6.2.8. Засилувачот треба да има голем динамички опсег	-	-	-	121
3.6.2.9. Засилувачот треба да има определено оптимално засилување	-	-	-	122
3.6.2.10. Засилувачот треба да биде двонасочен	-	-	-	124
3.6.2.11. Зависност на излезното ниво на засилувачот од бројот на пренесувани канали и од бројот на засилувачите поврзани во каскада	-	-	-	124
3.6.2.12. Минимално ниво на сигналите на излезот од засилувачот	-	-	-	124
3.6.2.13. Макс. ниво на сигналите на излезот од засилувачот	-	-	-	125
3.6.2.14. Магистрални (линиски) и дистрибутивни засилувачи	-	-	-	129
3.6.3. Атенуатори (ослабнувачи на сигналот)	-	-	-	129
3.6.4. Коректори на фреквенциската карактеристика на кабелот	-	-	-	130
3.6.5. Коректори на сигналите во „повратниот пат“ (5-65 MHz)	-	-	-	131
3.6.6. Фреквенциски филтер (диплексер)	-	-	-	132
3.6.7. Напојување на засилувачите преку коаксијалниот кабел, трансформатор и напонски внесувач (power inserter)	-	-	-	133
3.6.8. Разделници (делители, односно сплитери)	-	-	-	136
3.6.9. Отцепници, односно тапови (directional couplers)	-	-	-	139
3.6.10. Конектори	-	-	-	141
3.7. Планирање и проектирање на коаксијалната кабелска мрежа				143
3.7.1. Нагодување на засилувачите во мрежата	-	-	-	147
3.8. Структура на крајните кориснички мрежи				157
3.8.1 Систем „проодна линија“ или „дрво“	-	-	-	157
3.8.2. Систем „катна ѕвезда“	-	-	-	158
3.8.3. Систем „ѕвезда“	-	-	-	160
3.8.4. Блок шема на инсталација во зграда (систем „дрво“)	-	-	-	162
3.8.5. Блок шема на инсталација во зграда (систем „катна ѕвезда“) со ниво на сигнал кај краен корисник >65 dB μ V	-	-	-	163

3.8.6. Блок шема на инсталација во зграда (систем „катна ѕвезда“) со ниво на сигнал кај краен корисник >70 dB μ V	-	-	-	-	164
3.9. Планирање, избор и оправданост на локацијата на главната станица на КДС	-	-	-	-	165
4. ПРЕНОС НА ШИРОКОПОЈАСЕН ИНТЕРНЕТ ПРЕКУ КДС	-	-	-	-	165
4.1. Кабелски интернет (docsis)	-	-	--	-	165
4.1.1. Уреди за пренос на интернет по EuroDOCSIS стандардот	-	-	-	-	168
4.1.2. Кабелски модем	-	-	-	-	169
4.1.3. Иницијализација и регистрација на модемот	-	-	-	-	170
4.1.4. CMTS (<i>Cable Modem Termination System</i>)	-	-	-	-	171
4.1.5. Пренос на дојдовниот интернет сообраќај (downstream)	-	-	-	-	172
4.1.6. Пренос на појдовниот интернет сообраќај (upstream)	-	-	-	-	174
4.1.7. Користење на филтри во повратниот пат	-	-	-	-	175
4.1.8. Карактеристики на повратниот пат	-	-	-	-	176
4.1.9. Ниво на емитувани сигнали од модемот	-	-	-	-	178
4.1.10. Временски офсет (<i>timing offset</i>)	-	-	-	-	179
4.1.11. Контрола на сигналите со помош на самиот кабелски модем	-	-	-	-	179
4.1.12. Балансирање на сигналите во повратниот пат во КДС	-	-	-	-	180
4.1.13. Процедури и методи за нагудување на повратниот пат во КДС	-	-	-	-	181
4.1.14. Нагудување на повратниот пат кај хибридните оптичко-коаксијални (HFC) мрежи	-	-	-	-	188
4.1.15. Блок шема на поврзување на CMTS и ниво на сигнали	-	-	-	-	192
4.1.16. Сегментирање на повратниот пат	-	-	-	-	193
4.1.17. Верзии на EuroDOCSIS стандардот и нивни карактеристики	-	-	-	-	195
4.2. Фиксна телефонија преку кабелски дистрибутивен систем	-	-	-	-	196
5. Практични примери за инсталација и шеми на поврзување на потребните уреди кај корисникот, при приклучување на разни услуги кои ги нуди кабелскиот оператор	-	-	-	-	198
5.1. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија кај корисник (со еден ТВ приемник)	-	-	-	-	198
5.2. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија кај корисник (со два ТВ приемници)	-	-	-	-	199

5.3. Инсталација на приклучок за аналогна и дигитална телевизија кај корисник	-	-	-	-	-	-	-	200
5.4. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија и <i>docsis</i> интернет кај корисник (еден компјутер)	-	-	-	-	-	-	-	201
5.5. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија и <i>docsis</i> интернет кај корисник (неколку компјутери)	-	-	-	-	-	-	-	203
5.6. Инсталација на „трипл плеј“ услуга, односно приклучок на телевизија, интернет-docsis и телефон кај корисник	-	-	-	-	-	-	-	204
5.7. Инсталација на приклучок за АТВ, ДТВ и LAN интернет кај корисник	-	-	-	-	-	-	-	206
5.8. Инсталација на „трипл плеј“ услуга, односно приклучок на телевизија, интернет-LAN и телефон кај корисник	-	-	-	-	-	-	-	207
6. Контрола на пристап на корисниците кон услугите на КДС								209
7. Редовна контрола на квалитетот на сигналите кај современите HFC мрежи преку посредно постојано автоматско мониторирање на односот сигнал/шум во повратниот пат	-	-	-	-	-	-	-	210
8. Заклучок	-	-	-	-	-	-	-	212
Користена литература	-	-	-	-	-	-	-	214

1. ВОВЕД

Електронска комуникациска мрежа е преносен систем кој овозможува пренос на сигнали преку жичени мрежи, радиобранови, оптички или други електромагнетни средства, вклучувајќи сателитски мрежи, фиксни (со комутација на електрични кола или комутација на пакети, вклучувајќи и интернет) и мобилни земски мрежи, електромагнетски кабелски системи, доколку се користат за пренос на комуникациски сигнали, радиодифузни мрежи и кабелски телевизиски мрежи, независно од видот на информациите што се пренесуваат.

Во овој труд, го обработувам преносниот систем кој овозможува пренос на информации преку жичени (оптичко-коаксијални) мрежи, попознат како кабелски дистрибутивни системи, а кај народот популарно наречен кабелска телевизија.

Кабелската телевизија почнала да се употребува уште во далечната 1948 година во едно гратче во државата Пенсилванија во Соединетите Американски Држави. Тој систем тогаш се нарекувал *Community Antenna Television* (CATV). Жителите имале проблем со приемот на ТВ станиците бидејќи местото од сите страни било опкружено со ридови. Сигналите од неколку антени поставени на врвот од еден рид во близина на гратчето со помош на коаксијални кабли се пренесувале до заинтересираните семејства.

На почетокот од својот развој, кабелските дистрибутивни мрежи се градеа само со коаксијален кабел. Некаде околу 1976 година почнаа да се користат оптички кабли за пренос на сигналите. На почетокот, во многу мал процент и тоа само на многу долги делници од мрежата. Понатаму, со развој на технологијата, сè поголем процент од мрежата се гради со оптички кабли и соодветни оптички елементи, кои се релативно подобри во однос на коаксијалната мрежа.

Предноста на оптичката технологија е евидентна како во поглед на слабеењето на сигналите кои се пренесуваат низ мрежата, така и во однос на пречките предизвикани од околното RF зрачење.

Со примена на оптички кабли се овозможува пренос на сигналите со многу поголем квалитет во однос на коаксијалната кабелска мрежа. Бидејќи

оптичките кабли имаат многу мало слабеење на сигналите, преносот на сигналите е можно на многу поголеми растојанија.

Сигналите од главната станица со употреба на оптички кабли се пренесуваат до определени локации – јазли (node). Помеѓу главната станица и оптичките нодови, информациите се пренесуваат со помош на модулиран ласерски зрак преку оптички кабли, а понатаму, помеѓу нодовите и крајните корисници, информациите се пренесуваат со помош на RF сигнали преку класични коаксијални кабли односно коаксијална мрежа. Еден оптички нод се користи за опслужување на определен број корисници. Овој тип на мрежа се нарекува хибридна оптичко-коаксијална мрежа (*Hybrid Fiber Coaxial network* или *HFC network*). Во ваква конфигурација за прв пат е употребена 1987 година.

Како што напредува технологијата, во иднина, оптичкиот сегмент од КДС сè повеќе ќе се проширува за сметка на коаксијалниот дел од КДС, сè до конечно истиснување на коаксијалниот дел од мрежата, кога целата кабелска дистрибутивна мрежа од главната станица до крајните корисници ќе биде оптичка (*FTTH - Fiber-To-The-Home*)

1.1. Кабелски дистрибутивни системи

Под поимот кабелски дистрибутивен систем (КДС) се подразбира пренос на сигнали од главната станица до мноштво крајни корисници преку коаксијална кабелска мрежа. Популарно име за овој систем кај нас е кабелска телевизија, а во САД се нарекува *CATV – Community Antenna Television*. Во денешно време, најголемиот број кабелски мрежи се базирани на HFC технологијата (англиски: *Hybrid Fiber Coaxial network* – хибридна оптичко-коаксијална мрежа), па затоа под поимот КДС ќе подразбираме HFC-мрежа.

Постојат повеќе видови на кабелски дистрибутивни системи (КДС) кои во последниве години стануваат мултифункционални. Преку кабелските дистрибутивни системи до корисниците се пренесуваат повеќе услуги, односно сервиси. На пример, аналогна и дигитална ТВ, радио канали, брз широкопојасен интернет, како и телефонија. Исто така се воведуваат услуги како што се „Плати за да гледаш“ (*PPV – Pay Per View*) и „Видео содржини на барање на корисникот“ (*VOD – Video On Demand*).

Можноста од избор на поголем број телевизиски и радио програми, како и можноста за брза меѓусебна дигитална комуникација, со себе носи и можност за побрз севкупен развој на општеството во целина.

Со своите интерактивни можности, кабелските дистрибутивни системи денес претставуваат основен елемент на глобалното информациско општество.

До деведесеттите години од минатиот век, кај нас во Македонија, а посебно во помалите градови, состојбата на овој план во однос на развиените земји беше поразителна. Во поголемите градови можеа да се следат програмите на Македонската телевизија, како и неколку програми на локални приватни телевизиски станици. Приемот на овие програми се вршеше преку надворешни антени. Бидејќи антените на предавателите преку кои се емитуваат наведените програми се наоѓаат на разни страни, граѓаните беа приморани да поставуваат и по неколку надворешни антени, засилувачи, скретници и други уреди, со цел да си обезбедат подобар прием. И покрај тоа, поради специфичната конфигурација на теренот и високите згради, не беше можно квалитетно примање на ТВ програмите во сите делови од градот. Од друга страна, овој начин на примање на телевизиските програми со помош на надворешни антени (и тоа по неколку антени за секое семејство) носи и други проблеми. Покрај другото, и од гледна точка на естетскиот изглед на зградите кои заличуваат на „шума“ од антени.

Со појавата на кабелските оператори, оваа слика битно се измени. На почетокот од својот развој, кабелските оператори нудеа само една услуга на своите корисници - аналогна телевизија. Денес кабелските оператори нудат повеќе услуги, односно сервиси, и се нарекуваат Мулти сервис оператори (*Multi service operator – MSO*). Тие вложуваат во квалитетна и скапа опрема со која примаат и дистрибуираат до крајните корисници голем број ТВ и радио канали со висок квалитет. Корисниците пак, за релативно евтина месечна такса можат да уживаат во квалитетот на ТВ канали, радио канали, интернет, телефонија и други интерактивни услуги. Денес преку КДС можат да се пренесуваат повеќе од 70 (седумдесет!) аналогни телевизиски и радио програми, како и многу поголем број дигитални ТВ и радио канали. Покрај тоа, преку КДС се овозможува брза дигитална комуникација, пристап до брз, широкопојасен интернет, како и фиксна телефонија.

Современите кабелски дистрибутивни системи претставуваат вид на електронски комуникациски мрежи. Електронските комуникациски мрежи освен кабелски, можат да бидат делумно или целосно безжични.

1.2. Предности на кабелскиот дистрибутивен систем

Главни предности на кабелските дистрибутивни системи се мултифункционалноста (пренос на повеќе сервиси истовремено), како и квалитетот на понудените сервиси.

Денес, преку современите КДС се обезбедува прием на голем број телевизиски и радио програми, широкопојасен интернет, квалитетни телефонски и други услуги, интерактивност и сл. Исто така, постои можност за интерни телевизиски и радио програми кои можат да се емитуваат само за корисниците на КДС, како и можност за двонасочна дигитална комуникација и пренос на податоци.

Освен ова, отстранувањето на многубројните антени од балконите и покривите на индивидуалните и колективните станбени згради е исто така позитивна придобивка.

Основни карактеристики на кабелскиот дистрибутивен систем се:

а. Квалитет на услугите, односно сервисите

(QoS – Quality of Services)

На секој приклучок во КДС, сигналите од пренесуваните ТВ и радио програми, интернетот и телефонијата треба да бидат квалитетни, без интерференции, интермодулации или пречки од било кој вид.

б. Можност за двонасочна комуникација.

На секој корисник на КДС може под одредени услови да му се овозможи пристап до брз, односно широкопојасен интернет, телефонски услуги и сл.

в. Слободно бирање на програмите.

Секој корисник мора да биде доволно изолиран од системот за да може да бира било која програма, односно да користи било која услуга која ја нуди операторот, без притоа да предизвика пречки во вид на интерференција кај другите приемници приклучени на КДС.

1.3. Концепција на кабелскиот дистрибутивен систем

Кабелскиот дистрибутивен систем можеме да го поделиме на два дела и тоа:

1. Главна станица на КДС (надворешен и внатрешен дел)
2. Дистрибутивна мрежа на КДС



Слика 1. Блок шема на кабелски дистрибутивен систем

Figure 1. Blok diagram of cable distribution system

2. ГЛАВНА СТАНИЦА НА КДС

Во главната станица се врши прием на земските и сателитските сигнали (ТВ и радио програми). Потоа следува обработка на тие сигнали: демодулирање, демултиплексирање, дешифрирање на шифрираните (заштитени) програми и потоа нивно модулирање на RF сигнали - носители, нивно разместување во фреквенцискиот спектар и мултиплексирање. На овој мултиплексен сигнал се додаваат и интернет сигналите, модулирани исто така на RF сигнали-носители. На крајот, комплексниот мултиплексен RF сигнал се води во оптички предавател кој го претвора електричниот мултиплексен RF сигнал во модулиран светлосен сигнал. Овој оптички комплексен сигнал се пушта во кабелската дистрибутивна мрежа која ќе ја разгледуваме подоцна.

Во обратна насока, сигналите од појдовниот интернет сообраќај (вклучувајќи ги сигналите од VoIP-телефонијата) од корисниците, преку кабелската дистрибутивна мрежа, се примаат во главната станица и се проследуваат кон глобалниот интернет.

На слика 1 е прикажана блок шемата на еден современ кабелски дистрибутивен систем составен од главна станица и кабелска дистрибутивна мрежа.

ГЛАВНА СТАНИЦА НА КДС - Надворешен дел

2.1. Антенски приемен систем

Антенскиот приемен систем служи за прием на сигнали од програмите кои се емитуваат во етерот. При проектирање на антенскиот приемен систем треба да се обезбеди примените сигнали да бидат со добар квалитет и без пречки.

Антенскиот приемен систем се состои од антени со придружни елементи за прием на програми кои се емитуваат од предаватели поставени на земјата („земски програми“), и антени со придружни елементи за прием на сателитски програми.

Антенскиот систем задолжително треба да се заземји согласно законските прописи.



Слика 2. Антенски приемен систем на современ КДС

Figure 2. Modern CATV Antenna receiving system

2.1.1. Антени за прием на VHF И UHF ТВ програми (земски програми)

Во кабелските дистрибутивни системи за прием на програмите емитувани од предаватели на земјата, се употребуваат антени со големо засилување. Антената е единствена компонента во КДС со која не се зголемува шумот при соодветно засилување на сигналот. Она што ќе се постигне со самата антена (однос сигнал/шум на сигналот од саканата програма) е апсолутен максимум и понатаму во системот на КДС не може со ништо да се подобри. Сите интервенции што следат имаат за цел само да ја зачуваат оваа состојба на сигналот во поглед на однос сигнал/шум, и со колку што е можно помала деградација на квалитетот, ја донесат до крајните корисници на КДС.

Во градовите каде има доста одбиени сигнали и разни радио-сигнали кои можат да го попречат квалитетниот прием на саканите програми, одлучувачка улога треба да одигра антената и нејзината местоположба. Неопходна е употреба на антени со што помал приемен агол во хоризонтална и вертикална рамнина и колку што е можно поголем однос „напред/назад“. Колку антената има потесен приемен агол и колку има поголем однос напред/назад, толку е поспособна да ги елиминира пречките кои доаѓаат заедно со саканиот сигнал, но од друга насока.

Фреквенциската карактеристика е следен фактор на кој треба да се внимава при изборот на антените. Кабелските дистрибутивни системи обично се изведуваат со канални антени и тоа, за секој приемен канал по една антена. Антените конструирани за прием на само еден канал имаат најголемо засилување на сигналот од тој канал. Со тоа се намалуваат несаканите пречки кои можат да ги предизвикаат сигнали од другите канали.

Меѓутоа, фреквенциската карактеристика на каналната антена не е толку тесна, па ако се примаат два соседни канали, ќе се појави меѓусебно влијание кое предизвикува намалување на квалитетот на сликата. Во ваков случај, антената се поставува така што несаканиот сигнал се најде во правец на минимален прием на антената. Со ова, саканиот сигнал се прима со нешто помало засилување, но пречките од несаканиот сигнал се елиминираат.

За прием на слаби сигнали, кога не постои директна видливост на предавателот, треба да користиме антени со големо засилување на сигналот. Обично тоа се долги канални „YAGI“ антени.

Друг метод за зголемување на нивото на сигналот е користење на две или повеќе исти, меѓусебно поврзани антени за прием на ист канал. Во ваков случај антените соодветно се поврзуваат и се поставуваат една до друга или една над друга, на одредено растојание во хоризонтална или вертикална рамнина. Притоа, со секое дуплирање на бројот на антените, засилувањето се зголемува за околу 2.5 dB (теоретскиот максимум е 3 dB).

За потребите на кабелските дистрибутивни системи обично се употребуваат канални антени од типот „LONG YAGI“. Овие антени ги задоволуваат сите потребни карактеристики и имаат релативно најголемо засилување во однос на бројот на елементите и физичката должина на антената.

2.1.1.1. Поставување на антените за прием на „земски програми“

Антените се монтираат на антенски столб, при што, вообичаено, највисоко се поставува антената за прием на сигнал со најмала јачина на електромагнетното поле.

За поставување на антенскиот столб потребно е да се избере најпогодно место за прием. Ако е можно, треба да се избере место од каде има директна оптичка видливост со предавателните антени од каде се емитуваат саканите

ТВ програми. Пречките од возилата со електрично палење и евентуалните рефлексии ги избегнуваме со избор на соодветно место за монтажа на антенскиот систем. Притоа се обидуваме да ги елиминираме изворите на пречки кои ни предизвикуваат најголем проблем, на пример, со монтажа на антенскиот систем на покривот од зградата и тоа на делот кој е на спротивната страна од улицата, ги избегнуваме пречките од возилата.

Најдобро е ако најнапред со инструмент се измерат нивоата на сигналите на саканите канали на неколку можни микролокации (по хоризонтала и вертикала) и потоа, врз основа на добиените мерења се направи планирање и определување на местото на поставување на секоја од антените.

Честопати, со поместување на антената од само неколку метри или дури и сантиметри може во голема мера се подобри приманиот сигнал.

Антените можат меѓусебно да си пречат, особено ако се монтирани на кратко растојание една од друга. Затоа, потребно е да се монтираат на меѓусебно растојание кое не треба да е помало од прикажаното во табела 1.

Табела 1. Минимално препорачано растојание помеѓу антените

Table 1. Minimum recommended distance between antennas

Анени за прием на соодветен фреквенциски опсег		Антенa бр.2				
		FI	FII	FIII	FIV	FV
Антенa Бр.1	FI	250	140	150	80	80
	FII	140	110	80	80	80
	FIII	150	80	80	80	80
	FIV	80	80	80	80	80
	FV	80	80	80	80	80

(вредностите се дадени во цм)

Антенскиот столб задолжително треба за се заземји!

2.1.2. Анени за прием на сателитски програми

Телевизиските RF сигнали кои се емитуваат од предаватели поставени на земјата се шират праволиниски. За квалитетен прием на ТВ програмата потребно е да има оптичка видливост помеѓу предавателната антена и приемната антена. Доколку помеѓу предавателната и приемната антена нема

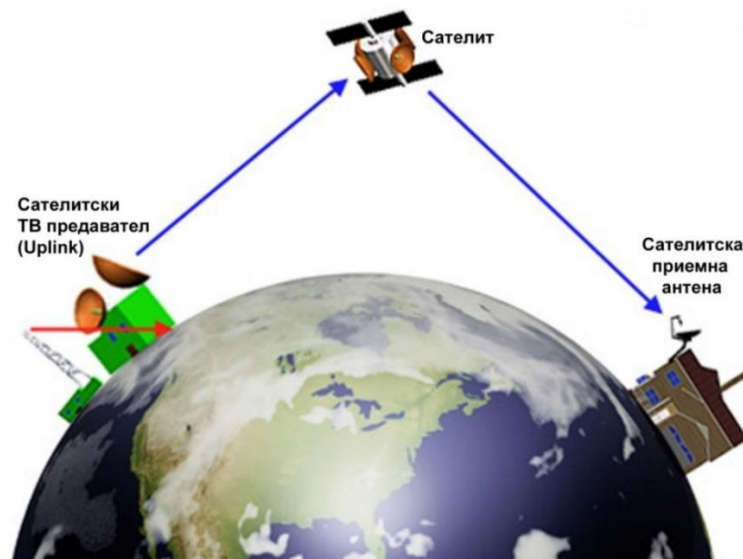
оптичка видливост, односно ако помеѓу антените има определени физички пречки во вид на големи згради, ридови, планини и слично, тогаш приемот нема да биде квалитетен или воопшто нема да бидевозможен.

Исто така, поради закривеноста на земјината топка и поради праволиниското ширење на радиобрановите преку кои се емитуваат ТВ сигналите, не е возможно да се примаат сигналите од далечни ТВ предаватели. За да може емитуваниот сигнал подалеку да се прима, телевизиските предаватели се сместени на врвовите од планините. Сепак, по неколку десетици километри, поради закривеноста на планетата Земја, приемот станува невозможен бидејќи директната оптичка видливост помеѓу предавателната и приемната антена повеќе не е можна.

Со развојот на вселенската технологија и поставување на вештачки телекомуникациски сателити во орбитата на Земјата, се овозможи следење на ТВ програми кои се емитуваат од предаватели кои се оддалечени илјадници километри. Притоа сателитот се користи како релеј. Потребно е само предавателната антена и приемната антена да го „гледаат“ сателитот.

На ваков начин возможно е да се прима многу квалитетен сигнал без пречки кои би го нарушиле приемот.

Принципот на прием на ТВ и радио програми преку сателит е прикажан на слика 3:



Слика 3. Принцип на прием на ТВ и радио програми преку сателит

Figure 3. Satellite TV and radio programs receiving principle

Сателитските ТВ и радио програми се емитуваат од радиодифузни сателити поставени во таканаречената геостационарна орбита околу земјата, на растојание од приближно 36.000 километри во однос на површината на земјата. Геостационарната орбита претставува привиден прстен околу земјата во кој се сместени радиодифузните сателити. На тоа растојание, брзината со која орбитираат (кружат) сателитите околу земјата е еднаква на брзината со која се врти земјата околу својата замислена оска. На тој начин привидната позиција на сателитот во однос на некое место на земјата е секогаш исто. За некој набљудувач од земјата сателитите привидно „стојат неподвижни“ на небото. Така, сателитската антена еднаш насочена кон определен радиодифузен сателит нема потреба да се движи за да ја следи траекторијата на сателитот.

Сателитските сигнали кои се емитуваат во форма на радиобранови во таканаречениот „Ku-band“ (10,70 до 12,75 GHz), и „C-band“ (3,7 до 4,2 GHz), имаат извонредно мала јачина. За прием на овие слаби сигнали се користат антени кои имаат голема „осетливост“, односно засилување.

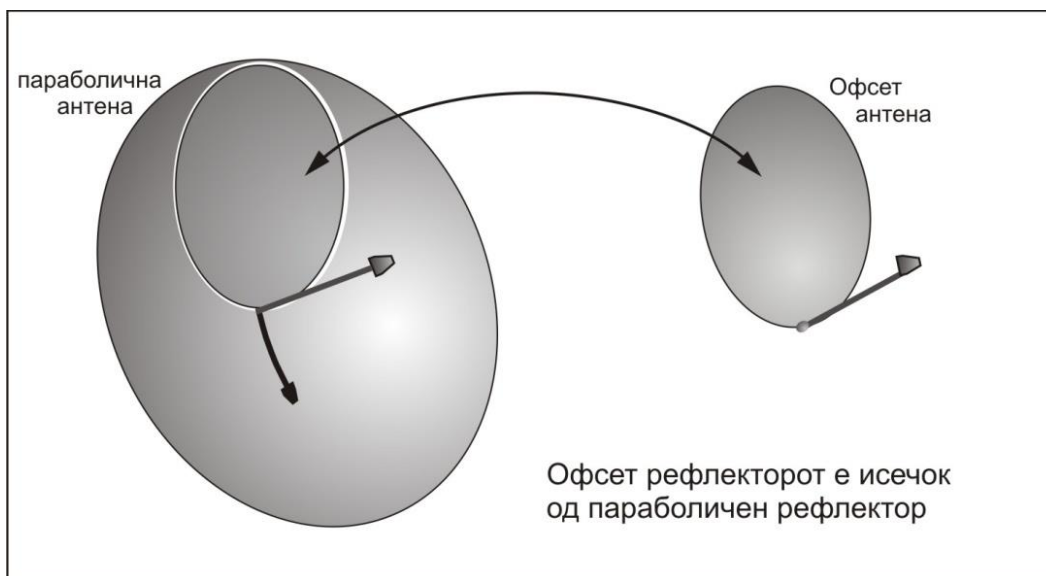
Сателитската антена обично е составена од рефлектор и нискошумен конвертор. Конверторот се нарекува LNC (*Low Noise Converter*) или некои го нарекуваат LNB (*Low Noise Block*).

Рефлекторот служи да ги собира радиобрановите кои доаѓаат на неговата површина и да ги фокусира во една точка каде се поставува LNB-конверторот. Колку е поголема површината на рефлекторот толку е поголемо засилувањето на антената, односно толку е поголема способноста на антената да прима послаби сигнали.

Начинот на простирање на радиобрановите е идентичен со начинот на простирање на светлинските бранови. (радиобрановите и светлинските бранови имаат иста природа, односно претставуваат електромагнетни бранови, а меѓусебно се разликуваат само по брановата должина)

Значи, како што сферното огледало ги фокусира светлинските зраци кои доаѓаат на неговата површина, така и металниот параболичен рефлектор ги фокусира радиобрановите во една точка која се нарекува фокус.

По својата конструкција постојат повеќе видови на рефлектори, но најчесто се употребуваат парабола и офсет-антената. Офсет антената претставува една отсечена површина од параболоид како на слика 4.



Слика 4. Параболична и офсет антена за сателитски прием

Figure 4. Parabolic and offset satellite receiving antenna

Досегашните искуства за прием на сигнали од сателитите во Македонија, покажуваат дека квалитетен прием може да се постигне со антена во форма на парабола или офсет антена со дијаметар од 1.5 до 3 м, во зависност од јачината на сигналите од поодделни сателити.

При монтажата на параболичната антена, потребно е таа прецизно да се насочи кон орбиталната позиција на саканиот сателит. Азимутот и елевацијата на антената се одредуваат врз основа на податоците за географската ширина и должина на местото каде се врши приемот, како и врз основа на податоците за орбиталната позиција на сателитот.

Азимут е аголот (околу вертикална замислена оска) што го зафаќа антената во однос на насоката кон географскиот север. Азимутот се изразува во степени како и секој агол, а се смета од насоката кон север, во насока на движење на стрелките на часовникот (од 0 до 360 степени).

Елевација е аголот (околу хоризонтална замислена оска) што го зафаќа насоката на антената во однос на земјината површина (од 0 до 90 степени).

2.1.2.1. Пресметување на азимутот и елевацијата на сателитската антена

Точното определување на насоката на антената за прием на сигнали од геостационарните сателити можеме да го пресметаме со формулите:

Агол на елевација:

$$E_l = \text{arc tan} \frac{\cos h - 0,15105}{\sin h} \quad (1)$$

Каде што: $h = \text{arc cos} [\cos (-S \pm L) \cos W]$ (2)

Азимутот се пресметува според следнава формула:

$$A_z = 180 + \text{arc tan} \frac{\tan(-S \pm L)}{\sin W} \quad (3)$$

S = Географска должина на орбиталната положба на сателитот.

„S“ се става со негативен предзнак ако местото каде се поставува антената има источна географска должина (Македонија).

„S“ се става со позитивен предзнак ако местото каде се поставува антената има западна географска должина.

L = Географска должина на местото каде што е поставена антената (бројот треба да биде децимален)

„L“ се става со позитивен предзнак ако сателитот има орбитална положба со источна географска должина

„L“ се става со негативен предзнак ако сателитот има орбитална положба со западна географска должина

W = Географска ширина на местото каде што е поставена антената (бројот треба да биде децимален)

Пресметки за азимутот и елевацијата на антените за прием на сигнали од некои сателити, се дадени како прилог на крајот од овој труд, на страница број 323.

Во кабелските дистрибутивни системи обично се користат сателитски антени со дијаметар од 1,5 m до 3 m за прием на програмите преку сателитите во „Ku“ бандот.

Во кабелскиот дистрибутивен систем антените за прием на сателитски програми се статично монтирани и секоја од нив може да прима програми само од еден сателит. Не е пожелно на една антена да се монтираат два или повеќе LNB конвертори за прием на неколку сателити.

Во фокусот на антените за прием на сателитски програми се поставуваат нискошумни конвертори (LNB).

Основна задача на конверторот е да ги прима рефлектираните сигнали (со соодветна поларизација) од рефлекторот, да ги засили и да ги конвертира во многу пониски фреквенции кои можат да се пренесуваат со коаксијален кабел без поголемо слабеење до приемниците за сателитски програми.

Конверторот работи на електрична енергија (со напон од 13 до 18 волти) која ја добива преку коаксијалниот кабел од приемникот за сателитски програми.

Со помош на конверторот, сигналите со фреквенција од околу 11-12 GHz за „Ku“ банд, се пренесуваат (конвертираат) во фреквенциското подрачје од 900 - 2150 MHz, а потоа, со коаксијален кабел се пренесуваат до приемниците за прием на сателитски програми.

Во кабелските дистрибутивни системи најдобро е да се користат висококвалитетни, нискошумни конвертори со четири излези. Двата излези се користат за сигнали од програмите што се емитуваат во **вертикална поларизација**. Едниот од овие два излези се користи за нискиот, а вториот излез за високиот дел од фреквенцискиот спектар на соодветниот банд. Другите два излези се за сигналите од програмите што се емитуваат во **хоризонтална поларизација**, притоа, едниот излез е за нискиот, а другиот излез е за сигналите во високиот дел од фреквенцискиот спектар на соодветниот банд.

За пренос на сигналите од конверторот на сателитската антена до приемниците за прием на сателитски програми се користи квалитетен коаксијален кабел. Должината на кабелот не треба да биде поголема од 30 до 40m ако се користи коаксијален кабел RG-6. Ако се користи коаксијален кабел RG-11, тогаш должината на кабелот може да биде до 60 m.

2.2. ГЛАВНА СТАНИЦА НА КДС – внатрешен дел

За пренесување на сигналите од аналогните ТВ програми, дигиталните ТВ програми како и други информации преку кабелската дистрибутивна мрежа, најнапред овие информации се втиснуваат (модулираат) во електромагнетни

радиобранови (RF=*Radio Frequency*) кои се користат како „носители“ на корисните информации.

Во внатрешниот дел на главната станица на КДС се користат уреди за обработка на сигналите добиени од антенскиот приемен систем (како и производство на интерни аудио-видео информации), понатаму нивно конвертирање, модулирање, (евентуално засилување) и здружување во вид на сложен фреквенциски мултиплекс сигнал, пред пуштањето во дистрибутивната мрежа на КДС.

За големите кабелски дистрибутивни системи кои имаат неколку десетици илјади корисници во еден или повеќе градови со една заедничка главна станица, апсолутно е разбирлива употребата на систем со највисок можен квалитет.

Во главната станица најпрво, сигналите од антенскиот приемен систем со во приемниците-ресивери се демодулираат, за да се добијат аудио и видео сигнали од ТВ програмите кои сакаме да ги пренесуваме.

Понатаму, аудио-видео сигналите се носат во **модулатори** каде што се модулираат на носечки RF сигнал со фреквенција во фреквенциското подрачје од 33.15 до 41.15 MHz (RF носител на тон: 33.4 MHz и RF носител на слика: 38.9 MHz) која е наречена меѓуфреквенција. На ова ниво се врши филтрирање со помош на специјални пиезоелектрични кристални филтери наречени "SAW" филтери, со чија помош се добива сигнал со еден бочен појас, додека другиот бочен појас е потиснат (Vestigial side band). Ова е со цел, да не се појават пречки во соседниот канал, откако сигналот ќе се конвертира на еден од каналите во фреквенциското подрачје 112 – 860 MHz. Исто така, на меѓуфреквенцискиот сигнал се применува автоматска регулација на засилувањето и се добива чист меѓуфреквенциски носечки сигнал со константна големина, независно од големината на сигналот во антената. Понатаму овој меѓуфреквенциски сигнал се конвертира во некој од каналите во фреквенциското подрачје 112 – 860 MHz.

На крајот, модулираните RF сигнали од сите канали се здружуваат во еден мултиплексен RF сигнал, се засилуваат, и се пуштаат во мрежата на кабелскиот дистрибутивен систем.

2.3. Составни делови на главната станица

Главната станица на КДС е составена од следниве уреди:

- 2.3.1. Приемници за прием на „земски“ аналогни и дигитални програми;
- 2.3.3. Приемници за прием на сателитски аналогни и дигитални програми
- 2.3.4. Дел за модулација на аудио-видео сигналите во фреквенцискиот појас 112 до 860 MHz (модулатори);
- 2.3.5. Дел за засилување и здружување на сигналите од поодделните модулатори во сложен фреквенциски мултиплекс сигнал;
- 2.3.6. Дел за интернет (Docsis и LAN);
- 2.3.7. Дел за телефонија (IP-Телефонија односно VoIP - *Voice over IP*);
- 2.3.8. Дигитална главна станица;
- 2.3.9. Систем за непрекинато напојување со електрична енергија (UPS).

Во продолжение, поопширно се објаснети составните делови од главната станица на КДС

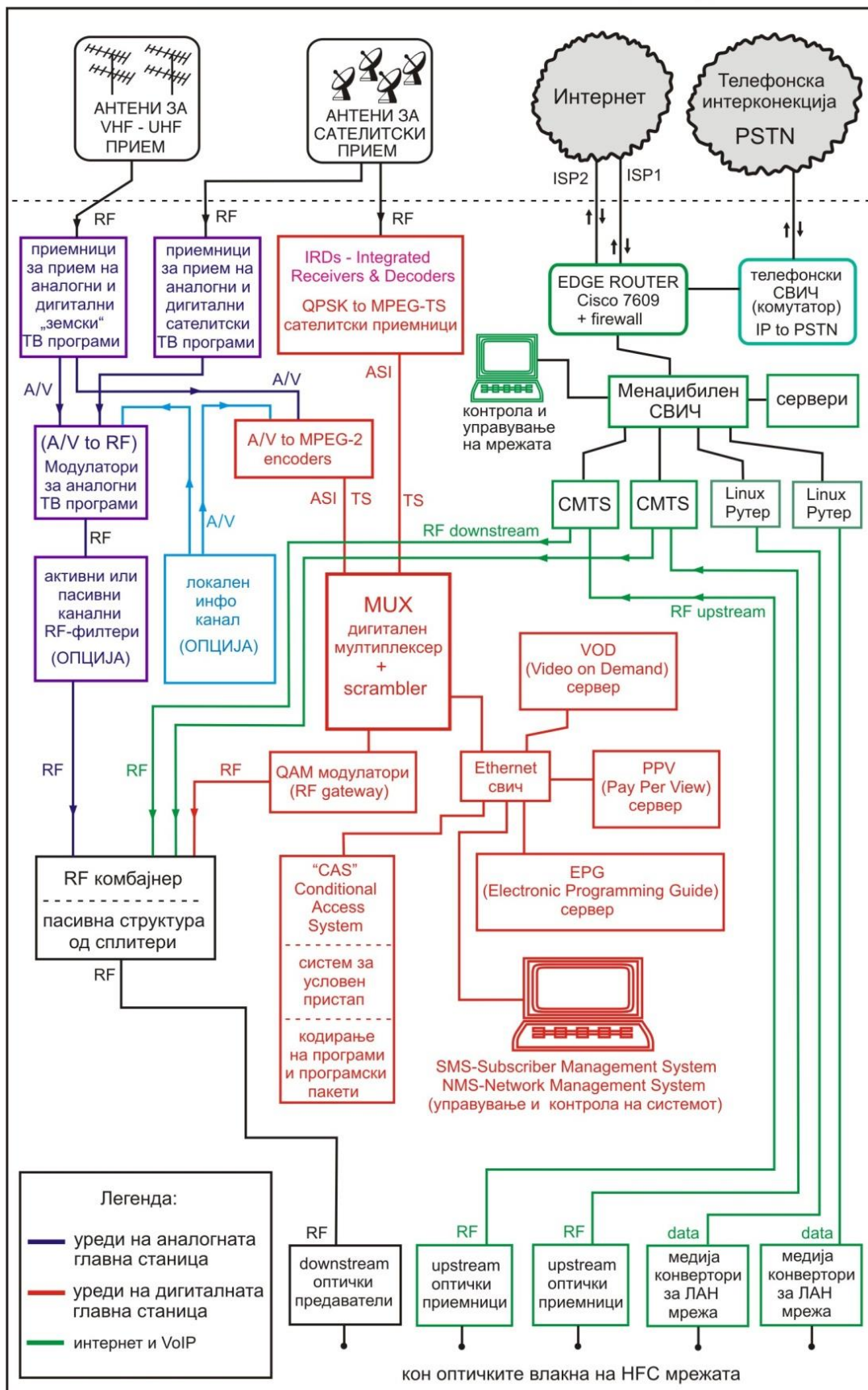
2.3.1. Приемници за прием на телевизиски VHF И UHF земски програми

За прием на класичните аналогни и дигитални телевизиски програми кои се емитуваат во VHF (*Very High Frequency*) и UHF (*Ultra High Frequency*) – телевизиското подрачје, преку предаватели поставени на земјата, од антените за прием на овие програми, сигналите преку коаксијален кабел се донесуваат до приемниците за прием на „земски програми“.

Приемниците на својот влез ги примаат електромагнетните радио бранови добиени од антената. Потоа ја селектираат саканата фреквенција од соодветната ТВ програма, го демодулираат RF сигналот и го конвертираат во аудио-видео сигнал (слика и звук) од саканата ТВ програма.

Потребни се толкав број приемници колку што „земски програми“ ќе се дистрибуираат до корисниците.

БЛОК ШЕМА НА СОВРЕМЕНА ГЛАВНА СТАНИЦА НА КДС



Слика 5. Блок шема на современа главна станица на КДС

Figure 5. Block diagram of contemporary CATV Headend

2.3.3. Приемници за прием на сателитски аналогни и дигитални програми

Приемниците за прием на сателитски програми служат за добивање на аудио-видео сигнал (слика и звук) од саканата сателитска програма. На влезот од приемникот доведуваме RF сигнал 900-2150 MHz од LNB конверторот кој е сместен во фокусот на рефлекторот од антената за сателитски прием. На излезот од приемникот добиваме аудио-видео сигнал од саканата сателитска програма.

Потребни се толкав број приемници колку што „сателитски програми“ ќе се дистрибуираат до корисниците.

Постојат приемници за прием на аналогни сателитски програми и приемници за прием на дигитални сателитски програми.

Денес повеќе не се употребуваат аналогни сателитски приемници.

Дигиталните сателитски приемници можат да ги примаат таканаречените слободни дигитални програми, како и кодираните сателитски програми со употреба на соодветен уред за декодирање.

Треба да се прави разлика помеѓу дигиталните приемници за прием на сателитски програми во аналогната главна станица и дигиталните приемници за прием на сателитски програми во дигиталната главна станица.

Дигиталните приемници за прием на сателитски програми во аналогната главна станица на својот излез треба да даваат аналоген аудио/видео сигнал од саканата ТВ програма.

Дигиталните приемници за прием на сателитски програми во дигиталната главна станица на својот излез даваат дигитален MPEG сигнал (*transport stream*)

2.3.4. Главна станица на КДС – модулатори

Модулаторот е уред кои генерира RF сигнали, а потоа на тие RF сигнали ги модулира (втиснува) аудио-видео сигналите од секоја поодделна ТВ програма која треба да се пренесува преку КДС. Притоа, RF сигналите се користат како „носители“ на корисните информации (аудио и видео). Значи аудио/видео сигналите од секој ТВ канал се пренесуваат низ кабелската мрежа до крајните корисници со помош на RF сигнали. Потребни се толку модулатори, колку што ТВ канали ќе се пренесуваат преку КДС.

Фреквенциското подрачје од 85 до 860 MHz се користи за дистрибуција на RF сигналите (носители на информации) преку кабелската мрежа од главната станица до крајните корисници.



Слика 6. Висококвалитетен професионален модулатор за CATV

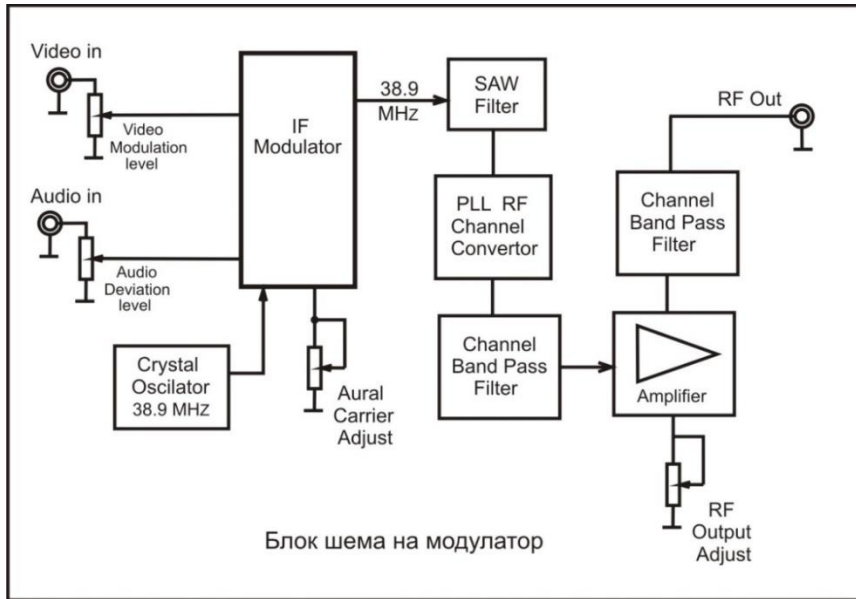
Figure 6. High quality professional CATV modulator

Модулаторите се едни од најважните делови во главната станица бидејќи од нивниот квалитет зависи колку многу различни програми ќе можат да се дистрибуираат низ кабелот.

Тие треба да ги задоволуваат сите строги критериуми што се бараат во поглед на температурна и фреквенциска стабилност. Исто така, на својот излез треба да даваат чист RF сигнал и тоа само на оној канал на кој е предвиден да работи секој од модулаторите. Сите споредни емисии можат да ги попречат сигналите од соседните канали кои се користат за пренос на други програми.

Во модулаторот, најнапред видео-аудио сигналот од секоја ТВ програма се модулира на т.н. „меѓуфреквенциски RF сигнал“ во фреквенциското подрачје од 33.15 до 41.15 MHz (RF носителот на тон (аудио) има фреквенција од 33.4 MHz, а RF носителот на слика (видео) има фреквенција од 38.9 MHz).

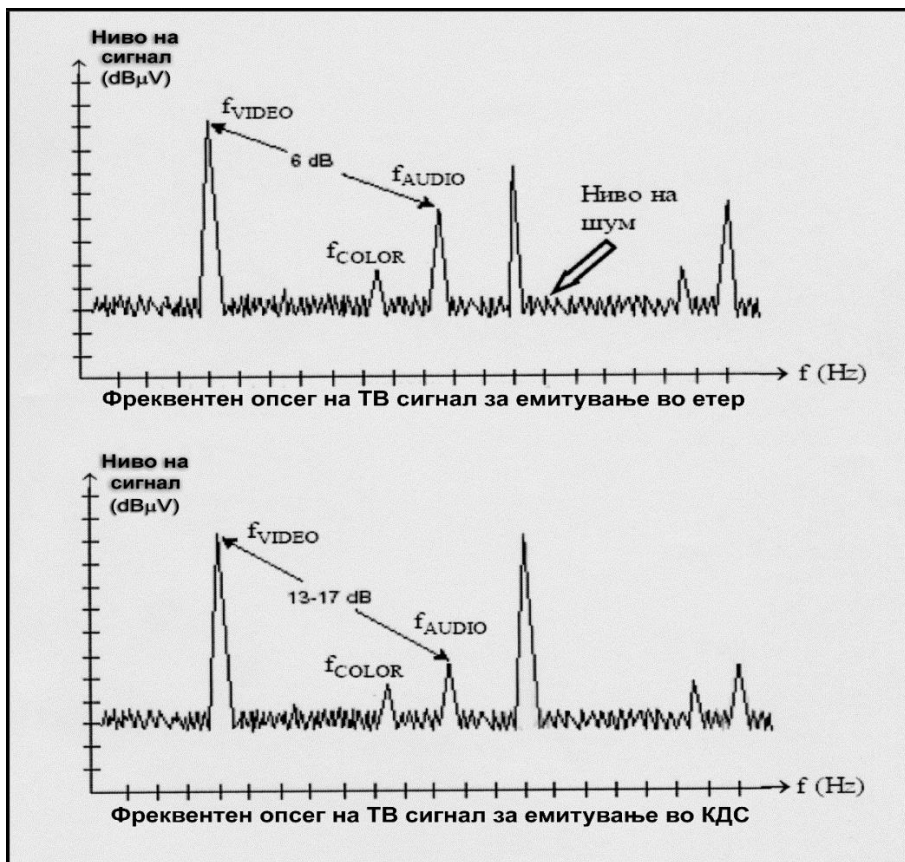
Потоа, преку специјални пиезоелектрични кристални филтери наречени "SAW"-филтери, се формира сигнал со делумно потиснат бочен појас "Vestigial sideband" на ниво на меѓуфреквенција. Вака обработениот сигнал се носи во конвертор каде се меша со сигнал од високостабилен микропроцесорски (PLL) контролиран локален осцилатор. Како производ на тоа мешање, на излезот од конверторот се добива RF сигнал на саканиот ТВ канал. Овој модулиран RF сигнал понатаму се филтрира, се засилува и на излезот од модулаторот се добива чист RF сигнал.



Слика 7. Блок шема на модулатор за CATV

Figure 7. Block diagram of CATV modulator

На слика 8 е прикажана потребната разлика во нивоата помеѓу видео носителот и аудио носителот во рамките на еден аналоген ТВ канал.



Слика 8. Разлика на нивоата помеѓу видео носителот и аудио носителот

Figure 8. Different signal level between video and audio carrier

Потребни се толку модулатори, колку што канали ќе се дистрибуираат во мрежата на кабелскиот дистрибутивен систем. Во Главната станица на современ КДС се користат висококвалитетни модулатори кои се предвидени за работа „канал до канал“ (*Adjacent channel operation*).

Неколку зборови за шумот кој се генерира во модулаторите

Идеален модулатор при својата работа генерира сигнал само на онаа фреквенција за која е предвиден да работи. Но, идеален модулатор не постои, па така, секој модулатор во пракса помалку или повеќе освен корисен сигнал, генерира и определено количество на шум и тоа речиси на сите фреквенции.

Шумот што го генерира модулаторот во рамките на ширината на работниот канал, се нарекува канален шум (*in band noise*). На пример, шумот што го произведува модулаторот предвиден да работи на канал “S2” во фреквенцискиот опсег од 112 до 119 MHz (колку што изнесува ширината на “S2”-каналот), се нарекува канален шум за тој модулатор.

Освен каналниот шум, модулаторот генерира шум во целиот фреквенциски спектар (*out of band noise*). Така, модулаторот од горниот пример, предвиден да работи на канал “S2” ќе произведе шум на сите фреквенции од 5MHz до 860 MHz и пошироко. Овој шум, иако не влијае на квалитетот на сигналот на “S2” каналот, секако влијае на квалитетот на сигналите на другите модулатори кои работат на други фреквенции во главната станица на КДС.

Многу е важно да се разбере дека шумот кој го генерираат сите модулатори во главната станица, надвор од каналот за кој се предвидени, предизвикува намалување на квалитетот на сликата на сите канали.

Пресметување на шумот од модулаторите во главната станица

Да претпоставиме дека еден типичен модулатор има однос сигнал/шум од -60dB на каналот на кој е предвиден да работи. Да претпоставиме дека има 64 такви модулатори во главната станица. Шумот од сите тие 64 модулатори ќе се сумира. Математичката формула за пресметување на овој шум е:

$$C/N_n = C/N_1 - 10 \text{ Log } n \quad (4)$$

каде што:

$(C/N1)$ = односот на сигнал/шум на првиот модулатор

(n) = вкупниот број на модулатори во главната станица

(C/Nn) = вкупниот однос сигнал/шум од сите “n” модулатори

Доволно точна пресметка може да се направи со следново просто правило: „секое дуплирање на бројот на модулаторите или засилувачите го зголемува вкупниот шум за 3dB, односно го намалува вкупниот однос сигнал/шум за 3dB“

Ова ќе го разгледаме во следниов пример:

Нека е даден еден модулатор (на пример *WIS/ OV 35A* или *OV 36A*) за кој во техничките карактеристики наоѓаме дека нивото на шумот кој го генерира надвор од работниот канал изнесува -60dB. Тогаш:

2 модулатори ќе го намалат односот сигнал/шум на -57 dB.

4 модулатори ќе го намалат односот сигнал/шум на -54 dB

8 модулатори ќе го намалат односот сигнал/шум на -51 dB

16 модулатори ќе го намалат односот сигнал/шум на -49 dB

32 модулатори ќе го намалат односот сигнал/шум на -46 dB

64 модулатори ќе го намалат односот сигнал/шум на -43 dB.

Од овој пример веднаш станува јасно дека поголема грижа сега претставува шумот што го генерира модулаторот надвор од работниот канал отколку шумот што го генерира модулаторот во самиот работен канал.

За среќа, во пракса ситуацијата поенедокогаш е малку подобра од горниот пример бидејќи кај квалитетните модулатори производителите нудат излезни филтри кои ги редуцираат сигналите вклучувајќи го и шумот надвор од работната фреквенција. Висококвалитетни професионални модулатори имаат однос сигнал/шум во работниот канал од -60 до -65 dB и однос сигнал/шум надвор од работниот канал од околу -70 dB. Така, главна станица со 64 модулатори ќе го зголеми шумот за околу 18 dB. Со други зборови кажано, односот сигнал/шум во целиот систем од 64 модулатори ќе изнесува: $-70 + 18 = -52$ dB.

Сето ова погоре опишано важи само за шумот генериран од модулаторите. Секој еден елемент во КДС произведува свој сопствен шум. Се

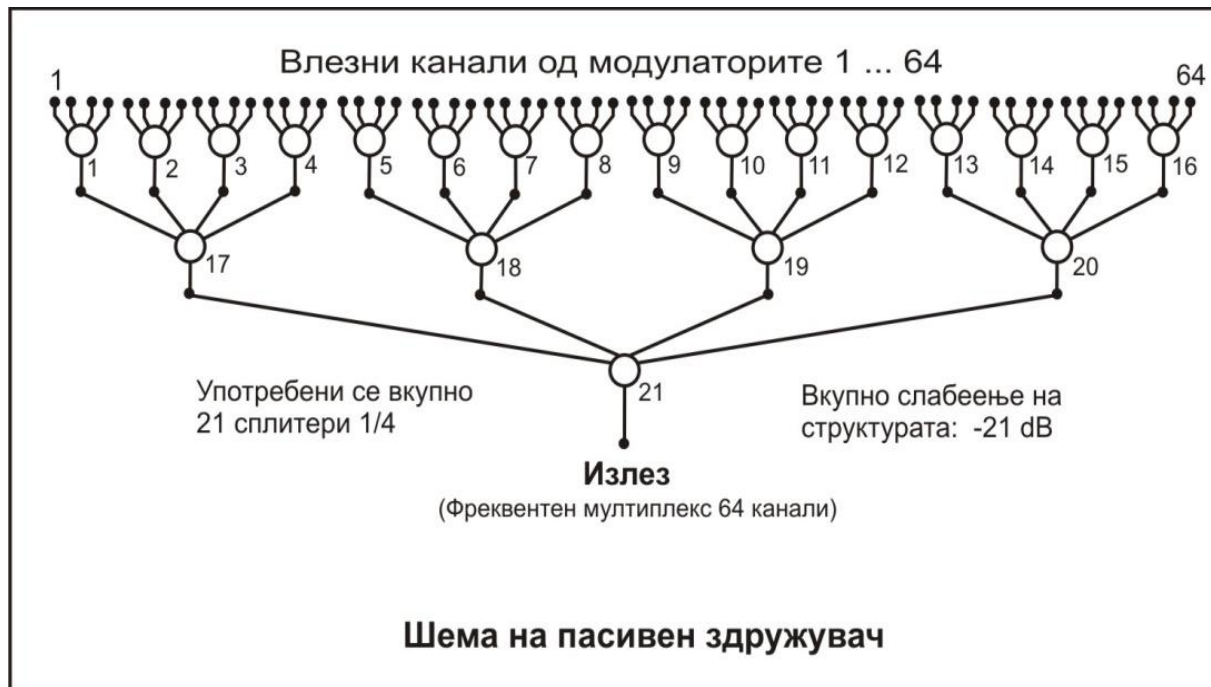
разбира, генерираниот шум е најголем кај активните компоненти во КДС како што се модулаторите, оптичките нодови, засилувачите.

2.3.5. Главна станица на КДС

(дел за засилување и здружување на сигналите од поодделни VHF и UHF канали во сложен мултиплексен сигнал)

Овој дел го сочинуваат уреди (канални засилувачи) кои селективно ги засилуваат сигналите на секој поодделен канал до потребното ниво, а потоа ги здружуваат овие сигнали во сложен мултиплексен сигнал кој во себе ги содржи сите канали од VHF и UHF фреквенциското подрачје.

Со помош на селективните канални засилувачи се засилува сигналот само на саканиот сигнал добиен од модулаторот додека евентуалното присуство на несакани споредни зрачења кои можат да се јават како несакани продукти при модулацијата, дополнително се филтрираат за да не направат пречки на другите канали.



Слика 9. Шема на пасивен здружувач

Figure 9. Passive combiner schematic

Сигналите од сите селективни канални засилувачи се здружуваат во еден заеднички сигнал со помош на пасивен здружувач. (како пасивен здружувач, обично се користи структура од сплитери, како на слика 9. Понатаму овој здружен сигнал се пушта во дистрибутивната мрежа на КДС.

2.3.6. Главна станица на КДС – дел за интернет (Docsis и LAN)

Современите кабелски дистрибутивни системи освен пренос на ТВ програми, овозможуваат и пренос на интернет, телефонија и други интерактивни услуги за своите корисници.

За пренос на интернет, во главната станица се остварува поврзување кон глобалната интернет мрежа најмалку преку две стабилни интерконекциски врски од најмалку два интернет доставувачи. Ова се прави со цел корисниците да не останат без интернет во случај да се прекине врската кон едниот интернет доставувач.

Протоколот на интернет сообраќајот од интернет доставувачите кон кабелскиот дистрибутивен систем се одвива преку моќни еџ-рутери (*edge router*), на пример „Cisco edge router 7609“

Целокупниот интернет сообраќај преку кабелскиот дистрибутивен систем се управува преку еден главен „кор-рутер“ (англиски: *core router*) и повеќе други исто така моќни рутери и менаџибилни свичови (комутатори). Еве само некои од функциите кои ги вршат овие рутери заедно со управувачките комутатори:

- Обезбедуваат поврзување со глобалната интернет мрежа преку доставувачите на интернет;
- Го дистрибуираат интернет сообраќајот и се грижат за рамномерно оптоварување на мрежата;
- Определување на брзината на врската за секој од корисниците;
- Приоритет на различните видови на интернет сообраќај;
- Филтрирање на интернет сообраќај;
- Мониторирање на интернет сообраќајот;
- VLAN нагодување;
- Обезбедуваат резервен излез од мрежата т.н. „бекап рута“ (*backup route*).

Други електронски уреди како составен дел од главната станица во делот за интернет сообраќајот се:

- DHCP сервер (неопходен во сите мрежи);
- DNS сервер, потоа Mail сервер (опција);
- FTP сервер (опција);
- Web сервер (опција);
- Сервер за мрежно играње „*game server*“ (опција) и др.

За корисниците кои користат интернет преку *docsis* технологијата (дистрибуција на интернетот преку коаксијален кабел и кабелски модем кај корисниците) во главната станица и потстанциите се инсталираат и CMTS (*Cable Modem Termination System*) уреди и приемници на сигнал од повратниот пат (upstream), кои се објаснети понатаму во овој труд (во делот за *docsis*-интернет)

2.3.7. Главна станица на КДС – дел за телефонија

Фиксната телефонија преку кабелскиот дистрибутивен систем се пренесува преку интернетот во вид на специјални VoIP пакети. Оваа технологија е позната како „IP-Телефонија“ или „VoIP“ (*VoIP = Voice Over IP*).

Во главната станица на кабелскиот дистрибутивен систем потребно е да се инсталира уред наречен телефонски свич „IP-to-PSTN“ (*Public-Switched Telephone Network*). Овој уред ги конвертира и рутира IP-базираните телефонски разговори во телефонски сигнали преку традиционален класичен телефонски систем.

Покрај другото, телефонскиот свич ги бележи и тарифира сите телефонски разговори кои ги остваруваат корисниците, за да може потоа, соодветно да им се наплатат преку месечните сметки.

2.3.8. Главна станица на КДС – дигитална главна станица

Во состав на една сложена главната станица на современ кабелски дистрибутивен систем, се уреди за прием, обработка и пренос на сигнали за дигиталната телевизија (*DVB – Digital Video Broadcast*).

На слика 6 (страница 33) е прикажана блок шемата на една типична главна станица, на која со црвена боја се означени уредите кои по својата функција припаѓаат на дигиталната главна станица.

Во зависност од желбите и можностите на инвеститорот, односно кабелскиот оператор, дигиталната главна станица може да се конфигурира со разни уреди и системи кои се нудат на пазарот.

2.3.8.1. Трансмодулатори

Во едноставните и евтини дигитални станици се користат сателитски приемници (трансмодулатори). Трансмодулаторите го претвораат приманиот RF сателитски дигитален сигнал кој е модулиран со QPSK модулација (DVB-S стандард), во RF дигитален сигнал модулиран со QAM модулација (DVB-C стандард) кој се користи за пренос преку КДС. Притоа, фреквенцијата на излезниот RF QAM сигнал може да се одбира по желба на кабелскиот оператор.

Карактеристично за трансмодулаторите е тоа што тие ги претвораат сигналите од сите ТВ и радио програми кои се емитуваат преку еден сателитски транспондер заедно. Притоа, некои ТВ програми се скремблирани (заштитени) а некои се слободни за гледање. Корисниците на КДС на својот дигитален приемник (*set-top box*) можат да ги гледаат само оние ТВ програми кои се слободни за гледање, односно не се скремблирани.

Недостаток при користење на трансмодулатори е тоа што не може да се направи избор на програми кои ќе се пуштаат во КДС, а кои програми нема да се пуштаат. Едноставно, сите програми од еден сателитски транспондер се емитуваат во кабелската мрежа до крајните корисници.

Дигитални главни станици кои се составени од трансмодулатори, немаат можност за примена на систем за условен пристап до програмите кои се емитуваат во КДС. (системот за условен пристап се нарекува „CAS“– *Conditional Access System*). Тоа значи дека кабелскиот оператор нема можност самиот да ги скремблира (шифрира) дигиталните програми кои се пренесуваат преку КДС, па така нема ниту можност за контрола на своите корисници.

Сложените и поскапи дигитални главни станици во својот состав имаат систем за условен пристап, односно CAS. Преку системот за условен пристап, кабелскиот оператор може да им забрани на некои корисници да гледаат

одреден број програми или да им овозможи да гледаат други програми. На тој начин, кабелскиот оператор може да направи голем број програмски пакети кои ќе ги нуди на корисниците, а тие пак, можат да избираат на кој програмски пакет ќе се претплатат.

Поважни уреди кои се користат во една квалитетна дигитална главна станица се следниве:

- Сателитски приемници – *IRD (Integrated Receiver Decoder)* со *MPEG-2 TS (Transport Stream)* или *MPEG-4 TS* дигитален излез;
- *MPEG-2 (MPEG-4)* енкодери;
- *MUX* – дигитални мултиплексери и скремблери;
- Дигитални *QAM* модулатори;
- Уреди за *CAS (Conditional Access System)*, односно систем за условен пристап;
- *SMS (Subscriber Management System)*, односно систем за управување со корисници;
- Уреди за *PPV (Pay Per View)*, односно систем: „плати па гледај“;
- Уреди за *VOD (Video on Demand)*, односно систем: „видео (филм) по нарачка“;
- Уреди за *EPG (Electronic Programming Guide)*, односно систем за електронски програмски водич – „*On-screen*“ содржина на ТВ програмите со време на емитување на поодделни програмски емисии и други информации).

2.3.8.2. Сателитски приемници – *IRD (Integrated Receiver Decoder)* со *MPEG-2TS (Transport Stream)* или *MPEG-4 TS* дигитален излез

Сателитските приемници во дигиталната станица служат за прием на радио и ТВ програми емитувани преку сателит. На влезот од сателитскиот приемник преку коаксијален кабел се донесува *RF* сигнал од *LNB* конверторот на сателитската антена. *DVB* сигналот кој се емитува преку сателит е со дигитална *QPSK* модулација. На излезот од сателитскиот приемник се добива *MPEG-2 TS (Transport Stream)* од саканиот ТВ канал, преку *DVB – ASI (Digital*

Video Broadcast – Asynchronous Serial Interface) преку кој се поврзува со другите дигитални уреди. За декриптирање на заштитените програми, овие приемници обично имаат слот (*CI-Common Interface*) со можност за користење на картички за декриптирање.



Слика 10. Сателитски приемник во современа главна станица на КДС
Figure 10. Satellite receiver of contemporary CATV HeadendS

Потребни се толку сателитски приемници колку што сателитски програми дигитално ќе се пренесуваат преку КДС. На пазарот постојат сателитски приемници со по неколку интегрирани приемници-декодери во иста кутија.

2.3.8.3. **MPEG-2 (MPEG-4) енкодер**

За да можат да се пуштат преку дигиталната главна станица аналогните видео и аудио сигнали од локалните ТВ станици, од системот за локален инфо-канал или од DVD плеер, најнапред е потребно тие да се претворат во MPEG-TS дигитални сигнали. За тоа служат MPEG-2 (MPEG-4) енкодерите. На нивниот влез се доведуваат аналогни аудио/видео сигнали, а на излезот се добива дигитален *MPEG* - транспортен стрим.

Понатаму, овој сигнал се носи во дигитален мултиплексер на понатамошно процесирање.

2.3.8.4. **MUX - дигитални мултиплексери и скремблери**

Како што спомнав претходно, секој ТВ канал во дигиталната главна станица се претвора во дигитален *MPEG-TS* сигнал.

Во рамките на ширината на фреквенцискиот појас што го зафаќа еден аналоген канал можат да се сместат повеќе дигитални канали (најчесто 6 до 12), но претходно е неопходно да се спакуваат сите поединечни дигитални сигнали (*MPEG-TS*) во еден заеднички дигитален транспортен стрим (*MPEG-TS*) кој во себе содржи повеќе единечни транспорт стрим канали. Ова „пакување“ се врши во специјални уреди наречени дигитални мултиплексери,

или скратено “MUX” (со примена на техниката на статистичко временско мултиплексирање, односно: *Statistical TDM-Time Division Multiplexing*). Секој мултиплексер обично има 8 до 16 „ASI“ влезови. Секој од овие влезови прима дигитален ASI сигнал од посебен дигитален сателитски приемник или MPEG-2 енкодер. На излезот од мултиплексерите се добива дигитален мултиплексен сигнал составен од повеќе поединечни дигитални канали.

Повеќето дигитални енкодери имаат можност за нагудување на нивото на компресијата за секој ТВ канал.

Ефикасна дигитална компресија може да се постигне ако се комбинираат различни ТВ програми со различно ниво на компресија при креирање на дигиталниот мултиплексен сигнал.

За најефикасна компресија на повеќе ТВ канали, се употребува **статистичко дигитално мултиплексирање**. Притоа, еден компјутер континуирано мониторира група од повеќе ТВ канали и (50 пати во секунда) ја определува големината на компресија за секој од каналите во зависност од моменталната видео содржина (во рамките на еден сложен транспортен стрим)

Како резултат на тоа, во некој момент, ТВ каналот за вести може да се пренесува со поголема компресија отколку спортскиот ТВ канал и обратно.

2.3.8.5. Дигитални QAM – модулатори

Претходно спомнав дека за пренос на аналогните ТВ канали, преку КДС, беше потребно аудио/видео сигналите од ТВ програмите да се втиснат (модулираат) во носечки RF сигнали, и како такви, да се транспортираат преку кабелската мрежа до крајните корисници. Слично на тоа, за пренос на дигиталните ТВ канали (DVB-C) се употребува QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) модулација на RF сигналите.

Со употреба на овој тип на дигитална модулација се овозможува пренос на многу повеќе густо пакувани дигитални информации преку иста ширина на преносен опсег (*bandwidth*) во однос на други видови на дигитална модулација (на пример QPSK – кај сателитскиот дигитален ТВ пренос: DVB-S, или OFDM – кај терестријалниот – земски дигитален ТВ пренос: DVB-T). Ова е овозможено поради многу поквалитетниот пренос (со помалку пречки на сигналите) преку кабелска мрежа во однос на безжичниот пренос.

Во кабелските дистрибутивни системи, за пренос на дигитални ТВ канали најчесто се употребуваат три нивоа на QAM модулација. И тоа QAM-64, QAM-128 или QAM-256. Ширината на фреквенцискиот појас во Европа најчесто изнесува 8 MHz, што е компатибилно со аналогниот PAL-систем.

Табела 2. Брзина на пренос (Mbps) кај DVB-C систем

Table 2. Available bitrates for DVB-C system (in Mbps)

Брзини на пренос кај DVB-C во зависност од нивото на QAM модулација и ширината на фреквенцискиот појас Available bitrates for a DVB-C system (Mbps)					
Modulation	Ширина на фреквенциски појас - Bandwidth (MHz)				
	2	4	5	8	10
16 QAM	6,41	12,82	19,23	25,64	32,05
32 QAM	8,01	16,03	24,04	32,05	40,07
64 QAM	9,92	19,23	28,85	38,47	48,08
128 QAM	11,22	22,44	33,66	44,88	56,10
256 QAM	12,82	25,64	38,47	51,29	64,11

Во пракса, при ширина на канал од 8 MHz колку што зазема еден аналоген ТВ канал, QAM-64 овозможува брзина на пренос од 38 Mbps, односно пренесување на 8 до 10 дигитални ТВ програми во стандардна дефиниција или 4 до 6 ТВ канали со висока дефиниција (HD).

QAM-128 овозможува брзина на пренос од 44 Mbps, или пренесување на 10 до 12 дигитални ТВ програми со стандардна дефиниција и 5 до 7 канали со висока дефиниција (HD).

QAM-256 овозможува брзина на пренос од 51 Mbps, или пренесување на 12 до 14 дигитални ТВ програми со стандардна дефиниција и 6 до 8 канали со висока дефиниција (HD).

Ова важи за пренос на квалитетна слика од стандарден ТВ канал. За пренос на HDTV канал (ТВ слика со висока резолуција) потребно е поголема брзина на пренос (bitrate), така што бројот на пренесувани дигитални HDTV канали ќе биде помал.

Која QAM модулација ќе се употребува во еден кабелски дистрибутивен систем зависи од квалитетот на мрежата, односно од односот сигнал/шум кој може да го обезбеди кабелската мрежа.

За секој RF канал од 8 MHz е потребен по еден QAM модулатор.

RF излезите од сите QAM модулатори на крајот се здружуваат слично како RF излезите на аналогните модулатори.

Така, на излезот од главната станица се формира еден заеднички повеќеканален сигнал составен од многу RF носечки сигнали со различни фреквенции разместени низ целиот фреквенциски опсег од 85 до 850 MHz. Освен RF носечките сигнали модулирани со аналогни ТВ сигнали, се додаваат и RF (QAM) носечки сигнали модулирани со дигитални ТВ сигнали. Уште повеќе, кон овие RF сигнали се придружуваат и RF носечките сигнали модулирани со дигитални сигнали од CMTS-уредите за пренос на интернет-downstream, кои исто така користат QAM модулација.

2.3.8.6. Уреди за CAS (Conditional Access System), односно систем за условен пристап

Системот за условен пристап (CAS) овозможува гледање на определени дигитални ТВ програми од страна на оние корисници кои се претплатени за поодделни програмски пакети.

Во зависност од CAS системот постојат различни видови на уреди за шифрирање (*Scramblers*) на дигиталните ТВ програми кои се пренесуваат преку КДС.

Во дигиталната главна станица се поставува CAS-сервер кој е поврзан со софтверската база на претплатници.

2.3.8.7. SMS (Subscriber Management System), односно систем за управување со корисници

Со CAS-системот се управува преку еден или повеќе компјутери, преку софтвер во кој се внесуваат податоци за корисниците на кои им е дозволен пристапот до поодделни програми.

Во базата на податоци за сите корисници, се внесуваат идентификационите кодови на дигиталните приемници (*set-top box*) кои се наоѓаат кај корисниците. Ако се користат картички (*smart cards*) заедно со дигиталните приемници, тогаш се внесуваат кодовите на картичките.

Всушност, преку системот за управување со корисници, кој е составен дел на системот за условен пристап, се управуваат дигиталните приемници (*set-top box*) кај корисниците.

Системот за управување со корисници е интегрален дел од билингот (*billing system*), така што, на крајот од месецот, на сите корисници им се печатат сметки во зависност од пакетот на кој се претплатени.

2.3.8.8. Уреди за EPG (Electronic Programming Guide), односно, електронски програмски водич

Со помош на овие уреди и соодветен EPG-софтвер се овозможува на корисниците да ги гледаат деталите за програмите кои се емитуваат преку дигиталните ТВ канали. Електронскиот програмски водич, им дава информации на корисниците за програмските содржини за неколку дена однапред па дури и за цел месец однапред.

Во зависност од видот на дигиталниот приемник (*Set-top Box*) кој се наоѓа кај корисниците, со помош на EPG системот, покрај другите погодности, корисникот може да си нагоди автоматско вклучување на својот Сет-Топ Бокс, и снимање на некоја емисија веднаш штом таа ќе започне да се емитува (без присуство на корисникот во домот).

2.3.9. Главна станица на КДС - систем за непрекинато напојување со електрична енергија (UPS)

Еден од основните услови за непречена работа на кабелскиот дистрибутивен систем е квалитетно напојување на системот со електрична енергија. Доколку снеса струја во главната станица, сите корисници приклучени на системот ќе бидат засегнати. Затоа, неопходна е употреба на систем за непрекинато напојување со електрична енергија (*UPS–Uninterruptible Power Supply*).

Постојат разни видови на уреди за непрекинато напојување со електрична енергија. Заедничко за сите е што користат акумулаторски батерии, кои во време кога има електрична енергија автоматски се полнат и постојано се

надополнуваат. Во случај на прекин на електричната енергија, системот за непрекинато напојување, енергијата ја црпи од наполнетите акумулаторски батерии, без да има никаков прекин во напојувањето.

Потребно е правилно да се димензионира UPS-системот во зависност од моќноста на уредите во главната станица, односно од потрошувачката на електрична енергија на тие уреди.

Сепак, акумулаторите можат да обезбедат електрична енергија за работа на главната станица само за кратко (ограничено) време. За подолги прекини на електричната струја од градската мрежа, потребно е набавка на генератор на електрична енергија. Генераторот најчесто користи дизел гориво за својата работа. Моќноста на генераторот треба да биде малку поголема од моќноста на уредите кои се приклучени да работат преку него.

При прекин на електричната струја, генераторот на електрична енергија автоматски се вклучува. Во времето помеѓу прекилот на струја и вклучувањето на генераторот, уредите на главната станица се напојуваат од акумулаторите на UPS-системот. На таков начин, е обезбедено континуирано, непрекинато напојување на главната станица со потребната електрична енергија.

3. ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА НА КДС

Дистрибутивната мрежа на кабелскиот дистрибутивен систем е двонасочна и служи за пренос на програмите (аналогни ТВ, дигитални ТВ, интернет-downstream) во вид на мултиплексен повеќеканален RF сигнал од главната станица до крајните корисници, како и пренос на сигналите (интернет-upstream) од корисниците кон главната станица.

Телефонијата се пренесува преку интернетот (IP-Телефонија, односно VoIP).

Најважна задача на дистрибутивната мрежа е преносот на сигналот да се врши со што помало намалување на квалитетот на истиот. Квалитетот на сигналот е најдобар на влезот од дистрибутивната мрежа.

Секое натамошно проследување и засилување на сигналот од главната станица кон корисниците, непоправливо го намалува квалитетот. Затоа, потребно е да се посвети особено внимание при изборот на елементите кои ја сочинуваат дистрибутивната мрежа.

На почетокот од својот развој, кабелските дистрибутивни мрежи се градеа само со коаксијален кабел. Поради големото слабеење на сигналите низ коаксијалните кабли, се употребуваа голем број на засилувачи. Со поставување на засилувачи на определено растојание по должината на коаксијалниот кабел, можно е да се решат проблемите со слабеењето на сигналите, но останува другиот, поголем проблем, а тоа се шумовите кои се јавуваат во коаксијалните кабли предизвикани од надворешни влијанија. Овие шумови исто така се засилуваат во засилувачите заедно со корисниот сигнал. Проблемот е уште поголем бидејќи секој засилувач внесува и сопствен шум и изобличување на сигналите во мрежата. Така, по одредено растојание, корисниот сигнал е толку многу деградиран, што практично е неупотреблив.

Со појавата на оптичките кабли и оптичката технологија и нивната примена во кабелските дистрибутивни системи се надминаа голем дел од проблемите.

Близу 50% од шумот во еден КДС доаѓа од засилувачите во коаксијалната кабелска мрежа. Единствен начин да се намали бројот на засилувачи во каскада е да се надгради постоечката коаксијална кабелска мрежа со употреба на оптичка технологија за пренос на сигналите од главната станица до определени точки (јазли или оптички нодови), а потоа да се продолжи со коаксијална кабелска мрежа до крајните корисници.

Целокупната област која треба да се покрие со квалитетен сигнал, се поделува на повеќе помали делови (населени области). Во секоја од овие области се поставува оптички нод со независен оптички линк до главната станица на КДС. Со ова се постигнува подобар однос сигнал/шум, позадоволни крајни корисници и помали трошоци за одржување на мрежата.

Во случај на дефект на некој оптички нод или прекин на линкот до оптичкиот нод, само корисниците кои се приклучени преку тој нод ќе имаат прекин на сигналот, а другите корисници нема да почувствуваат проблеми. Затоа, една од главните цели на секој кабелски оператор е да постави што е

можно повеќе оптички нодови и со тоа да има помал број корисници по еден нод.

Во денешно време најголемиот број кабелски дистрибутивни системи се базирани на HFC технологија. (*Hybrid Fiber Coaxial* – хибридна оптичко-коаксијална мрежа) Во понатамошниот текст под поимот КДС (кабелски дистрибутивни системи) ќе подразбираме систем со исклучиво HFC технологија.

Хибридната оптичко-коаксијална мрежа, како што кажува самото име, е составена од сегмент на оптичка кабелска мрежа и сегмент на коаксијална кабелска мрежа.

Модулираните RF сигнали (како носители на корисните информации) на излезот од главната станица се водат во оптички предавател. Оптичкиот предавател ги претвара овие RF сигнали во оптички на тој начин што го модулира ласерскиот зрак од ласерската диода со помош на RF сигналите на влезот од оптичкиот предавател. Понатаму, овој модулиран оптички сигнал (ласерски зрак) преку пасивна оптичка мрежа се пренесува до регионални потстанции (кај големите кабелски дистрибутивни системи), или директно до оптичките нодови (кај помалите кабелски дистрибутивни системи).

Оптичката мрежа се користи да ги пренесе сигналите од главната станица до повеќе определени точки – јазли во една населена област каде што се поставуваат потстанции или нодови (*FTTN – Fiber To The Node*).

Во големите кабелски дистрибутивни системи сигналот од главната станица се транспортира најнапред до регионални потстанции. Потстанциите обично се сместени во простории каде се сместени уреди како што се CMTS-и, рутери, гигабитни медија конвертори, оптички приемници за повратниот пат и сл. Секоја од овие потстанции опслужува определена поголема област или населено место.

Врската помеѓу главната станица и потстанциите се прави со оптички кабел поврзан во вид на „прстен“. На тој начин, доколку дојде до прекин на оптичкиот кабел на било кое место, врската може да се воспостави веднаш со помош на преклопник (автоматски или рачен) при што се преспојува на друго оптичко влакно (кое доаѓа од главната станица од спротивна насока). На ваков начин, е овозможено квалитетно снабдување на корисниците со услугите од кабелскиот оператор без подолги прекини на услугите (слика 11). Потоа, без

брзање, технички тим оди на терен, го пронаоѓа местото каде е оштетен кабелот и ги спајсува скинатите оптички влакна. Ако е потребно, се прави ископ, и се гради шахта во која ќе се смести спајс-кутијата која е неопходна при спајсување на оптички кабел. За целото тоа време, корисниците немаат прекин на услугите.

Секоја потстананица има свој систем за напојување со електрична енергија и систем за непрекинато напојување (UPS). Во случај да има прекин на електричната енергија, уредите од потстананицата се напојуваат од UPS-от кој е снабден со акумулатори.

Од потстананиците, сигналите се пренесуваат до оптички нодови разместени во населената област која се опслужува од таа потстананица.

Оптичкиот нод го прима модулираниот ласерски зрак на својот влез и го претвора во RF сигнали. Од оптичките нодови понатаму до крајните корисници, информациите во вид на RF сигнали се пренесуваат преку коаксијална дистрибутивна мрежа.

Кај помали кабелски дистрибутивни системи, кои опслужуваат населени места до 50-тина илјади жители, сигналот од главната станица може директно се води до оптичките нодови без да има потреба од регионални потстанции.

Поврзувањето помеѓу главната станица и нодовите може исто така да се прави со оптички кабел во вид на „прстен“ за да се обезбеди поквалитетна врска, без поголеми прекини на сигналите во случај да се оштети оптичкиот кабел на некое место.

Во случај кога оптичките нодови опслужуваат помал број корисници, поврзувањето помеѓу главната станица и нодовите не мора да се врши со оптички кабел во вид на прстен туку може да се прави и со систем „свезда“. Во таков случај при прекин на оптичкиот кабел, определен, релативно мал број корисници ќе остане без сигнал додека да се санира оштетувањето на кабелот и да се воспостави врска со главната станица. Сепак, бидејќи се работи за мал број корисници, тоа може да се смета дека е економски оправдано.

Како што напредува технологијата, во иднина, оптичкиот сегмент од КДС сè повеќе ќе се проширува за сметка на коаксијалниот дел од КДС сè до конечно истиснување на коаксијалниот дел од мрежата кога целата кабелска дистрибутивна мрежа од главната станица до крајните корисници ќе биде оптичка (*Fiber To The Home*).

3.1. ОПТИЧКА КАБЕЛСКА МРЕЖА

Оптичката кабелска мрежа во еден современ оптичко-коаксијален кабелски дистрибутивен систем (HFC) се користи за пренос на сигналите помеѓу главната станица и повеќе определени точки, односно јазли, во населени места каде што се поставуваат потстанции или оптички нодови.

Главна предност на оптичката мрежа во однос на коаксијалната мрежа е тоа што оптичката мрежа има многу помало слабеење на пренесуваните сигнали и многу помали пречки и шумови.

Како „носител“ на корисните информации и RF сигнали се употребува модулиран (светлински) ласерски зрак.

За пренесување на ласерскиот зрак се користи оптички кабел (оптичко влакно).

Светлинскиот зрак исто како и RF сигналите кои се пренесуваат преку коаксијалната кабелска мрежа имаат иста природа, односно и светлинските бранови и радио-фреквенциските бранови претставуваат електромагнетни бранови. Разликата е во фреквенцијата, односно брановата должина.

Радио фреквенциските сигнали кои се користат за пренесување на корисни информации во коаксијалната кабелска мрежа имаат фреквенција од 5 до 862 MHz (бранова должина од 60 m до 0,35 m).

Светлинските (ласерски) зраци кои се користат во оптичката мрежа спаѓаат во инфрацрвената невидлива светлина и имаат фреквенција од $229,007633 \text{ THz} = 229.007.633 \text{ MHz}$ (бранова должина од 1310 nm) и $193,548387 \text{ THz} = 193.548.387 \text{ MHz}$ (бранова должина од 1550 nm). Од практична гледна точка, многу е полесно именувањето со брановата должина отколку со фреквенцијата.

Значи, светлинските ласерски зраци кои се употребуваат за пренос на информации во оптичката мрежа имаат 270 илјади до 20 милиони пати повисока фреквенција и исто толку помала бранова должина во однос на RF сигналите во класичната коаксијална кабелска мрежа.

3.1.1. Главни предности на оптичката кабелска мрежа во однос на електричната RF коаксијална кабелска дистрибутивна мрежа се:

- **Многу помало слабеење на сигналите**

Коаксијалните кабли кои се користат во КДС имаат слабеење од 65,6 dB/km (за кабел QR-540), 130 dB/km (за кабел RG-11) и 200 dB/km (за кабел RG-6)

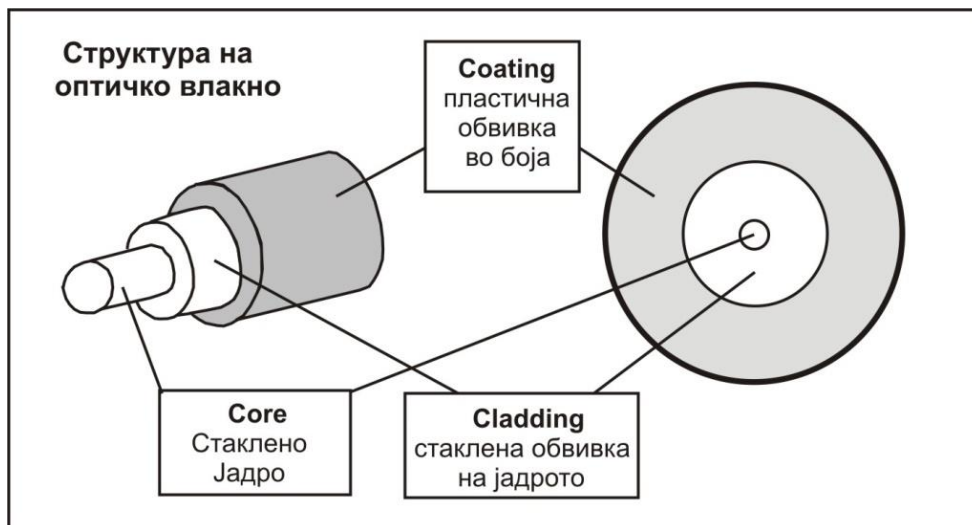
Оптичките кабли имаат слабеење од околу 0,33 dB/km (за 1310 nm технологија) и 0,23 dB/km (за 1550 nm технологија)

Бидејќи слабеењето на оптичките кабли е многу помало, пренесуваните сигнали може да се пренесат на многу поголеми растојанија без да има потреба од засилувачи.

- **Многу поголем капацитет** за пренесување на корисни информации (*bandwidth*)

- **Отпорност на радио-фреквенциски пречки и шум** предизвикан од електрични апарати, мотори, радио станици, или блиски електрични и коаксијални кабли.

- **Одржување** (оптичката кабелска мрежа е многу полесна и поевтина за одржување).



Слика 12. Многукратно зголемено оптичко влакно (светловод)

Figure 12. Optical fiber (magnified many times)

Светлинскиот (ласерскиот) зрак лесно се движи низ оптичкиот кабел според принципот познат како тотална внатрешна рефлексивност. Кога влезниот агол на светлинскиот зрак е поголем од определена критична вредност, зракот не може да излезе надвор од стакленото јадро, туку се одбива од границата

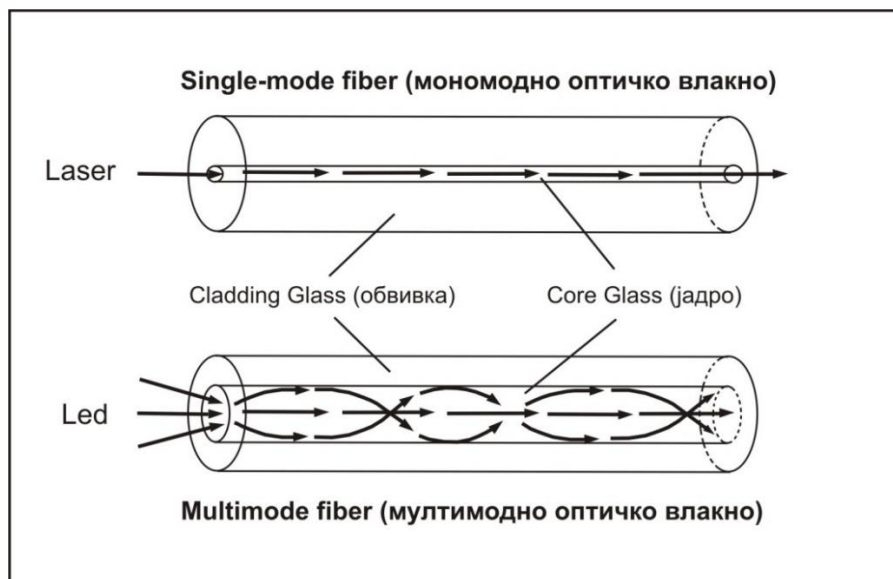
понеѓу јадрото (core) и јадрената обвивка (cladding), назад во стакленото јадро на влакното.

Јадрото на оптичкото влакно е изработено од чисто стакло. Обвивката (cladding) на јадрото е направена исто така од стакло, но специјално изработено така што брзината на светлината во обвивката е помала отколку брзината на светлината во јадрото на оптичкото влакно (индексот на прекршување на светлината е помал во обвивката отколку во јадрото). Разликата во материјалите предизвикува светлинскиот зрак да се одбива назад во јадрото кога ќе најде на границата помеѓу јадрото и обвивката. Оваа појава се нарекува тотална внатрешна рефлексија и претставува основен принцип за примена на оптичките влакна и оптичката технологија во телекомуникациите.

Патот на светлинскиот зрак во оптичкото влакно се нарекува Мод (*mode*). Мултимод (*multimode*) означува повеќе патишта (во зависност од влезниот агол) на светлинските зраци внатре во јадрото на оптичкото влакно.

Постојат два вида на оптички влакна или кабли:

- Повеќемодни, односно мултимодни оптички влакна и оптички кабли (*multi-mode cable*) и
- Едномодни (мономодни), оптички влакна и оптички кабли (*single-mode cable*).



Слика 13. Мономодно и мултимодно оптичко влакно

Figure 13. Single-mode and multimode optical fiber

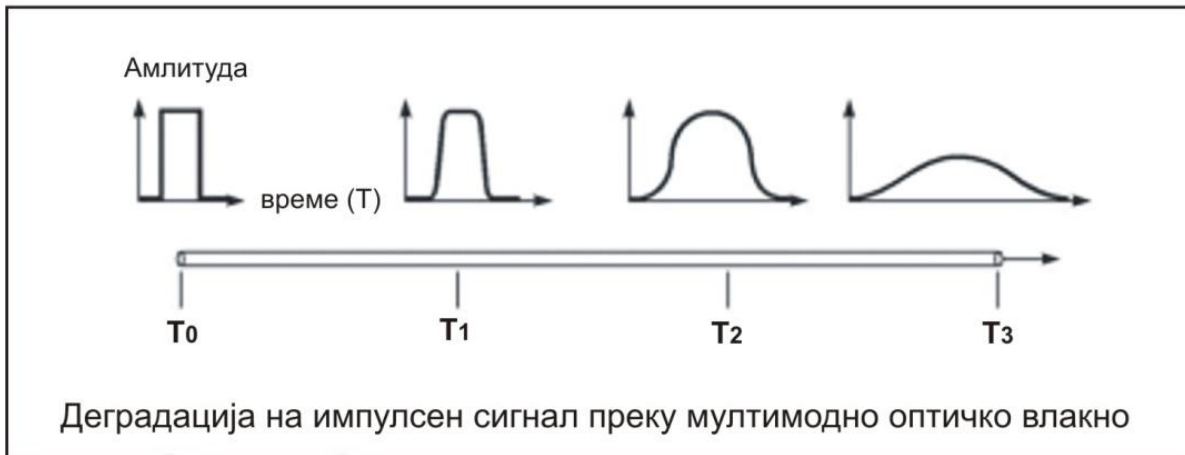
3.1.2. Мултимодни оптички влакна (*Multimode optical fibers*)

На почетокот од развојот на оптичката технологија, се употребувало мултимодното оптичко влакно. Дијаметарот на стакленото јадро (*core*) кај мултимодното влакно изнесува $62,5\mu\text{m}$ (микро метар = милионити дел од метарот). Дијаметарот на стаклената обвивка (*Cladding*) на јадрото на влакното изнесува $125\mu\text{m}$. Како извор на светлински зраци кај мултимодното оптичко влакно се употребува релативно евтина LED (лед диода).

Максималното растојание кое може да се постигне со мултимодно оптичко влакно изнесува неколку километри.

Бидејќи дијаметарот на јадрото на мултимодното оптичко влакно е релативно голем, светлинските зраци емитувани од лед диодата истовремено навлегуваат во јадрото на мултимодното оптичко влакно под разни агли. Зраците кои навлегле под разни агли во јадрото на оптичкото влакно, на својот пат низ влакното ќе се одбиваат повеќекратно од ѕидовите на јадрото, додека зраците кои навлегле директно под 90° во однос на напречниот пресек на влакното, нема да се одбиваат или многу малку ќе се одбиваат и ќе патуваат паралелно низ јадрото на оптичкото влакно. Кога зраците ќе пристигнат на другиот крај од оптичкото влакно (во оптичкиот приемник) најнапред ќе пристигнат зраците кои патувале паралелно со јадрото, односно без одбивање, бидејќи изминуваат најкраток пат. Зраците пак кои се одбивале повеќекратно патувајќи низ јадрото, ќе пристигнат со помало или поголемо задоцнување. Колку е поголема должината на оптичкото влакно, толку поголема временска разлика ќе има при пристигнувањето на одбиените и „правите“ зраци на крајот од влакното. Велиме дека на крајот од влакното, светлинските зраци доаѓаат временски дисперзирани и амплитудно ослабени. Ова е главен ограничувачки фактор за постигнување на поголеми растојанија со примена на мултимодни оптички влакна (слика 14).

Исто така и излезниот сигнал многу повеќе се деформира кај мултимодното влакно, па и веројатноста за грешка при декодирањето е поголема (се зголемува **BER – bit error rate**)



Слика 14. Деградација на импулсен сигнал преку мултимодно оптичко влакно
 Figure 14. Multimode optical fiber degradation of impuls signal

3.1.3. Мономодни оптички влакна (*single-mode optical fibers*)

Со понатамошниот напредок на технологијата, развиено е мономодно (*single-mode*) оптичко влакно. Дијаметарот на стакленото јадро (*core*) кај мономодното оптичко влакно е многу помал во однос на мултимодното влакно и изнесува 8 до 10 μm . Дијаметарот на стаклената обвивка (*Cladding*) на јадрото на влакното изнесува 125 μm (исто како и кај мултимодните оптички влакна). Околу стаклената обвивка, има заштитен слој во вид на заштитна обвивка со дијаметар од околу 250 μm . Овој надворешен слој обично е обоен за да може лесно да се идентификува оптичкото влакно, бидејќи во еден оптички кабел може да има многу оптички влакна.

Како извор на светлински зраци кај мономодното оптичко влакно се употребува ласер, односно ласерска диода. Ласерските зраци со помош на леќи многу лесно можат да се направат паралелни. Паралелниот и многу мал дијаметар на ласерскиот зрак овозможува речиси целокупната енергија на зракот да навлезе под прав агол во однос на напречниот пресек на јадрото на оптичкото влакно, така што зракот патува низ јадрото без да се одбива, а слабеењето е минимално.

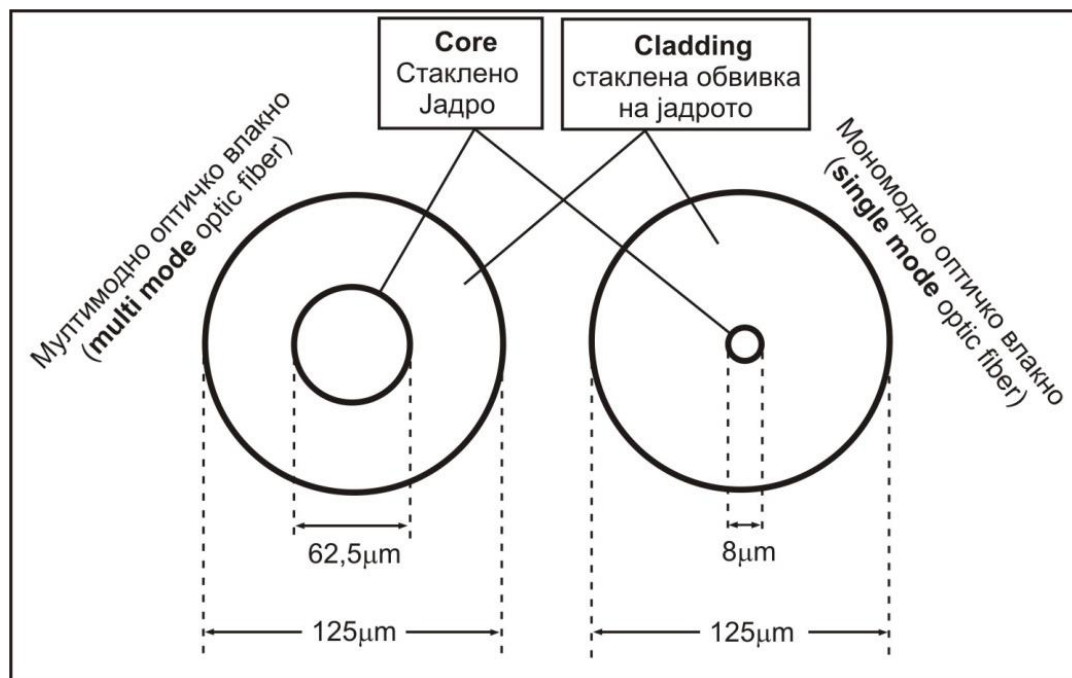
Растојанието кое може да се постигне со употреба на мономодно оптичко влакно и ласерски зраци како носител на корисни информации, изнесува повеќе десетици километри без да има потреба за засилување или

регенерација. Ова е многукратно повеќе во однос на мултимодните оптички влакна.

Па зошто тогаш се користат мултимодните влакна, кога имаат многу полоши карактеристики во однос на мономодните влакна?

Во прашање е цената. Во технолошкиот процес многу е поедноставно (а со тоа и поевтино) да се произведува влакно со поголем пресек на јадрото. Покрај тоа, во поголемо јадро е многу полесно да се „уфрли“ светлина од изворот, па и предавателите се поевтини бидејќи светлосниот сноп на изворот не мора да биде толку фокусиран како во случајот на користењето на мономодното влакно. Така, севкупниот систем базиран на мултимодното влакно е поевтин и таквите системи денеска се употребуваат кај локалните компјутерски мрежи со релативни кратки растојанија. Исто така мултимодните оптички влакна се применуваат и за пренос на аудио и видео сигнали во домовите, помеѓу аудио-видео уредите за слушање на музика и гледање на видео.

Од друга страна, кога е потребно да се премостат поголеми растојанија, за професионалните телекомуникациски потреби се употребуваат мономодните оптички влакна, и тоа најчесто 8/125.



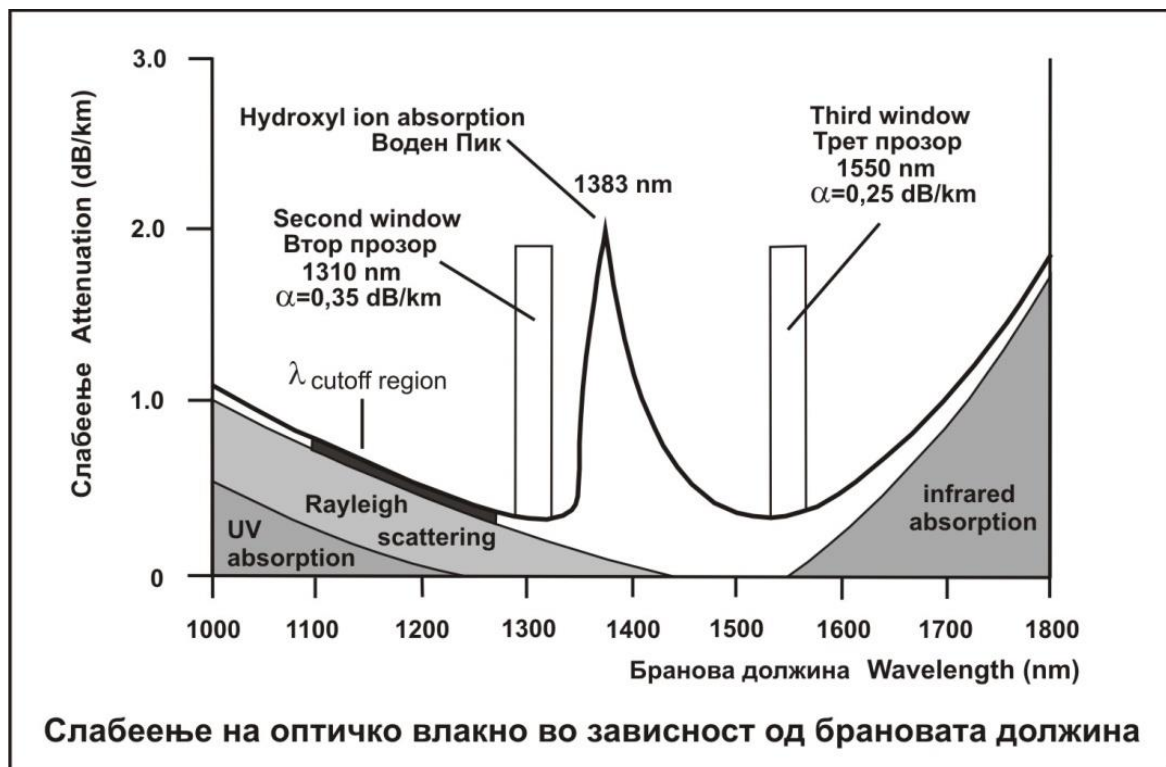
Слика 15. Пресек на мономодно и мултимодно оптичко влакно

Figure 15. Single-mode and multimode optical fiber cross section

3.1.4. Слабеене на сигналите пренесувани низ оптичкото влакно

Слабеенето на оптичкото влакно зависи од фреквенцијата, односно брановата должина на ласерскиот зрак што го користиме како носител за пренос на корисни информации. На сликата подолу се забележува дека слабеенето на сигналот не е линеарно како во коаксијалните кабли.

Слабеенето е релативно големо околу 800 nm и забрзано опаѓа со зголемувањето на брановата должина сè додека не го достигне минимумот за бранова должина околу 1310 nm. Со понатамошно зголемување на брановата должина, слабеенето пак започнува да расте и достигнува максимум за бранова должина околу 1383 nm. Потоа слабеенето пак нагло опаѓа и ја достигнува својата најниска вредност за бранова должина од околу 1550 nm.



Слика 16. Слабеене на сигналите при пренос преку оптичко влакно во зависност од нивната бранова должина

Figure 16. Wavelength dependent signal attenuation in fiber optic cable

Овие два минимума на слабеенето на оптичкото влакно се нарекуваат „прозори“ со најмало слабеене. Вториот „прозор“ е за бранова должина од 1310 nm а третиот „прозор“ е за бранова должина од 1550 nm. Постои и прв

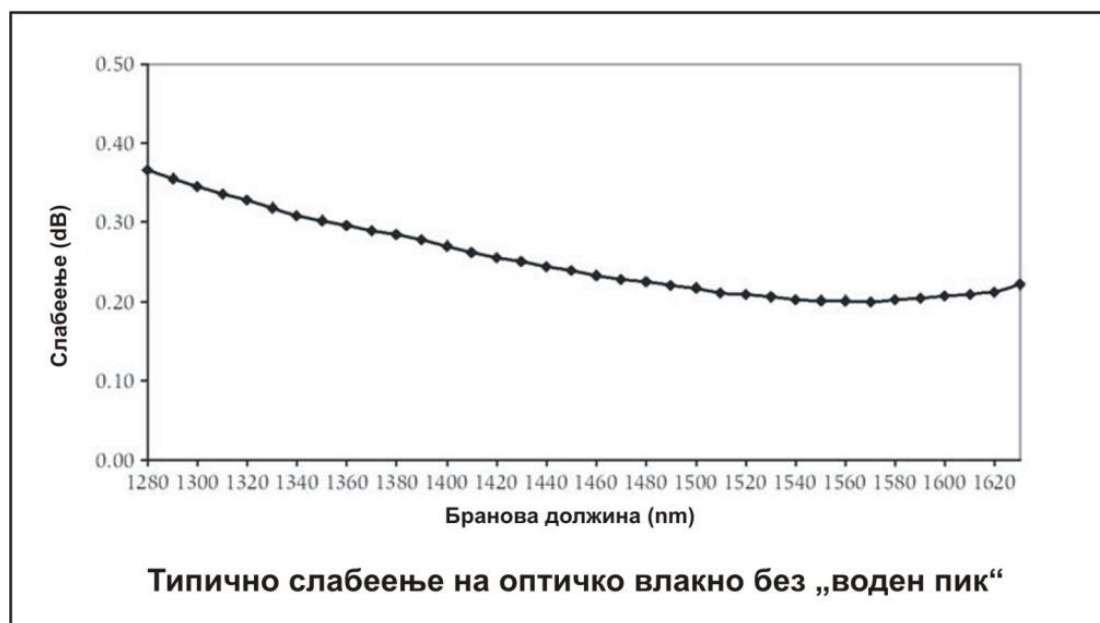
„прозор“ за бранова должина од 850 nm за апликации со мултимодни оптички влакна во кои како извор на светлина најчесто се употребуваат LED-диоди.

Слабењето на сигналите со бранови должини од вториот и третиот „прозор“ е екстремно мало. Типични оптички кабли со добар квалитет кои се употребуваат во КДС имаат слабење од 0,33 dB/km за бранова должина од 1310 nm. Слабењето е дури уште помало за бранова должина од 1550 nm и изнесува само 0,23 dB/km.

Токму овие две бранови должини (1310 nm и 1550 nm) се употребуваат во телекомуникациите за пренос на корисни информации преку оптичките кабли, а како извор на светлина се користат ласерски диоди.

Помеѓу двата екстремни минимума на слабење на оптичкото влакно за сигнали со бранови должини од 1310 и 1550 nm, постои едно подрачје со релативно големо слабење (висока апсорпција) за бранова должина околу 1380nm. Ова слабење е познато под името „воден пик“ поради апсорпцијата од хидроксилните јони.

Со развојот на технологијата на производство на оптички влакна, слабењето кое го предизвикува „водениот пик“ е многу намалено. Денес има оптички кабли кај кои „водениот пик“ е комплетно елиминиран. Ова може да се види на слика 17.



Слика 17. Слабење на оптичко влакно без „воден пик“

Figure 17. Attenuation of fiber optic cable without water peak

3.1.5. Деградација на сигналите пренесувани низ оптичкото влакно

Максималната должина на која може да се пренесе сигнал преку оптичко влакно без да има потреба од регенерација или засилување на сигналот зависи од повеќе фактори.

Најважен фактор, секако е слабеењето на сигналот минувајќи низ оптичкото влакно и ова слабеење го разгледаваме погоре.

Други битни фактори кои влијаат врз деградацијата на сигналот и со тоа го ограничуваат растојанието на кое може да се пренесе квалитетен сигнал се:

а) Мултимодната дисперзија на сигналот која ја разгледаваме погоре кога стануваше збор за мултимодни оптички влакна;

б) Хроматска дисперзија (*Chromatic Dispersion*)

Оваа дисперзија се јавува како резултат на различното време на пристигнување на сигнали со различни бранови должини на крајот од влакното. Различните бранови должини на ласерската светлина патуваат со различна брзина низ оптичкото влакно (подолгата бранова должина патува побрзо низ оптичкото влакно). Како и кај мултимодната дисперзија, хроматската дисперзија е директно зависна од должината на оптичкото влакно.

Хроматската дисперзија предизвикува да пулсот на светлина (сигналот) на крајот од оптичкото влакно е поширок отколку што бил на влезот (слично како кај мултимодната дисперзија само многу помалку изразен)

Хроматската дисперзија е особено важна во телекомуникациските примени бидејќи во оптичките влакна може истовремено да се емитуваат ласерски зраци со повеќе бранови должини (*wavelength multiplexing*), како на пример: **WDM** – *wide wavelength division multiplexing*, **CWDM** – *coarse wavelength division multiplexing*, или **DWDM** – *dense wavelength division multiplexing*.

За да ја разбереме подобро хроматската дисперзија на ласерските зраци со повеќе бранови должини, ќе ја споредиме со општопознатата хроматска дисперзија на видливата бела сончева светлина која се разложува (дисперзира) кога ќе помине преку стаклена призма. Ова разложување е како резултат на различниот агол на прекршување на светлината со различна

бранова должина, бидејќи различни бои на светлината имаат различна бранова должина. Хроматската дисперзија на видливата светлина која се прекршува при премин преку стаклена призма е прикажана на слика 18.



Слика 18. Хроматска дисперзија на видливата светлина

Figure 18. Chromatic dispersion of visible light

в) Поларизациска дисперзија (*PMD – polarization mode dispersion*)

Како што видовме порано, кај мултимодните оптички влакна, беше изразена деградацијата на сигналот предизвикана од мултимодната дисперзија, предизвикана од различното време на пристигнување на сигналите со различен агол, на крајот од влакното. Слично на тоа, само многу помалку изразена, кај мономодните оптички влакна постои деградација на сигналот предизвикана од поларизациска дисперзија.

Светлината пренесувана преку мономодно оптичко влакно може да се разгледува како два одделни поларизирани сигнали (поларизациски модови) секој сигнал со своето електрично поле зафаќа меѓусебен агол од 90° во однос на подолжната оска на влакното.

Овие два поларизациски модови, патувајќи низ јадрото на оптичкото влакно се одбиваат од границата со јадрената обвивка и пак се враќаат во

јадрото сè до другиот крај на влакното каде се наоѓа оптичкиот приемник. Бидејќи структурата на јадрото не е идеално кружно-цилиндрична (идеално не постои), одбивајќи се од границата на јадрото, овие два поларизациски модови ќе изминат различен пат кога ќе пристигнат на крајот од влакното.



Слика 19. Поларизациски модови

Figure 19. Polarisation modes

Ова е предизвикано и од нееднаквоста во структурата на јадрото на оптичкото влакно кое, иако е изработено од многу чисто стакло, сепак, атомската структура не може да биде перфектно еднаква во сите делови на јадрото.

Исто така, сплајсуваните оптички влакна, конекторите и слично придонесуваат за неперфектноста на структурата низ која се движат различно поларизирани модови на сигналот.

Иако постои, дисторзијата (изобличувањето) на сигналот предизвикана од поларизациската дисперзија (PMD) не претставува голем проблем бидејќи обично, другите фактори кои влијаат на деградацијата на сигналот се многу поизразени.

Поларизациската дисперзија во комбинација со хроматската дисперзија, ако се доволно изразени (голема должина на оптичкото влакно) можат да предизвикаат временско-зависно комбинирано интермодулациско изобличување од втор ред (CSO) кај амплитудно модулираните ласерски сигнали при пренесување на видео каналите во КДС. Зголеменото комбинирано изобличување од втор ред се манифестира со дијагонални коси линии преку сликата кои се движат преку целиот екран.

Од друга страна, кај дигитално емитуваните пулсни сигнали поларизациската дисперзија исто како и хроматската дисперзија предизвикува ширината на импулсниот сигнал на крајот од оптичкото влакно да биде поширока отколку на почетокот. Тоа пак води до зголемување на грешките при

детекцијата на дигиталните импулсни сигнали (висок BER – *bit error rate*) при пренос на големи брзини, односно голем пропусен опсег, така што директно го ограничува пропусниот опсег на дигиталните сигнали.

г) Слабеене во зависност од свиткување (*bending*)

Генерално, постојат два видови на слабеене поради свиткување. Микросвиткување (*microbending*) и макросвиткување (*macrobending*)

Микросвиткувањето е предизвикано од микроскопски мали отстапувања од идеалната геометрија на стакленото јадро на оптичкото влакно. (асиметрија и микроскопски мали разлики на дијаметарот на јадрото на оптичкото влакно) Овие микроскопски мали отстапувања се предизвикани од производниот процес или од механички стресови на материјалот од кој е изработено јадрото на оптичкото влакно (под дејство на надворешен притисок, истегнување или усукување).

Макросвиткувањето е она свиткување на оптичкото влакно чиј дијаметар се мери во центиметри.

Колку радиусот на свиткување на оптичкото влакно е помал, поголем износ на светлина ќе „истече“ или „побегне“ од јадрото преку јадрената обвивка и тоа ќе предизвика слабеене на сигналот. Затоа треба да се внимава оптичките влакна да не се свиткуваат под остар агол.

Слабеенето на сигналот поради свиткување на оптичкото влакно е поизразено на брановата должина од 1550 nm, отколку на 1310 nm.

На пример, 100 намотки на оптичко влакно околу пластична цевка со дијаметар од 75mm, ќе предизвика слабеене од 0,05dB/1310nm и 0,1dB/1550nm.

Само една намотка на оптичко влакно околу пластична цевка со дијаметар од 32 mm, ќе предизвика слабеене од 0,5dB/1550 nm.

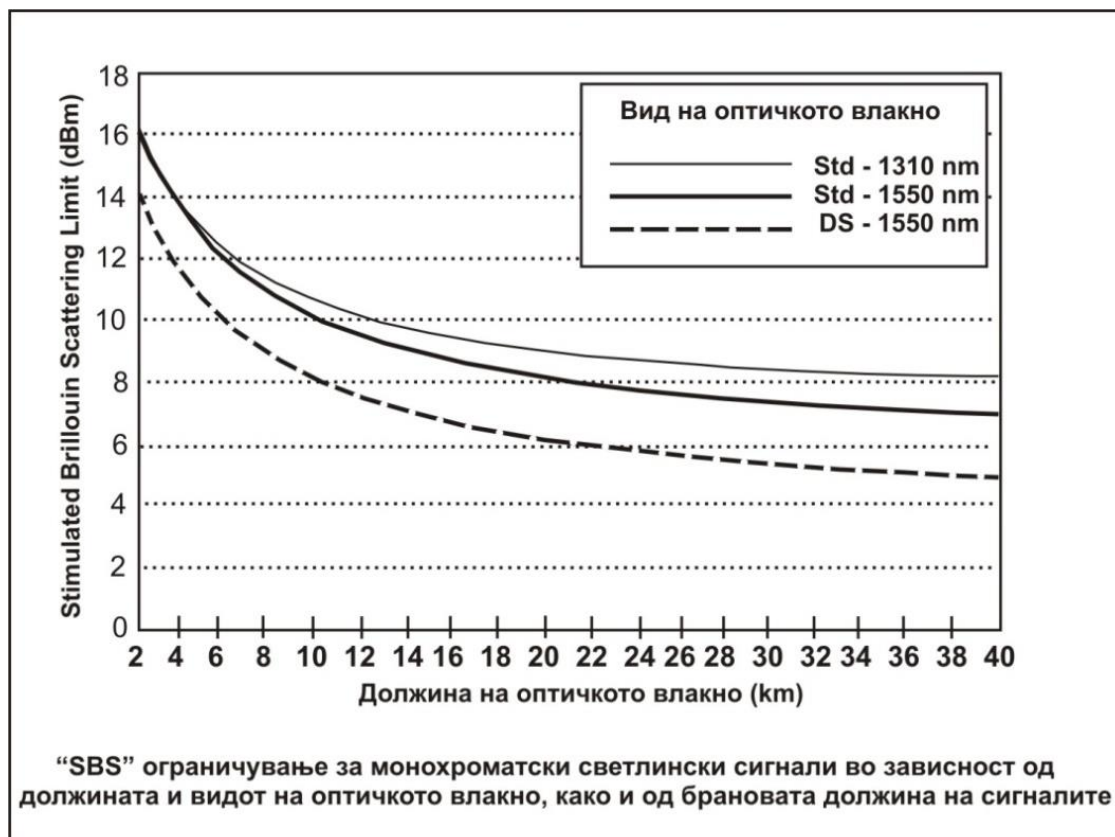
Слабеенето е незабележливо ако дијаметарот на свиткување на оптичкото влакно е поголем од 10 cm.

Интересна практична апликација која ја користи осетливоста на оптичкото влакно при свиткување е (нерефлектирачка) терминацијата на крајот на оптичкото влакно. Исто како и кај коаксијалните кабли, неопходно е правилна терминација на крајот од оптичкото влакно. Ако тоа не се направи, светлината во влакното ќе се рефлектира наназад во влакното, ќе направи

деструктивна интерференција со дојдовниот светлински сигнал и ќе предизвика изобличување на корисниот сигнал. Една едноставна оптичка терминација на крајот од влакното, може да се направи со една или две намотки на оптичкото влакно со дијаметар од околу 1cm (10mm). Оваа апликација ќе ја намали рефлексијата на помалку од -40dB !

д) *Stimulated Brillouin Scattering (SBS)*

Ако јачината на монохроматската ласерска светлина (моќноста на ласерот) што се емитува во оптичкото влакно се зголемува, излезната моќност од оптичкиот приемник на другата страна од влакното се зголемува пропорционално сè додека не се достигне една определена гранична вредност. Над таа гранична вредност, приманата моќност од оптичкиот приемник останува релативно константна, но енергијата која се рефлектира назад во оптичкото влакно драматично се зголемува. Како резултат на тоа, односот сигнал/шум и сигнал/изобличување се намалуваат, односно деградираат. Овој феномен е познат под името *Stimulated Brillouin Scattering (SBS)*.



Слика 20. „SBS“ ограничување на оптичкото влакно

Figure 20. SBS-limit of fiber optic cable

Дел од енергијата која се рефлектира назад во оптичкото влакно кога ќе дојде до изворот, пак се рефлектира наназад кон приемникот. Двојнорефлектираниот сигнал има различна произволна фаза и амплитуда и се измешува со оригиналниот сигнал. Како резултат на оваа интеракција (интерференција) во приемникот се прима и оригиналниот сигнал и двојнорефлектираниот сигнал што предизвикува зголемување на шумот.

Шумот предизвикан од „SBS“ зависи од геометријата на оптичкото влакно, слабеењето на сигналот во влакното, должината на влакното, како и од моќноста на оптичкиот предавател (трансмиситер).

Денес се произведуваат специјални оптички влакна (*DS - dispersion-shifted optic fibers*) кај кои оваа појава не е толку изразена. Ова е прикажано на слика 20.

ѓ) Сопствено фазно модулирање на сигналот и интеракција со дисперзијата (*Self-Phase Modulation Interacting with Dispersion*) или скратено: **SPM** – *self-phase modulation*

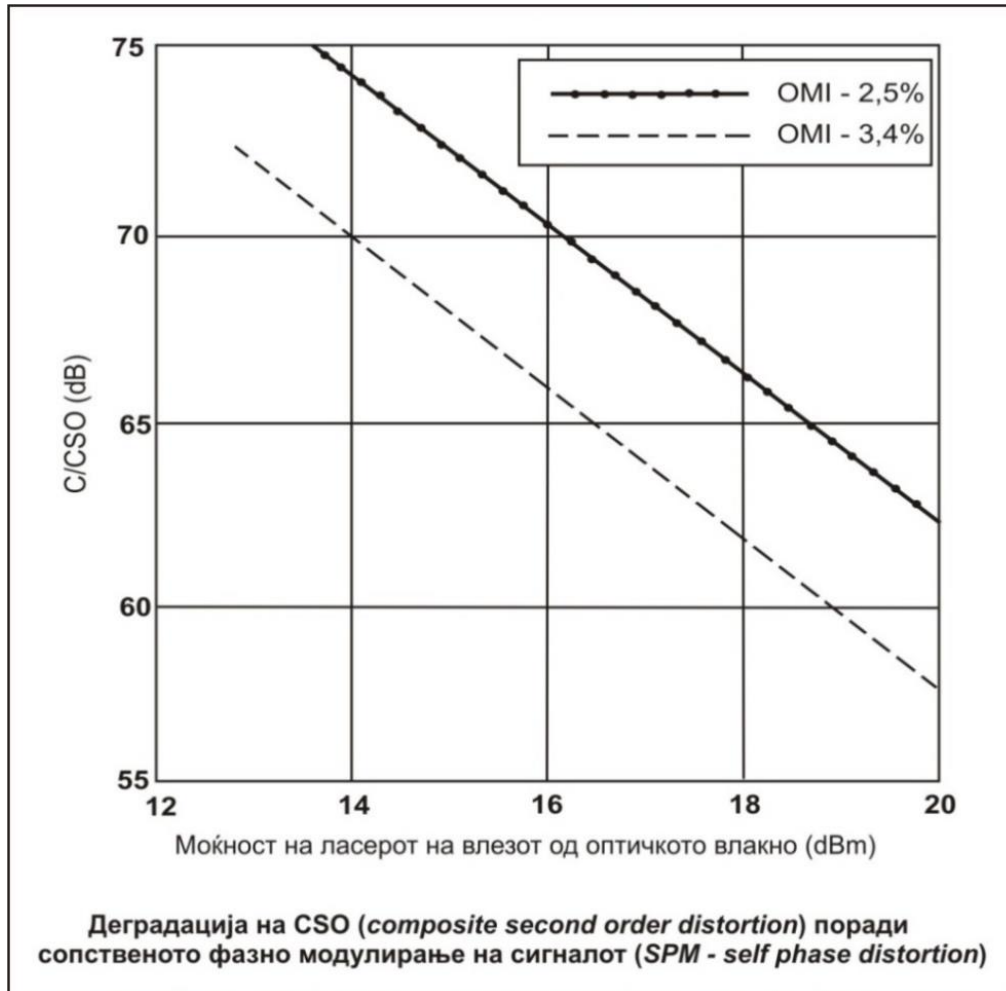
Ова е уште една појава која го деградира сигналот во оптичките влакна и која директно зависи од моќноста на оптичкиот предавател (трансмиситер)

Оваа појава ги зголемува комбинираниите изобличувања од втор ред (*CSO – composite second order distortion*) на сигналите преку оптичкиот линк.

Односот сигнал/шум, односно носител/шум (*carrier/noise*) ќе биде деградиран во случаите кога:

- Хроматската дисперзија (*Chromatic Dispersion*) е поголема.
- Должината на оптичкото влакно е поголема.
- Фреквенцијата на RF сигналот со кој се модулира ласерот во оптичкиот предавател е повисока.
- Брановата должина на ласерскиот зрак е подолга.
- Моќноста на ласерскиот зрак е поголема.
- Оптичкиот индекс на модулација (*OMI - Optical modulation index*) е поголем (поголеми се варијациите на интензитетот на ласерскиот зрак во зависност од модулацијата).
- Дијаметарот на јадрото на оптичкото влакно е помал.
- Слабеењето на оптичкото влакно е помало.

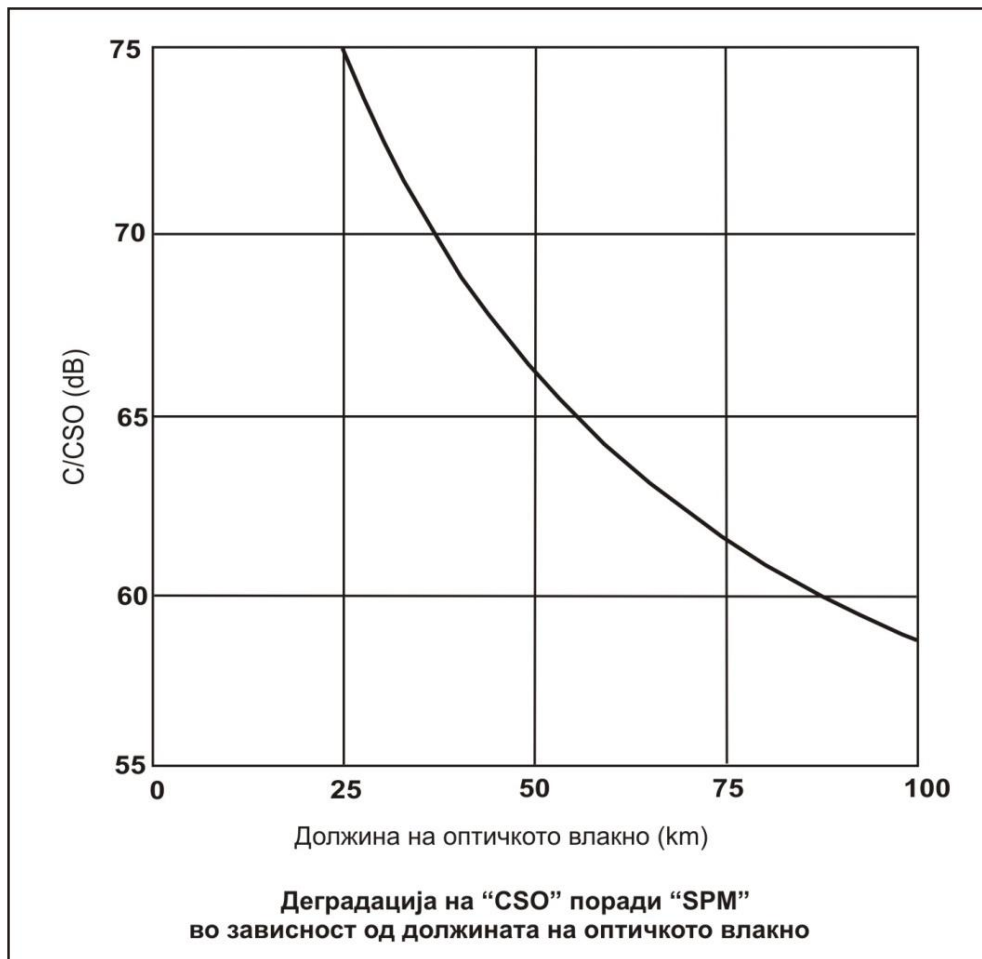
На слика 21 е прикажано влошувањето на односот сигнал/шум (C/CSO) поради појавата на сопствено фазно модулирање на сигналот кој минува низ оптичкото влакно, во зависност од моќноста на оптичкиот сигнал:



Слика 21. Деградација на сигналот поради сопствено фазно модулирање
Figure 21. Signal degradation by self phase distortion in fiber optic cable

Графикот важи за должина на оптичкото влакно од 50 km, ласерски зрак со бранова должина од 1550 nm, модулиран со 77 RF аналогни сигнали, при оптички индекс на модулација од 2,5% и 3,4%.

На слика 22 е прикажана зависноста на односот сигнал/шум (C/CSO) од должината на оптичкото влакно при фиксно ниво на оптичка моќ од +18 dBm. Притоа, оптичкиот сигнал е засилен по првите 50 km и пуштен низ уште едно оптичко влакно со должина од 50 km:



Слика 22. Деградација на сигналот во зависност од должината на опт. влакно
Figure 22. Signal degradation depending on optical fibre length

Со 1310-нанометарската технологија во идеални услови може да се пренесе квалитетен сигнал (без преголем шум и изобличување) на растојание од околу 25 до 30 километри.

Со 1550-нанометарската технологија во идеални услови може да се пренесе квалитетен сигнал (без преголем шум и изобличување) на растојание од околу 50 до 55 километри. За поголеми растојанија се употребуваат оптички предаватели со релативно помала излезна моќност, а по извесно растојание, оптичкиот сигнал се засилува со EDFA оптички засилувачи.

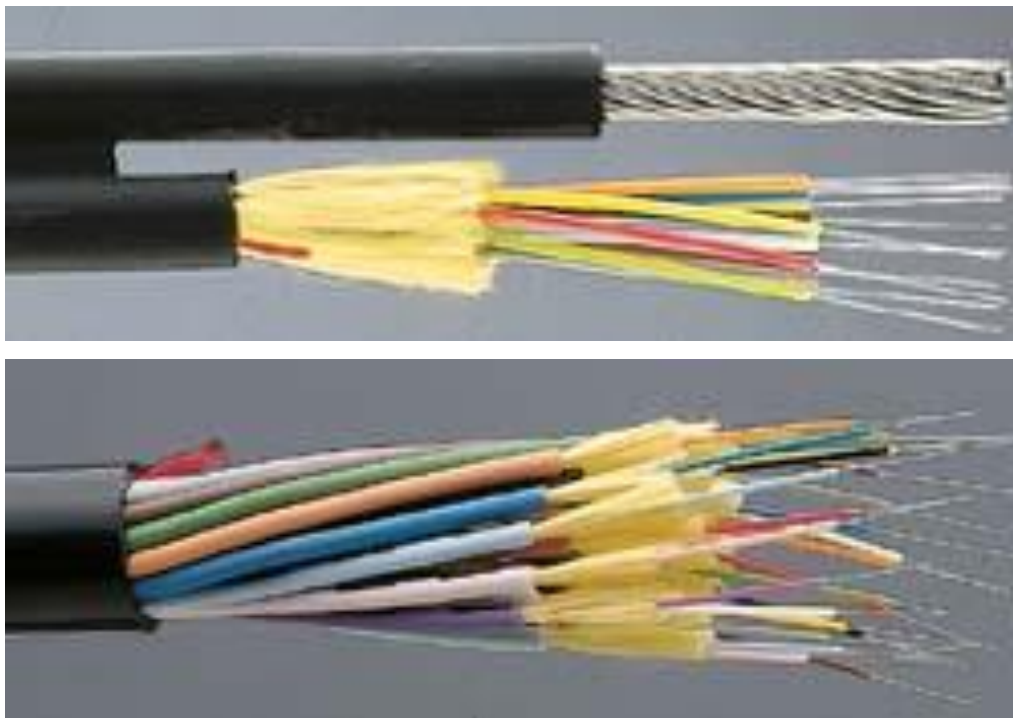
3.2. Елементи на оптичката дистрибутивна мрежа од КДС

Оптичката дистрибутивната мрежа се состои од повеќе елементи. Најопшто земено, тие се делат на пасивни и активни елементи. Пасивните елементи ги сочинуваат елементи на кои не им е потребно напојување со

електрична струја. Тоа се, на пример: оптичките кабли, оптичките разделници, сплајс-кутиите, оптичките конектори, печ-корди, пиг-тејли, печ-панели и др. Активни елементи на оптичката дистрибутивна мрежа се оптичките предаватели, оптичките нодови, оптичките приемници за повратен пат, медија конвертори и др.

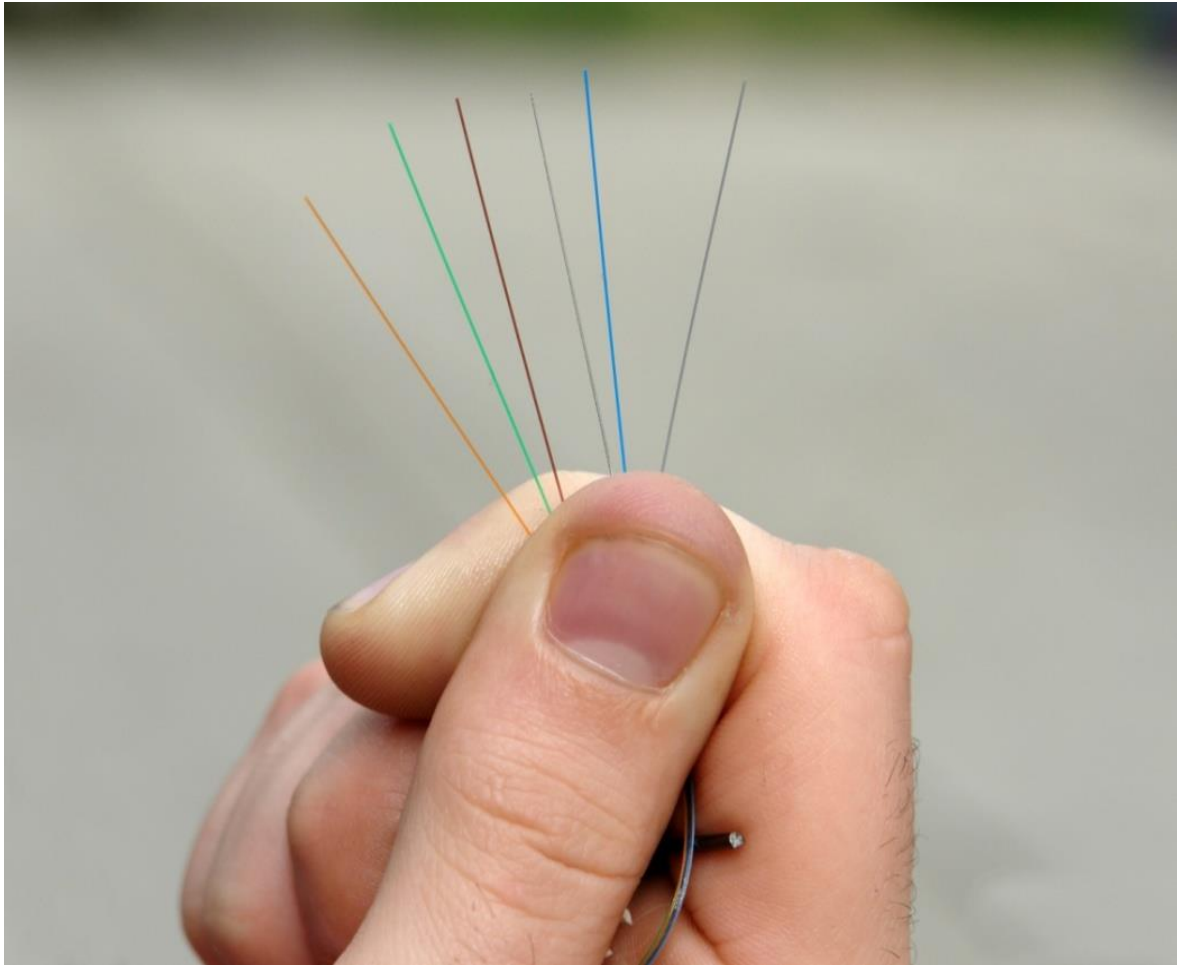
3.2.1. Оптички кабли

Оптичките кабли се составени од повеќе оптички влакна, а сите оптички влакна заедно се обвиткани со надворешна обвивка на кабелот. На почетокот од својот развој оптичките кабли имале релативно мал број оптички влакна (2, 4, 6 или 8 оптички влакна). Денес се произведуваат оптички кабли со по неколку десетици или стотици оптички влакна. Во моментот кога го пишувам овој труд, нашироко се употребуваат оптички кабли со по 24, 48, 64, 72, 90, 128 или 144 оптички влакна.



Слика 23. Оптички кабли со повеќе оптички влакна

Figure 23. Fiber optic cables with many fibers



Слика 24. Оптички влакна

Figure 24. Optical fibers

Оптичките влакна во кабелот се групирани во неколку заеднички пластични обвивки кои се нарекуваат „туби“. Секоја туба може да содржи различен број оптички влакна, во зависност од производителот на кабелот.

За полесна идентификација на оптичките влакна надворешната обвивка на секое влакно е обоена со различни бои. Секоја боја си има свој идентификационен број.













Во една туба обично има оптички влакна само со различна боја. Исто така и тубите се обоени со различна боја за да можат да се разликуваат.

Доколку во една туба има повеќе од 12 оптички влакна, бидејќи има само 12 различни бои, втората група од 12 влакна се обоено со две бои. На пример сина–бела боја или сина боја со бела линија итн.

Во табела 3 се прикажани боите со соодветни кодови за идентификација на оптичките влакна.

Табела 3. Идентификација на оптичките влакна со бои

Table 3. Optical fibers identification with colour code

Fiber Number	Color Code	МКД	Color
1	blue	сина	
2	orange	портокалова	
3	green	зелена	
4	brown	кафена	
5	slate	сива	
6	white	бела	
7	red	црвена	
8	black	црна	
9	yellow	жолта	
10	violet	виолетова	
11	rose	розова	
12	aqua	небесно сина	

Освен тубите и оптичките влакна, оптичките кабли имаат и материјал за зајакнување кој ги штити тенките оптички влакна од надворешни сили.

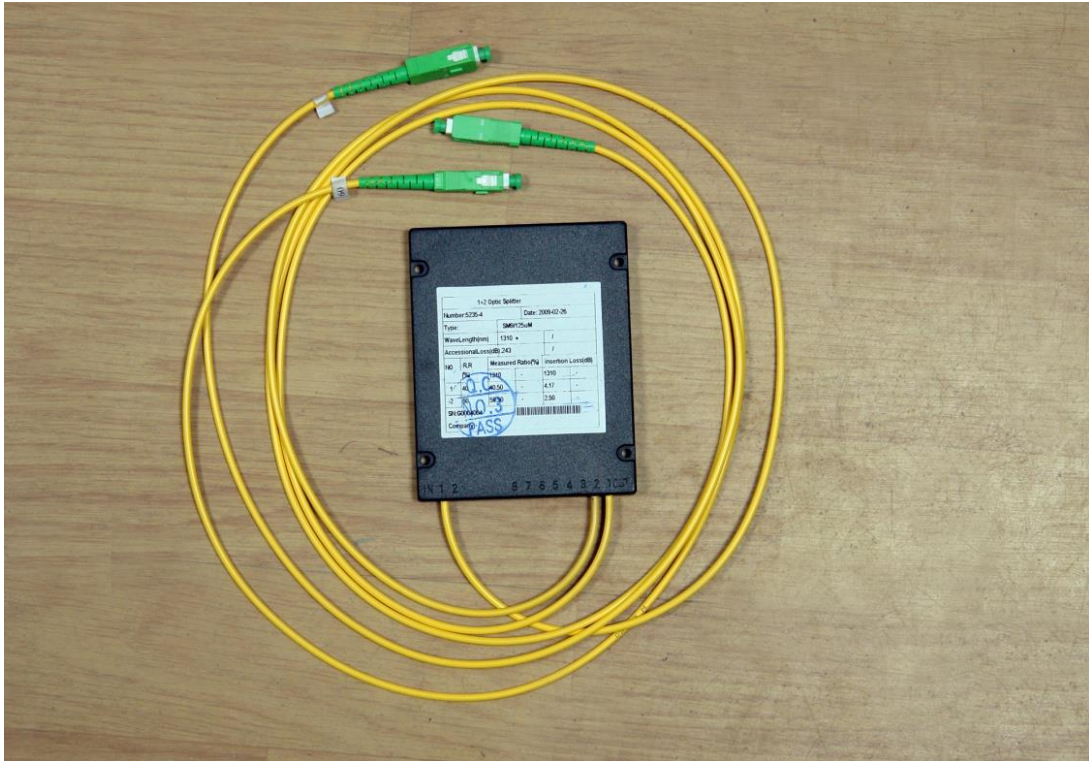
3.2.2. Оптички сплитери (разделници)

Оптичките сплитери, слично како кабелските сплитери за RF сигнал имаат еден влез и два или повеќе излези. Тие го делат оптичкиот сигнал на два или повеќе делови, при што секој излез може да има еднакво или различно ниво на оптички сигнал.

При нарачката на оптичките сплитери може да се бира кој сооднос на оптичкиот сигнал ќе го има на соодветните излези од оптичкиот сплитер. Соодносот може да биде било каков. Од 99%/1% до 50%/50%.

Оптичките сплитери се произведуваат така што на своите краеве можат да имаат оптички конектори или слободни оптички влакна (пигтејли). Оптичките

сплитери со пигтејли треба да се сплајсуваат за да се интегрираат во системот. Оптичките сплитери со конектори се малку поскапи, конекторите имаат поголемо слабеење на оптичкиот сигнал (0,5 dB по конекторски пар), но предноста е во тоа што може често и едноставно да се превклучуваат.



Слика 25. Оптички сплитер со еден влез и два излези (со конектори)
Figure 25. Optical splitter with one input and two outputs (with connectors)

На оптичкиот сплитер обично има залепено налепница со детални податоци за распределбата на сигналите и нивното слабеење за секој од излезите.

3.2.3. Поврзување на оптички влакна со сплајсување и оптички конектори

Оптичките влакна можат да се спојуваат (поврзуваат) или наставуваат на неколку начини. Со меѓусебно трајно поврзување кое се нарекува „сплајсување“ (*splicing*) или преку конектори.

Сплајсувањето се прави со специјални уреди кои се нарекуваат „сплајсери“. Сплајсувањето може да биде најчесто со фузија, односно меѓусебно стопување на стаклените влакна или механичко сплајсување. Претходно оптичките влакна мора да се подготват, да се исчистат, да се исечат со специјален нож за сечење наречен „кливер“, и да се постават во уредот за

сплајсување (сплајсер). Понатаму сплајсерот автоматски ги порамнува оптичките влакна кои треба да се спојат, и со помош на електричен лак ги растопува и меѓусебно трајно ги спојува.

Добар спој на две оптички влакна со помош на фузиски сплајсер има од 0,01 до 0,1 dB слабеење на оптичкиот сигнал. Споевите направени со механички сплајсери имаат поголемо слабеење (околу 0,2 dB). Најголемо слабеење има меѓусебното спојување со помош на конектори.

Добар конектор има релативно големо слабеење: од 0,25 до 0,5 dB. Меѓутоа, предноста на спојувањето со конектори е тоа што може повеќекратно да се спојуваат и раздвојуваат оптичките влакна и воедно да се бира кое со кое влакно да се спојува преку таканаречен „печ-панел“ (*patch panel*) каде што завршуваат влакната од еден или повеќе оптички кабли.

Добар конектор има слабеење колку еден до два километри оптички кабел!!!

Со помош на конекторите и пач-панелот може едноставно да се реконфигурираат постојните споеви помеѓу оптичките влакна. Од друга страна, конекторите се места во оптичкиот систем каде се најчесто се јавуваат проблеми. Проблемите обично се поради несовршениот механички спој помеѓу конекторите или пак загадената површина на конекторот (прашина или нечисти раце на техничарот кој врши спојување на конекторите)

Секој премин од оптичко влакно кон воздух создава околу 0,18 dB слабеење. Две оптички влакна меѓусебно поврзани преку конектори имаат секој по 0,18 dB слабеење, бидејќи секое влакно посебно има сопствен премин од стакленото јадро кон воздушна средина (во самиот конектор). Така, еден спој на две оптички влакна преку конектор обично има околу 0,36 dB слабеење.

3.2.4. Видови на оптички конектори

Постојат повеќе видови на конектори кои се развиени во текот на изминатите години. Веројатно дека во иднина ќе се појават и нови, подобри конектори. Во табела 4 се прикажани некои од најчесто користените оптички конектори.

Во моментов актуелни се SC фамилијата на конектори. Тоа се мали еднадвор пластични конектори со релативно мало слабеење на оптичкиот

сигнал и добро повратно прилагодување доколку површината на конекторот е перфектно чиста.

Во внатрешноста има тенок, долг керамички цилиндар (*ferrule*) со помош на кој се порамнуваат оптичките влакна чии краеве се полирани.



Слика 26. Конектор со „пигтејл“

Figure 26. Connector with pigtail

Керамичкиот цилиндар (*ferrule*) во средината е продупчен со отвор чиј дијаметар е малку поголем од дијаметарот на надворешната стаклена обвивка (*cladding*) на оптичкото влакно. Во тој отвор фабрички е ставено (цементирано) едно кратко оптичко влакно со полиран крај.

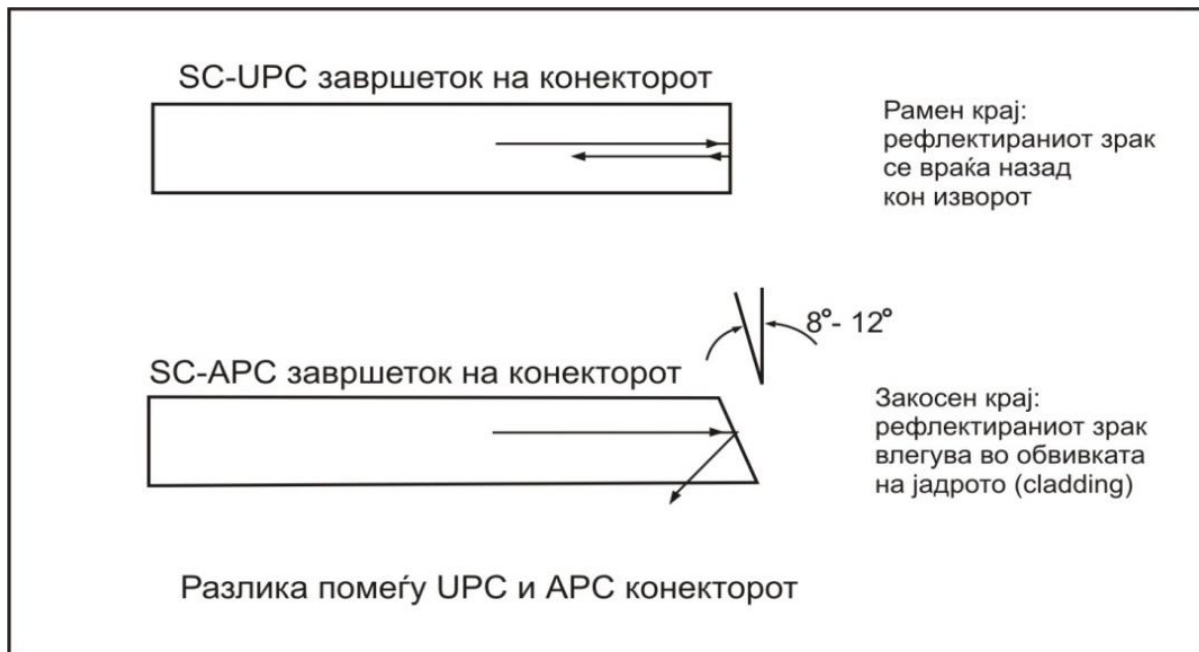
Оптичкото влакно кое фабрички е поврзано со конекторот се нарекува „пигтејл“ (*pigtail*). Другиот крај од пигтејлот се сплајсува на крајот од оптичкото влакно од оптичкиот кабел и на тој начин се монтира конекторот на крајот од оптичкото влакно.

3.2.5. Ултра полирани конектори (UPC) и

Аголно полирани конектори (APC)

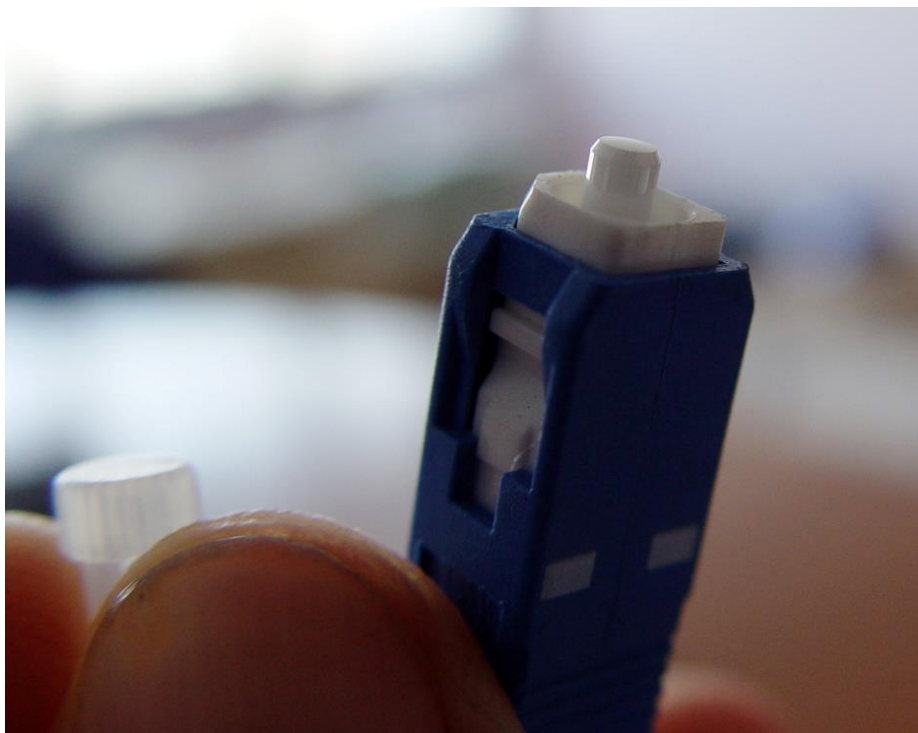
SC конекторите како и некои други видови на конектори се произведуваат со рамен, високополиран крај на конекторот или пак со закосен, аголно полиран крај. Рамниот (SC-UPC) вид на конектор овозможува помало слабеење кога е исчистен прописно, но има за околу 5dB полошо (помало) повратно слабеење отколку закосениот тип на SC конектори (SC-APC).

Причината за помала рефлексija на SC-APC конекторите може да се види на слика 27.



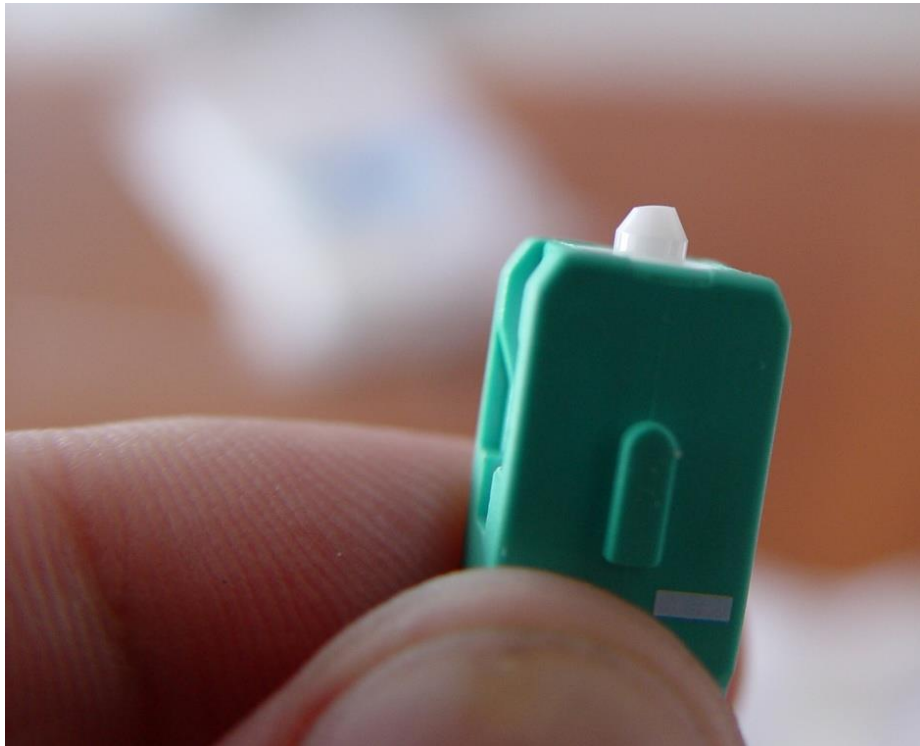
Слика 27. Помала рефлексija на сигналот при закосен крај на конекторот

Figure 27. Lower signal reflection due to angled physical contact (APC) connector



Слика 28. Конектор SC-UPC – сина боја

Figure 28. SC-UPC (ultra physical contact) connector - blue colour



Слика 29. Конектор SC-APC – зелена боја, се гледа закосениот крај на конекторот

Figure 29. SC-APC (angled physical contact) connector – green colour

Кај оптичките системи, повратното слабеење треба да биде поголемо од 40 dB за да не се зголеми шумот во системот, бидејќи директно модулираните ласерски диоди се многу осетливи на рефлексирани зраци



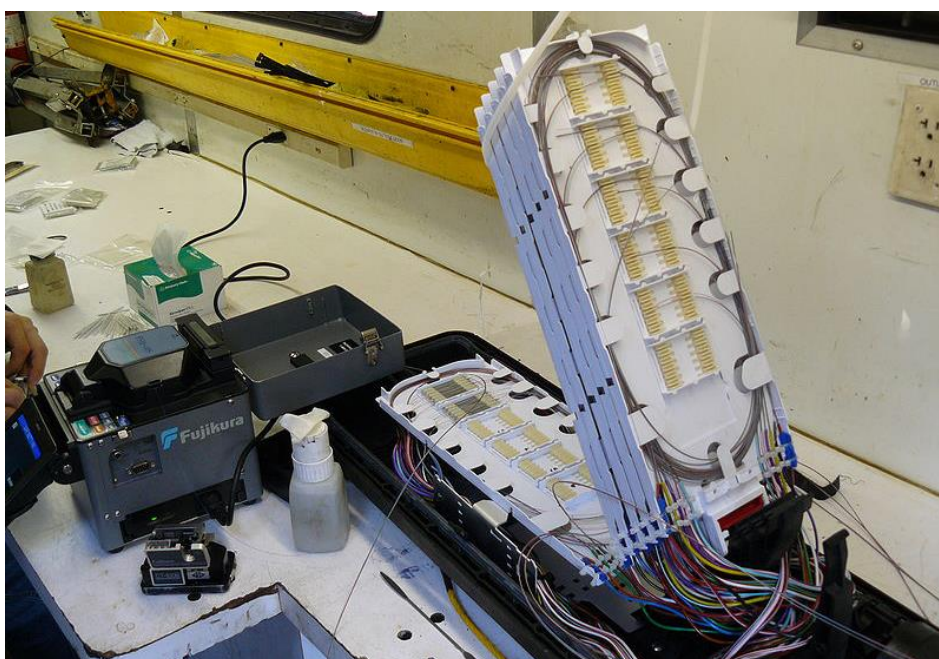
Слика 30. Разни типови на оптички конектори

Figure 30. Various types fiber optic connectors

На конекторите кои не се во употреба треба да има ставено заштитна „капа“ која ги штити од нечистотија.

3.2.6. Сплајс-кутии

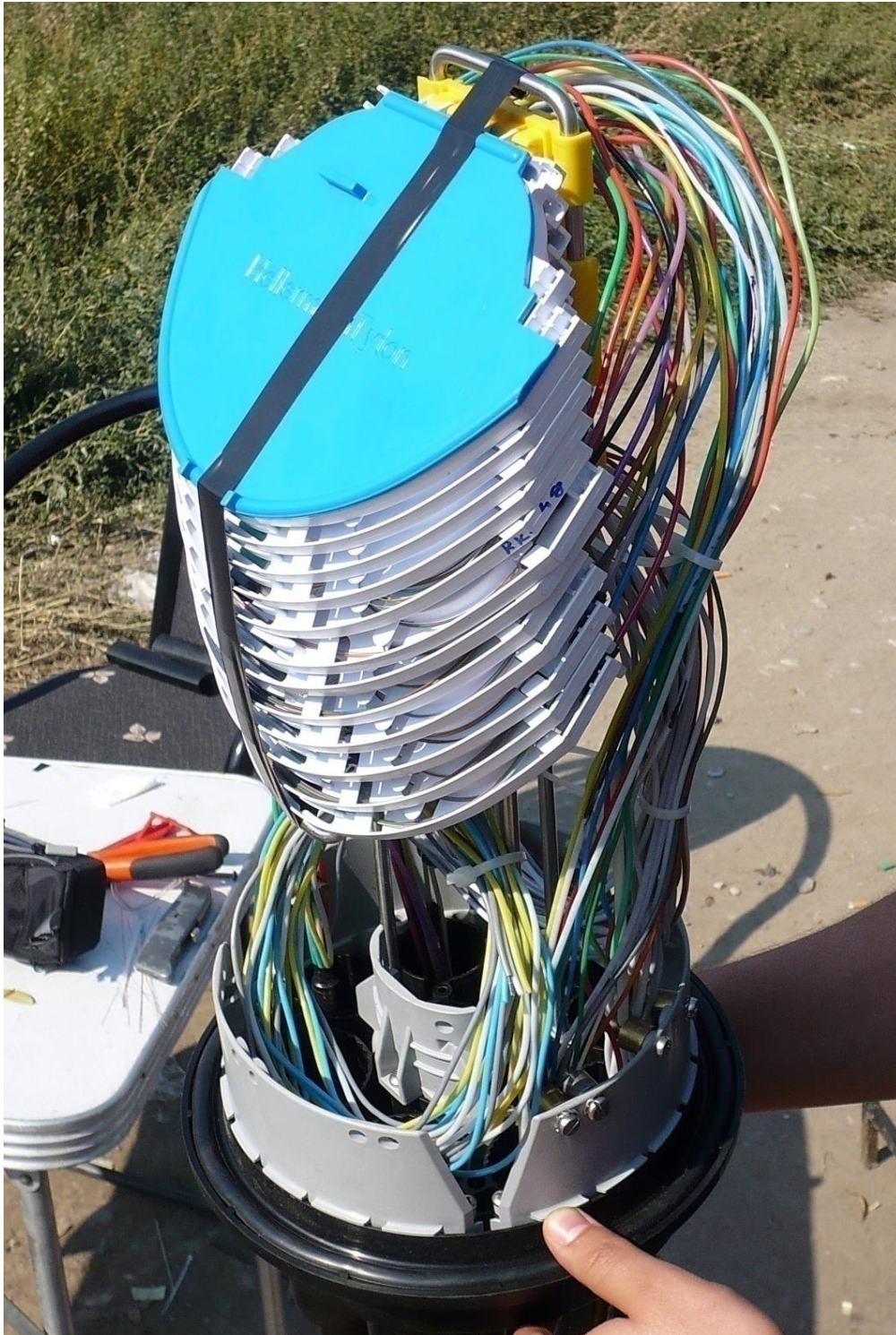
Сплајс-кутиите се пластични или метални кутии во кои се подредени сплајсуваните оптички влакна од еден, два или повеќе оптички кабли. Внатре, оптичките влакна уредно се свиткани и логички подредени и обележани за полесно снаоѓање и идентификување на оптичките врски. Во една сплајс-кутија може да има и повеќе десетици оптички влакна.



Слика 31. Апарат за сплајсување – лево, и сплајс кутија – десно на сликата
Figure 31. Splicer on the left, and splicebox on the right of the picture

Секое наставување (продолжување) на оптички кабел, или пак поврзување со други кабли се врши во соодветна сплајс-кутија.

Сплајс-кутиите обично се поставуваат во шахти, ормани или пак на бандера, кога се работи за надземно поставени оптички кабли.



Слика 32. Сплајс-кутија со туби и оптички влакна во различни бои

Figure 32. Splicebox with tubes and optical fibres in various colours

3.2.7. Печ-панели

Печ-панелите се еден вид мини ормани каде завршуваат оптичките влакна со сплајсувани оптички конектори на своите краеви.



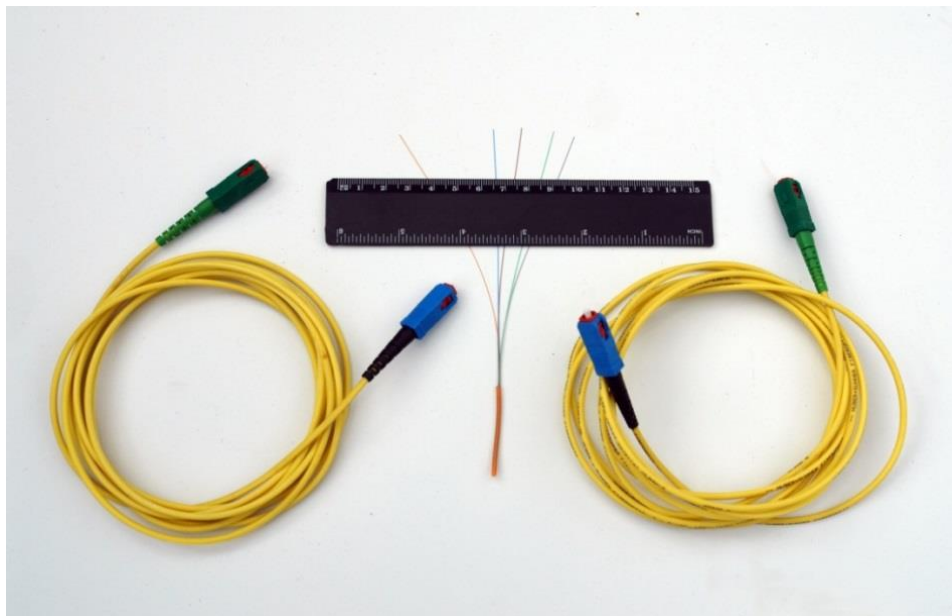
Слика 33. Печ-панели

Figure 33. Patch panels

Обично печ-панелите се поставуваат во главни станици, потстанции или контролни соби, каде оптичките влакна можат да се поврзуваат меѓусебе со оптички конектори.

3.2.8. Печ-корд (*Patch cord*)

Печ-корд претставува парче на оптички кабел (едно оптичко влакно со подебела пластична изолација) кое на двете страни има оптички конектор.



Слика 34. Печ-корди

Figure 34. Fiber optic patch cords

Должината на печкордот може да биде различна. Има печкорди пократки од еден метар како и долги, по неколку десетици метри.

Печкордот служи за поврзување на два оптички уреди во рамките на една просторија, поврзување помеѓу оптичките печ-панели и слично...

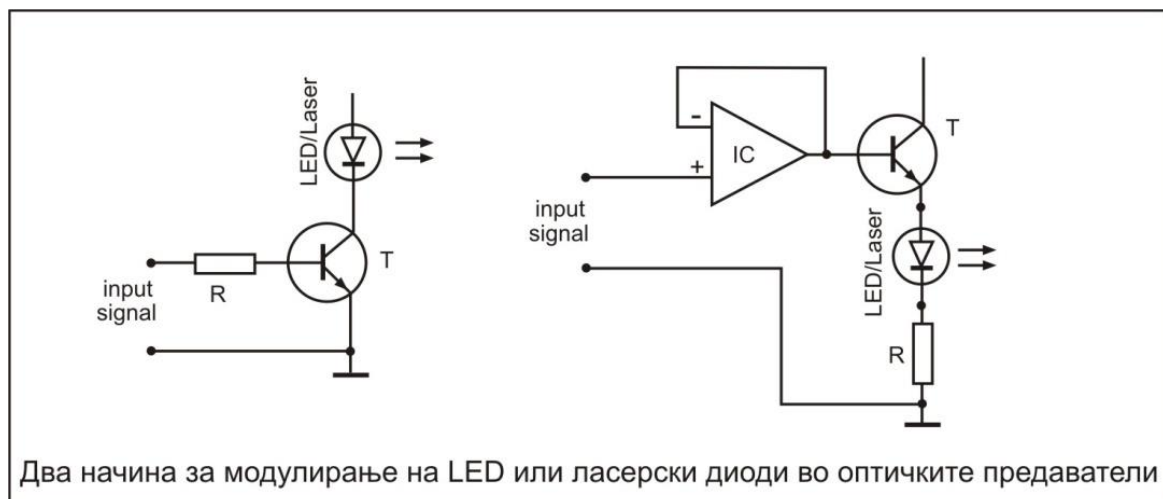
3.2.9. Оптички предаватели (трансмитери)

Оптичките предаватели по својата функција се слични на модулаторите. Модулаторите генерираат RF-сигнал и на него го втиснуваат корисниот сигнал (аудио-видео или дата сигнал) Притоа, RF-сигналот се користи како „носител“ или транспортер на корисната информација преку коаксијалниот кабел.

Слично на ова, оптичкиот предавател генерира светлински зрак и на него го втиснува корисниот сигнал (модулирани RF сигнали, дата сигнали и сл.)

Како генератор (извор) на светлински зрак, се употребуваат два вида на диоди. LED (лед диода) и LD (ласерска диода).

Лед диодата е поевтина, поедноставна и генерира некохерентна светлина со мала моќност. Ласерската диода е многу поскапа, генерира кохерентен ласерски зрак со голема моќност и многу тесен спектар на бранова должина. Од друга страна, лед диодата има поголема линеарност од ласерската диода, но емитуваната светлина е со широк спектар на бранови должини.



Слика 35. Модулирање на LED и ласерски диоди во оптичките предаватели

Figure 35. LED and laser diode modulation in fiber optic transmitters

Во кабелските дистрибутивни системи се употребува линеарна амплитудна модулација на ласерската диода при што комплетниот RF спектар со сите носечки RF-сигнали се модулираат (втиснуваат во ласерскиот зрак и понатаму преку оптичките кабли се пренесуваат до оптичките нодови или приемници. Линеарната амплитудна модулација на ласерската диода е релативно осетлива на шум.



Слика 36. Оптички предаватели (во средината е оптички EDFA засилувач)
 Figure 36. Fiber optic transmitters (in the middle is EDFA fiber optic amplifier)

Потребната моќност на оптичкиот предавател се одбира во зависност од проектираната должина на оптичкиот линк, односно слабењето на оптичкиот сигнал во оптичките влакна и другите оптички елементи (оптички буџет)

Моќноста на оптичкиот предавател може да биде изразена во mW или во dBm. (0 dBm = 1 mW, +3dBm = 2 mW, +6 dBm = 4 mW, +9dBm = 8 mW, +12 dBm = 16 mW, +15 dBm = 32 mW итн.)

3.2.10. Оптички приемници

Оптичките приемници се уреди кои го примаат ласерскиот зрак од оптичкото влакно (со помош на фотодиода) и го претвораат во електрични сигнали идентични на сигналите со кои се модулирал оптичкиот предавател.

Оптичките приемници треба да бидат доволно линеарни и осетливи за да можат да го примат релативно ниското ниво на оптичкиот сигнал кој доаѓа преку оптичкото влакно.

За оптимална работа на оптичкиот приемник (со релативно ниско ниво на шум) оптичкиот сигнал на влезот на приемникот треба да има оптичко ниво не помало од 0 dBm.

Моќноста на оптичкиот предавател (ласерскиот зрак) е ограничена на +12 до +17 dBm поради „SBS–Stimulated Brillouin Scattering“ и другите нелинеарни оптички влијанија, додека нивото на приемниот оптички сигнал треба да биде околу 0 dBm за да се зачува потребниот сигнал/шум во приемникот. Така, вредноста од околу 17 dBm практично го претставува „оптичкиот буџет“ за типичен широкопојасен оптички линк.



Слика 37. Оптички приемник за повратен пат (предна страна)

Figure 37. Return path optical receiver (front side)

Оптичките предаватели и оптичките приемници сами за себе не се линеарни уреди, туку уреди со „квadratна“ зависност од моќноста на влезниот сигнал. Така, емитираната излезна моќност на оптичкиот предавател е пропорционална со јачината на струјата на влезниот RF сигнал, односно со квадратниот корен од моќноста на влезниот RF сигнал. На другата страна од оптичкиот линк, во оптичкиот приемник (оптичкиот детектор), добиената RF излезна моќност е пропорционална со квадратниот корен од моќноста на оптичкиот сигнал на влезот од приемникот. На тој начин, вкупниот оптички линк е практично линеарен.

Поради „квadratната зависност“ на оптичкиот приемник од оптичката моќност на влезниот сигнал, промената од 1dB на оптичко ниво на влезот од

приемникот, ќе резултира со 2dB промена на нивото на RF сигнал добиен од оптичкиот приемник.

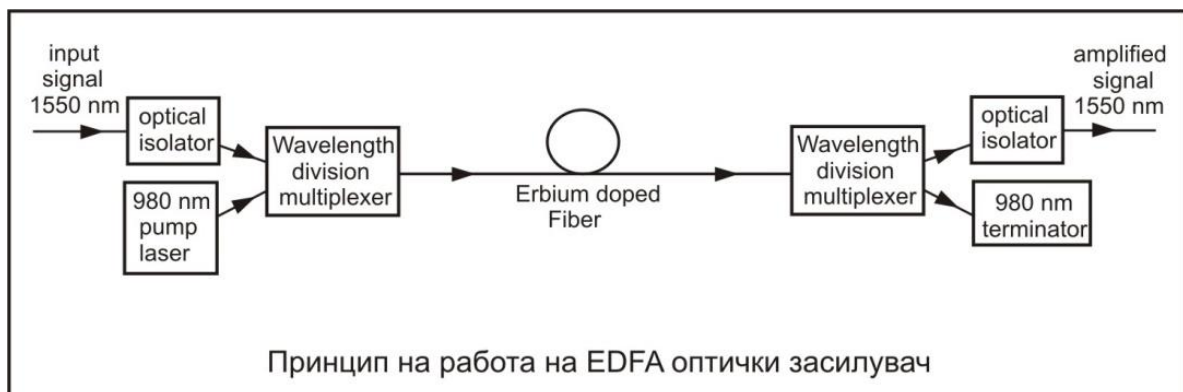
3.2.11. Оптички засилувачи

Оптичките засилувачи го засилуваат нивото на амплитудно модулираниот оптички сигнал без да има потреба од претворање на оптичкиот сигнал во електричен RF сигнал, потоа RF засилување и повторно претворање на RF сигналот во оптички.

За да се разбере принципот на работа на оптичките засилувачи, потребно е знаење од атомската физика која е надвор од темата на овој труд.

Најчесто се употребува таканаречениот EDFA оптички засилувач (*Erbium-Doped Fiber Amplifier*) кој се употребува за засилување на оптичкиот сигнал со бранова должина од 1550 nm.

Составен дел на EDFA засилувачот е специјално оптичко влакно кај кое јадрото е изработено од чисто кварцно стакло збогатено со атоми на ербиум (ербиумот е многу редок хемиски елемент). Во тоа оптичко влакно се инјектира енергија од ласер со голема моќност кој емитува ласерски зрак со бранова должина од 980 nm.



Слика 38. Принцип на работа на EDFA засилувач

Figure 38. Working principle of EDFA amplifier

Кога слабиот оптички сигнал со бранова должина од 1550 nm ќе влезе во оптичкото влакно на EDFA засилувачот, ласерскиот зрак ги стимулира атомите на ербиумот да ја ослободат акумулираната енергија како додатна 1550 nm ласерска светлина. Овој процес продолжува како што сигналот поминува низ

оптичкото влакно на EDFA засилувачот, така сигналот станува сè појак и појак. Фотоните го засилуваат влезниот оптички сигнал, зголемувајќи ја неговата амплитуда без речиси никакви активни елементи, освен додатниот 980 nm ласер што служи како „пумпа“ за инјектирање на (980 nm) ласерски зрак кој служи како еден вид катализатор. Моќниот 980 nm ласер придонесува атомите од ербиумот во оптичкото влакно на EDFA засилувачот, да „скокнат“ во повисоко енергетско ниво. Кога истите атоми под дејство на слабиот влезен оптички сигнал од 1550 nm ќе се вратат во нивните нормални енергетски нивоа, разликата во енергиите го засилува сигналот од 1550 nm.

Ширината на „ербиум“ прозорот со бранови должини при кои може да се употребува EDFA оптичкиот засилувач изнесува само околу 30 nm (1530 nm до 1560 nm).

Постојат и дуал банд оптички засилувачи DBFA – *Dual Band Fiber Amplifiers* кај кои ширината на брановата должина при која можат да се употребуваат е во границите од 1528 nm до 1610 nm. DBFA засилувачот практично е составен од два оптички засилувачи. Едниот е сличен на EDFA оптичкиот засилувач а другиот е наречен EBFA – *Extended Band Fiber Amplifier*.

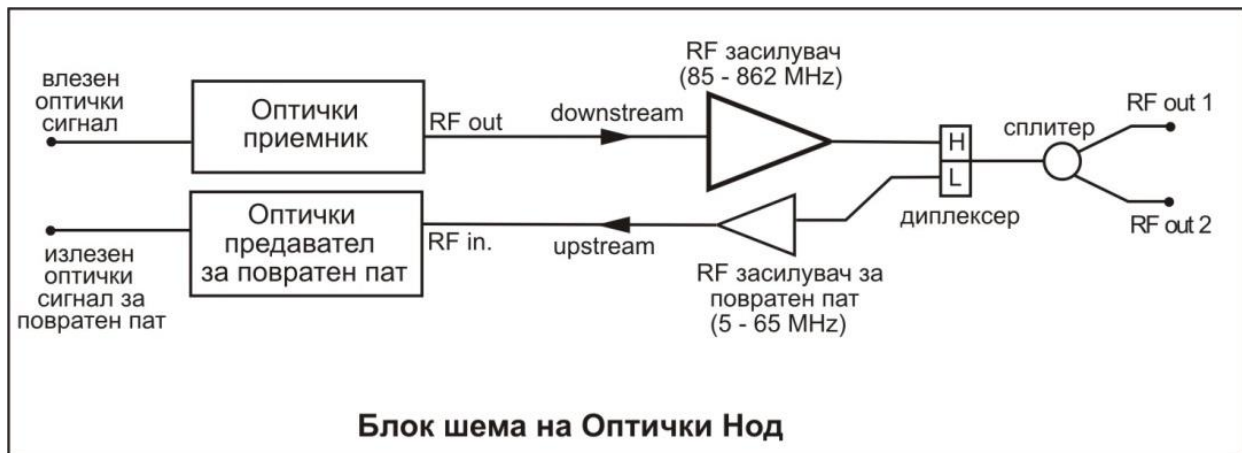
3.2.12. Оптички нодови

Оптичкиот нод е уред кој ја прима модулираната ласерска светлина од оптичкиот предавател и ја конвертира во ист повеќеканален (downstream) RF сигнал каков што бил донесен во оптичкиот предавател.

Downstream сигналот е мултиплексен сигнал кој во себе ги содржи сите аналогни и дигитални ТВ канали, како и сигналите од дојдовниот интернет сообраќај кои се испраќаат од главната станица кон крајните корисници.

Понатаму овој downstream RF сигнал се засилува (во склоп на оптичкиот нод има и RF засилувач) и преку коаксијалната кабелска мрежа се пренесува до крајните корисници. RF-сигналот кај корисниците може директно да се прима со помош на ТВ приемник (само аналогните ТВ канали).

При користење на двонасочна мрежа за пренос на интернетот по EuroDOCSIS стандардот, појдовниот интернет сообраќај во вид на RF сигнал од кабелскиот модем кај корисниците се пренесува преку повратниот пат на коаксијалната кабелска мрежа до оптичкиот нод.



Слика 39. Блок шема на оптички нод

Figure 39. Block diagram of optical node

Оптичкиот нод во себе има оптички предавател за upstream сигналот од повратниот пат. RF сигналот (upstream) кој доаѓа од кабелските модеми кај корисниците, преку повратниот пат на коаксијалната кабелска мрежа доаѓа до конекторите за коаксијален кабел на нодот (RF out1 и RF out1). Понатаму, (во диплексер филтерот на нодот), овој upstream-сигнал се одвојува од downstream-сигналот, се модулира во оптичкиот предавател на нодот, и се испраќа преку друго оптичко влакно до главната станица каде има оптички приемник за повратниот сигнал.

Оптичкиот приемник го прима оптичкиот сигнал (*upstream*) од повратниот пат и го претвора во електричен RF сигнал кој понатаму, со коаксијален кабел се води до CMTS уредот во главната станица на кабелскиот дистрибутивен систем.

Потребното оптимално ниво на (*downstream*) оптичкиот сигнал на влезот на оптичкиот приемник (во нодот) изнесува 0 dBm. Пониско ниво од оптималното многу бргу го смалува односот сигнал/шум на детектираниот RF сигнал и на тоа треба многу да се внимава при проектирањето на оптичкиот сегмент од кабелската дистрибутивна мрежа.

Постојат оптички нодови кај кои се користи само едно оптичко влакно за двонасочен пренос. На пример, за сигналите од главната станица до оптичките нодови се користи предавател со бранова должина од 1310 nm, а од оптичкиот нод, за сигналите од повратниот пат, преку предавател со бранова должина од

1550 nm, низ едно исто влакно се пренесуваат до главната станица, односно до оптичкиот приемник за повратниот пат.

Нодовите можат да се напојуваат со електрична енергија на ист начин како CATV засилувачите во коаксијалниот сегмент на КДС, односно од далечен извор на 220 V и трансформатор (220/65V) преку коаксијалниот кабел, или од локален извор на 220 V во орманот каде е сместен нодот.



Слика 40. Оптички нод (надворешен изглед)

Figure 40. Optical node (outside view)

3.2.13. Медија конвертори

Во системите каде се применува LAN мрежа за пренос на интернетот, се употребуваат специјални уреди (оптички примопредаватели) кои се нарекуваат медија конвертори. Медија конверторите во себе имаат оптички приемник и оптички предавател кои се всушност и конвертори кои ги претвораат електричните дигитални „дата“ компјутерски сигнали во оптички и обратно.

За разлика од линеарната модулација која се употребува за пренос на сигналите помеѓу главната станица и нодовите, медија конверторите употребуваат многу поедноставна дигитална модулација на ласерскиот зрак,

односно „прекинувачка“ (пулсирачка) ласерска светлина во зависност од „единиците“ и „нулите“ на бинарниот дигитален дата сигнал.



Слика 41. Медија конвертор со две (лево), и со едно оптички влакно (десно)
Figure 41. Media convertor with 2 (on the left), and 1 optical fibre (on the right)

Приемниот дел на медија конверторите треба само да детектира присуство или отсуство на ласерска светлина и адекватно го репродуцира оригиналниот бинарен дата сигнал. Дигиталната модулација е многу поедноставна за разлика од линеарната. Исто така, при преносот на сигналите со дигитална модулација може да се толерира многу повисоко ниво на шум.

Современите дигитални оптички системи можат да постигнат брзина од 10 Gbps. Истовремено, можат да се толерираат загуби во оптичкиот линк, помеѓу оптичкиот предавател и приемник дури до 30 dB па и повеќе.

Денес се употребуваат 100 мегабитни, како и гигабитни медија конвертори во зависност од брзината која ја поддржуваат.

3.3.1. Примена на оптичката технологија во КДС

Во современите хибридни оптичко коаксијални (HFC) кабелски мрежи, оптичката технологија е широко употребувана. Најчесто се користи 1310 нанометарска технологија која е постара. Денес сè почесто се употребува и 1550 нанометарска технологија која е понова и поскапа, но има помало слабеење низ оптичката кабелска мрежа.

За пренос на аналогните ТВ канали се употребува аналогна модулација. Целиот RF спектар на сигнали од 85 до 862 MHz во главната станица се доведува во оптички предавател (трансмитер) каде се врши амплитудна модулација на ласерската диода која емитува ласерски модулиран зрак во оптичката кабелска мрежа. Ласерскиот зрак преку оптичките кабли се пренесува до повеќе јазли (оптички приемници – нодови).

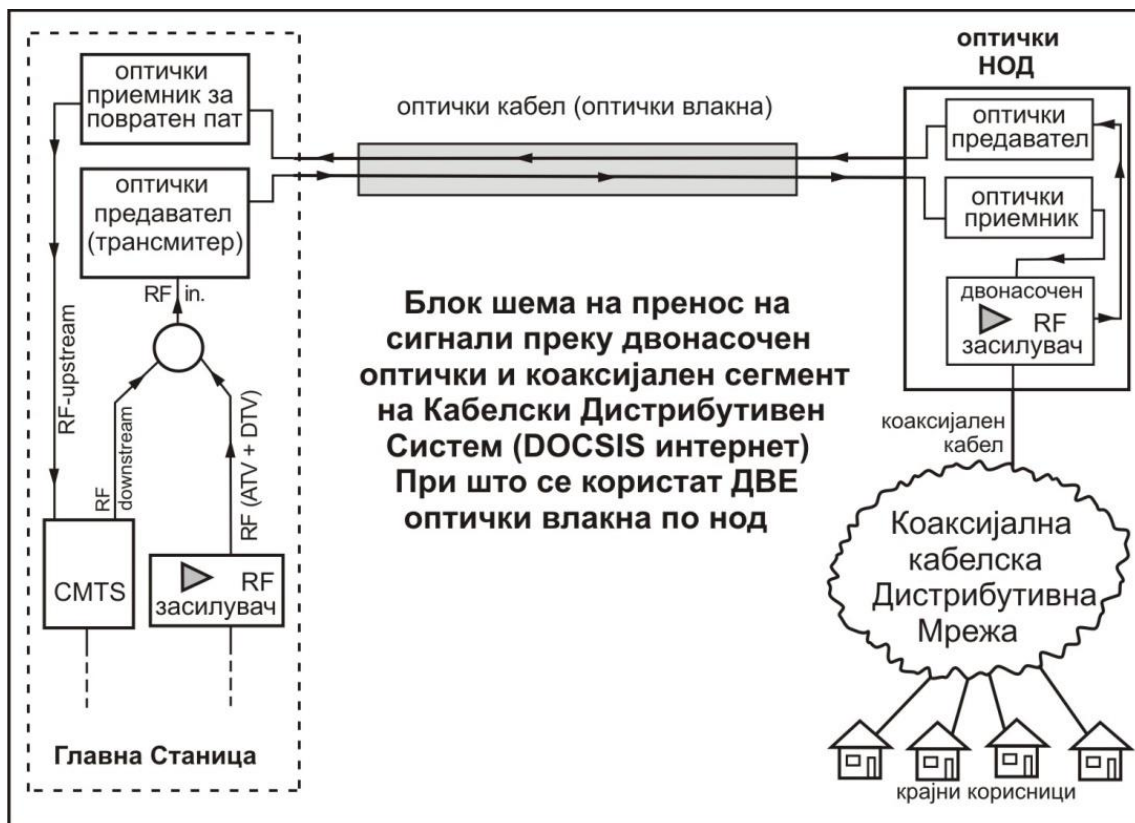
На слика 42 е прикажан орман со оптички нодов и придружни елементи од кои понатаму продолжуваат коаксијални кабли и други елементи на коаксијалниот сегмент од кабелската дистрибутивна мрежа, сè до крајните корисници:



Слика 42. Метален орман со оптички нод, сплајс кутија, напонски внесувач, трансформатор за напојување на засилувачите преку коаксијалниот кабел, автоматски осигурувачи и други елементи по потреба.

Figure 42. Metal cabinet with optical node, splicebox, power-inserter, transformer for powering the amplifiers through coaxial cable, automatic electric fuse, and other elements when needed.

Во нодовите ласерската светлина се прима и повторно се конвертира во ист повеќеканален RF-сигнал каков што беше донесен во оптичкиот предавател. Понатаму овој RF-сигнал се засилува (во склоп на оптичкиот нод има и RF засилувач) и преку коаксијалната кабелска мрежа се пренесува до крајните корисници. RF-сигналот кај корисниците може директно да се прима со помош на ТВ приемник.

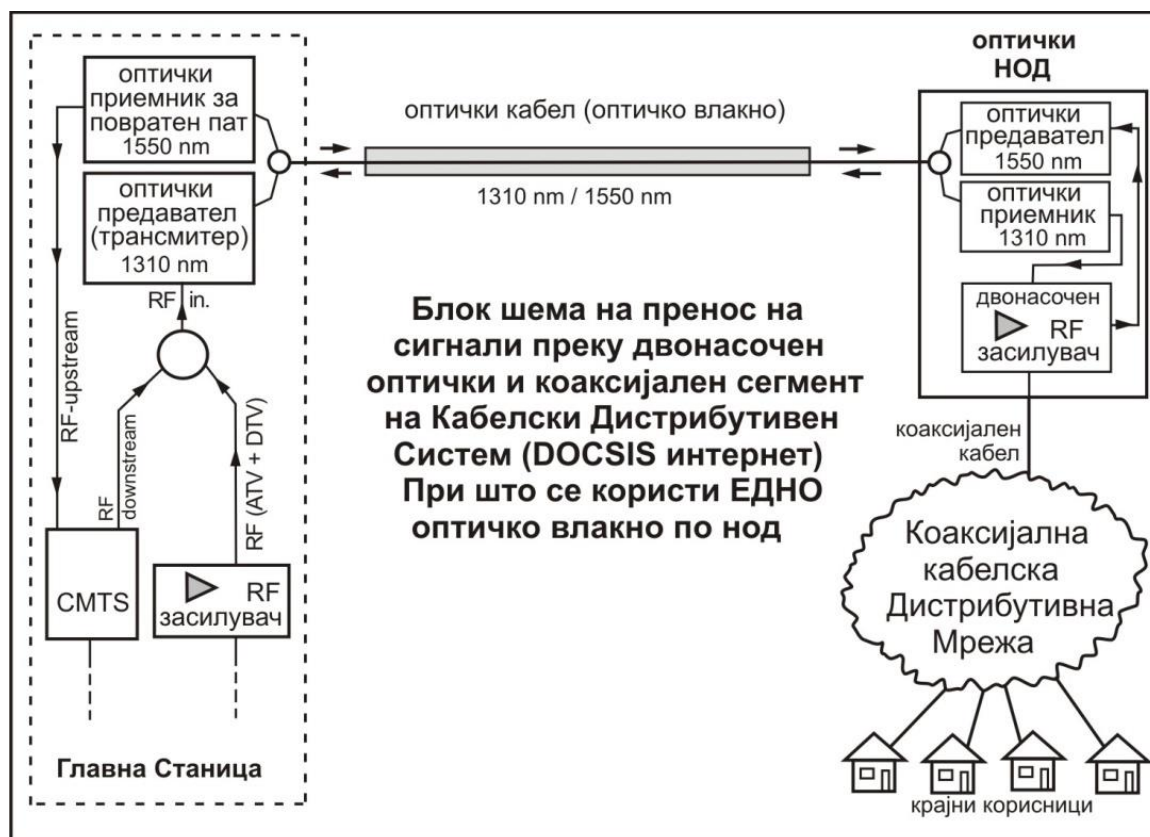


Слика 43. Блок шема на пренос на сигнали преку хибридна мрежа (1)

Figure 43. Block diagram of HFC signal distribution (1)

При користење на двонасочна мрежа за пренос на интернетот по EuroDOCSIS стандардот, појдовниот интернет сообраќај во вид на RF сигнал од кабелскиот модем кај корисниците се пренесува преку повратниот пат на коаксијалната кабелска мрежа до оптичкиот нод. Оптичкиот нод во себе има оптички предавател за повратниот пат. RF сигналот од повратниот пат се модулира во оптичкиот предавател на нодот и се испраќа преку друго оптичко влакно до главната станица каде има оптички приемник за повратниот сигнал. Ова е прикажано на слика 43.

Но, може да се користи и само едно оптичко влакно за двонасочен пренос. На пример, за сигналите од главната станица до оптичките нодови се користи предавател со бранова должина од 1310 nm, а од оптичкиот нод, за сигналите од повратниот пат преку предавател со бранова должина од 1550 nm преку едно исто влакно се пренесуваат до главната станица. Ова е прикажано на слика 44.



Слика 44. Блок шема на пренос на сигнали преку хибридна мрежа (2)

Figure 44. Block diagram of HFC signal distribution (2)

3.3.2. Пресметка на слабеењето на оптичкиот сигнал преку оптички линк (оптички буџет)

При пресметка на слабеењето на елементите од пасивната оптичка мрежа (*PON-Pasive optical Network*) појдовна точка ни е моќноста на оптичкиот предавател и нивото на оптичкиот сигнал во приемникот кое треба да изнесува 0 dBm.

Табела 4. Конверзија на децибели во моќност и проценти на моќност

Table 4. Decibels to power conversion and power percentage

Табела за конверзија на децибели во моќност и проценти на моќност			
dB	Моќност на излезот како % од моќноста на влезот	% на изгубена моќност	забелешка
1	79	21	-
2	63	37	-
3	50	50	1/2 од моќноста
4	40	60	-
5	32	68	-
6	25	75	1/4 од моќноста
7	20	80	1/5 од моќноста
8	16	84	1/6 од моќноста
9	12	88	1/8 од моќноста
10	10	90	1/10 од моќноста
11	8	92	1/12 од моќноста
12	6,3	93,7	1/16 од моќноста
13	5	95	1/20 од моќноста
14	4	96	1/25 од моќноста
15	3,2	96,8	1/30 од моќноста
16	2,5	97,5	1/40 од моќноста
17	2	98	1/50 од моќноста
18	1,6	98,4	1/60 од моќноста
19	1,3	98,7	1/80 од моќноста
20	1	99	1/100 од моќноста

Ова се податоци за слабеењето на елементите на оптичката мрежа:

1. Оптичкиот кабел има слабеење од 0,33 dB/km за бранова должина од 1310nm, и 0,23 dB/km за бранова должина од 1550 nm.

2. Точките на меѓусебно спојување на оптичките кабли (сплајсови) внесуваат околу 0,02 до 0,1 dB (за пресметка ја користиме вредноста од 0,1 dB). Притоа треба да имаме на ум дека оптичките кабли се испорачуваат во

котури од по 2000 м (2km) така што за големи должини треба на слабеењето на оптичкиот кабел да го додадеме и слабеењето на секој сплајс посебно.

3. Слабеењето на оптичките конектори изнесува околу 0,5 dB за конекторски пар. Бидејќи секој конекторски пар има дури 10 пати поголемо слабеење од еден сплајс, треба да ја избегнуваме употребата на конектори секаде каде тоа е можно. Се разбира дека конекторот е неопходен на местата каде се приклучуваат оптичкиот предавател и оптичкиот приемник. Треба да се земе предвид слабеењето на конекторите во печ-панелот, во главната станица или во потстананицата, доколку ги има.

4. Оптичките сплитери внесуваат слабеење на оптичкиот сигнал во зависност од бројот на излезни сигнали. За секој излез од оптичкиот сплитер треба да се вкалкулира соодветното слабеење. Така на пример, оптички сплитер со два еднакви излези има околу 3,5 dB слабеење за секој излез. Во зависност од потребите, може да се одбере сплитер со било каков однос на распределба на оптичката моќност помеѓу излезните порти на сплитерот.

Со помош на табела 4 може лесно да се определи слабеењето на сплитерот во dB ако е дадена моќноста на секој излез од сплитерот во % и обратно.

На едната страна од оптичкиот линк се наоѓа оптичкиот предавател со определена излезна оптичка моќност, а на другата страна од оптичкиот линк се наоѓа оптичкиот приемник на чиј влез треба да пристигне оптички сигнал со ниво не помало од 0dBm.

Поради нелинеарните оптички карактеристики на оптичкото влакно, кои покрај другото, зависат и од излезната моќност на ласерскиот зрак, моќноста на оптичкиот предавател е ограничена на 17 dBmW. Од друга страна, нивото на приемниот оптички сигнал треба да биде околу 0 dBm за да се зачува потребниот сигнал/шум во приемникот. Така, вредноста од околу 17 dBm практично го претставува оптичкиот буџет за типичен широкопојасен оптички линк.

Ако го пресметаме слабеењето на оптичкото влакно (кабелот), конекторите кај предавателот и приемникот и по еден сплајс на секои 2 километри кабел (кабелот се испорачува во котури од по 2 km) ќе добиеме дека максималната должина на оптичкиот широкопојасен линк со линеарна модулација, може да изнесува околу 50 до 55 километри максимално.

Моќноста на оптичкиот предавател е изразена во **mW** или во **dBmW**.

Во табела 5 е прикажан односот помеѓу тие две величини:

Табела 5. Однос помеѓу mW и dBmW

Table 5. mW and dBmW ratio

Излезна моќност на оптичкиот предавател	
mW	dBmW
1	0
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

Должината на оптичкиот линк за пренос на дигитални сигнали (дигитална импулсна модулација) може да биде двојно поголема бидејќи дигиталната модулација е многу поотпорна на шумови и нелинеарни изобличувања при оптичкиот пренос на сигнали.

3.4. Истовремено пренесување на повеќе оптички сигнали преку едно оптичко влакно (оптичко мултиплексирање по бранови должини)

Преку едно оптичко влакно истовремено може да се пренесуваат повеќе независни оптички сигнали со различни фреквенции (бранови должини) при минимални меѓусебни влијанија. Со тоа се зголемува капацитетот за пренос на повеќе различни корисни сигнали. Така, преку едно оптичко влакно истовремено може да се пренесуваат повеќе пакети на видео и аудио сигнали, повеќе пакети на ТВ аналогни и дигитални канали, компјутерски дигитални дата сигнали итн.

Сложениот мултиплексен оптички сигнал е составен од повеќе оптички сигнали со различни фреквенции односно бранови должини (*Wavelength Multiplexing*)

Оптичкиот фреквенциски спектар е составен од неколку појаси (bands) на бранови должини. Фреквенцискиот појас со бранови должини од 1260 до 1360 nm се нарекува „O-Band“. Фреквенцискиот појас со бранови должини од 1360 до 1460 nm се нарекува „E-Band“. Фреквенцискиот појас со бранови должини од 1460 до 1530 nm се нарекува „S-Band“. Фреквенцискиот појас со бранови должини 1530 до 1565 nm има најмало слабеење и најмногу се користи во густо пакуваниот фреквенциски мултиплекс се нарекува „C-Band“, и на крајот, фреквенцискиот појас со бранови должини од 1565 до 1625 nm се нарекува „L-Band“.

Секогаш кога низ едно оптичко влакно се пуштаат два или повеќе оптички сигнали со различни фреквенции, односно бранови должини, зборуваме за „мултиплексирање по бранови должини“. Постојат неколку различни видови на мултиплексирање на оптички сигнали со различни бранови должини. Тоа се:

- a) 1310/1550 (dual-wavelength multiplexing) познат како WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*). Тоа е најстар оптички мултиплекс. Се употребуваат само два оптички сигнали со две бранови должини. Едниот сигнал има бранова должина од 1310 нанометарскиот прозор, и вториот сигнал со бранова должина од 1550 нанометарскиот прозор. Според ITU стандардот (*ITU=international telecommunication union*), секое оптичко мултиплексирање по бранови должини, при кој брановите должини на оптичките сигнали се разликуваат повеќе од 50 nm се нарекува WWDM.
- b) CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) – Најнапред се употребувале само осум бранови должини со меѓусебно растојание од 20 nm во 1550 нанометарскиот прозор. Според ITU стандардот, секое оптичко мултиплексирање по бранови должини, при кое брановите должини на оптичките сигнали се разликуваат од 8 до 50 nm се нарекува CWDM. Подоцна овој оптички мултиплекс се

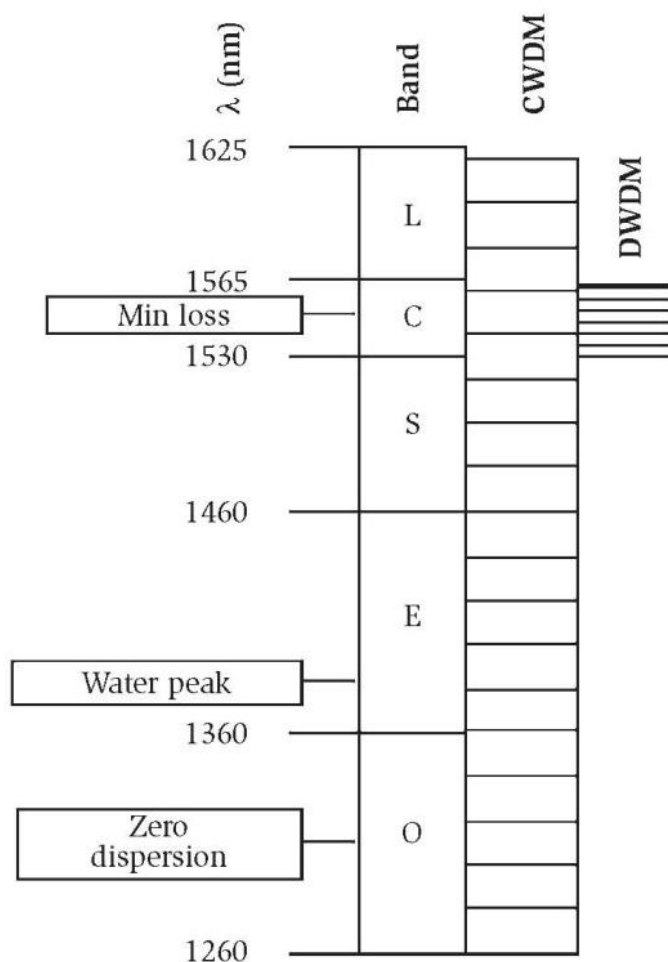
проширува на сите бранови должини помеѓу 1270 и 1625 nm со вкупно 18 различни бранови должини на меѓусебно растојание од 20 nm. Се разбира, со употреба на оптички кабли без таканаречениот „Воден пик“.

- с) DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) – Најнапред, според ITU стандардот се дефинирале 45 различни бранови должини на растојание од 0,8 nm (100 GHz) во третиот, 1550 нанометарски прозор. Подоцна бројот на фреквенции кои се на располагање се дуплирал при што се добиле 90 различни бранови должини на меѓусебно растојание од само 0,4 nm (50 GHz). Денес, под поимот DWDM се подразбира „густо пакуван“ оптички мултиплекс по бранови должини, со меѓусебно растојание на оптичките сигнали од 50 GHz (0,4 nm), 100 GHz (0,8 nm) или 200 GHz (1,6 nm). Во најново време е развиен и „Ultra DWDM“ пакување на каналите со 320 канали (во „ербиум“ прозорот од 1530 до 1560 nm) со меѓусебно растојание од 12,5 GHz, односно 0,1 nm.

Сите горенаведени видови на оптички мултиплекс по бранови должини имаат неколку општи заеднички карактеристики:

- Колку се помали растојанијата помеѓу оптичките сигнали во оптичкиот мултиплекс, толку потешко и поскапо е меѓусебното раздвојување во демултиплексерите. Потешко се постигнува потребната меѓусебна изолација, а слабеенето на сигналите е поголемо.
- Колку се помали растојанијата помеѓу оптичките сигнали во оптичкиот мултиплекс по бранови должини, толку е потребна поголема фреквенциска стабилност на оптичкиот предавател.
- Колку повеќе оптички сигнали се употребуваат истовремено преку едно оптичко влакно, толку помала моќност треба да има секој од сигналите за даден степен на меѓусебно влијание и попречување поради нелинеарните карактеристики на оптичкото влакно.

На слика 45 графички се прикажани поодделните фреквенциски појаси (*band*-ови) CWDM-канални и DWDM-канални:



Слика 45. CWDM и DWDM фреквенциски појаси и канали

Figure 45. CWDM and DWDM frequency bands and channels

Таканаречениот „C-Band“ има најмало слабење на оптичките сигнали. Овој банд се нарекува и „Erbium Window“ бидејќи во тој појас на бранови должини работат оптичките засилувачи базирани на оптичко влакно збогатено со атоми на ербиум (EDFA-*erbium doped fiber amplifier*). Токму овие бранови должини најчесто се употребуваат при DWDM мултиплексирањето.

Во кабелските дистрибутивни системи се применува линеарна DWDM технологија и најчесто се употребува растојание од 200 GHz (1,6 nm) помеѓу каналите.

Во табела 6 се наведени 20 најчесто употребувани DWDM канали:

Табела 6. Најчесто употребувани DWDM канали

Table 6. Most often used DWDM channels

Најчесто употребувани DWDM канали	
Бранова должина (nm)	Ознака на каналот (според ITU)
1560,61	C21
1558,98	C23
1557,36	C25
1555,75	C27
1554,13	C29
1552,52	C31
1550,92	C33
1549,32	C35
1547,72	C37
1546,12	C39
1544,72	C41
1542,94	C43
1541,35	C45
1539,77	C47
1538,19	C49
1536,61	C51
1535,04	C53
1533,47	C55
1531,90	C57
1530,33	C59

Во зависност од потребите и бројот на канали при оптичкото мултиплексирање по бранови должини, различни производители нудат опрема за различни комбинации на канали.

3.4.1. Уреди за оптичкото мултиплексирање по бранови должини

При користење на оптичко мултиплексирање по бранови должини, неопходни се некои уреди, кои инаку, не се потребни при оптички линкови со

само еден оптички сигнал на само една бранова должина. Такви уреди се оптичкиот мултиплексер и оптичкиот демултиплексер

3.4.2. Оптички мултиплексери (mux)

Оптичкиот мултиплексер е уред кој ги комбинира влезните (два или повеќе) оптички сигнали со различна бранова должина во еден излезен мултиплексен сигнал.

Возможно е да се користат широкопојасни оптички сплитери поврзани во улога на комбајнери. Лошата страна на ваквото решение е тоа што има релативно големо слабеење. Еден оптички сплитер/комбајнер со два влеза и еден излез има теоретско слабеење од минимум 3dB додека во пракса тоа слабеење е околу 4 dB. Од друга страна, оптичкиот мултиплексер за две бранови должини има слабеење помало од 2dB додека оптички мултиплексер за 20 бранови должини има слабеење од само 4dB.

Што се однесува до цената, оптичките сплитери/комбајнери се многу поевтини од оптичкиот мултиплексер. Кое решение ќе се одбере зависи од моќноста на оптичките предаватели кои се на располагање. Да не заборавиме дека цената на помоќните оптички предаватели е многукратно поскапа.

3.4.3. Оптички демултиплексери (demux)

Оптичкиот демултиплексер е уред со спротивна функција од мултиплексерот. Тој го раздвојува влезниот сложен мултиплексен сигнал на два или повеќе излезни оптички сигнали со различна бранова должина.

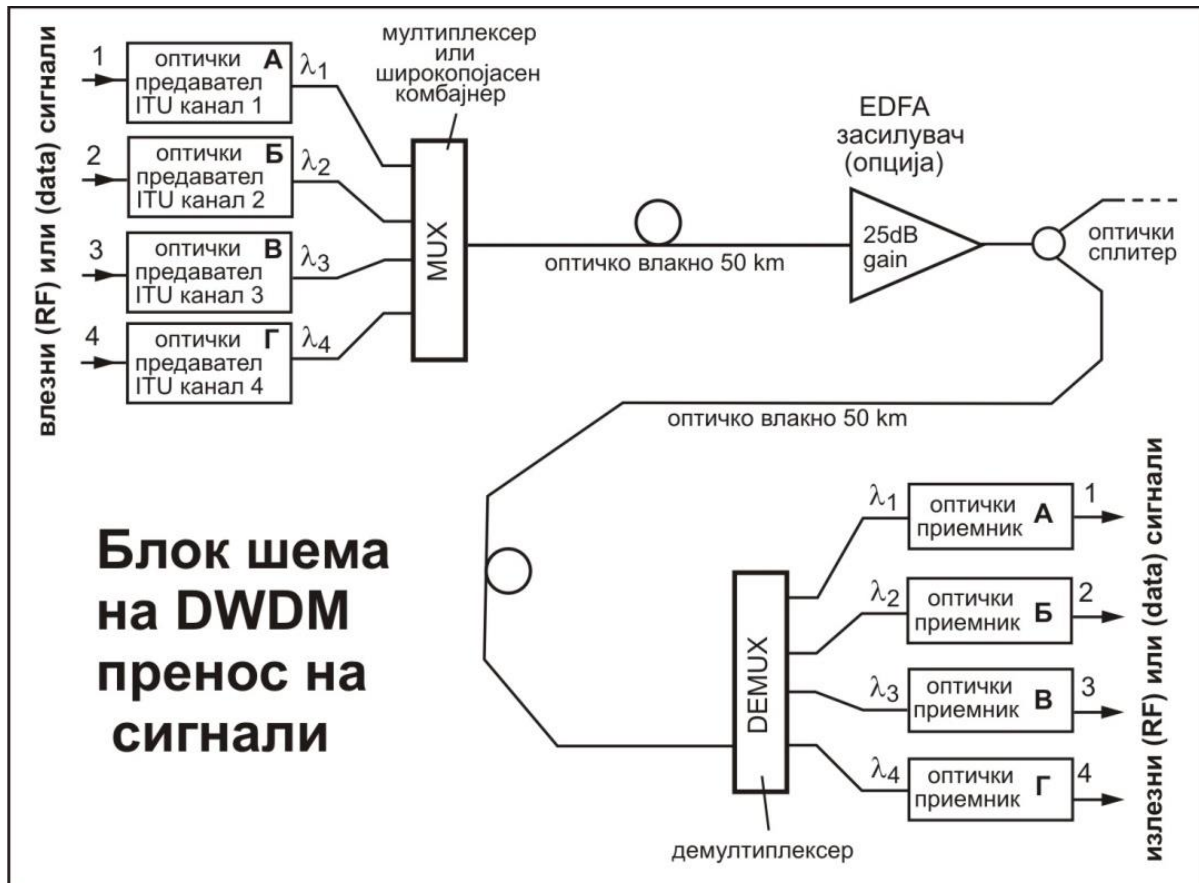
Како оптички демултиплексер не може да се употреби никакво (алтернативно) едноставно решение, за разлика од мултиплексерот, кој алтернативно можеше да се замени со едноставен и евтин оптички сплитер.

3.4.4. Практична примена на оптички мултиплекс во КДС

Наједноставен пример на оптички мултиплекс во кабелските дистрибутивни системи е преносот на *downstream* и *upstream* сигналите преку едно оптичко влакно. Притоа во едната насока се користи оптички сигнал со бранова должина од 1310 nm, а во другата насока се користи оптички сигнал со бранова должина од 1550 nm.

Исто така, преносот на појдовниот и дојдовниот интернет сообраќај помеѓу два медија конвертори може да се одвива преку едно влакно со 1310 nm и 1550 nm.

Со помош на мултиплексирање на сигналите, преку едно оптичко влакно можат да се испраќаат повеќе сигнали со различни програмски пакети во различни градови или реони.



Слика 46. Блок шема на DWDM пренос на сигнали

Figure 46. Block Diagram of DWDM signals transmitting

3.5. КОАКСИЈАЛНА КАБЕЛСКА МРЕЖА

Сегментот на коаксијалната кабелска мрежа во еден кабелски дистрибутивен систем се користи за пренос на информациите во вид на RF сигнали помеѓу оптичките нодови и крајните корисници. За пренос на

информациите (ТВ програми, интернет и сл.) низ коаксијалната мрежа се користат RF сигнали во фреквенциското подрачје од 5 до 860 MHz.

Коаксијалната мрежа е двонасочна и тоа:

А) Во насока од оптичкиот нод (во вид на модулиран мултиплексен повеќеканален RF сигнал во фреквенциското подрачје од 85 до 860 MHz) до крајните корисници се пренесуваат аналогни ТВ програми, дигитални ТВ програми и дојдовниот интернет сообраќај – downstream.

Б) Во обратната насока, преку т.н. повратен канал, се пренесуваат појдовниот интернет сообраќај (upstream) од корисниците до оптичкиот нод (преку модулирани RF сигнали во фреквенциското подрачје од 5 до 65 MHz).

Телефонијата пак, се пренесува преку интернетот (IP-телефонија, односно VoP – *Voice over IP*).

Коаксијалната дистрибутивна мрежа на КДС има поголемо слабеење на сигналите од повисоките фреквенции отколку на сигналите на пониските фреквенции.

3.5.1. Однос сигнал/шум

Еден од најбитните фактори за квалитетна слика е односот сигнал/шум. Секој елемент и уред во мрежата внесува извесен шум кој мора да се совлада со поголемо ниво на корисниот сигнал.

Секој отпорник со активна отпорност може да се разгледува како генератор на шум создаден од хаотичното топлинско движење на слободните електрони во него. Напонот на шумот на краевите од отпорникот зависи од отпорноста, работната температура и ширината на фреквенцискиот појас во кој се пренесува тој шум.

Коаксијалната кабелската дистрибутивна мрежа има карактеристична импеданса (комплексен RF отпор) од 75Ω и напонот на шумот кој се создава од него ($N_{75\Omega}$) при температура од 17°C за фреквенцискиот појас на видео сигналот (5 MHz при аналогна ТВ – PAL стандард) изнесува $2\text{dB}\mu\text{V}$. Независно од тоа што преку коаксијалната кабелска дистрибутивна мрежа се пренесуваат голем број канали, телевизорот кај корисникот во еден момент е во состојба да прима само еден од нив, со ширина од 5 MHz. (Иако ширината на ТВ каналот е 7MHz на VHF каналите и 8 MHz на UHF каналите, сепак ТВ приемникот има

ширина од 5 MHz кога го прима видео сигналот) Затоа како норма за каналниот топлински шум се зема $2 \text{ dB}\mu\text{V}$.

При дигитална QAM модулација, ширината на каналот изнесува цели 8 MHz така што каналниот топлински шум при QAM модулирани канали изнесува околу $3,8 \text{ dB}\mu\text{V}$. Каналниот топлински шум и сопствениот шум на засилувачот доведен до неговиот излез, се причина за влошувањето на односот сигнал/шум на излезот од засилувачот во однос на односот сигнал/шум на влезот од засилувачот.

За да се осигура неопходното ниво на сигналот за корисниците, на определено растојание во коаксијалната кабелска дистрибутивна мрежа се вклучуваат засилувачи и тоа води кон дополнително влошување на односот сигнал/шум.

За шумот генериран од засилувачите, како и за односот сигнал/шум кај засилувачите ќе стане збор понатаму во овој труд, во делот кој ги објаснува карактеристиките на засилувачите

3.5.2. Потребен однос сигнал/шум, минимално и максимално ниво на сигналот за квалитетна слика на аналогната ТВ

Субјективната оценка за квалитетот на приманата ТВ програма (слика и звук) е сврзана со определен однос на сигнал/шум на влезот на приемникот.

Врз основа на голем број испитувања, определени се вредности за квалитет на сигналот на аналогната ТВ, во зависност од односот сигнал/шум. Тие вредности се прикажани во табела 7.

Табела 7. Квалитет на аналогната ТВ во зависност од односот сигнал/шум

Table 7. Analog TV quality depending of signal to noise ratio

Однос сигнал/шум S/N (dB)	Квалитет на сликата	Квалитет на тонот
> 46	одличен	одличен
41 - 46	добар - многу добар	многу добар
36 - 41	задоволителен	добар
31 - 36	лош	задоволителен
< 31	неупотреблив	лош

За одличен квалитет на сликата нивото на демодулираниот корисен видео сигнал во ТВ приемникот (телевизорот) мора да биде за 46 dB повисок од шумот присутен во сигналот.

Треба да се прави разлика помеѓу односот на сигнал/шум на демодулираниот видео сигнал во телевизорот, од односот на нивото на модулираниот видео носечкиот RF сигнал во однос на шумот (*Carrier to noise Ratio – C/N*). За да има демодулираниот видео сигнал определен однос сигнал шум (46dB), треба односот на RF сигналот на видео носителот во однос на шумот да биде нешто поголем. Обично се зема дека односот сигнал/шум (однос на RF носител/шум) во современите HFC кабелски дистрибутивни системи треба да изнесува минимум 47dB за сликата на аналогната ТВ кај корисникот да биде одлична.

Во продолжение на овој труд, кога ќе се наведе однос сигнал/шум, се мисли на односот помеѓу нивото на RF сигналот и шумот (*Carrier to noise Ratio – C/N* или *CNR*).

Пресметувањето на точната вредност на напонот на шумот не е едноставно. Во одлично проектиран и изведен КДС се смета дека изнесува 10 dB μ V. Врз основа на ова го добиваме минималното ниво на сигнал на влезот од приемникот за сликата да биде квалитетна: 47 dB + 10 dB μ V = 57 dB μ V.

Додека премногу слабиот сигнал ќе даде неквалитетна слика со снег, премногу јак сигнал исто така ќе даде неквалитетна слика, заради преоптоварување на влезниот засилувач во ТВ приемникот кај корисникот и појава на изобличување на сигналот (кросмодулација на каналите).

Повеќето од телевизиските тјунери можат да прифатат варијација на сигналот од 20 до 23 dB без преоптоварување. Поради тоа, максималното ниво на влезот од ТВ приемникот треба да биде: 57 dB μ V + 23 dB = 80 dB μ V.

Во врска со ова постојат прописи кои го определуваат максималниот и минималниот напон на влезот од приемникот. Тоа е прикажано во табела 8.

Со извесна толеранција, поради стареењето на системот, усвојуваме дека минималното ниво на сигналот на влезот од приемникот не треба да биде помало од 60 dB μ V (1 mV), додека максималното ниво на влезот од приемникот не треба да биде поголемо од 80 dB μ V (10 mV).

Табела 8. Максимално и минимално ниво на сигналот на влезот од ТВ.

Table 8. Maximum and minimum signal level at input of the TV-receiver

Фреквенциско подрачје	Минимално ниво (dB μ V)	Максимално ниво (dB μ V)
КБ-радио (моно)	43	80
УКБ-радио (стерео)	51	80
FI	54	80
FIII	56	80
FIV	59	80
FV	59	80

При ова, треба да се биде особено внимателен, бидејќи некои ТВ приемници не можат да поднесат повисоко RF влезно ниво од 75 dB μ V, особено ако преку мрежата се пренесуваат голем број канали.

3.5.3. RF Изолација

Кога повеќе ТВ приемници се приклучени на заедничка кабелска дистрибутивна мрежа, постои можност при процесот на подесување на еден ТВ приемник да се произведе зрачење, кое потоа може да се пренесе преку КДС и да предизвика пречки во приемот кај другите приемници приклучени во мрежата. Како што постои пропишан минимален однос сигнал/шум, за да се надминат пречките од шумот во системот, така постои и пропис за спречување на пречките помеѓу ТВ приемниците приклучени на КДС. Тоа се постигнува доколку се обезбеди минимум придушување од 42 dB помеѓу било кои два приемника во системот. Изолација од 42 dB во КДС не може да се постигне само со помош на разделници (сплитери), туку е потребно користење и на отцепници (тапови) кои имаат поголема изолација помеѓу своите излезни приклучоци (излезни тап порти).

ТВ приемниците на корисниците приклучени во мрежата произведуваат несакано зрачење кое може да прави пречки, особено во фреквенциите на повратниот пат. Затоа, во коаксијалната линија која води од сплитерот или тапот до телевизорот на корисникот задолжително ставаме високопропусен филтер. Филтерот го поставуваме на самиот излез од сплитерот или тапот, а

потоа, на излезниот конектор од филтерот го спојуваме коаксијалниот кабел кој води до телевизорот.

3.5.4. RF оклопеност (A)

Елементите на кабелскиот дистрибутивен систем треба да бидат добро оклопени за радио-фреквенциски зрачења. Тоа подразбира да не ги емитува во надворешната околина сигналите кои се пренесуваат преку КДС и, истовремено да ја спречи индукцијата на надворешните радиофреквенциски зрачења кои можат да навлезат во системот и да предизвикаат интерференција, односно, попречување на сигналите кои се пренесуваат. Во табела 9 се прикажани вредностите на RF оклопеност на елементите на КДС во зависност од фреквенцијата на сигналите кои се пренесуваат (според европскиот стандард CENELEC)

Табела 9. Потребна RF-оклопеност на елементите во КДС

Table 9. RF-shielding and RF-leakage demand for CATV elements

Фреквенција (MHz)	Оклопеност на магистрален, субмагистрален и кориснички кабел, како и на другите елементи на КДС	Најголема дозволена израчена моќност во просторот надвор од мрежата
30 - 470	≥ 85 dB (75 dB)	≤ 20 dBpW (39 dB μ V/75 Ω)
470 - 1000	≥ 75 dB (65 dB)	≤ 20 dBpW (39 dB μ V/75 Ω)
над 1000	≥ 75 dB (55 dB)	≤ 43 dBpW (62 dB μ V/75 Ω)

Најголема дозволена моќност на зрачење од елементите на дистрибутивната мрежа во надворешната околина изнесува 0.0000000001 W. Ова е еквивалентен износ на ниво од 39 dB μ V на 75 Ω . Овој податок ни покажува, за колку работното ниво на системот може да биде повисоко од 39 dB μ V, со тоа што попречувачкото зрачење нема да биде поголемо од 39 dB μ V.

Највисокото работно ниво изнесува:

$$U_{max} [dB\mu V] = \leq 39 dB\mu V + A [dB] \quad (5)$$

во фреквенцискиот опсег од 30 до 950 MHz и:

$$U_{max} [dB\mu V] = \leq 62 dB\mu V + A [dB] \quad (6)$$

во фреквенцискиот опсег 950 до 2500 MHz.

При изградбата на КДС особено внимание треба да се посвети на правилно поставување на конектори и правилно приклучување на елементите во системот. Тие треба да бидат добро оклопени за да спречат навлегување на електромагнетни сигнали од надворешната средина. Сите конектори нужно треба да бидат добро затегнати за да остваруваат добар спој. Исто така, капаците од металните кутии на засилувачите, надворешните тапови, сплитери како и другите елементи, треба да бидат добро затегнати и да остваруваат добар контакт со останатиот дел на металната кутија за да се оствари потребната RF оклопеност. Со тоа ќе се спречи навлегување на електромагнетни сигнали од надворешната средина кои можат да направат пречки на сигналите кои се пренесуваат во кабелскиот дистрибутивен систем.

Оптичките кабли и оптичките елементи како составен дел од оптичката дистрибутивна мрежа немаат проблем со радио фреквенциското зрачење бидејќи за пренос на сигналите се користи инфрацрвена светлина односно ласерски зрак.

3.5.5. Повратно слабеење (прилагодување)

Секој уред или елемент во дистрибутивната мрежа на КДС претставува одреден дисконтинуитет, кој предизвикува рефлексивна на дел од сигналот назад кон изворот.

Повратното слабеење претставува износ во dB кој ни кажува колку е ослабнат повратниот (рефлектираниот) сигнал. Повратното слабеење треба да биде што е можно поголемо.

Амплитудите на одбиениот бран V_r и главниот бран V_m се дадени во следната релација:

$$\frac{V_r}{V_m} = Q \quad (7)$$

Каде:

V_r - вредност на одбиениот бран

V_m - вредност на главниот бран

Повратното слабеење е еднакво:

$$S_r = 20 \log \frac{V_r}{V_m} [dB] \quad (8)$$

Поради рефлeksiјата на дел од сигналот назад кон изворот, во линијата на дистрибутивната мрежа се создаваат стоечки бранови. Односот помеѓу максималниот напон U_{max} и минималниот напон U_{min} на стоечките бранови (*VSWR* – *Voltage Standing Wave Ratio*) е даден во следната релација:

$$VSWR = \frac{U_{max}}{U_{min}} = \frac{V_m + V_r}{V_m - V_r} = \frac{1 + \rho}{1 - \rho} \quad (9)$$

VSWR-от е индикатор за тоа колку влезната и излезната импеданса на елементите се прилагодени, односно се блиску до 75Ω колку што е идеалната импеданса на системот.

Ако износот на *VSWR* е различен од 1, еден дел од дојдовниот сигнал кој што пристигнува на влезниот приклучок на некој елемент ќе биде одбиен назад во системот, наместо да продолжи напред. Овој одбиен сигнал ако е со доволно високо ниво, може да предизвика пречки во сигналите кои се пренесуваат во кабелскиот дистрибутивен систем.

Во пракса, на пример, при погрешно приклучување на тап се јавува големо неприлагодување (повратното слабеење е многу мало а *VSWR*-от е голем), при што се јавуваат стоечки бранови во кабелот со ниво повисоко од дозволеното, а тоа се забележува како дупли слики на екранот од телевизорите кај корисниците. Истото може да се јави ако коаксијалниот кабел при ракување или монтажа се превитка или се свитка под остар агол (мал радиус на свиткување) при што може да дојде до трајно оштетување на симетријата на структурата на кабелот.

Исто така, неприлагодување и стојни бранови предизвикани од рефлектирани сигнали може да се јават и во следниве случаи:

- ако слободните порти на сплитерите и таповите не се затворени со терминатори (75Ω ома тапи);
- оштетени коаксијални кабли;
- неквалитетни, дефектни или оштетени пасивни елементи како што се сплитери и тапови (навлегување на вода, корозија и сл.).

3.5.6. **Магистрални, субмагистрални и крајни (кориснички) мрежи на КДС**

Магистралниот дел на кабелската дистрибутивна мрежа поаѓа од главната станица на КДС и го разнесува сигналот до сите субмагистрални мрежи по најкраток можен пат. Магистралниот дел од кабелската дистрибутивна мрежа уште се нарекува **магистрала** или примарна линија, бидејќи ги поврзува сите поодделни субмагистрални, односно секундарни мрежи.

Во последниве години, поради многу помалото слабеење на сигналите, примарните линии се изведуваат со оптички кабли како составен дел од хибридна оптичко-коаксијална мрежа (HFC).

Субмагистралните мрежи на КДС земаат дел од сигналот кој се дистрибуира низ магистралната линија и понатаму го дистрибуираат до крајните корисници директно или преку крајните, односно завршни кориснички мрежи. На пример, крајна корисничка мрежа претставува делот од мрежата на КДС кој ги поврзува сите корисници од една зграда со магистралната или субмагистралната линија од КДС.

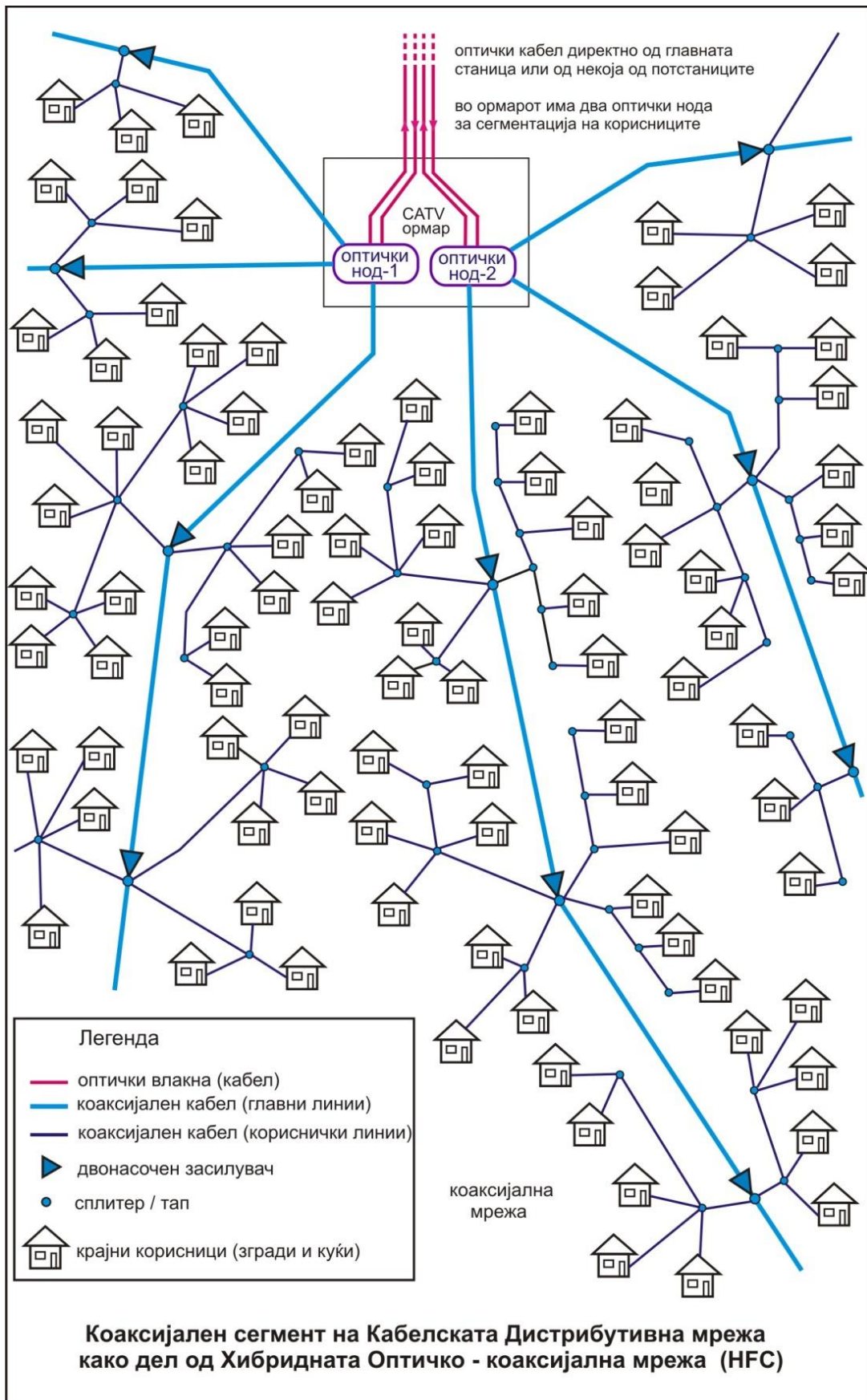
3.5.7. **Топологија на коаксијалните дистрибутивни мрежи**

Во зависност од обликот и физичката структура на коаксијалната мрежа постојат повеќе начини на поставување на коаксијалните кабли од оптичките нодови до крајните корисници.

Најчесто се користи обликот во вид на дрво или ѕвезда.

При поставувањето на коаксијалниот кабел, од особена важност е да има што е можно помалку прекинување на главните линии помеѓу засилувачите (како што е прикажано на слика 47). Колку помалку конектори има во главните линии, толку помалку потенцијални проблеми ќе има при експлоатацијата на мрежата.

Сите разгранувања и делење на коаксијалните линии најдобро е да се прават во непосредна близина на засилувачите, односно веднаш по нив. Коаксијалниот кабел помеѓу засилувачите треба да биде непрекинат.



Слика 47. Блок шема на коаксијална кабелска дистрибутивна мрежа
 Figure 47. Block Diagram of coaxial part of HFC network

Корисниците кои се наоѓаат помеѓу засилувачите од главните линии се поврзуваат со споредни коаксијални линии, кои од местото на засилувачот во главната линија се разгрануваат и еден дел се враќа наназад и ги поврзува корисниците до половина од растојанието до претходниот засилувач во главната линија, а друга споредна линија оди нанапред и ги поврзува корисниците до половина од растојанието до следниот засилувач во главната линија (слика 47).

Должината на коаксијалните кабли помеѓу засилувачите зависи од видот на употребени коаксијални кабли.

Во современите хибридни оптичко-коаксијални мрежи, коаксијалниот дел од мрежата нема потреба да биде многу долг како во минатото кога се употребуваа чисто коаксијални мрежи. Коаксијалниот сегмент од хибридниот оптичко-коаксијални мрежи најчесто се изведува со коаксијален кабел од типот RG-11. Тој има слабеење од околу 13dB/100m на највисоките фреквенции (860 MHz) кои се употребуваат во КДС. Притоа, растојанието помеѓу два засилувачи во ниеден случај не смее да биде поголемо до 170 метри.

Ова поопширно и подетално е објаснето во поглавјето „Планирање и проектирање на коаксијална кабелска дистрибутивна мрежа“ (на страница 145 до 167 од овој труд).

3.6. Елементи на коаксијалната дистрибутивна мрежа од КДС

Коаксијалната дистрибутивната мрежа се состои повеќе елементи. Најопшто земено, тие се делат на пасивни и активни елементи. Активните елементи, се разликуваат од пасивните елементи по тоа што им е потребна електрична енергија за да работат. Пасивните елементи ги сочинуваат: коаксијалните кабли, кабелските коректори, атенуаторите, кабелските конектори, разделниците на сигнали, отцепниците и др. Активните елементи ги сочинуваат: засилувачите, модемите кај корисниците, дигиталните приемници кај корисниците и др.

Во понатамошниот текст се опишани најглавните составни елементи на дистрибутивната мрежа:

3.6.1. Коаксијален кабел;

3.6.2. Засилувачи;

3.6.3. Атенуатори (ослабнувачи на сигналот);

- 3.6.4. Коректори или еквилајзери (изедначувачи на нивото на сигналите);
- 3.6.7. Напонски внесувачи (Power inserteri) и адаптери, односно трансформатори за напојување;
- 3.6.8. Разделници (сплитери);
- 3.6.9. Отцепници (тапови);
- 3.6.10. Конектори.

3.6.1. КОАКСИЈАЛЕН КАБЕЛ

Коаксијалниот кабел се користи како медиум за пренос на сигналите во коаксијалната мрежа на КДС. Импедансата на кабелот кој се употребува во КДС треба да биде 75 Ω .

Коаксијалните кабли имаат радијално симетрична (коаксијална) структура која се состои од внатрешен проводник изработен од бакар или побакарен челик, изолација од порозен материјал со мали губитоци (сунѓерест полиетилен), надворешен проводник во вид на цилиндар и надворешна изолација (полиетилен) која го штити кабелот од надворешните хемиски и физички влијанија.

Секој коаксијален кабел има поголемо или помало слабеење на сигналите што се пренесуваат низ него. Слабеењето на сигналите кои се пренесуваат преку коаксијалните кабли зависи од дијаметарот на кабелот, диелектричната конструкција на кабелот, температурата, како и од фреквенцијата на сигналите.

Со зголемување на дијаметарот на коаксијалниот кабел слабеењето се намалува и обратно.

Слабеењето на сигналите што се пренесуваат низ коаксијалниот кабел зависи и од температурата на кабелот. Колку температурата е повисока, толку слабеењето е поголемо и обратно. Слабеењето на коаксијалните кабли во зависност од температурата се менува за 1% на секој 5 степени целзиусови. Слабеењето на коаксијалниот кабел расте со порастот на фреквенцијата на сигналите кои се пренесуваат низ него. Ова значи дека сигналите со најниски фреквенции ќе бидат најмалку ослабени додека сигналите со највисоки фреквенции ќе бидат најмногу ослабени.



Слика 48. Коаксијален кабел

Figure 48. Coaxial cable

Доколку фреквенцијата на сигналот се зголеми за два пати, слабеењето ќе се зголеми за квадратен корен од два. Доколку фреквенцијата на сигналот се зголеми за три пати, слабеењето ќе се зголеми за корен од три итн. Значи, подолжното слабеење на коаксијалниот кабел е пропорционално со квадратниот корен од фреквенцијата. За полесно помнење може да се научи следново: ако фреквенцијата се зголеми за 4 пати, тогаш слабеењето по истиот кабел ќе се зголеми за 2 пати.

На пример, ако еден коаксијален кабел има слабеење од 20 dB на сигнал со фреквенција од 800 MHz, истиот тој кабел, при исти услови, ќе има слабеење од 10 dB на сигнал со фреквенција од 200 MHz и 5 dB слабеење на сигнал со фреквенција од 50 MHz.

Кога кабелот е поставен надворешно, во воздушна средина, температурните промени во текот на годината (зимо–лето) се повеќе од 45°C а, кога е положен во земјата, температурните промени се околу 10°C.



Слика 49. Коаксијален кабел RG-11

Figure 49. Coaxial cable RG-11

Обично, температурната зависност на слабеењето на коаксијалните кабли се искажува преку разликата на слабеење во однос на слабеењето при температура од 20°C и се изразува во проценти за секој °C. За најчесто употребуваните коаксијални кабли температурната зависност α е околу 0.2%/°C, од каде следува дека температурната зависност на слабеењето на надворешно поставените кабли е повеќе од 9%, а за подземно поставените кабли е околу 2% во текот на годината. Тој факт ја потврдува потребата од градба на кабелската дистрибутивна мрежа со подземно поставување на коаксијалните кабли.

Поставувањето на коаксијалниот кабел може да биде надземно или подземно. Надземното поставување се изведува со самоносечки коаксијален кабел. Самоносечкиот коаксијален кабел има челична сајла со чија помош кабелот се оптегнува помеѓу две бандери на пример.

Коаксијалните кабли имаат многу поголемо слабеење на сигналите од каблите со оптички влакна. На пример коаксијалниот кабел QR540 има 50 до 190 пати поголемо слабеење од оптички кабел, а коаксијалниот кабел RG11 има 100 до 380 пати поголемо слабеење од оптичкиот кабел. (за фреквенција на пренесуваните канали од 50 до 860 MHz при температура од 20 степени

целзиусови за коаксијалниот кабел, и при 1310 nm технологија за оптичкиот кабел).



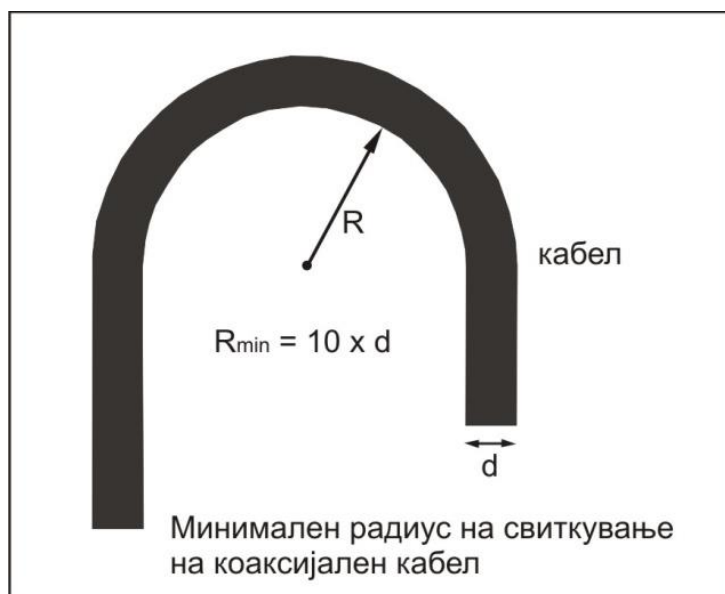
Слика 50. Коаксијален кабел RG-6

Figure 50. Coaxial cable RG-6

При ракувањето со коаксијалниот кабел и при негова монтажа, треба да се внимава да не се свиткува кабелот под остар агол (мал радиус на свиткување) затоа што може трајно да се оштети структурата на кабелот и потоа не може да се исправи со повторното исправување. Притоа може да дојде до промена на карактеристичната импеданса на кабелот, а со тоа и до видливи пречки при преносот на сигналите (Појава на дупли слики предизвикано од појавата на стојни бранови поради помало прилагодување, односно висок VSWR. Исто така може да се јави нелинеарно слабеење на сигналите со различни фреквенции. Ваквото нелинеарно слабеење не може да се коригира со коректори, односно еквилајзери).

Минималниот радиус на свиткување на коаксијалните кабли обично изнесува 10 пати по надворешниот дијаметар на кабелот.

Така, минималниот радиус на свиткување на коаксијалниот кабел RG-11 изнесува 110 mm додека за RG-6 минималниот радиус на свиткување е 60 mm.



Слика 51. Минимален радиус на свиткување на коаксијален кабел
 Figure 51. Minimum bending radius for coaxial cable

3.6.2. ЗАСИЛУВАЧИ

Еден од најбитните елементи во мрежата на КДС е засилувачот.

Основна задача на засилувачот е да изврши засилување на сигналите кои се ослабени минувајќи низ кабелот и останатите пасивни елементи во мрежата на дистрибутивниот систем.

Иако е неопходен составен елемент на секој кабелски дистрибутивен систем, употребата на засилувачи неминовно води до влошување на односот сигнал/шум, како и изобличување на сигналите. (јас велам, засилувачот е нужно зло). Затоа, од огромно значење за квалитетот на еден кабелски дистрибутивен систем е правилниот избор и употреба, односно нагудување на засилувачите.

Квалитетен засилувач во КДС треба да ги задоволи следните услови:

- 3.6.2.1. Да биде широкопојасен;
- 3.6.2.2. Да има мал сопствен шум;
- 3.6.2.6. Да има голема излезна моќност;
- 3.6.2.7. Да биде отпорен на интермодулација (IMD);
- 3.6.2.8. Да биде отпорен на „вкрстена модулација“ (кросмодулација);
- 3.6.2.10. Да биде линеарен;
- 3.6.2.11. Да има голем динамички опсег;

3.6.2.12. Да има определено оптимално засилување;

3.6.2.13. Да овозможува засилување или премин на сигналите во обратна насока, во фреквенцискиот појас од 5 до 65 MHz (за потребите на интернет-upstream).

Во понатамошниот текст ќе ги разгледаме овие карактеристики поединечно.



Слика 52. Двонасочни хибридни засилувачи за КДС

Figure 52. Bi-directional CATV hybrid amplifiers

3.6.2.1. Засилувачот треба да биде широкопојасен.

Во кабелската дистрибутивна мрежа се пренесуваат голем број RF сигнали кои се распоредени еден до друг, во фреквенциското подрачје од 85 до 860 MHz. Засилувачот треба да ги засили сите сигнали од овој фреквенциски опсег подеднакво (линеарно), и тоа без изобличувања.

Исто така, во обратна насока, од корисниците кон главната станица се пренесуваат RF сигнали во фреквенцискиот појас од 5 до 65 MHz, за потребите на појдовниот интернет сообраќај (*upstream*). Засилувачот треба да ги пренесе или засили и овие сигнали без изобличување.

3.6.2.2. Засилувачот треба да има мал сопствен шум

Шумниот број на засилувачот ни покажува за колку dB засилувачот ќе го намали односот сигнал/шум во системот. Колку е помал шумниот број на засилувачот, толку неговото влијание врз деградацијата на сигналот е помала. Шумниот број може да се најде во техничките карактеристики кои ги дава производителот.

Шумниот број, како важна карактеристика на засилувачот, особено влијае врз деградацијата на сигналот, кога јачината на сигналот се намали и се приближи до нивото на шумот. Доколку во некој дел од системот, се случи јачината на сигналот да падне под одредена минимална граница, тогаш никакво понатамошно засилување на сигналот не може да го поправи квалитетот на сликата.

Со помош на засилувач можеме да го зголемиме нивото на сигналот, но заедно со корисниот сигнал ќе го зголемиме и шумот. Така квалитетот на сликата нема да се подобри бидејќи односот сигнал/шум е недоволен. Напротив, односот сигнал/шум по засилувачот ќе биде дури и полош бидејќи секој засилувач неминовно на веќе постоечкиот шум во сигналот, го додава и сопствениот шум.

За квалитетна слика на аналогните ТВ канали, освен потребното ниво на RF сигналот на влезот на ТВ приемникот кај корисникот, кое треба да биде од 60 до 80 dB μ V, потребно е нивото на корисниот сигнал да биде повисоко за 47 dB од нивото на шумот. Кај дигиталните канали, односот сигнал/шум може да биде помал, бидејќи дигиталниот пренос е помалку осетлив на шум.

Минувајќи низ кабелот и другите пасивни елементи на мрежата, нивото на сигналот постојано ослабнува. Засилувањето на сигналот е потребно да се изврши пред неговото ниво да падне под одредената минимална граница (70dB па и повеќе, ако има повеќе засилувачи поставени во линија – каскадно поврзани засилувачи).

Мал шумен број многу полесно се постигнува кај теснопојасните засилувачи отколку кај широкопојасните. Во кабелската дистрибутивна мрежа се употребуваат исклучиво широкопојасни засилувачи.

Секој засилувач генерира додатен шум во системот. Конвенционално, генерираниот шум од засилувачот се третира и разгледува како да се генерира од независен генератор и се сумира заедно со топлинскиот канален шум на влезот од засилувачот (иако се разбира дека на влезот не може да се измери неговата вредност).

Односот помеѓу нивото на вкупниот шум на влезот од засилувачот и нивото на топлинскиот шум изразен во децибели се нарекува **шумен број** на засилувачот (noise figure). Така, еден засилувач со шумен број N_F ќе има вкупен еквивалентен шум на својот влез N_A при што:

$$N_A \text{ (dB}\mu\text{V)} = N_{75\Omega} \text{ (dB}\mu\text{V)} + N_F \text{ (dB)} \quad (10)$$

Нивото на шум на излезот од засилувачот ќе биде нивото на шум на влезот од засилувачот зголемено за засилувањето G на засилувачот во децибели, и изнесува :

$$N_{out} \text{ (dB}\mu\text{V)} = N_{75\Omega} \text{ (dB}\mu\text{V)} + N_F \text{ (dB)} + G \text{ (dB)} \quad (11)$$

Аналогно на ова, посакуваниот сигнал без шум U_i на влезот на засилувачот ќе биде засилен за ист износ, така што посакуваното ниво на излезниот сигнал ќе биде:

$$U_{out} \text{ (dB}\mu\text{V)} = U_{in} \text{ (dB}\mu\text{V)} + G \text{ (dB)} \quad (12)$$

А односот сигнал/шум C/N ќе биде:

$$C/N \text{ (dB)} = U_{out} - N_{out} = (U_{in} + G) - (N_{75\Omega} + N_F + G) \quad (13)$$

$$C/N \text{ (dB)} = U_{in} - (N_{75\Omega} + N_F) \quad (14)$$

$$C/N \text{ (dB)} = U_{in} - N_{75\Omega} - N_F \quad (15)$$

Оттука произлегува дека потребното влезно ниво за определен однос сигнал/шум треба да биде:

$$U_{in} = C/N + N_{75\Omega} + N_F \quad (16)$$

Што значи дека излезниот однос сигнал/шум е еднаков на влезниот сигнал намален за термичкиот шум ($2 \text{ dB}\mu\text{V}$) и намален за шумниот број на засилувачот.

Така на пример, ако шумниот број на засилувачот е еднаков на 8 dB , и ако е потребен минимален однос сигнал/шум од 47 dB , тогаш нивото на сигналот на влезот од засилувачот треба да биде повисоко од $47 + 2 + 8 = 57 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Ова е износот на минимално ниво на сигнал кое што треба да се појави на влез на самиот засилувачки елемент во кутијата на засилувачот, по диплексерот, атенуаторот и коректорот во кутијата на засилувачот. Затоа, на влезот од засилувачот неопходно е да донесеме RF сигнал со ниво кое ќе биде најмалку за неколку децибели повисоко од вака пресметаниот минимум.

Сето ова се однесува само за еден засилувач. Ако во линијата имаме каскадно поврзани засилувачи, тогаш за ист определен однос сигнал/шум, нивото на влезниот сигнал треба да биде поголемо, во зависност од бројот на каскадно поврзаните засилувачи. Тоа е објаснето понатаму, на страница 118 и 119 во овој труд.

Нивото на влезниот сигнал во засилувачот има огромно влијание врз целокупниот шум на излезот од засилувачот. Пониско ниво на сигнал од дозволеното на влезот од еден засилувач многу бргу го влошува квалитетот на сигналот, при што рапидно се намалува односот сигнал/шум. Од друга страна, при релативно високо ниво на сигнал на влезот од засилувачот, сопствениот шум на засилувачот не игра многу голема улога.

Имајќи го горново предвид, секогаш треба да настојваме нивото на сигнал на влезот од било кој засилувач во КДС да не биде пониско од $72 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Ова ќе го објасниме преку следниов пример:

Најнапред треба да го пресметаме односот сигнал/шум што може да го обезбеди еден засилувач. Потоа, релативно лесно можеме да го определиме односот сигнал/шум што можат да го обезбедат неколку последователно поврзани засилувачи (каскадно поврзани засилувачи)

Сега ќе објасниме што претставуваат и кои се каскадно поврзани засилувачи во КДС.

Да претпоставиме дека од еден оптички нод тргнува коаксијална мрежа со три коаксијални линии во три различни правци. Во едната коаксијална линија има 4 засилувачи еден по друг. Во втората коаксијална линија има 8 коаксијални засилувачи еден по друг и во третата коаксијална линија има 6 засилувачи еден по друг. Вкупно во таа мрежа има 18 засилувачи но најлош однос сигнал/шум ќе има во втората линија која има најмногу засилувачи (8) еден по друг. Затоа, во примеров треба да го пресметаме вкупниот шум на 8 засилувачи кои се поврзани во каскада а не на сите 18 засилувачи во мрежата.

Однос сигнал/шум што може да го обезбеди еден засилувач

Современите широкопојасни хибридни засилувачи обично имаат шумен број од околу 8 dB.

Односот сигнал/шум што може да го обезбеди еден хибриден CATV засилувач се пресметува од следнава формула:

$$C/N_1 = U_{in} - N_{75\Omega} - N_F \quad (17)$$

каде што:

C/N_1 = Однос сигнал/шум на првиот засилувач

U_{in} = Ниво на сигналот на влезот од засилувачот во dB μ V

$N_{75\Omega}$ = Канален топлински шум = 2 dB μ V

N_F = Коефициент на шум на засилувачот (шумен број)

Од горнава формула јасно се гледа дека односот сигнал/шум што може да го обезбеди некој засилувач, ќе биде поголем доколку нивото на влезниот сигнал биде поголемо.

Да претпоставиме дека нивото на влезниот сигнал на засилувачот изнесува 70 dB μ V. Така пресметуваме:

$$C/N_1 = 70 - 2 - 8 = 60 \text{ dB} \quad (18)$$

Значи, односот сигнал/шум што може да го обезбеди еден засилувач изнесува 60 dB. Меѓутоа, ако на пример, нивото на влезниот сигнал на засилувачите во мрежата изнесува 55 dB μ V, тогаш карактеристичниот однос

сигнал/шум на првиот засилувач од каскадата ќе биде само 45 dB. Овој однос сигнал шум понатаму на другите засилувачи во мрежата со ништо не може да се подобри туку мора да се коригира таму каде што настанал проблемот. Ова јасно покажува колку карактеристичниот однос сигнал/шум може да биде деградиран, ако не се внимава на коректното менаџирање со нивото на сигналите во мрежата.

Однос сигнал/шум што можат да го обезбедат каскадно поврзани засилувачи

Пресметување на односот сигнал/шум на каскадно поврзани еднакви засилувачи се врши со помош на следнава формула:

$$C/N_n = C/N_1 - 10 \log(n) \quad (19)$$

каде што:

C/N_1 = Однос сигнал/шум на првиот засилувач

C/N_n = Однос сигнал/шум за n каскадно врзани засилувачи

n = број на каскадно поврзани засилувачи

Од овде следува дека:

Кога повеќе еднакви засилувачи се поврзуваат во коаксијалната линија еден по друг на определено растојание (каскада), еквивалентниот заеднички шумен број на засилувачите од каскадата се зголемува за 3 dB за секое дуплирање на бројот на засилувачи во каскадата.

3.6.2.3. Минимално ниво на сигналот на влез на каскадно поврзани засилувачи

За пример ќе земеме дека се дадени следниве услови:

- Потребен минимален однос сигнал/шум = 49 dB
- Број на еднакви засилувачи во каскадата = 8
- Шумен број (N_F - *noise figure*) на еден засилувач = 8 dB
- Еквивалентен шумен број за 8 засилувачи = $8+3+3+3 = 17$ dB

Сега, применувајќи ја соодветната формула (16) за потребното минимално ниво на влезниот сигнал, добиваме:

$$U_{in} = C/N + N_{75\Omega} + N_F \quad (\text{формула 16 од страница 115})$$

$$U_{in} = 49 + 2 + 17 = 68 \text{ dB}\mu\text{V} \quad (20)$$

Значи, потребното минимално ниво на сигналот на влезот на секој од осумте засилувачи во каскадата треба да изнесува минимум 68 dB μ V за да се обезбеди потребниот однос сигнал/шум од 49 dB .

Доколку каскадата има 16 засилувачи со карактеристики како во горниот пример, тогаш потребното минимално ниво на сигнал на влезот од сите 16 засилувачи треба да биде минимум 71 dB μ V за да се обезбеди потребниот однос сигнал/шум од 49 dB.

Да не забораваме дека ова е износот на минимално ниво на сигнал кое што треба да се појави на влез на самиот засилувачки елемент во кутијата на засилувачот, по дуплексерот, атенуаторот и коректорот во кутијата на засилувачот. Затоа, на влезот од засилувачот неопходно е да донесеме сигнал кој ќе биде најмалку за неколку децибели повисок од вака пресметаниот минимум.

Треба да се има предвид дека односот сигнал/шум што може да го обезбеди еден или повеќе засилувачи е една работа, додека сосема друга работа е стварниот однос сигнал/шум кој постои во системот.

Така, на влезот од еден засилувач може да имаме прописно ниво на сигнал од 70 dB μ V и повеќе, но стварниот однос сигнал/шум може да биде многу лош, доколку некаде мрежата е оштетена и нивото на пречките се повисоки или пак, на некој претходен засилувач нивото на влез било премногу ниско и сл.

Претходно беше објаснето дека за да биде квалитетот на сликата на аналогната ТВ кај корисниците оценет со „одличен“, односот сигнал/шум на RF сигналот треба да изнесува најмалку 47 до 49 dB (во зависност од квалитетот на телевизорот и големината на неговиот екран).

3.6.2.4. Засилувачот треба да има голема излезна моќност.

Големиот број сигнали кои се пренесуваат низ дистрибутивната мрежа наложуваат употреба на моќни засилувачи.

На пример, за засилување на 64 аналогни ТВ канали, потребен е засилувач кој има 64 пати поголема излезна моќ, отколку засилувач кој засилува само еден канал. (за исто излезно ниво).

Треба да се земе предвид дека во КДС се пренесуваат и дигитални канали како и интернет кои диктираат засилувачот да има уште поголема моќност.

Ова ќе го разгледаме низ еден пример:

Нека е даден еден засилувач, за кој во фабричките податоци е наведено дека има засилување од 30 dB и максимално излезно ниво од 120 dB μ V (фабричките податоци обично се однесуваат за засилување на еден ТВ канал).

Ситуација 1. На влезот на наведениот засилувач, доведуваме сигнал од еден ТВ канал со ниво од 90 dB μ V. Засилувачот ќе го засили сигналот за 30 dB и, на излезот ќе се добие сигнал со ниво од 120 dB μ V.

Ситуација 2. Ако на влезот од овој засилувач доведеме мултиплексен сигнал составен од 64 канали и секој од нив има ниво од 90 dB μ V, тоа значи дека сега на влезот доведуваме сигнал кој има 64 пати поголема моќ! Ако засилувачот е линеарен, тогаш тој на својот излез мора да испорача 64 пати (18 dB) поголема снага или моќ! Меѓутоа, овој засилувач не е предвиден за толкава моќност и ќе дојде до заситување на засилувачот. Притоа, на својот излез, наместо 64 пати поголема моќ, засилувачот ќе испорача, да речеме, осум пати (9 dB) поголема моќ и тоа со големо изобличување на сигналите, бидејќи засилувачот е преоптоварен и излегол од линеарен режим на работа. Ќе дојде до интермодулација и кросмодулација, при што многу од каналите ќе се појават и на фреквенции каде што не им е вистинското место, ќе се појават пречки во вид на мрежи во сликите итн. За да се избегне изобличувањето во конкретниов пример, потребно е нивото на излезните сигнали да се намали за 64 пати (18 dB) така што на излезот од засилувачот, нивото на секој од сигналите да изнесува: $120 - 18 = 102$ dB μ V.

3.6.2.5. Засилувачот треба да биде отпорен на интермодулација (IMD)

Оваа особина на засилувачите е во тесна врска со моќноста. Обично важи правилото: Колку поголема излезна моќ има засилувачот, толку е поотпорен на интермодулација.

Интермодулацијата е појава на таканаречено „мешање“ на сигналите кое се манифестира како постоење на една или повеќе слики од други канали покрај сликата од саканиот канал. Интермодулацијата е последица на нелинеарно засилување (клипување) на сигналот. Оваа појава настанува при преоптоварување на засилувачот со јаки сигнали кои стануваат изобличени, така што нивните амплитуди се компримираат заради недоволната снага, односно моќ на засилувачот. При оваа појава се јавуваат еден или повеќе различни програми на еден канал. Притоа некои од нив не се во синхронизација.

Кога од било кои причини некој од засилувачите работи во нелинеарен режим (во подрачје кога доаѓа до изобличување на сигналот), воедно доаѓа до појава на хармоници од основната фреквенција на сигналот, како и до нивно мешање со основниот сигнал кој е изобличен, како и со сите останати канали во мрежата.

Оваа појава на меѓусебно мешање на сигналите и нивните хармоници е позната под името „интермодулација“ (IMD)

Доволно е само еден од сигналите кои се пренесуваат во мрежата да го „пробие“ нивото при кое настануваат интермодулациски изобличувања, па да настанат пречки во сите канали.

3.6.2.6. Засилувачот треба да биде отпорен на „вкрстена модулација“ (кросмодулација)

Освен појавата на интермодулација, постои уште еден вид на изобличување кое се јавува кога засилувачот не работи линеарно. Тоа е таканаречената „вкрстена модулација“ или (кросмодулација).

Ова изобличување често не се разликува од интермодулацијата бидејќи се јавува истовремено со неа и под слични околности.

Кај вкрстената модулација имаме појава, на некој слаб сигнал да се „намодулира“, односно преслика или втисне, сликата на оној канал во системот кој поради својата поголема моќ, влегол во подрачје на нелинеарен режим на работа на засилувачот.

Во таков случај засилувачот има помало засилување на сигналите поради присуство на јак сигнал на неговиот влез. Кога јакиот сигнал поради било која причина ќе исчезне од влезот на засилувачот, тогаш засилувањето се враќа во нормална вредност. Како последица на ова, сите останати сигнали во мрежата се засилуваат помалку или повеќе, во зависност од тоа дали е присутен јак сигнал на влезот, односно од неговата моментална вредност. Ако јакиот сигнал на влезот од засилувачот претставува ТВ сигнал кој е амплитудно модулиран, тогаш очигледно е дека сите промени во неговата амплитуда (ТВ сликата), ќе се пренесат на останатите сигнали во мрежата, така што тие ќе бидат додатно амплитудно модулирани со содржината на сликата на јакиот сигнал кој ја пореметил линеарната работа на засилувачот.

За да се избегне оваа појава, потребно е да се употребуваат помоќни засилувачи. Исто така, потребно е нивото на сигналите во мрежата да се изедначи и намали, така што тие да не го достигнат нивото кога настануваат интермодулациски и кросмодулациски изобличувања.

3.6.2.7. Засилувачот треба да биде линеарен

Сите засилувачи кои се користат во кабелските дистрибутивни системи треба да бидат екстремно линеарни. Тоа значи, излезното ниво на сигналот да одговара на влезното ниво, односно да нема никаква нелинеарна промена на излезниот сигнал во однос на влезниот сигнал.

Условите во поглед на линеарност, кои се бараат од засилувачите во КДС се многу сериозни, бидејќи се работи за каскадно поврзување на поголем број засилувачи во мрежата, како и засилување на голем број канали.

При каскадното поврзување на засилувачи (повеќе засилувачи еден по друг во една линија) сите изобличувања или било каква нелинеарност на секој од засилувачите, кумулативно се собираат. За таа цел, очигледно дека е потребна употреба на екстремно квалитетни засилувачи, за да и после голем број на засилувачи, квалитетот на сигналот остане во потребните граници. За жал, вакви засилувачи се ретки и многу скапи, па единствено решение е

ограничување на бројот на засилувачите во една линија, за да се одржи потребното ниво на квалитет.

Доколку не се посвети внимание на ова, односно доколку се употребуваат релативно послаби засилувачи (затоа што се поевтини), набргу квалитетот на сигналот се деградира до тој степен што никаква поправка или натамошно ширење на мрежата не доаѓа предвид, освен комплетна замена на сите неадекватни засилувачи со соодветни.

3.6.2.8. Засилувачот треба да има голем динамички опсег

Динамичкиот опсег на засилувачот претставува мерка за квалитет на засилувачот која во себе ги обединува претходно споменатите карактеристики на засилувачите, а тоа се: шумниот број, големината на засилување и излезното ниво на сигналот за одредено ниво на нелинеарни изобличувања.

Динамичкиот опсег на засилувачот претставува опсег во кој може да се менува нивото на сигналот на влезот од засилувачот, а притоа сигналот на излезот да не претрпи деградација поголема од строго дефинираната.

Од долната граница, овој опсег е ограничен со минималниот однос сигнал/шум на излезниот сигнал и него директно го одредува шумниот број на засилувачот. Долната граница на динамичкиот опсег е она ниво на влезниот сигнал кое на излезот обезбедува однапред зададен минимален однос сигнал/шум. Ако за долната граница се земе вредност сигнал/шум = 0, тогаш се добива таканаречен SFDR (*Spurious Free Dynamic Range*), или динамички опсег слободен од пречки (продукти на интермодулациски и кросмодулациски изобличувања IMD).

За потребите при дистрибуција на аналогни ТВ сигнали се определува однос сигнал/шум = 49 dB, додека при преносот на дигитални канали и за потребите на комуникациите може да се определи и помала вредност.

Од горната граница динамичкиот опсег е ограничен со максималниот напон на сигналот при кој засилувачот поради нелинеарни изобличувања, генерира продукти кои се еднакви на нивото на шум на излезот од засилувачот.

Нивото на шум на излезот од засилувачот е еднакво на влезното ниво на шум зголемено за вредноста на засилувањето на засилувачот.

3.6.2.9. Засилувачот треба да има определено оптимално засилување (G)

Во претходниот текст е објаснето дека јачината на сигналот опаѓа при неговото пренесување низ мрежата на КДС при што, најголемо влијание врз слабеењето на сигналот има квалитетот на кабелот кој се употребува. За кабел со среден квалитет (RG11), чије слабеење изнесува 13 dB на 100 метри (на 860 MHz и температура од 20 степени целзиусови) следи дека, доколку употребуваме засилувач со засилување од 22dB, потребно е поставување на засилувач на секои 170 метри кабел.

Од ова на прв поглед може да се заклучи дека е пожелно засилувачот да има што поголемо засилување за да може да се употреби помал број засилувачи за определено растојание. Но, не е така!

За постигнување на оптимални перформанси, најдобро е ако се избере засилувач кој има засилување точно толку колку што изнесува слабеењето на сигналите по коаксијалниот кабел. Притоа должината на кабелот да се одбере така што на влезот од засилувачот да пристигнат сигнали со ниво кое нема да биде пониско од минимално потребното (72 dB), со цел да се добие бараниот однос сигнал/шум од 49 dB (при каскада до максимум 8 засилувачи).

Оптималното потребно засилување на засилувачот е функција од шумниот број на засилувачот и излезната моќ при зададен степен на изобличување.

Ова ќе го објаснам со следниов пример:

Нека е даден засилувач со следниве карактеристики:

- Шумен број (N_F - *noise figure*) на засилувачот = 8 dB
- СТВА = -78 dB при излезно ниво на сигналите 99/90 dB
(највисок/најнизок канал)

Ако засилувањето G на засилувачот е нагодено да изнесува 27 dB на каналот со највисока фреквенција, а влезното ниво на сите канали е 72 dB μ V, тогаш согласно формулата (15): $C/N = U_{in} - N_{75\Omega} - N_F$, пресметуваме (72 - 2 - 8) и добиваме дека односот сигнал/шум само за овој засилувач ќе биде 62 dB.

Излезното ниво на сигналите ќе биде влезното ниво плус засилувањето на засилувачот: $72 \text{ dB}\mu\text{V} + 27 \text{ dB} = 99 \text{ dB}\mu\text{V}$, со тоа што СТВА ќе биде во границата од -78 dB .

Ако влезниот сигнал варира, со секој децибел зголемување на влезното ниво на сигналот, односот сигнал/шум ќе се подобри (зголеми) за 1 dB , додека СТВА ќе се влоши (намали) за 2 dB . За да се намали нивото на влезниот сигнал и да се добие потребното излезно ниво на сигналот, употребуваме соодветен атенуатор со кој го намалуваме сигналот на влезот од засилувачот.

Сега да ја разгледаме ситуацијата ако имаме засилувач дизајниран за засилување од 40 dB . На прв поглед поголемото засилување на засилувачот изгледа дека е подобро бидејќи ќе може да се употреби подолг коаксијален кабел помеѓу засилувачите и да се однесе сигналот на поголемо растојание. Но, да видиме што ќе се случи со односот сигнал/шум и изобличувањето на засилувачот.

Ако на влезот на овој засилувач се донесе ниво на сигнали од $72 \text{ dB}\mu\text{V}$, тогаш нивото на излезниот сигнал ќе биде зголемено за 40 dB и ќе изнесува $112 \text{ dB}\mu\text{V}$. При тоа ниво на излезниот сигнал, СТВ ќе изнесува само -52 dB , односно ќе се влоши за 26 dB бидејќи нивото на излезниот сигнал од засилувачот се зголемил за 13 dB . Ако сега, со цел да го намалиме изобличувањето, го намалиме излезното ниво на 99 dB (со атенуатор го намалиме влезното ниво за 13 dB), тогаш односот сигнал/шум исто така ќе се намали за 13 dB и ќе изнесува само 49 dB ! И тоа само за еден засилувач. Веќе при два вакви каскадно поврзани засилувачи односот сигнал/шум ќе биде 46 dB што е под дозволената граница!

Накратко, преголемото засилување на засилувачот нè принудува или да прифатиме поголемо изобличување, или намален однос сигнал/шум.

Современите CATV засилувачи се повеќестепени и кај нив со помош на коректор и атенуатор помеѓу засилувачките степени, може многу подобро да се нагодат оптималните работни параметри.

Големо засилување е релативно лесно да се постигне при изработката на еден засилувач. Технички неспоредливо потешка задача е да се постигне што понизок шумен број и големо излезно ниво при мали изобличувања на сигналот. Токму тие особини на засилувачите најмногу се ценат.

3.6.2.10. Засилувачот треба да биде двонасочен (да овозможи засилување или премин на сигналите во обратна насока, во фреквенцискиот појас од 5 до 65 MHz)

Во кабелската дистрибутивна мрежа освен што се пренесуваат голем број канали во вид на модулирани RF сигнали од главната станица кон корисниците, се пренесуваат и сигнали во обратна насока, односно од корисниците кон главната станица.

Сигналите од главната станица кон корисниците се пренесуваат во фреквенциското подрачје од 85 до 862 MHz.

Сигналите од корисниците до главната станица се пренесуваат во фреквенциското подрачје од 5 до 65 MHz – „повратен пат“ и се користат за двонасочна дигитална комуникација (како што е интернет-upstream на пример).

Засилувачот, освен што треба да ги засили сите сигнали од фреквенцискиот опсег од 85 до 862 MHz, треба да овозможи засилување (или, по желба, само премин) на сигналите во обратната насока, за „повратниот пат“ во фреквенциското подрачје од 5 до 65 MHz.

3.6.2.11. ЗАВИСНОСТ НА ИЗЛЕЗНОТО НИВО НА ЗАСИЛУВАЧОТ од бројот на пренесуваните канали и од бројот на засилувачи поврзани еден по друг во линија (каскадно поврзани засилувачи)

3.6.2.12. Минимално ниво на RF сигналите на излезот од засилувачот

Порано спомнав дека субјективната оценка за квалитетот на сликата и звукот е поврзана со односот сигнал/шум на соодветниот ТВ сигнал. Минималниот однос на сигнал/шум треба да изнесува 49 dB за квалитетот на приманиот ТВ канал да биде одличен. За да се осигури тој однос на сигнал/шум во приемникот кај секој од корисниците, минималното ниво на сигналите на секој засилувач треба да изнесува:

$$U_{out \min} \text{ (dB}\mu\text{V)} \geq N_{75\Omega} + N_F + G + S/N + 10 \log M \quad (21)$$

каде што:

$N_{75\Omega} = 2 \text{ dB}\mu\text{V}$ претставува каналниот топлински шум;

N_F – коефициент на шум (шумен број) на засилувачот во dB;
 G – коефициент на засилување на засилувачот во dB;
 S/N – нормиран минимален однос на сигнал/шум (49 dB), и
 M – број на последователно сврзани засилувачи (во каскада).

Зголемувањето на минималното излезно ниво на секој следен засилувач, вклучен во кабелската дистрибутивна мрежа за $\Delta U_{s/n} = 10 \lg M$ го компензира влошувањето на односот сигнал/шум од неговите сопствени шумови (слика 64 на страница 145).

3.6.2.13. Максимално ниво на сигналите на излезот од засилувачот

Засилувачи и нелинеарни изобличувања во КДС

Максималното дозволено ниво на сигналот на излезот на даден засилувач зависи од бројот на пренесуваните канали во мрежата и од бројот на каскадно поврзани засилувачи.

Со зголемување на бројот на каналите се зголемуваат интермодулациските изобличувања, како и изобличувањата предизвикани од вкрстената модулација затоа што расте бројот на носечки сигнали. За да се обезбеди квалитет на сигналите согласно меѓународните норми (КМА, IMA2, IMA3, СТВА, СХМА и CSOA), неопходно е соодветно да се намали нивото на сигналите на излезот од засилувачите.

Исто така, секој следен засилувач внесува нови интермодулациски и кросмодулациски изобличувања. За да се избегне пречекорување на дозволеното ниво на изобличување на сигналите при зголемување на бројот на последователно сврзани засилувачи во мрежата, се наметнува потребата од дополнително намалување на нивото на сигналите на излезот од засилувачите.

Обично, максималното ниво на сигналите на излезот од кабелските засилувачи (во каталозите) се дава за два канали (програми). За да не се пречекорат дозволените изобличувања при користењето на таквите засилувачи во кабелските дистрибутивни системи преку кои се пренесуваат n аналогни

телевизијски канали, нивото на излезните сигнали на секој засилувач треба да се намали за следнава вредност, изразена во dB:

$$\Delta U_n = x \times \log(n - 1) \quad (22)$$

Коефициентот x зависи од карактерот на носечките сигнали и бројот на каналите. Тој може да ги има следните вредности: $x = 10$ – при синхроност на осцилациите од сите носечки сигнали во мрежата; $x = 5$ – при асинхроност на осцилациите на носечките сигнали и $x = 7.5$ – најчесто користена (средна) вредност (за мали системи до 32 ТВ канали).

Обично, во системи преку кои се пренесуваат 12 ТВ и 24 ФМ радио програми, се зема дека $\Delta U_n = 8.5$ dB; при 24 ТВ и 24 ФМ радио програми – $\Delta U_n = 11.5$ dB и при 35 ТВ, 30 радио програми и 16 канали на дигитално радио – $\Delta U_n = 12.5$ dB.

Износот (во dB) за кој треба да се намали нивото на сигналот на излезот на секој од последователно сврзаните засилувачи со цел да се запазат зададените интермодулациски и кросмодулациски растојанија, може да се определи од следнава формула:

$$\Delta U_m = y \times \log M \quad (23)$$

каде што M е реден број на засилувачот, а y е коефициент кој зависи од проектираните растојанија на интермодулациските и кросмодулациските продукти. Така:

$y = 10$ при IMA2 и CSOA;

$y = 17$ при КМА и IMA3;

$y = 18$ при СТВА, и

$y = 20$ при СХМА.

Кога бројот на каналите е до 24, најчесто се користат нормите IMA2, IMA3 и КМА. При 36 и 42 канален растер најчесто се користат нормите CSOA и СТВА, а при **57** или **77** канален растер најчесто се користи нормата **СХМА**.

Од сето погоре кажано, за пресметување на максимално дозволеното ниво на излезот од засилувачот се добива изразот:

$$U_{out\ max}[dB\mu V] = U_{out\ 2k} - \Delta U_n - \Delta U_m \quad (24)$$

каде што $U_{out\ 2k}$ е максималното излезно ниво на засилувачот по каталог за два канали и при растојание на интермодулациски продукти (КМА, IMA) од 60 dB.

Нивото на добиените интермодулациски и кросмодулациски продукти на излезот од определен засилувач треба да биде толку ниско, така што да не предизвика забележливо влошување на квалитетот на сликата, односно звукот кај корисниците.

Основни правила при определување на излезното ниво кај засилувачите се следниве:

Намалување на нивото на сигналите на излезот од засилувачот за 1dB, го подобрува (зголемува) **CSOA** за околу 1dB.

Намалување на нивото на сигналите на излезот од засилувачот за 1dB го подобрува (зголемува) **CTBA** и **CXMA** за околу 2dB.

Дуплирање на бројот на засилувачи со исти карактеристики поврзани едноподруго во линија (каскада) го влошува (намалува) **CSOA** за 3 dB.

Дуплирање на бројот на засилувачи со исти карактеристики поврзани едноподруго во линија (каскада) го влошува (намалува) **CTBA** и **CXMA** за 6 dB.

Во каталожките податоци за широкопојасните засилувачи се наведува нивното засилување изразено во (dB) и максималното излезно RF ниво изразено во (dB μ V). Податоците за максималното излезно ниво (ако инаку не е наведено) обично се однесуваат за случај кога засилувачот засилува два сигнали. Во кабелските дистрибутивни системи широкопојасните засилувачи засилуваат голем број сигнали, па е потребно да се намалат излезните нивоа на засилувачите.

Колку поголем број канали се пренесуваат низ мрежата, толку помало ниво треба да форсираме на излезот од засилувачите.

Општо земено, без многу паметење на формули и пресметувања, техничарите е доволно да знаат дека **при секое дуплирање на бројот на пренесуваните канали, потребно е нивото на излезот од сите засилувачи во мрежата да се намали за 3 dB.**

Исто така, колку поголем број засилувачи има во една линија (поврзани во каскада), толку повеќе треба да се намали нивото на излезот од засилувачите.

Доволно точно и едноставно важечко правило е дека **при секое дуплирање на бројот на употребените засилувачи во каскада, потребно е нивото на излезот од засилувачите да се намали за 3 dB**. Ова ќе го разгледаме со следниов пример:

Нека е даден засилувач, за кого во фабричките податоци е наведено дека максималното излезно ниво на тој засилувач изнесува 123 dB μ V (за -60 dB IMD). Ова важи за еден ТВ канал и само еден засилувач во линија. Излезното ниво на засилувачите во зависност од бројот на пренесувани канали и бројот на засилувачи поврзани во каскада, (за засилувачот од примерот) се прикажани во табела 10:

Табела 10. Излезно ниво на засилувачот во зависност од бројот на пренесувани канали и од бројот на засилувачи во каскада

Table 10. Amplifier output level dependend of nuber of transmitting channels and number of amplifiers one after another (in cascade)

Број на пренесувани канали	Број на засилувачи поврзани во каскада				
	1	2	4	8	16
2	123 dB μ V	120 dB μ V	117 dB μ V	114 dB μ V	111 dB μ V
4	120 dB μ V	117 dB μ V	114 dB μ V	111 dB μ V	108 dB μ V
8	117 dB μ V	114 dB μ V	111 dB μ V	108 dB μ V	105 dB μ V
16	114 dB μ V	111 dB μ V	108 dB μ V	105 dB μ V	102 dB μ V
32	111 dB μ V	108 dB μ V	105 dB μ V	102 dB μ V	99 dB μ V
64	108 dB μ V	105 dB μ V	102 dB μ V	99 dB μ V	96 dB μ V
128	105 dB μ V	102 dB μ V	99 dB μ V	96 dB μ V	93 dB μ V

За да го одржиме потребното ниво на интермодулациски и кросмодулациски пречки од -60 dB IMD (во овој пример), потребно е да се придржуваме на вредностите за излезното ниво од оваа табела. Во спротивно, ќе се намали односот сигнал/шум, ќе се појават пречки во сигналот и ќе се влоши квалитетот на сликата и звукот на пренесуваните канали.

3.6.2.14. Магистрални (линиски) и дистрибутивни засилувачи

Во магистралните линии од коаксијалната дистрибутивната мрежа се користат магистрални (линиски) засилувачи. Тие обично имаат повисоко излезно ниво и се релативно со поголема моќ од дистрибутивните засилувачи кои се користат во субмагистралните, односно крајните мрежи од КДС.

Дистрибутивните засилувачи обично имаат поголемо засилување.

Во последниве години, поради многу помалото слабеење на сигналите, магистралниот дел од КДС се изведува со оптички кабли, како составен дел од хибридната оптичко-коаксијална мрежа (HFC). Така, магистралните засилувачи во модерните КДС речиси воопшто не се користат повеќе. Помеѓу оптичкиот нод и крајните корисници, во делот на коаксијалниот сегмент од КДС растојанието е релативно мало, па така нема потреба од користење на магистрални засилувачи туку се употребуваат релативно поевтини субмагистрални засилувачи.

Дистрибутивните засилувачи се користат во субмагистралните линии на КДС. Тие можат да имаат пониско ниво од магистралните засилувачи и можат да бидат со помала моќ.

Влезната и излезната импеданса на засилувачите кои се користат во КДС треба да изнесува 75Ω .

Денес на пазарот се достапни голем број различни CATV засилувачи од различни производители. Обично секој тип на засилувач нуди компромис помеѓу неговите технички карактеристики и неговата цена. Идеален CATV засилувач треба да ги засили сигналите во КДС без да додава било каков шум или изобличување. Но, за жал, не постои ништо идеално...

3.6.3. Атенуатори (ослабувачи на сигналот)

За регулирање на нивото на сигналите на влезот на засилувачот, како и за осигурување на неговото усогласување кон импедансата на коаксијалниот кабел, се употребуваат фиксни или варијабилни атенуатори. Бидејќи усогласувањето на импедансата во кабелската дистрибутивна мрежа е од особено значење, се препорачува на влезот на секој засилувач, пред или по коректорот на фреквенциската карактеристика, да се стави атенуатор со помош на кој ќе се подеси потребното ниво на сигналите на влезот од засилувачот и

што е исто така многу важно, ќе се прилагоди импедансата. Ова е заради тоа што влезна импеданса на засилувачот од точно 75 Ω во целото широкопојасно фреквенциско подрачје од 112 до 860 MHz е многу тешко или невозможно да се постигне. Но, со помош на атенуатор тоа лесно се прилагодува.

Значи, прво се поставува атенуатор, па еквилајзер, па потоа следува засилувачкиот елемент во засилувачот.

Кај современите засилувачи сите овие елементи се вградени во самата кутија на засилувачот.

Атенуаторите во зависност од својата вредност, помалку или повеќе го слабеат сигналот линеарно, односно подеднакво на сите фреквенции.

Најголем број од поевтините засилувачи имаат вградени варијабилни односно регулирачки атенуатори и коректори. Со овие варијабилни атенуатори мошне лесно се нагудува потребното засилување и корекција. Меѓутоа со текот на времето, нивната вредност станува релативно нестабилна. Еднаш нагодените вредности имаат тенденција да се променат за некој временски период. Исто така, нагодените вредности на варијабилните атенуатори и коректори можат да се изместат при механички вибрации или удари на засилувачот. Многу подобри се фиксните атенуатори и коректори кои се во вид на изменливи плочки со контакти кои се вметнуваат на посебни места внатре во засилувачот. Недостаток кај фиксните атенуатори и коректори е тоа што секогаш при рака треба да се има поголем број изменливи плочки со разни вредности за да може точно да се нагоди саканата вредност на атенуација и еквиализација.

3.6.4. Коректори на фреквенциската карактеристика

(„еквилајзери“ - изедначувачи на нивото на сигналите во мрежата)

Минувајќи низ коаксијалниот кабел, како и низ другите пасивни елементи на дистрибутивната мрежа, сигналите претрпуваат различно слабеење во зависност од нивната фреквенција. Како последица на тоа, во некој дел од мрежата, сигналите со пониска фреквенција се појаки, за разлика од сигналите со повисока фреквенција кои се послаби.

Бидејќи сигналите на влезот од засилувачот треба да бидат со подеднакво ниво, треба на некој начин да се изедначат нивоата на сите сигнали кои се пренесуваат во мрежата. Тоа се постигнува со помош на коректори на фреквенциската карактеристика, кои имаат обратна карактеристика на слабеење во однос на коаксијалниот кабел. Овие коректори имаат најголемо слабеење на сигналите со најниска фреквенција додека сигналите со највисоки фреквенции претрпуваат многу мало слабеење.

Во основа, коректорите претставуваат триполни L-R-C филтри со инверзна амплитудно-фреквенциска карактеристика во однос на амплитудно-фреквенциската карактеристика на коаксијалниот кабел.

Коректорите, како и атенуаторите, можат да бидат фиксни и варијабилни. Фиксните коректори се произведуваат во вид на изменливи плочки со конектори кои се вметнуваат на посебни места внатре во засилувачот. На самата плочка од фиксниот коректор е означена вредноста на коректорот која ја одбираме во зависност од фреквенциската карактеристика на слабеење на употребениот кабел и од должината на кабелот.

Во еден современ двостепен CATV засилувач потребната вредност на корекција се дели на два дела и во засилувачот се поставуваат два коректори. Едниот коректор се става на влезот од првиот засилувачки степен во засилувачот а вториот коректор се става помеѓу првиот и вториот засилувачки степен во засилувачот.

Коректорите се одбираат така што нивото на сигналите на влезот на првиот засилувачки степен бидат изедначени, додека нивото на излезот од засилувачот на високите фреквенции (860 MHz) треба да биде околку 99 dB μ V, а нивото на сигналите на ниските фреквенции (112 MHz) на излезот од засилувачот треба да изнесува околу 91 dB μ V.

3.6.5. Коректори на сигналите во обратна насока,

во фреквенцискиот појас на „повратниот пат“ од 5 до 65 MHz

Преносот на сигналите за потребите на интернет-upstream во КДС (docsis интернет) се врши во обратна насока (повратен пат) и тоа во нискиот фреквенцискиот појас од 5 до 65 MHz. Овој фреквенциски појас на прв поглед не изгледа многу широк, но фреквенцискиот распон изнесува 1:13 помеѓу

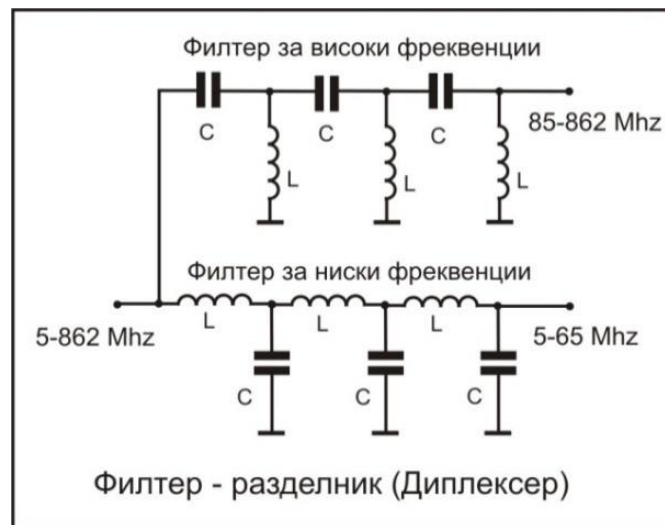
најниската фреквенција (5 MHz) и највисоката фреквенција (65 MHz). Од друга страна, делот од 5 MHz до 30 MHz речиси воопшто не се користи поради големите пречки во тој фреквенциски појас.

Во модерните КДС за интернет-upstream сообраќајот се користат фреквенции помеѓу 30 и 65 MHz. Односот помеѓу најниската и највисоката фреквенција сега е само 1:2 така што нема потреба да се применува корекција во обратната насока со примена на еквилајзери, односно коректори.

3.6.6. Фреквенциски филтер (Diplexer)

Фреквенцискиот филтер - диплексер служи за раздвојување на сигналите со фреквенции од 85 до 862 MHz од сигналите во обратна насока (повратен пат) со фреквенции 5 до 65 MHz.

Диплексерот се поставува внатре во засилувачите со намена да го раздвои директниот од обратниот канал.



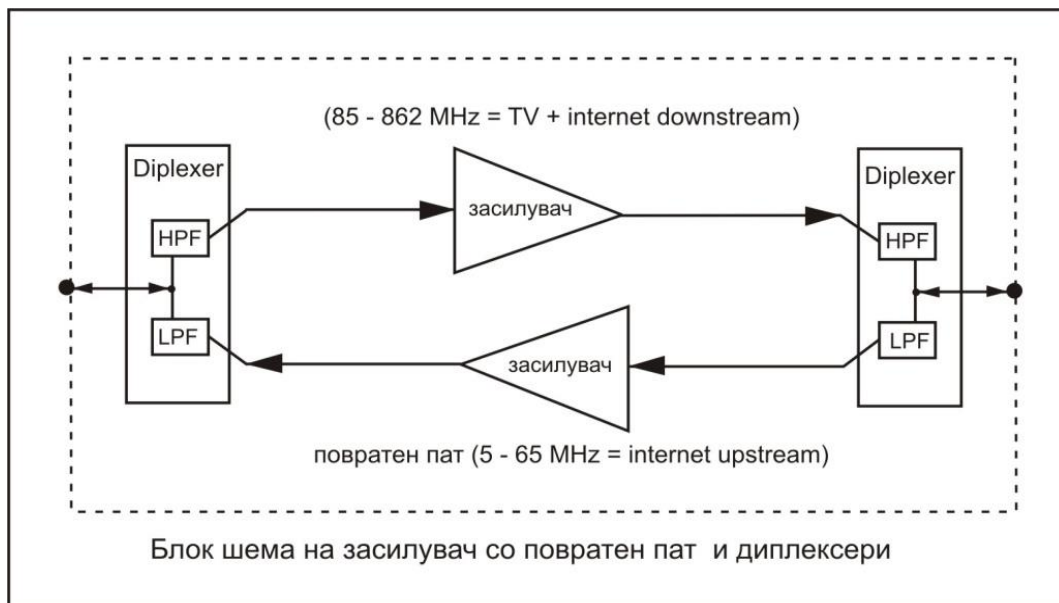
Слика 53. Филтер – разделник (диплексер)

Figure 53. Diplexer

Во основа, диплексерот е составен од нископропусен филтер, односно филтер за ниски фреквенции (LPF - Low Pass Filter) и високопропусен филтер, односно филтер за високи фреквенции (HPF - High Pass Filter).

Користењето на диплексер-филтерите е неопходно во двонасочните кабелски дистрибутивни системи. Од друга страна тие имаат свои недостатоци. Главен проблем е што тие најмногу придонесуваат во доцнење на сигналите

(Group Delay) кое предизвикува интерференција меѓу дата-симболите на дигиталните сигнали. Проблеми поради доцнењето (иако во помала мера) се јавуваат и во аналогните ТВ сигнали.



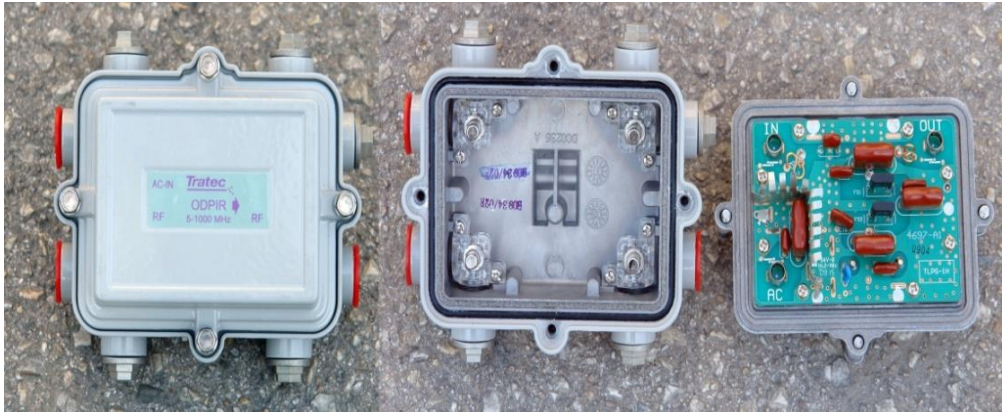
Слика 54. Блок шема на двонасочен засилувач со повратен пат и диплексери
Figure 54. Block diagram of bi-directional amplifier with return path and diplexers

3.6.7. Напојување на засилувачите преку коаксијалниот кабел трансформатор и напонски внесувач (power inserter)

Засилувачите во кабелскиот дистрибутивен систем, по правило, се напојуваат преку коаксијалниот кабел со користење на „напонски внесувач“ (power inserter) кој покрај RF сигналите, низ коаксијалниот кабел внесува и наизменичен напон од околу 60 волти. При евентуални оштетувања на кабелот овој напон не е опасен за човекот. Потребниот напон од 60 Волти се добива со помош на трансформатор 220/60V.

Јачината на струјата која треба да ја обезбеди трансформаторот се пресметува во зависност од тоа колку засилувачи ќе се напојуваат од тој трансформатор.

Обично засилувачите кои се користат во КДС имаат потрошувачка од околу 15 до 20VA и работен напон од 30 до 60V. Значи, јачината на струјата потребна за работа на засилувачот со зададена моќност, зависи од тоа на колкав напон ќе работи засилувачот.



Слика 55. Напонски внесувач

Figure 55. Power inserter

Ако засилувачот е поблиску до трансформаторот, тогаш напонот ќе биде повисок (околу 60V). Ако засилувачот е поставен подалеку од трансформаторот, падот на напонот што го предизвикува отпорот на коаксијалниот кабел ќе биде поголем, така што последниот засилувач во тој сегмент ќе се напојува со понизок напон, но со поголема струја (моќноста на засилувачот е секогаш константна).

На пример, нека е даден еден CATV засилувач кој има потрошувачка моќ од 20VA. Тој засилувач кога се наоѓа блиску до трансформаторот ќе работи на напон од околу 60V има потреба од јачина на струјата еднаква на 0,333A. ($20VA/60V=0,333A$). Истиот тој засилувач кога се наоѓа подалеку од трансформаторот, ќе работи на напон од 30V и ќе има потреба од два пати поголема јачина на струјата, која во овој пример, ќе биде еднаква на 0,666A ($20VA/30V=0,666A$).

Ако од еден трансформатор треба да се напојуваат 20 засилувачи во неколку различни коаксијални линии и за секој од тие 20 засилувачи треба да се обезбеди јачина на електричната струја од по 0,666A, следува дека трансформаторот треба да испорача најмалку 13,32A ($20 \times 0,666A = 13,32A$). Сега може лесно да се пресмета колкава моќ треба да има трансформаторот: $13,32A \times 60V = 800 VA$. Во пракса зе зема 25% повеќе (поради разни загуби), така што моќноста на трансформаторот од горниот пример треба да биде 1000 VA, односно треба да дава 60V напон и 16,666 A јачина на струја.

При правилно планирање и проектирање на КДС треба да се внимава на јачината на електричната струја која е потребна за напојување на

засилувачите. Притоа, конекторите и контактите треба да се предвидени за потребната јачина на струјата.

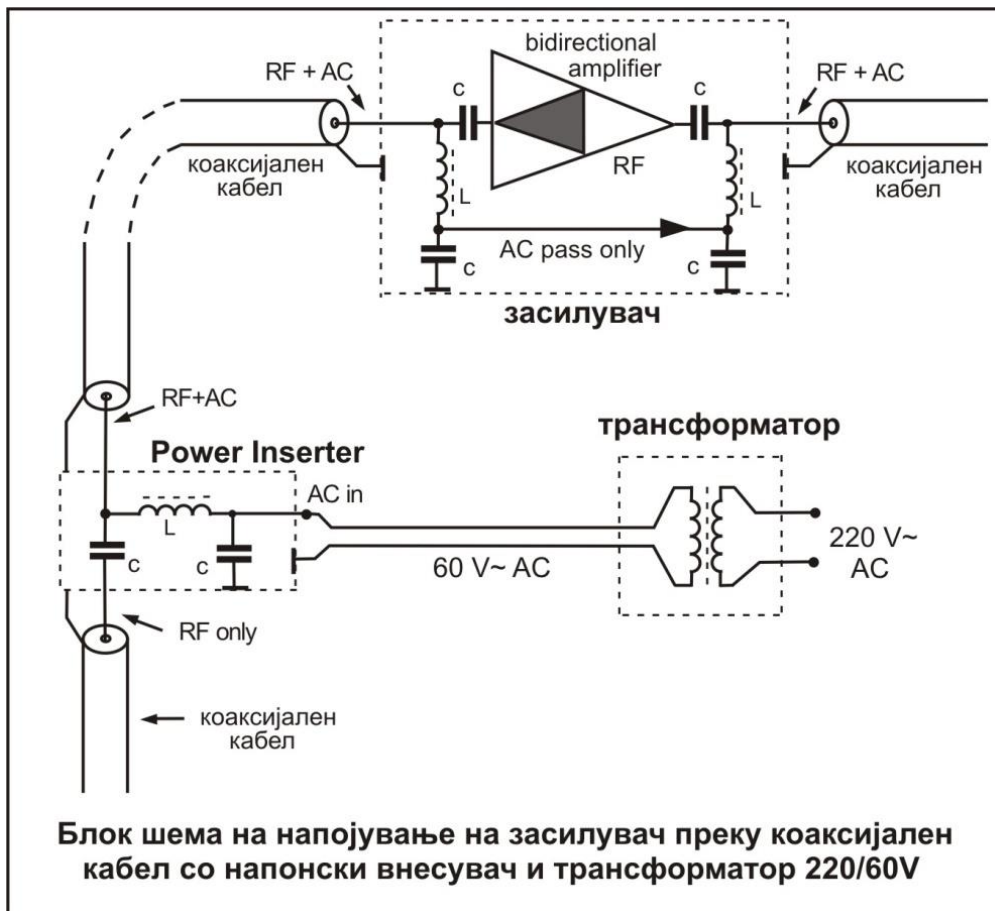


Слика 56. Трансформатор за напојување на засилувачите преку коакс. кабел
Figure 56. Transformer for remote AC powering the amplifiers trough coax cable

Во ниту еден случај не смее да се дозволи во кабелската линија низ која поминува и струја за напојување на засилувачи да се користат "F" конектори. Контактите на спојките со "F" конектори се недоволни за пренос на струја за напојување на засилувачите, особено кога низ контактите поминува поголема струја за напојување на повеќе засилувачи. Можеби на почетокот тие нема да создаваат видливи проблеми, но по некое време контактите кородираат и предизвикуваат пад на напонот и проблеми, а корисниците пријавуваат зголемен број дефекти во таа линија.

Пожелно е трансформаторот да се приклучи преку "UPS" (*Uninterruptible Power Supply*), односно уред за непрекинато напојување со стабилизатор на напонот кој овозможува стабилно и непрекинато напојување на засилувачите дури и при евентуални кратки прекини на електричната енергија.

На слика 57 е прикажана блок шема на далечинско напојување на засилувач поставен во линија на коаксијален кабел. Напојувањето на засилувачот се врши преку коаксијалниот кабел со користење на "напонски внесувач" (power inserter) кој покрај RF сигналите, низ коаксијалниот кабел внесува и наизменичен напон од околу 60 волти.



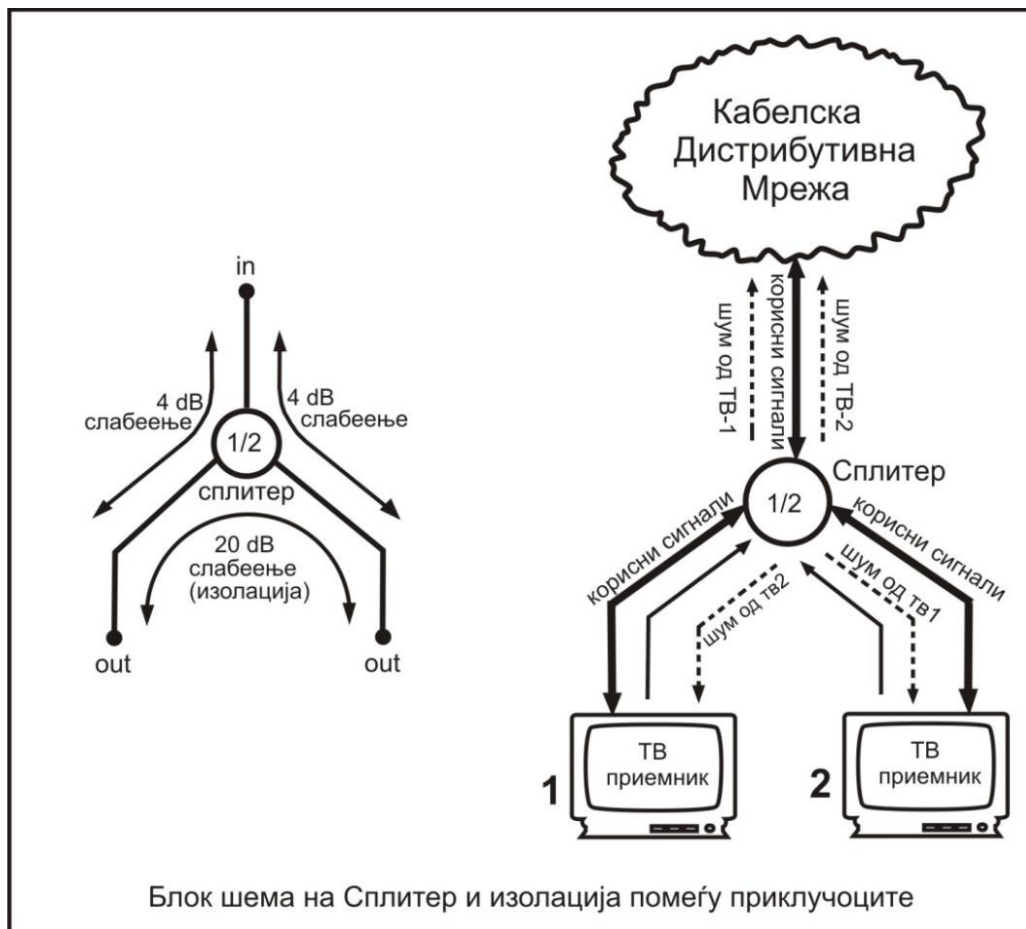
Слика 57. Блок шема на напојување на засилувач преку кабел
 Figure 57. Block diagram of amplifiers remote powering trough coax cable

3.6.8. Разделници (делители, односно сплитери)

Разделниците се пасивни шестополни елементи кои го делат влезниот сигнал на одреден број гранки. Постојат разделници со еден влез, и два или повеќе излези. Се користат кај антенските системи за делење на сигналот од една антена на повеќе приемници, во кабелската дистрибутивна мрежа за делење на сигналот од една на две или повеќе линии, кај корисниците обично се користат за делење на сигналот од еден на два телевизори или пак за еден ТВ и еден кабелски модем, а во главната станица се користат и како здружувачи (суматори) на сигналите од повеќе влезови во еден излез.

Изолацијата на разделниците (околу 22 dB помеѓу излезите) не е доволна и затоа не се препорачува употреба за делење на сигналот помеѓу два или повеќе корисници бидејќи евентуалните пречки од кај еден корисник можат да влијаат на сигналот и кај другиот корисник поврзан на истиот сплитер. Во вакви случаи подобро е да се користат тапови наместо сплитери.

Разделниците кои се користат во КДС треба да имаат висок степен на RF-оклопеност, за да се спречи пенетрација на радио-фреквенциски зрачења во системот, и од него.



Слика 58. Блок шема на сплитер и изолација помеѓу приклучоците
Figure 58. Block diagram of splitter and its port isolation

Разделниците овозможуваат премин на сигналот и во обратна насока, од своите излези кон влезот. Таквото обратно приклучување овозможува сумирање на сигналите. Импедансата на влезот и излезите на разделниците треба да изнесува 75 Ω.

Во идеален случај разделниците со еден влез и два излези го делат влезниот сигнал на два еднакви делови со по 3 dB пониско ниво од тоа на влезниот сигнал. Но, во пракса, поради загубите во самиот разделник (0.5 ... 1 dB) на излезите од разделникот се добиваат сигнали кои се за 3.5 до 4 dB пониско ниво од она на влезот. Разделниците со еден влез и 4 излези го слабеат сигналот за 7 до 8 dB.



Слика 59. Внатрешни сплитери со два, три и четири излези

Figure 59. Indoor splitters with 2, 3 and 4 outs

Во табела 11 се прикажани типичните карактеристики на сплитерите за внатрешна монтажа (во немагистрални линии без засилувачи) кои не пропуштаат напон, односно струја за напојување на засилувачите.

Табела 11. Типични карактеристики на сплитери

Table 11. Typical characteristics of splitters

Типични карактеристики на сплитери (5 до 862 MHz)			
Вид	излези	Слабење влез-излез (dB)	Слабење (Изолација) Излез-излез (dB)
1/2	2	4	>22
1/3	3	6	>22
1/4	4	7,5	>24
1/6	6	10	>24
1/8	8	11,5	>24

Претходно објаснив дека во магистралните и субмагистралните линии, освен RF сигналите, се пушта и наизменичен (NF) напон со фреквенција од 50

Hz и со напон од 60 волти. Овој напон служи за напојување на засилувачите преку кабелот. Во таквите линии на КДС се употребуваат разделници кои ја пропуштаат струјата потребна за напојување на засилувачите (AC-pass тип). Овие сплитери се нарекуваат и надворешни сплитери



Слика 60. Надворешен „AC-pass“ сплитер (овозможува премин на струја)
Figure 60. Outdoor AC-pass splitter

Во крајните кориснички линии каде не постои напон за напојување на засилувачите и, каде по кабелот се пренесуваат само RF сигнали, се употребуваат обични разделници кои не мора да пропуштаат NF струја. Овие сплитери се нарекуваат внатрешни сплитери.

3.6.9. Отцепници (тапови)

Отцепниците (некои ги нарекуваат отклонители, а на англиски се нарекуваат *directional couplers*) се пасивни елементи со кои од главната линија на КДС се одзема сигнал, а при преминот на сигналот низ нив, внесуваат многу мало проодно слабеење. Постојат отцепници со еден, два, четири или повеќе излези и 6, 8, 12, 16, 20 или 24 dB отцепно слабеење.

Слабењето на сигналот при преминот низ отцепниците (проодното слабење), се намалува со зголемување на отцепното слабење. Изолацијата помеѓу отцепениот и излезниот сигнал е голема, така што со употреба на отцепници, се обезбедува доволна изолација помеѓу приемниците на крајните корисници во КДС.



Слика 61. Надворешен „AC-pass“ тап (овозможува премин на струја)
Figure 61. Outdoor AC-pass tap

Отцепниците овозможуваат премин на сигналот и во обратна насока, со исто соодветно слабење од својот "тап" излез, кон влезот. Ова се користи за пренос на сигнали во обратна насока, од корисниците кон главната станица.

Отцепниците кои се користат во КДС треба да имаат висок степен на оклопеност, за да се спречи пенетрација на радио-фреквенциски зрачења во системот, но истовремено да спречат излучување на RF-сигналите кои се дистрибуираат во системот, кон надвор.

Импедансата на влезот, излезот, како и на сите отцепни излези, треба да изнесува 75 Ω .

Во магистралните и субмагистралните линии, освен RF сигналите се пушта и наизменичен (NF) напон со фреквенција од 50 Hz и со напон од 60 волти. Овој напон служи за напојување на засилувачите преку кабелот. Во таквите линии на КДС се употребуваат отцепници кои ја пропуштаат струјата потребна за напојување на засилувачите (AC-Pass tap), односно надворешни тапови.



Слика 62. Надворешен „AC-pass“ тапови со F-конектори на излезите
Figure 62. Outdoor AC-pass taps with output F-connectors

Во крајните кориснички линии каде не постои напон за напојување на засилувачите, и каде по кабелот се пренесуваат само RF сигнали, се употребуваат обични отцепници кои не можат да пропуштат NF струја – внатрешни тапови.

3.6.10. Конектори

Во кабелскиот дистрибутивен систем, за поврзување на коаксијалниот кабел со засилувачите, разделниците, отцепниците и другите елементи, се користат различни типови на конектори.

Во магистралните коаксијални кабелски мрежи каде се користи робустен коаксијален кабел (QR-540) со голем дијаметар и мало слабеење на сигналите,

се користат специјални робусни конектори кои се местат на краевите од кабелот со специјален алат.

Во субмагистралните коаксијални мрежи каде се користи коаксијален кабел RG-11, поврзувањето се врши со 5/8" конектори, како и соодветни F-конектори за кабел RG-11.

За поврзување на корисниците со субмагистралните коаксијални мрежи се користи коаксијален кабел RG-6, со соодветни F-конектори за кабел RG-6.

Постојат неколку типови на конектори: конектори со навртување, кримп-конектори кои се монтираат со специјална „кримп“ клешта и компресиони конектори кои се монтираат со специјална клешта за компресиони конектори. Најквалитетни се компресионите конектори. Помалку квалитетни се кримп-конекторите и најнеквалитетни се конекторите на навртување.

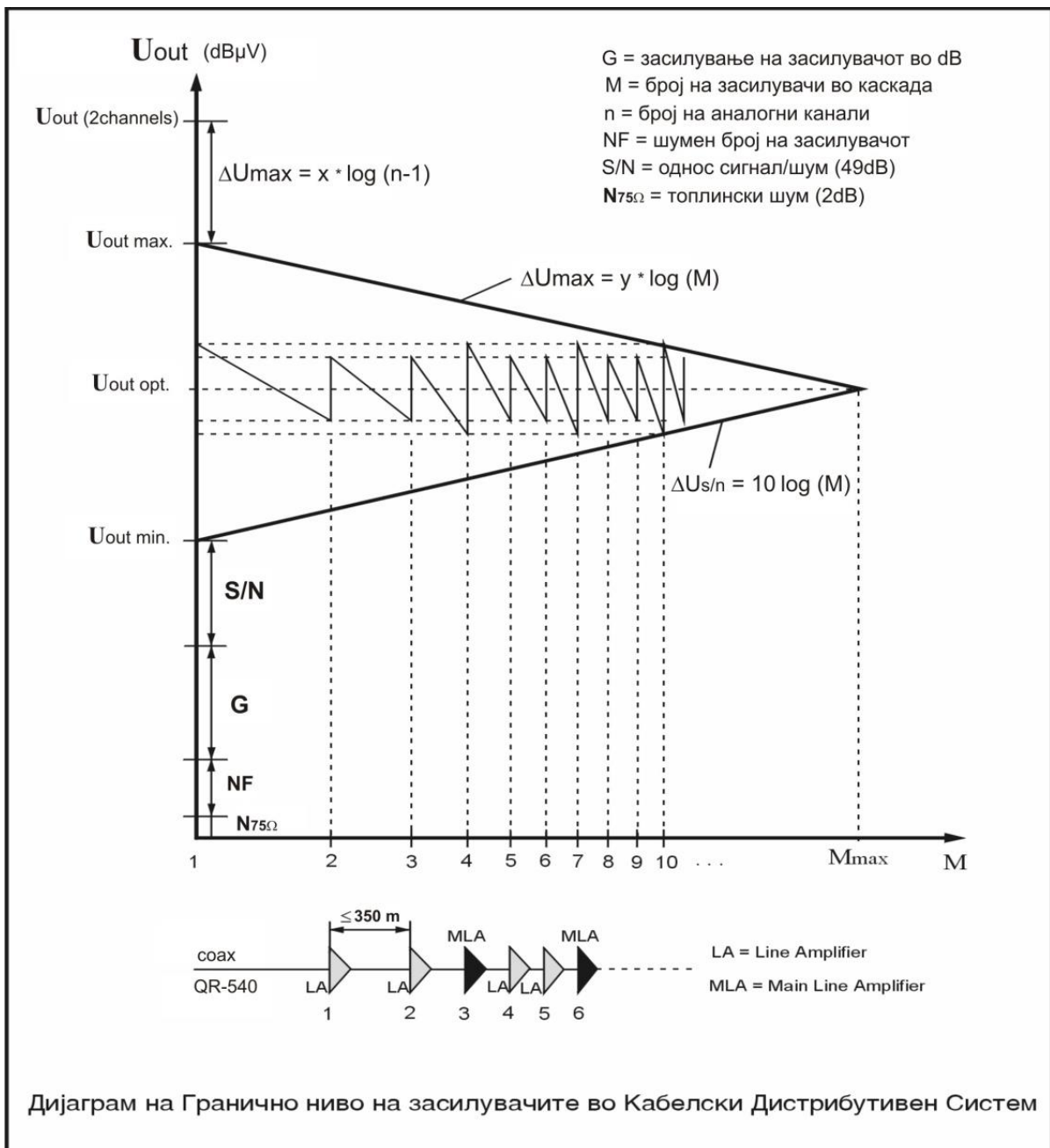
За приклучување на кабелот кон ТВ приемниците кај крајните корисници, се користат стандардни "IEC 169-2" ТВ конектори, односно TV/F конектори.



Слика 63. Разни видови конектори кои се користат во КДС (2)

Figure 63. Various connector types in CATV (2)

3.7. ПЛАНИРАЊЕ И ПРОЕКТИРАЊЕ НА КОАКСИЈАЛНА КАБЕЛСКА ДИСТРИБУТИВНА МРЕЖА



Слика 64. Оптимално гранично ниво на сигналите на засилувачите во КДС
 Figure 64. CATV amplifiers optimum signal level limits

Коаксијалната кабелска мрежа е составена од магистрални и субмагистрални коаксијални кабелски линии. При проектирањето на мрежата се пресметува слабеењето на сигналите по каблите и другите пасивни елементи на мрежата и неопходното засилување на засилувачите кои се

поставуваат на определени растојанија. Исто така се пресметуваат и шумовите и нелинеарните изобличувања внесени од засилувачите. Тие податоци се користат со цел да се обезбеди неопходното ниво и квалитет на приманите сигнали од страна на сите корисници.

Слабеењето на сигналите во пасивните елементи на мрежата се компензира преку употребата на засилувачи, при што промената на нивото на сигналите по мрежата наликува на пилеста форма слично како "заби" на пила за сечење на дрва, што е прикажано на слика 64.

На почетокот од главната станица (на влезот од дистрибутивната мрежа) сигналите се со определено ниво. Минувајќи низ кабелот и другите пасивни елементи на дистрибутивната мрежа, сигналот постепено опаѓа, за потоа, по засилувањето во засилувачот, повторно, скоковито да порасне до некое определено ниво заедно со неизбежното влошување на односот сигнал/шум и внесување на нелинеарни изобличувања. (слика 64).

Растојанието на „пилестите“ промени на нивото на сигналите по кабелската мрежа оддолу се ограничува со определениот минимален однос сигнал/шум, а од горе - од нормираните минимално дозволени нелинеарни изобличувања. Карактеристично за коаксијалните кабелски мрежи е тоа, што при зголемување на бројот на програмите n и бројот на последователно поставени засилувачи M , величините кои го ограничуваат минималното и максималното ниво на сигналите се приближуваат една кон друга и при определен број засилувачи (најмногу до 20) се совпаднаат. Обично, (при употреба на квалитетен кабел) тоа се случува на растојание од околу 5 км од главната станица и означува дека кабелската мрежа си ги исцрпила своите можности за понатамошно ширење.

Во современите хибридни оптичко-коаксијални дистрибутивни мрежи (HFC) се настојува преносот преку оптичкиот сегмент на дистрибутивната мрежа да биде што е можно поблиску до крајните корисници и се поставуваат повеќе оптички нодови. Со тоа, коаксијалниот сегмент на дистрибутивната мрежа не е многу долг, па не мора да се употребуваат екстремно квалитетни кабли и засилувачи како што беше случај порано, кога КДС беа градени само со коаксијални дистрибутивни мрежи.

Дозволените граници на промени на излезното ниво на секој засилувач вклучен по протегањето на кабелот од главната станица кон далечните корисници, може да се определи од дијаграмот "ножица" на слика 64. Нивото ($U_{out\ opt}$) при кое краците на "ножицата" се собираат е оптимално за проектирање на мрежата, затоа што при тоа ниво се постигнува максимално растојание на нелинеарните продукти при максимален однос сигнал/шум. Одржувањето на нивото на сигналот по кабелската мрежа околу оптималното ниво се обезбедува преку главните магистрални засилувачи (MLA) чие ниво може да се контролира преку пилотски сигнали.

Максималната должина на кабелот помеѓу два магистрални засилувачи се определува од максимално дозволеното слабеење на сигналите кое најчесто изнесува од 20 до 24 dB. Така, на пример, ако располагаме со кабел чие слабеење изнесува 6,5 dB на највисоката работна фреквенција (на пример кабел QR-540 на 860 MHz), користениот отсечок од тој кабел помеѓу два засилувачи не треба да биде подолг од 320 до 340m. Кога кабелот има слабеење од 13 dB/100m (на пример кабел RG-11 на 860 MHz), дозволената должина помеѓу два соседни засилувачи се намалува два пати и, изнесува само 160 до 170 m. Тоа ја наметнува потребата магистралните линии да се градат со употреба на висококвалитетни кабли кои се доста скапи.

Обично, се дозволува промените на слабеењето од сите дестабилизирачки фактори (температура, влага и сл.) да се натрупува по должината на кабелот вклучувајќи најмногу три магистрални засилувачи. Натрупаните промени на слабеењето во кабелот и во трите магистрални засилувачи се компензираат во третиот магистрален засилувач преку пилотски сигнали кои го управуваат степенот за автоматска регулација на засилувањето вклучувајќи ја и кабелската корекција. Затоа, по правило, секој трети засилувач во магистралната линија е главен (MLA на слика 64). Како што е прикажано на сликата, обичните магистрални засилувачи (LA) компензираат, на пример, околу 20dB слабеење, додека главните магистрални засилувачи (MLA), благодарение на вградените степени за автоматска регулација на засилувањето и на кабелската корекција, компензираат околу 24dB.

При проектирање и изградба на хибридна оптичко коаксијална кабелска мрежа – HFC (со примена на оптички кабли до нодови, од каде што се разгрануваат многу коаксијални кабли до крајните корисници), односно кога промената на засилувањето предизвикано од дестабилизирачките фактори за целата магистрална коаксијална линија не е поголема од 2 dB, не мора да се примени автоматска регулација на засилувањето. Во тој случај, од системот отпаѓаат генераторите на пилотски сигнал, како и употребата на главни магистрални засилувачи со автоматска регулација на засилувањето.

Ако се земе дека температурните влијанија врз слабеењето на надворешно поставените коаксијални кабли е околу 8%, а на подземно поставените коаксијални кабли е околу 2%, може да се пресмета при кои должини на магистралните коаксијални линии нема потреба од пилотско регулирање на засилувачите. Така, на пример, ако се користи кабел (QR-540) со слабеење од 6,5dB/100m за максималната работна фреквенција, таа должина изнесува 1600 m за подземно поставени кабли, и околу 400 m за надворешно поставен кабел. Кога слабеењето на кабелот по единица должина е два пати поголемо (кај кабелот RG-11), се добиваат два пати помали должини за каблите (800 m за подземен кабел и 200 m за надворешно поставен кабел). Со тоа се наметнува неопходноста од поставување на оптичкиот нод во центарот на реонот кој ќе се опслужува, односно колку што е можно поблиску до корисниците. (помалку корисници по оптички нод).

Во претходниот текст наведов дека постојат **магистрални** (или главни, односно примарни) линии или мрежи и **субмагистрални** (или споредни, односно секундарни) линии или мрежи. Постојат уште и **крајни**, односно **кориснички** линии или мрежи.

Во современите хибридни оптичко-коаксијални мрежи (HFC), магистралните линии се изведуваат со оптички кабел кој од главната станица ги пренесува сигналите до повеќе оптички нодови. Нодовите ги претвораат оптичките сигнали во RF сигнали, кои потоа се пренесуваат до крајните корисници со коаксијални кабелски мрежи (види ги сликите 11 и 47).

3.7.1. Нагодување на засилувачите во мрежата

Нагодувањето ќе го објаснам преку пример со хибридни двостепени засилувачи од типот **C-COR flex max220**, **C-COR flex max 222**, **Teleste CXE101**, **Teleste CXE220** и слични засилувачи кои доста често се користат во коаксијалниот дел од хибридните оптичко/коаксијални кабелски дистрибутивни системи и имаат многу слични карактеристики.

Тоа не се линиски, туку дистрибутивни засилувачи. Во современите HFC-мрежи, коаксијалните делови на мрежата се релативно кратки, па голем број оператори употребуваат вакви засилувачи во кратките коаксијални линии помеѓу оптичките нодови и крајните корисници. Цената на ваквите засилувачи е релативно ниска, но треба многу да се внимава при правилното нагодување на засилувачите за да се постигнат посакуваните перформанси.

За овој тип на засилувачи, во техничките карактеристики можат да се најдат следниве податоци:

Засилување (G) = 37dB (заедно со диплексер филтрите)

Шумен број (NF) = 8dB

Излезно ниво при -60 dB растојание сигнал/несакани продукти:

(2 channels) = 123 dB μ V

CTB (42 channels) = 111 dB μ V

CSO (42 channels) = 115 dB μ V

XMOD (42 channels) = 111 dB μ V

Излезно ниво при 107 dB μ V со 110 или 77 канали:

CTB 110/77 channels = 64/71 dB *

CSO 110/77 channels = 63/66 dB *

XMOD 110/77 channels = 61/67 dB *

* Горните технички податоци се дадени при следниве услови:

Во засилувачот има корекција (slope) од 8 до 13 dB. Во највисокиот дел на фреквенцискиот спектар 650 до 860 MHz се сместени дигитални канали со QAM модулација чие ниво е подесено на -6 dB во однос на аналогните ТВ канали.

Сега на ред се малку пресметки:

Минималното влезно ниво на сигналите во засилувачот (за еден засилувач) го определуваме со помош на формулата (16) од страница 115:

$$U_{in} = C/N + N_{75\Omega} + N_F = 49+2+8 = 59 \text{ dB}$$

Потоа го определуваме минималното влезно ниво за повеќе засилувачи во каскада со тоа што при секое удвојување на бројот на засилувачи, минималното потребно ниво на влезот од засилувачот го зголемуваме за 3 dB. Така за вредноста на минимално потребното влезно ниво на засилувачот при каскадно поврзани засилувачи добиваме:

За 1 засилувач	= 59 dB μ V
За 2 засилувачи во каскада	= 62 dB μ V
За 4 засилувачи во каскада	= 65 dB μ V
За 8 засилувачи во каскада	= 68 dB μ V
За 16 засилувачи во каскада	= 71 dB μ V

Минималното излезно ниво на засилувачот е ограничено од минимално потребниот однос сигнал/шум, и е еднакво на минималното влезно ниво зголемено за засилувањето на засилувачот. Засилувањето на засилувачот е еднакво на 37 dB. Така за минималното излезно ниво на засилувачот добиваме:

За 1 засилувач	= 59 +37= 96 dB μ V
За 2 засилувачи во каскада	= 62 +37= 99 dB μ V
За 4 засилувачи во каскада	= 65 +37= 102 dB μ V
За 8 засилувачи во каскада	= 68 +37= 105 dB μ V
За 16 засилувачи во каскада	= 71 +37= 108 dB μ V

Максималното излезно ниво на засилувачот е ограничено со односот сигнал/изобличување. За 77 пренесувани канали во мрежата производителот дава податок дека засилувачот може да испорача максимално излезно ниво од 107 dB μ V при CSO (*Composite Second order*) од 66 dB. Ова се однесува само на еден засилувач.

При каскада од повеќе исти засилувачи, за секое дуплирање на бројот на засилувачи, максималното излезно нивои треба да се намали за 3 dB, за да се задржи истото ниво сигнал/изобличување.

Така, за овој тип на засилувачи максималното излезно ниво при најнеповолното растојание до изобличувањата (CSO = 66 dB) изнесува:

За 1 засилувач	= 107 dB μ V
За 2 засилувачи во каскада	= 104 dB μ V
За 4 засилувачи во каскада	= 101 dB μ V
За 8 засилувачи во каскада	= 98 dB μ V
За 16 засилувачи во каскада	= 95 dB μ V

Сите овие податоци убаво е да ги разгледаме во една табела:

Табела 12. Број на засилувачи во каскада и оперативни нивоа на сигнали (1)

Table 12. Numbers of amplifiers in cascade and operational signal levels (1)

Влијание на бројот на каскадно поврзани засилувачи врз дозволените оперативни нивоа на сигнали (при 77 канали во КДС)			
Број на засилувачи во каскада	Минимално влезно ниво (U _{in min}) = U _{out max} – G [dB μ V]	Излезно ниво на засилувачот [dB μ V]	
		U _{out min}	U _{out max} при CSO -66 dB (U _{out max} при Xmod -61 dB)
1	(59) 70	96	107
2	(62) 67	99	104
4	(65) 64	102	101
8	(68) 61	105	98

со црвено се означени вредности на сигнали кои не можат да се применат во пракса

При вака големо засилување на засилувачот (37 dB) забележуваме дека можно е да се употребат најмногу до два засилувачи во каскада.

Ситуацијата донекаде може да се промени ако на некој начин го намалиме засилувањето на засилувачот. Тоа го правиме со помош на атенуаторот кој се наоѓа помеѓу двата засилувачки степени во засилувачот. Првиот засилувачки степен има засилување околу 15 dB додека излезниот засилувачки степен има засилување околу 22 dB. Така, ако ставиме атенуатор

од 7 dB веднаш после првиот засилувачки степен, вкупното засилување на засилувачот ќе изнесува: $37-7 = 30$ dB.

Сега ја повторуваме пресметката за минималното и максималното излезно ниво на вака нагодениот засилувач, и добиваме:

Табела 13. Број на засилувачи во каскада и оперативни нивоа на сигнал (2)

Table 13. Numbers of amplifiers in cascade and operational signal levels (2)

Влијание на бројот на каскадно поврзани засилувачи врз дозволените оперативни нивоа на сигнал (при 77 канали во КДС)			
Број на за засилувачи во каскада	Ниво на влез на засилувачот: $U_{out\ max} - G$ [dB μ V]	Излезно ниво на засилувачот [dB μ V]	
		$U_{out\ min}$	$U_{out\ max}$ при CSO -66 dB ($U_{out\ max}$ при Xmod -61dB)
1	(59) 77	89	107 (110)
2	(62) 74	92	104 (107)
4	(65) 71	95	101 (104)
8	(68) 68	98	98 (101)
16	(71) 55	101	95 (98)

со црвено се означени вредности на сигнал кои не можат да се применат во пракса

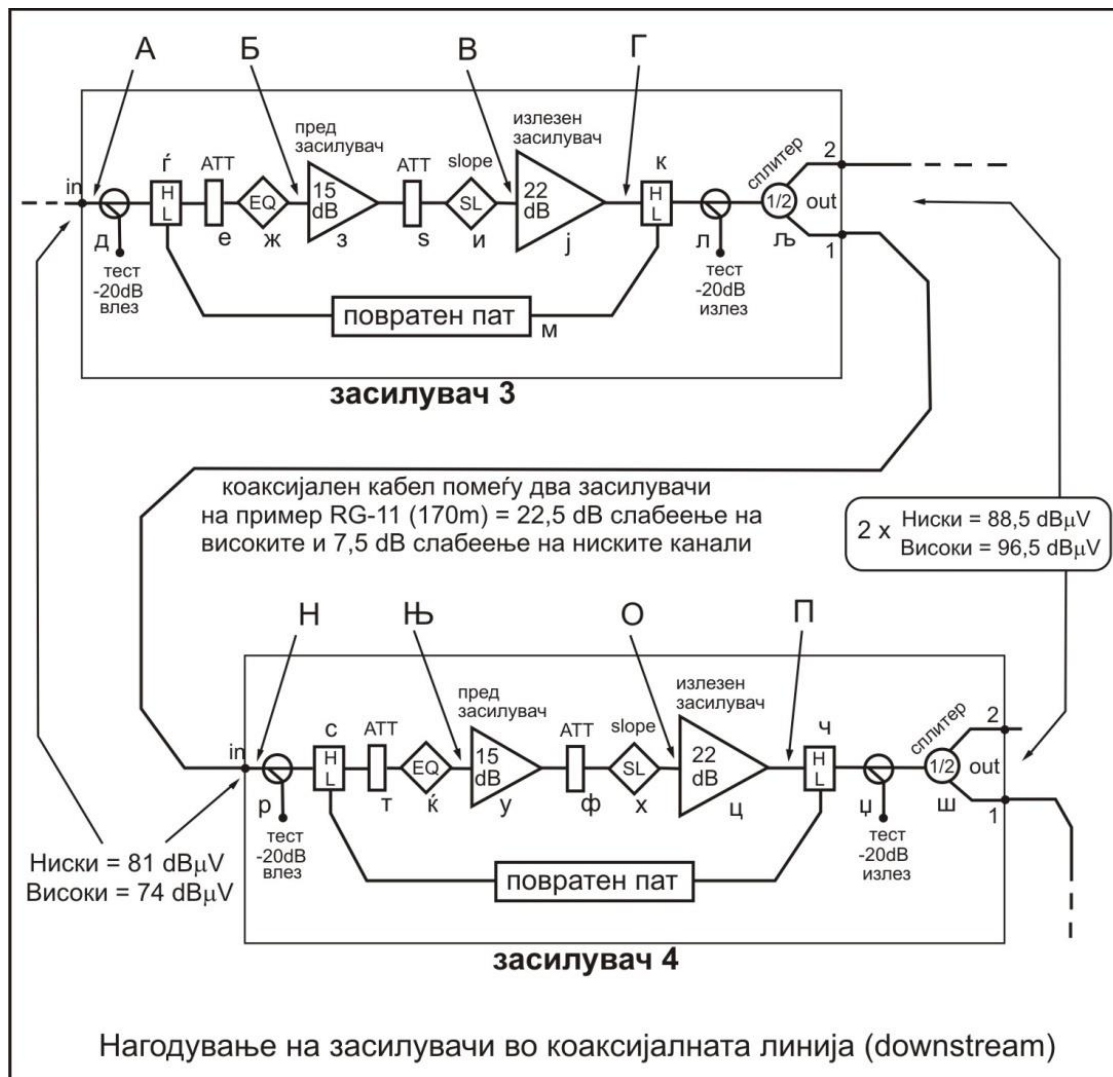
Значи со вметнување на атенуатор од 7 dB помеѓу засилувачките степени на засилувачот може да се стават до 8 засилувачи од овој тип во каскада и притоа да се задржи нивото на изобличување во границите како за еден засилувач (CSO -66dB)

Во случајов го земаме најнеповолниот однос на сигнал/изобличување а тоа, според податоците за засилувачот од примеров е CSO.

Треба да се има на ум дека нивото на влезниот сигнал се подразбира на влезот на првиот засилувачки степен внатре во засилувачот. Така што нивото на сигналот на влезниот конектор мора да биде повисоко, во зависност од атенуаторот и еквилајзерот на влезот пред првиот засилувачки степен во засилувачот.

Многу важно е да се запамети дека кога се мери нивото на сигналот на влезот од засилувачот (на мерната тест точка), влезниот атенуатор и еквилајзер МОРА да бидат поставени во засилувачот. Доколку атенуаторот и коректорот на влезот од засилувачот не се поставени на своето место, тогаш нема да се добијат точни вредности за нивото на сигналот бидејќи влезната импеданса на засилувачот нема да биде 75 оми. Такво едно невнимание може да резултира со комплетно погрешно нагудување на сигналите во засилувачот

и со тоа, во целата коаксијална кабелска мрежа после тој засилувач ќе се појават пречки што ќе резултира со проблеми кај крајните корисници.



Слика 65. Нагудување на засилувачите во коаксијалната линија

Figure 65. CATV amplifiers optimum tuning

Од пресметките и од табелата дадена погоре заклучуваме дека минималното ниво на сигналот на влезот на предзасилувачот (првиот засилувачки степен на засилувачот) не смее да биде под 68 dB μ V. За секој случај, определуваме минимално ниво од 69 до 70 dB μ V. На влезниот конектор на засилувачот минималното ниво на сигналот треба да биде малку повисоко поради слабеењето на дилпексерот и еквилајзерот. Така, усвојуваме дека минималното ниво на влезниот конектор на засилувачот не смее да биде пониско од 72 dB μ V.

Максималното ниво на излезот на засилувачот од овој пример, треба да биде 98 dB μ V. Ова се однесува за сигналите на излезот од вториот засилувачки степен внатре во самиот засилувач. При тоа ниво, односот сигнал/изобличување ќе биде 66 dB.

Дозволеното минимално комбинирано интермодулациско и кросмодулациско растојание во КДС може да биде дури и помало од ова и да изнесува 60 dB. Тоа значи дека можеме да го зголемиме максималното излезно ниво за уште 3 dB со што комбинираното кросмодулациско растојание ќе се влоши за 6 dB и ќе изнесува 60 dB, колку што е границата на дозволеното.

Така, ги добиваме следниве вредности:

1. Минималното ниво на влез на првиот засилувачки степен (во точката **Б** и **Њ** на слика 101) = **70 dB μ V**.
2. Минималното ниво на влезниот конектор на засилувачот со вклучено слабеење на диплексерот (**Ѓ** и **С**) и еквилајзерот (**ж** и **ќ**) (во точката **А** и **Н** на слика 101) = **72 dB μ V**.
3. Минималното излезно ниво на првиот засилувачки степен (според формула (21) од страница 126 и слика 64), изнесува:

$$U_{out1 \min} \text{ (dB}\mu\text{V)} \geq N_{75\Omega} + N_F + G + S/N + 10 \log M$$

каде што:

$N_{75\Omega} = 2 \text{ dB}\mu\text{V}$ претставува каналниот топлински шум;

N_F - коефициент на шум (шумен број) на засилувачот во dB;

G - коефициент на засилување на засилувачот во dB;

S/N - нормиран минимален однос на сигнал/шум (49 dB) и

M - број на последователно сврзани засилувачи.

Така добиваме: $U_{out1 \min} \text{ (dB}\mu\text{V)} \geq 2+8+15+49+9 = \mathbf{83 \text{ dB}\mu\text{V}}$

4. Минималното излезно ниво на вториот засилувачки степен изнесува:

$$U_{out2 \min} \text{ (dB}\mu\text{V)} \geq N_{75\Omega} + N_F + G + S/N + 10 \log M$$

Така добиваме: $U_{out2 \min} \text{ (dB}\mu\text{V)} \geq 2+8+22+49+9 = \mathbf{90 \text{ dB}\mu\text{V}}$

5. Максимално ниво на излезот од вториот засилувачки степен (точка **Г** и **П** на слика 101) треба да изнесува 101 dB μ V.
6. Максимално ниво на излезниот конектор на засилувачот со вклучено слабеење на диплексерот (**К** и **Ч**) плус тапот за мерната точка (**Л** и **Ц**) треба да изнесува 100 dB μ V ако засилувачот има само еден излез. Доколку засилувачот има два излези со внатрешен сплитер, тогаш максималното ниво на двата излезни конектори на засилувачот (намалено за слабеењето на сплитерот од 3,5 dB) ќе биде 96,5 dB μ V.

Обично првиот засилувачки степен кај овој тип на засилувачи има засилување од 15 dB, а вториот засилувачки степен (хибрид) има засилување од околу 22 dB.

При вакви околности, вкупното слабеење на коаксијалниот кабел помеѓу засилувачите не смее да изнесува повеќе од 22,5 dB (при температура од 20 °C) за да може на влезниот конектор на следниот засилувач да пристигне сигнал со ниво не помало од 73 до 75,5 dB μ V (при температурни граници на кабелот од -10 до +40 °C).

Веднаш можеме да пресметаме дека при употреба на коаксијален кабел од типот RG-11 должината на кабелот помеѓу двата засилувачи може да биде максимално 170 метри. Доколку се употребува коаксијален кабел од типот QR-540, должината на кабелот може да биде максимално 340 метри.

Со вакви должини на кабелот, атенуаторот (**е** и **т**) на влезот од првиот засилувачки степен на засилувачите, може да има вредност од околу 0 до 4 dB, во зависност од надворешната температура.

Многу е важно атенуаторот (**с** и **ф** на слика 65) помеѓу засилувачките степени на засилувачот да има фиксна вредност од 6 dB, а "slope"-коректорот помеѓу двата засилувачки степени треба да има вредност од 8 dB. Поголема вредност на овие елементи ќе ги ослаби сигналите на ниските фреквенции повеќе отколку што е оптимално, па така тие ќе се доближат до нивото на шум во системот, а со тоа ќе се влоши односот сигнал/шум.

Доколку со правилен избор на елементи и должина на кабел ги нагодиме вредностите на нивото на сигнал на начин како што е опишан погоре, можеме да очекуваме дека со ваков тип на засилувачи може да се постават дури до 8

(осум) каскадно поврзани засилувачи и притоа, квалитетот на сигналите да остане во пропишаните дозволени вредности (однос сигнал/ шум од 49 dB и однос сигнал/изобличување од 60 dB).

Максималната должина која можеме да ја постигнеме од оптичкиот нод до последниот засилувач со 6 каскадни засилувачи во линија, при употреба на кокасијален кабел RG-11 ќе изнесува $6 \times 170\text{m} = 1020$ метри. Со употреба на кабел QR-540 оваа должина се удвојува и изнесува 2040 метри максимално.

При ова, сметаме дека првиот засилувач се наоѓа во главната станица, вториот засилувач го заменува оптичкиот нод, а после оптичкиот нод следуваат уште максимум 6 засилувачи во коаксијалниот дел на мрежата.

Ако при нагудувањето на засилувачите постапуваме на начин како што е опишано погоре, можеме да очекуваме дека ќе ги постигнеме следниве нивоа на сигнал (ниски/високи фреквенции) во различните точки на засилувачите означени со букви на слика 65 (при $T=20^\circ\text{C}$):

Во точката **А** и **Н** (слика 101), односно на влезниот конектор на засилувачот (при должина на кабел 170m и излез од претходниот засилувач од 88,5/96,5 dB μ V) нивото на сигналите ќе изнесува 81/74 dB μ V (разлика од 7 dB помеѓу највисокиот канал (862 MHz) и најнискиот канал (112,25 MHz)).

Во точката **д** и **р** (влезната мерна тест точка) нивото на сигналите ќе изнесува: 61/54 dB μ V

Атенуаторот (**е** и **т**) има вредност околу 2 dB (за 170 метри кабел RG-11 при температура од 20°C).

ЕКВИЛАЈЗЕРОТ (**ж** и **ќ**) треба да ги изедначи нивоата на ниските и високите канали на влезот од првиот засилувачки степен. Највисокиот канал (862 MHz) еквилајзерот не го ослабнува, а колку што фреквенцијата се намалува, ослабнувањето е сè поголемо, така што најнискиот канал (112 MHz) се ослабнува толку, колку што треба за да се изедначат ниските и високите канали. Во нашиот случај, потребно е најнискиот канал да се ослаби за 7 dB.

ВАЖНО: Постојат универзални коректори (*amin*) така што бројката (во dB) напишана на самиот еквилајзер означува вредност во децибели, за колку ниските канали ќе бидат ослабени во однос на највисокиот канал. Кај универзалните коректори најниската фреквенција е околу 20 MHz. Ова треба да се има на ум бидејќи во некои КДС најнискиот канал е на фреквенција од

112 MHz, така што вредноста означена на еквилајзерот треба да биде поголема за околу 80%. Обично, вредноста на еквилајзерот треба да биде околу 12 до 14 dB (за фреквенциски опсег од 862 до 20 MHz) за да направи разлика од 7 dB за фреквенциски опсег од 862 до 112 MHz. Најдобро е да се направи претходен тест за тоа колку определена означена вредност на еквилајзерот ги ослабнува ниските канали во однос на највисоките. Оваа вредност е критична. Поголема вредност ќе ги ослаби ниските канали повеќе отколку што треба, па така тие ќе се доближат до нивото на шум со што ќе се влоши односот сигнал/шум на влезот од првиот засилувачки степен, а тоа понатаму во системот не може да се подобри.

Во точката **Б** и **Њ** (слика 65) на влезот од првиот засилувачки степен сигналите се изедначени и имаат вредност од околу 70/70 dB μ V.

Првиот засилувачки степен (**з** и **у**) има засилување од околу 15 dB, па на излезот добиваме сигнали со ниво од 85/85 dB μ V (што е повеќе од минимално дозволеното 83 dB μ V)

Атенуаторот (**с** и **ф**) треба да има вредност од 6 dB.

Коректорот (**и** и **х**) треба да има вредност од 8 dB. (при определување на вредноста на коректорот треба да се внимава да не се земе преголема вредност со што би се ослабиле ниските канали повеќе од што треба и ќе се намали односот сигнал/шум на ниските канали на влезот од вториот засилувачки степен во засилувачот)

Во точката **Б** и **О** на влезот од вториот засилувачки степен (**ј** и **ц**) нивоата на сигналите изнесуваат околу 71/79 dB μ V. Тоа е доволно високо ниво на ниските канали за да се добие потребниот однос сигнал/шум и истовремено доволно ниско ниво на високите канали за да може вториот засилувачки степен да ги засили без поголемо изобличување.

Вториот засилувачки степен (**ј** и **ц**) обично претставува хибриден засилувач со засилување од околу 22 dB. На неговиот излез, во точката (**Г** и **П**) добиваме засилени сигнали со ниво кое изнесува 93/101 dB μ V. (нивото на ниските канали е повисоко од минимално дозволеното кое го пресметавме дека изнесува 90 dB μ V, а нивото на високите канали е точно толку, колку што пресметавме дека треба да изнесува максимално дозволеното ниво = 101 dB μ V)

Во диплексерот (к и ч) сигналите малку ослабнуваат (околу 1 dB) па на мерните точки (л и џ) кои се со слабеење од 20 dB, можат да се измерат сигналите кои треба да бидат со ниво од околу 72/80 dB μ V.

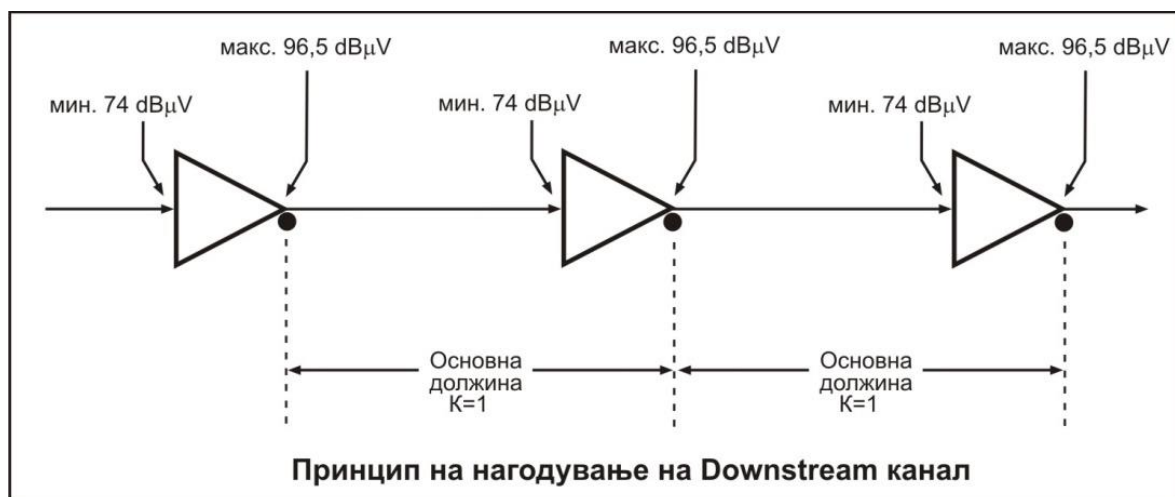
Понатаму во сплитерот (љ и ш) кој го дели излезниот сигнал на два дела сигналите ослабнуваат за уште 3,5 dB и на излезните конектори на засилувачот (точка out 1 и 2) добиваме сигнали со ниво од 88,5/96,5 dB μ V.

Доколку засилувачот не е 8-ми по ред во каскадата, може да се продолжи со следна должина на кабел кон следниот засилувач и така натаму сè до последниот 8-ми засилувач во линијата. Притоа треба да се брои и засилувачот во главната станица како засилувач број 1 во линијата, а по него и оптичкиот нод кој ќе го броиме како засилувач број 2 во линијата.

По осмиот засилувач, (шести по ред после оптичкиот нод), односот сигнал/шум и сигнал/изобличување е на граница од дозволените вредности.

Понатамошно ширење на мрежата е можно само со дополнителен оптички нод кој ќе ги донесе сигналите од главната станица преку оптички кабел до некоја друга локација од каде пак може да се постави коаксијална мрежа (со 6 вакви засилувачи во каскада после нодот) до крајните корисници.

Принципот на нагодување на *Downstream* каналите во коаксијалниот сегмент на кабелската мрежа е прикажан на следнава слика:



Слика 66. Принцип на нагодување на засилувачите (downstream-насока)

Figure 66. CATV amplifiers optimum tuning principle (downstream-direction)

Постојат засилувачи кај кои нагудувањето се врши електронски. Со помош на програматор кој се приклучува на самиот засилувач кога се врши нагудувањето (атенуација и корекција на сигналите). Постојат уште поскапи засилувачи кои можат да се нагудуваат и да се мониторираат од далечина.

Сепак, основниот принцип на нагудување е ист.

3.8. Структура на крајните кориснички мрежи (топологија на мрежи)

Во секој кабелски дистрибутивен систем крајната распределба на сигналите се врши со помош на пасивна мрежа. Таа може да има еден од трите основни форми: систем „**проодна линија**“ или „дрво“, систем „**катна ѕвезда**“ и систем „**ѕвезда**“. Секој од овие системи има свои предности и недостатоци.

На почетокот од својот развој, некои оператори на КДС, во зависност од ситуацијата, доводот на коаксијалниот кабел до некои згради го водеа воздушно и преку покривот на зградата.

Во современите КДС, каблите до секоја зграда се поставуваат подземно.

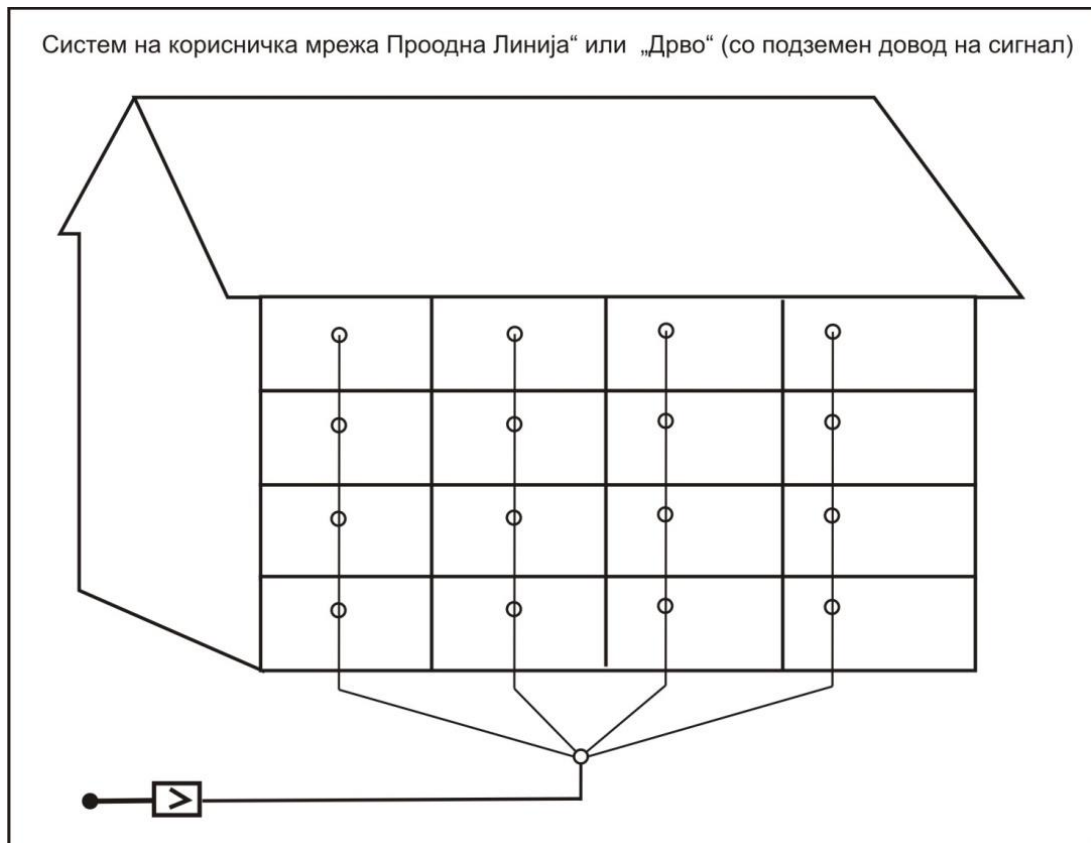
3.8.1. Систем на корисничка мрежа „проодна линија“ или „дрво“

Кај овој систем антенските приклучоци се поврзуваат во една вертикална линија, едни под други.

Предност на овој систем е едноставната монтажа и заштеда.

Главниот недостаток е неговата нефлексибилност, што често доведува до релативно поскапо одржување. Ако се појави грешка, потребно е да се испитаат најмалку два приклучоци за да се открие истата. Исто така, евентуална грешка на едниот приклучок ќе влијае на сите други приклучоци до крајот на соодветната линија.

Овој систем денес речиси и да не се користи.



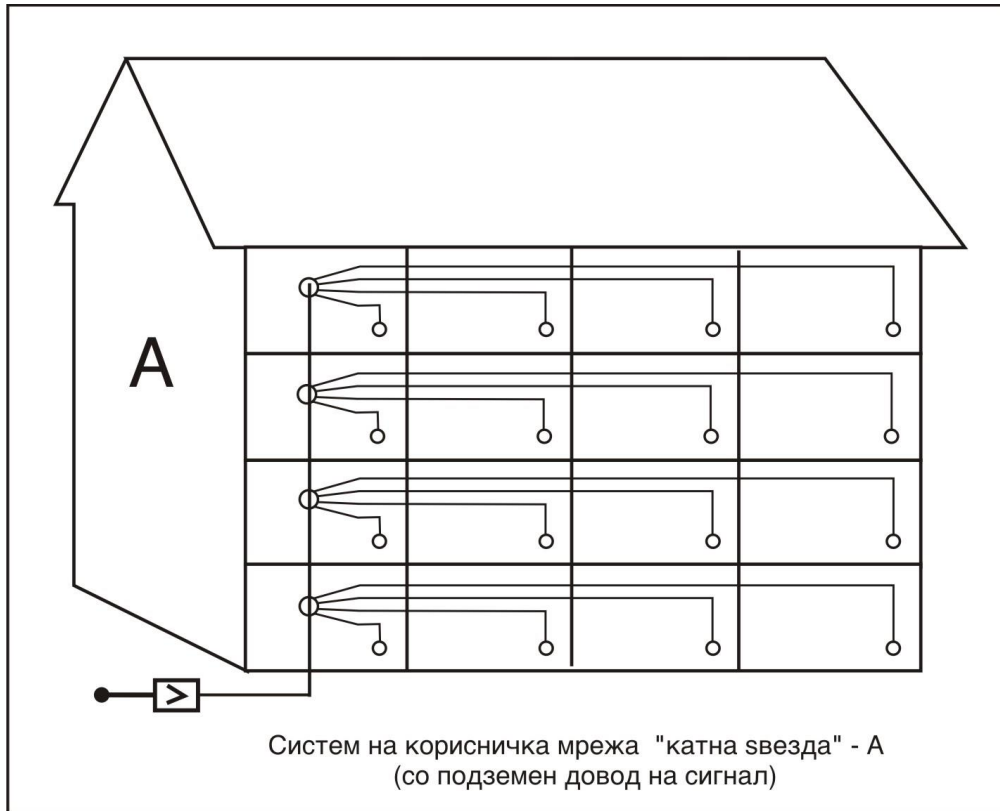
Слика 67. Корисничка мрежа „дрво“ (со подземен довод на сигнал)

Figure 67. A tree network topology (input signal entering from underground)

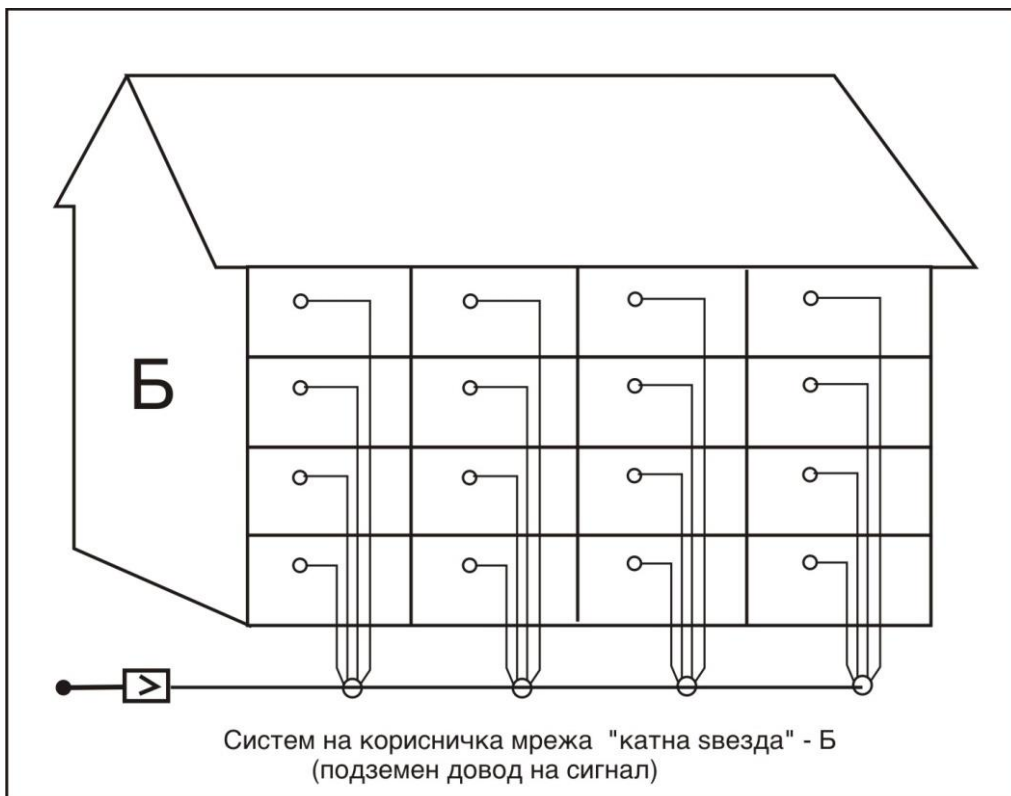
3.8.2. Систем на корисничка мрежа "катна звезда"

Овој систем се состои од еден кабел со поголем пресек и со помало слабеење (RG11) преку кој се пренесуваат сигнали со високо ниво. На секој кат од зградата во кутија се поставува по еден **"тап"** (отцепник), а од него до секој стан на тој кат преку **„сплитер“** (разделник) се поврзуваат кориснички кабли со помал дијаметар (RG6). Уште подобро решение за поголема изолација помеѓу корисниците е кога на секој кат се постави тап со повеќе излези (за секој стан) наместо сплитер.

Овој систем од гледна точка на потребната опрема е поскап во однос на претходниот, но овозможува релативно поефтино сервисирање. При евентуална грешка кај еден корисник, таа може да влијае само кај корисниците кои се на ист кат, односно на оние корисници кои се приклучени на ист „тап“. При евентуална интервенција заради сервисирање на пример, истата може да се изврши без притоа да се исклучуваат (попречуваат) останатите корисници.



Слика 68. Корисничка мрежа „катна ѕвезда“ (а) со подземен довод на сигнал
Figure 68. A „floor-star“ (a) network topology (input signal from underground)



Слика 69. Корисничка мрежа „катна ѕвезда“ (б) со подземен довод на сигнал
Figure 69. A „floor-star“ (b) network topology (input signal from underground)

3.8.3. Систем на корисничка мрежа "ѕвезда"

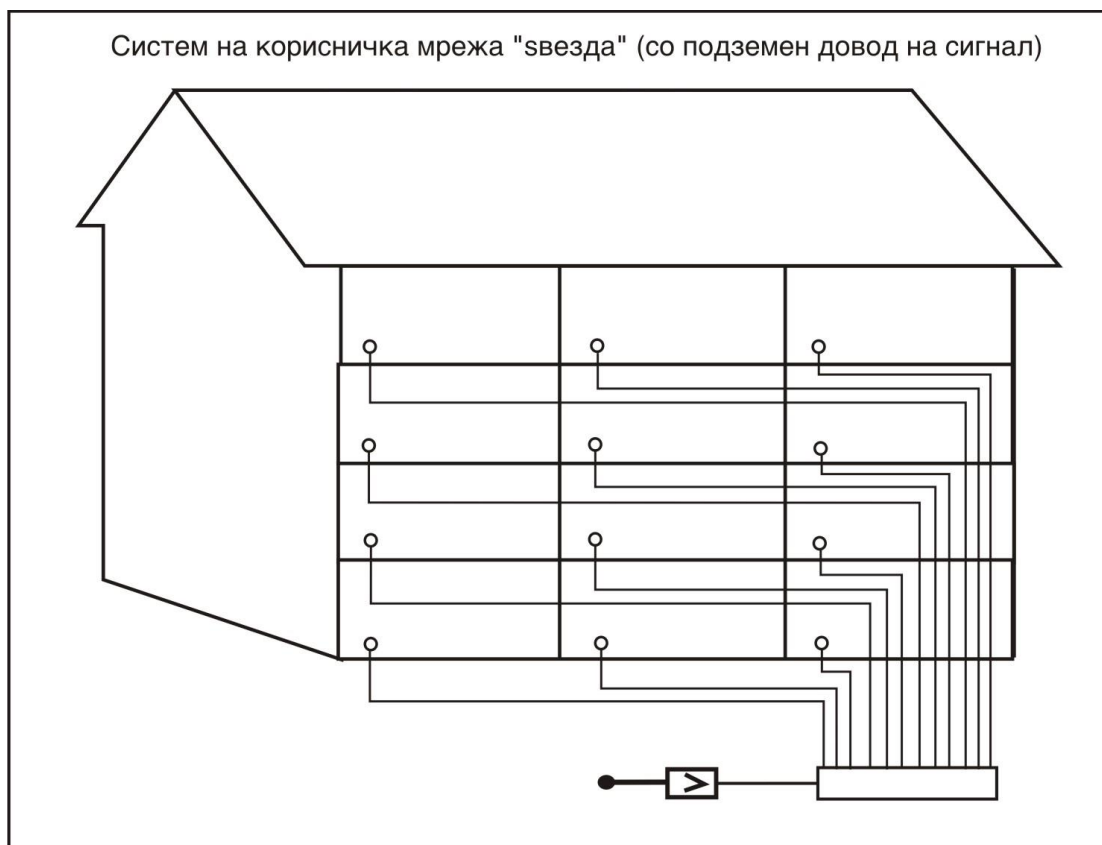
Кај овој систем, секој корисник во една зграда се приклучува со посебен кабел до еден заеднички „тап“ (отцепник) со повеќе изводи. Трошоците за кабел кај овој систем се најголеми.

Просечната должина на кабел по корисник изнесува околу 60 м (во зависност од големината на зградата) што е 4 пати повеќе од просечната должина на кабелот (15 м) кај системот "проодна линија".

Монтажата на овој систем е многу едноставна, а пресметките на потребното ниво на сигналот се многу лесни.

Кај поголемите кориснички мрежи, потребно е неколку „тап“-ови со повеќе изводи да се поврзат во една заедничка - централна разводна кутија.

Кај овој систем, контролата и сервисирањето се наједноставни, а со тоа и најевтини. Притоа, контролата или сервисирањето на приклучокот за еден корисник не ги попречува другите корисници.



Слика 70. Корисничка мрежа „ѕвезда“ (со подземен довод на сигнал)

Figure 70. A „star“ network topology (input signal entering from underground)

Во табела 14 се дадени основните карактеристики и можностите за примена на наведените кориснички системи:

Табела 14. Карактеристики на различните топологии на корисничките мрежи

Table 14. Characteristics of various network topology

У с л о в и	Систем на корисничка мрежа		
	Проодна линија	Катна Свезда	Свезда
Нови згради	ДА	ДА	ДА
Сложеност на мрежата	НЕ	ДА	ДА
Лесно исклучување на корисникот	НЕ	ДА	ДА
Релативна цена на инсталација	МАЛА	СРЕДНА	ГОЛЕМА
Релативна цена на одржување	ГОЛЕМА	СРЕДНА	МАЛА

Во ходникот на зградите на секој кат се поставуваат кутии во кои се сместуваат елементи (тапови, сплитери...) со кои се дели сигналот за секој стан, односно корисник од тој кат на зградата, како на слика 71:

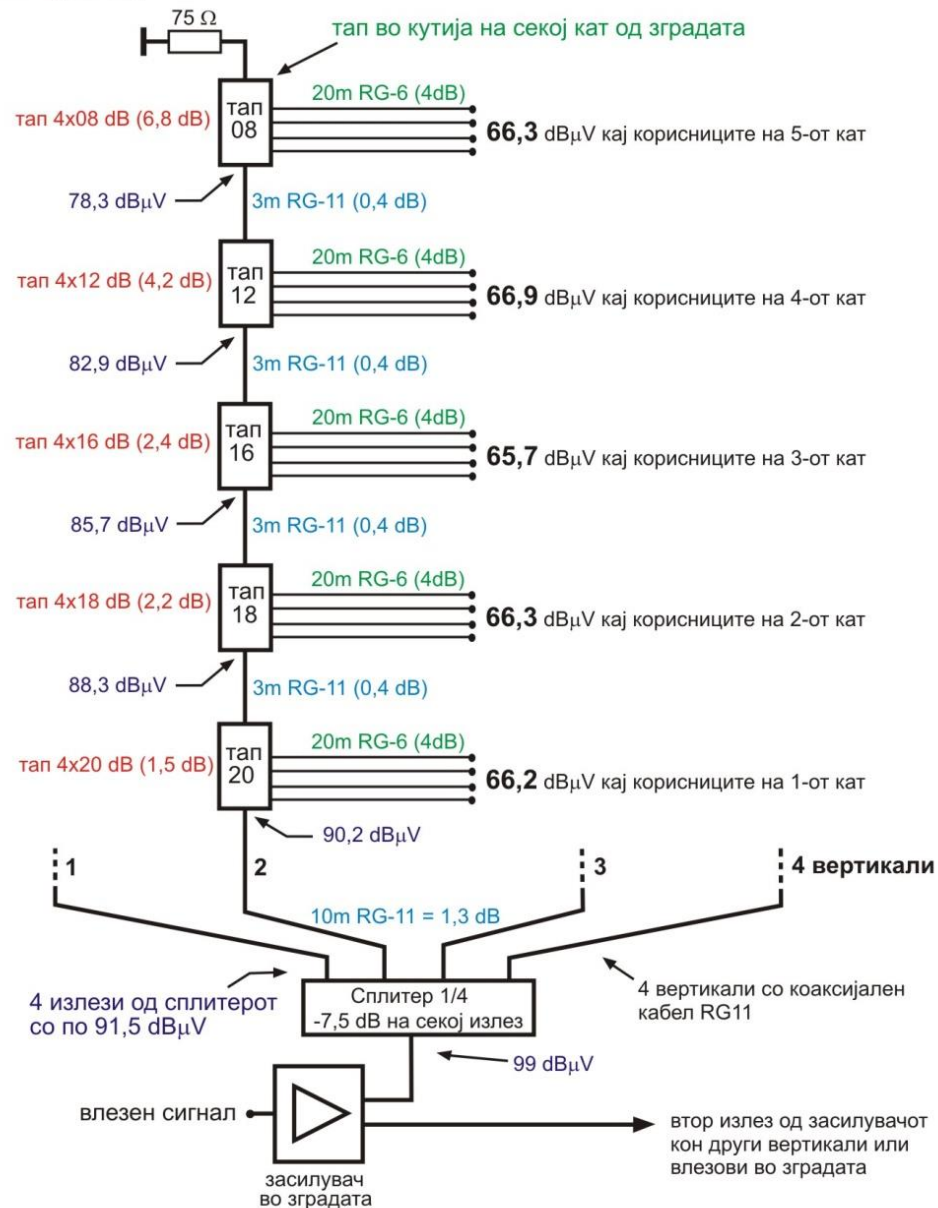


Слика 71. Метално сандаче (кутија) со елементи на КДС во ходник од зграда

Figure 71. Metal box with CATV elements mounted in the building hall

Пример на дистрибуција на нивоата на сигнали меѓу корисници од една зграда со крајна корисничка мрежа во вид на катна ѕвезда (ниво на сигнал кај краен корисник >65 dB μ V)

Во овој пример е даден засилувач со два излези. Секој излез со по 99 dB μ V. На едниот излез од засилувачот е приклучен сплитер со 4 излези. Едниот излез од сплитерот може да ги снабдува станите од 1 до 5-от кат од зградата. Секој кат може да има до 4 стана. Вертикалите се изведуваат со коаксијален кабел RG-11. Од кутиите на секој кат до станите на корисниците се поставува коаксијален кабел RG-6. Доколку зградата има повеќе од 5 ката, од другиот излез од сплитерот се пушта вертикала (со RG-11) директно до кутијата на 6-от кат каде се поставува тап (18) за 4 стана од 6-от кат. Истата вертикала продолжува до 7-от кат каде се поставува тап (16) за 4 стана од 7-от кат. На 8-от кат се става тап (12) и на 9-от кат се става тап (8). Ако зградата има повеќе катови, за 10 до 13 кат се користи третата вертикала а за 14 до 16 кат се користи четвртата вертикала од четвртиот излез на сплитерот. Потоа, се користи другиот излез од засилувачот за други вертикали или влезови... Со една ваква конфигурација може да се каблира инсталација во зграда за околу 100 до 120 станови, при што за секој стан може да се овозможи квалитетен сигнал со ниво поголемо од 65 dB μ V.



Слика 73. Шема на корисничка мрежа во зграда (2)

Figure 73. Schematic diagram of CATV network in the building (2)

Пример на дистрибуција на нивоата на сигнали меѓу корисници од една зграда со крајна корисничка мрежа во вид на катна звезда (ниво на сигнал кај краен корисник >70 dB μ V)

Во овој пример е даден засилувач со два излези. Секој излез со по 99 dB μ V. На едниот излез од засилувачот е приклучен сплитер со 4 излези. Едниот излез од од сплитерот може да ги снабдува становите од 1 до 3-от кат од зградата. Секој кат може да има до 4 стана. Вертикалите се изведуваат со коаксијален кабел RG-11.

Од кутиите на секој кат до становите на корисниците се поставува коаксијален кабел RG-6.

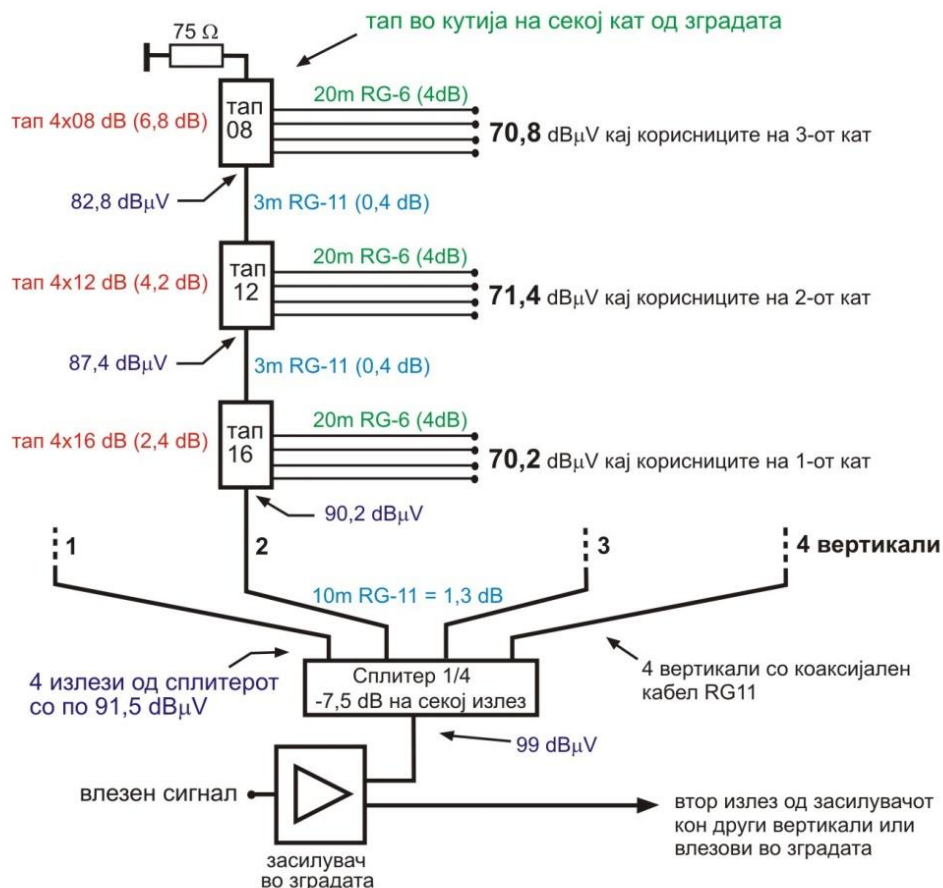
Доколку зградата има повеќе од 3 ката, од другиот излез од сплитерот се пушта вертикала (со RG-11) директно до кутијата на 4-от кат каде се поставува тап (14) за 4 стана од 4-от кат. Истата вертикала продолжува до 5-от кат каде се поставува тап (10) за 4 стана од 5-от кат.

Ако зградата има повеќе од 5 катови, за 6 и 7 кат се користи третата вертикала, а за 8 и 9 кат се користи четвртата вертикала од четвртиот излез на сплитерот.

Потоа, се користи другиот излез од засилувачот за други вертикали или влезови...

Со една ваква конфигурација може да се каблира инсталација во зграда за околу 72 станови, при што за секој стан може да се овозможи квалитетен сигнал со ниво поголемо од 70 dB μ V.

Можни се и други комбинации. На пример во случај зградата да има повеќе станови на еден кат. Тогаш ќе се користат тапови со повеќе излези. Тие тапови имаат поголемо проодно слабеење кое треба да се земе во предвид при пресметувањето на нивото на сигналите. Во секој случај, принципот за пресметување е ист.



Слика 74. Шема на корисничка мрежа во зграда (3)

Figure 74. Schematic diagram of CATV network in the building (3)

3.9. ИЗБОР И ОПРАВДАНОСТ НА ЛОКАЦИЈАТА НА ГЛАВНАТА СТАНИЦА ОД КАБЕЛСКИОТ ДИСТРИБУТИВЕН СИСТЕМ

Изборот на локацијата на главната станица од кабелскиот дистрибутивен систем директно зависи од следниве чинители:

- Конфигурација на теренот
- Барана област на опслужување
- Компатибилност со главниот и деталниот урбанистички план
- Пристапност на локацијата
- Можност за квалитетен прием на земски и сателитски програми
- Можност за квалитетно и економично снабдување со електрична енергија
- Економски критериуми за вложување во инфраструктурата

Имајќи ги предвид сите овие фактори, за секој конкретен случај, се одбира најдоброто и најекономичното можно решение, при што, дополнително се внимава локацијата да е безбедна од можност за поплави, пожар и сл.

4. ПРЕНОС НА ШИРОКОПОЈАСЕН ИНТЕРНЕТ ПРЕКУ КДС

4.1. Кабелски интернет (docsis)

Преку кабелските дистрибутивни системи на почетокот се пренесуваа само аналогни ТВ канали до крајните корисници. Со развојот на технологијата денес преку модерните КДС се пренесуваат голем број сервиси, односно услуги. Освен аналогни ТВ канали, на корисниците се нудат и дигитални ТВ канали, пристап до интернет, телефонски услуги и др.

Со појавата на интернетот, комуникацијата, како една од основните потреби на луѓето, добива потполно нова димензија. Сведоци сме дека интернетот полека, но сигурно ни го менува животот. Бројот на интернет корисници расте секојдневно, а за многумина интернетот е поголема потреба и од телевизијата на пример. Од ден на ден се зголемува бројот и квалитетот на содржините достапни преку интернетот (слики, музика, видео, филмови, електронски книги и многу друго). Тоа пак, од своја страна предизвикува

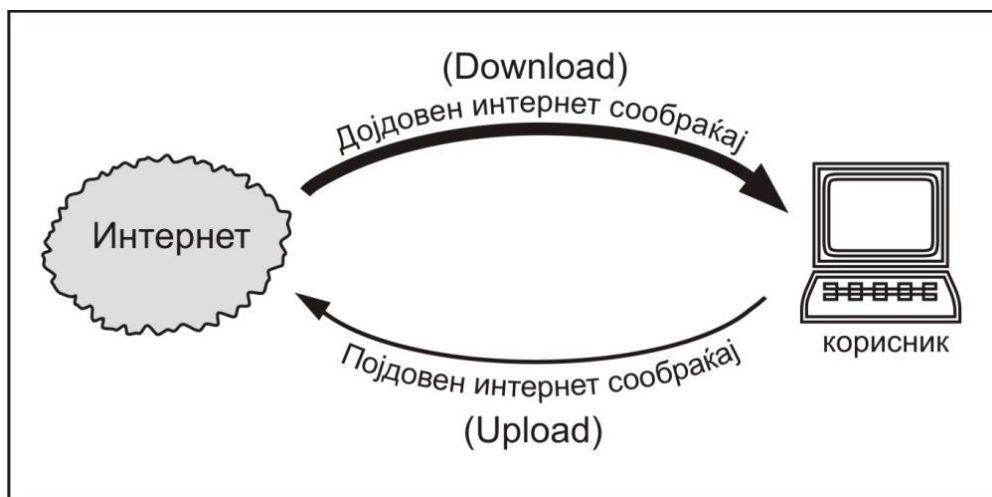
потреба од поголеми брзини на пренос. Денес, постојаната врска со интернетот е секојдневна потреба.

Пренесувањето на корисните информации преку интернетот се одвива така што информациите се делат на голем број „пакети“ и се испраќаат преку интернетот кон примачот. Пакетите претставуваат информации составени од низа на електрични импулси - битови. Секоја од низата на информации има свое заглавје во кое покрај другото ја има адресата на испраќачот, адресата на примачот и кодови за идентификација на секој од пакетите. Кај примачот овие пакети пристигнуваат со помало или поголемо доцнење во зависност од квалитетот на интернет врската. Исто така, сите пакети не мора да стигнат по истиот редослед по кој се испратени. На страната на примачот овие пакети се примаат, се групираат по редослед, се декодираат и на крајот се формира информацијата во облик како кога била испратена од страна на испраќачот.

Кога некој корисник сака да користи интернет, тогаш обично ја отчукува на својот компјутер адресата на бараната интернет страница. Ова барање во вид на информација се испраќа кон интернетот и потоа информациите од бараната интернет страница се префрлуваат од интернетот кон корисникот. Значи информациите патуваат во обете насоки. Информациите за бараните адреси на одредени интернет страници кои се испраќаат од корисникот кон интернетот се нарекуваат појдовен интернет сообраќај или *upload*. Количеството на информации во појдовниот интернет сообраќај (*upload*) обично содржи мал обем на информации – само адресата на интернет страницата.

При приемот на информациите од интернет страницата, многу поголем обем на информации (слики, цртежи, анимации, видео содржини, текст, музика и слично) патуваат во насока од интернетот кон компјутерот на корисникот. Количество на информации во насока од интернетот кон корисникот се нарекува дојдовен интернет сообраќај или *download*. Значи, може да се заклучи дека интернет сообраќајот кој се одвива во две насоки е асиметричен. Поголем проток на информации е потребен во дојдовниот (*download*) сообраќај отколку во појдовниот (*upload*) сообраќај. За ваков асиметричен сообраќај одлично се прилагодени кабелските дистрибутивни системи кои користат коаксијални мрежи и хибридни оптичко-коаксијални мрежи (HFC).

Постојат корисници на кои им е потребен поголем проток на појдовниот сообраќај, односно симетричен интернет сообраќај. Обично тоа се корпоративни корисници кои имаат поставено интернет сервери. Кабелските оператори на такви корпоративни корисници им нудат своите сервери да ги постават во просториите на главната станица кај кабелскиот оператор. На тој начин се избегнува голем проток на информации во појдовниот сообраќај преку КДС кој може да предизвика преоптоварување на *upstream*-от. Еден од недостатоците на таквото решение е тоа што трансферот на податоците од клиентот на својот сервер ќе трае подолго. Една од можните солуции за симетричен интернет сообраќај е поврзување на кабелскиот оператор со корисниците преку LAN мрежи, но тие не се предмет на овој труд.



Слика 72. Појдовен и дојдовен интернет сообраќај

Figure 72. Upstream and downstream internet traffic

За пренесување на интернетот преку кабелските дистрибутивни системи постои стандард наречен *DOCSIS – Data Over Cable Interface Specification* (Спецификација за пренос на податоци преку кабелски интерфејс)

DOCSIS стандардот најнапред беше развиен и применет во САД. Во 1998 година е прифатен од страна на Меѓународната унија за телекомуникации *ITU (International Telecommunications Union)* како званичен меѓународен стандард.

Бидејќи DOCSIS стандардот беше направен во САД каде што во кабелските дистрибутивни системи се пренесуваат ТВ сигнали по NTSC

стандард (NTSC = *National Television Comitee*), за примена во Европа каде се користи PAL систем (PAL = *Phase Alternating Line*) со различна ширина на каналите, беше потребно DOCSIS стандардот соодветно да се прилагоди.

Така настана EuroDOCSIS стандардот кој се применува во кабелските дистрибутивни системи во Европа.

EuroDOCSIS стандардот за пренос на дојдовниот интернет сообраќај (downstream) ги користи каналите со ширина од 8 MHz за разлика од DOCSIS стандардот во САД кој ги користи каналите со ширина од 6 MHz. Оттука произлегуваат различните максимални брзини на пренос кои можат да се постигнат со DOCSIS односно EuroDOCSIS, во корист на европскиот стандард. Кај EuroDOCSIS стандардот исто така е пошироко фреквенциското подрачје кое се користи за појдовниот интернет сообраќај (5 до 65 MHz)

Преку кабелскиот дистрибутивен систем, интернет сообраќајот се пренесува во обете насоки. Дојдовниот интернет сообраќај (downstream) се одвива во насока од главната станица (каде се наоѓа главната приклучна интернет точка), преку кабелската дистрибутивна мрежа до крајните корисници. Појдовниот интернет сообраќај (upstream) се одвива во насока од крајните корисници преку кабелската дистрибутивна мрежа до главната станица.

Дигитална модулација

За пренос на дигиталните интернет сигнали од компјутерот преку кабелската дистрибутивна мрежа до главната станица на КДС, тие (слично како ТВ аудио-видео сигналите) најнапред се модулираат во еден „носечки“ RF сигнал и потоа, во вид на модулирани RF сигнали се транспортираат преку кабелската мрежа. Притоа се користат неколку вида на дигитална модулација, како на пример QPSK или QAM.

4.1.1. Уреди за пренос на интернет по EuroDOCSIS стандардот

Кај корисниците се поставува **кабелски модем**, додека во главната станица или во некоја потстанција од КДС се поставува специјален уред наречен **CMTS** (*Cable Modem Termination System*) кој служи да комуницира со кабелските модеми, им доделува параметри за работа и управува со нив.

4.1.2. Кабелски Модем

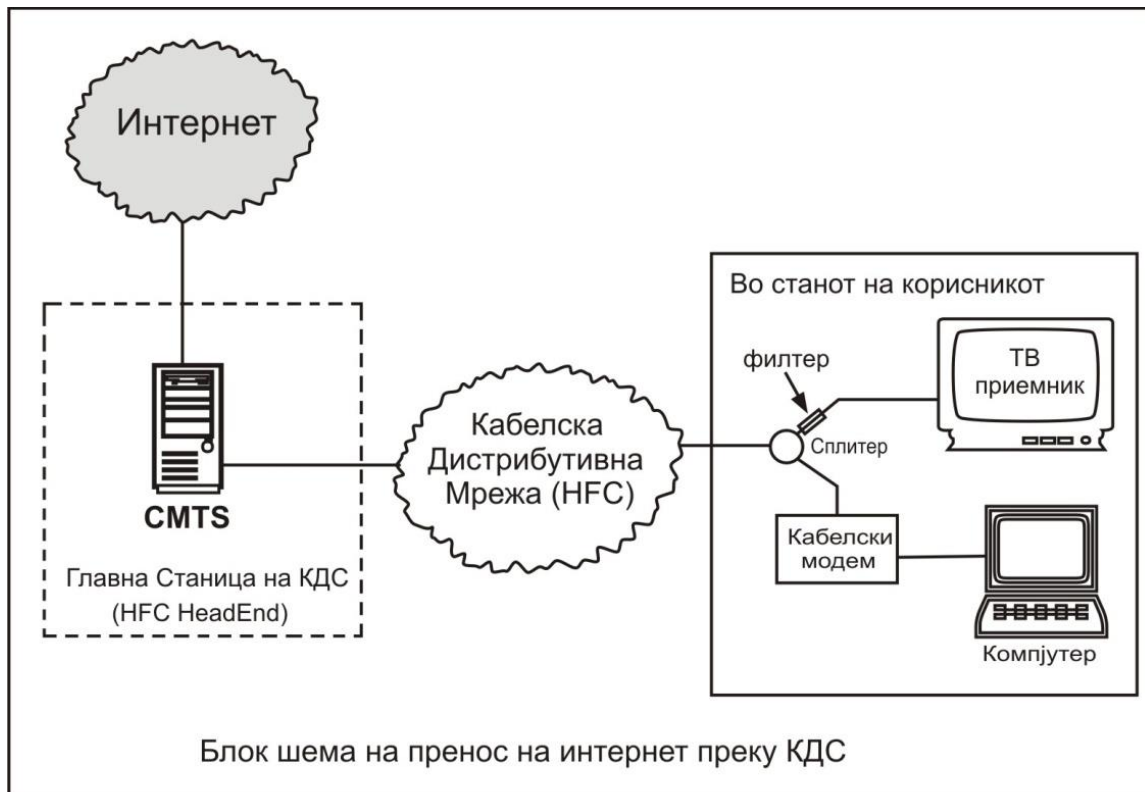
Кабелскиот модем се инсталира во домот на корисниците. Во него влегува коаксијален кабел од КДС. Кабелскиот модем се поврзува со компјутерот на корисникот со помош на USB или LAN кабел. (Притоа, доколку компјутерот кај корисникот има *Ethernet*, односно LAN конекција, подобро е да се користи *Ethernet* односно LAN конекцијата отколку USB конекцијата)



Слика 73. Неколку модели на кабелски модеми

Figure 73. Cable modems for CATV (several models)

Кабелскиот модем во себе содржи RF предавател односно модулатор и RF приемник односно демодулатор. (Името модем е кратенка од **МО**дулатор и **ДЕМ**одулатор) Предавателот ги модулира дигиталните електрични сигнали од појдовниот интернет сообраќај (upstream), ги втиснува во еден носечки RF сигнал во фреквенциското подрачје на 5 до 65 MHz и го испраќа до CMTS-от. Приемникот во кабелскиот модем го прима модулираниот RF сигнал во фреквенциското подрачје од 470 до 862 MHz, испратен од CMTS-от, го демодулира тој RF сигнал и на крајот добива дигитален *downstream* сигнал кој го проследува до компјутерот на корисникот.



Слика 74. Блок шема на пренос на интернет преку КДС

Figure 74. Block diagram of CATV internet distribution

Во кабелските системи во кои покрај интернетот, се нуди телефонска услуга (VoIP) која се пренесува преку интернетот, се користи кабелски модем со интегриран мултимедиски адаптер (*MTA – Multimedia Terminal Adapter*)

4.1.3. Иницијализација и регистрација на модемот

Секој модем кој ќе се приклучи на КДС мора при секое приклучување да го пројде процесот на иницијализација и регистрација (логирање). Во тој процес модемот ги скенира фреквенциите за дојдовен сообраќај во потрага по валиден модулиран сигнал испратен од CMTS-от на определен канал. Откако ќе го пронајде downstream каналот, модемот се обидува да ги собере податоците испратени од CMTS-от за фреквенцијата на upstream-каналот. При процесот на иницијализација кабелскиот модем и CMTS-от интензивно комуницираат меѓусебно при што модемот ги прилагодува своите работни параметри. Откако се заврши иницијализацијата, модемот испраќа барање до DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*) серверот за доделување на IP адреса. Откако DHCP

серверот ќе му додели IP адреса, модемот започнува процес на регистрација. На крајот, CMTS-от му испраќа потврда на модемот дека е регистриран и му доделува единствен SID (*Service Identifier*), код за идентификација.

За секој сервис кој го користи модемот добива по еден SID. На пример, за VoIP телефонија добива еден SID, за класичен IP-интернет сообраќај добива друг SID итн.

Од друга страна, кога CMTS-от во дојдовниот сообраќај емитува податоци наменети за некој модем, ги адресира на SID од соодветниот модем.

Целиот процес на иницијализација се прави автоматски од самиот кабелски модем во време од неколку секунди откако ќе биде вклучен. Се разбира, ако повратниот пат не е балансиран прописно, или нивото на шум во системот е премногу големо, процесот на иницијализација нема да биде успешен.

4.1.4. **CMTS (*Cable Modem Termination System*)**

CMTS-от е уред кој се поставува во главната станица или во некоја потстанција на кабелскиот дистрибутивен систем. CMTS-от слично како и модемот содржи модулатор и демодулатор. Ова е централен уред за пренос на интернет преку КДС базиран на DOCSIS технологијата. Служи да комуницира со кабелските модеми, им доделува параметри за работа и управува со сите кабелски модеми во системот.

CMTS-от може да се претстави како рутер со *Ethernet* приклучок за широкопојасен интернет на едната страна и конектори за коаксијален кабел на другата страна. Преку приклучоците за коаксијален кабел се рутираат (испраќаат и примаат) модулирани RF сигнали кон и од кабелските модеми во обете насоки.

Еден CMTS опслужува определен број кабелски модеми, така што во рамките на еден кабелски дистрибутивен систем се поставуваат повеќе CMTS-уреди, во зависност од бројот на интернет корисниците.

Во CMTS-от најнапред, информациите од дојдовниот интернет сообраќај се кодираат и компресираат во MPEG-2 дигитален сигнал. Во тој дигитален сигнал, се наоѓаат информации во вид на пакети наменети за сите кабелски модеми приклучени на соодветниот CMTS. Секој кабелски модем ги прима сите

информации и според адресата, ги издвојува оние информации кои се адресирани и наменети само за него.

За да се пренесат информациите од дојдовниот интернет сообраќај во форма на MPEG-2 дигитален сигнал до кабелските модеми, во CMTS-от постои модулатор кој ги модулира овие дигитални сигнали во RF сигнал (на некој канал од 470 до 862 MHz) користејќи QAM64 или QAM256 модулација. Потоа овој модулиран RF сигнал (*downstream*) се здружува со другите ТВ и радио сигнали во главната станица и се пушта во мрежата кон корисниците.

Во *upstream* насоката преку повратниот пат, CMTS-от ги прима дигиталните сигнали кои ги емитуваат модемите. Секој кабелски модем емитува сигнали во точно определени временски исечоци (временски прозори).

CMTS-от покрај другото, е задолжен да доделува овластување (односно, можност), на секој од модемите во мрежата во определен момент (временски исечок) да го користат повратниот канал за себе. Секој повратен канал во кабелскиот дистрибутивен систем е поделен на временски исечоци (*mini slots*). Траењето на секој временски исечок може да биде променлив степен од бројот 2 помножен со 6.25 μ s. (На пример 2 x 6.25 или 32 x 6.25 или 128 x 6.25, итн). CMTS-от доделува на еден модем еден или повеќе временски исечоци за праќање на блокови со податоци.

Секој кабелски модем во мрежата на КДС за да испрати некои податоци мора претходно да побара од CMTS-от да му додели временски исечоци-интервали кои ќе му бидат доделени само нему. Откако ќе ги добие, може да отпочне со преносот на податоците.

Кабелските модеми кај корисниците не можат да комуницираат директно помеѓу себе. Интернет сообраќајот од кабелските модеми преку CMTS-от се рутираат (насочуваат) до други кабелски модеми или кон интернетот, во зависност од тоа за кого се наменети пакетите со информации.

4.1.5. Пренос на дојдовниот интернет сообраќај (*downstream*)

За пренос на дојдовниот интернет сообраќај се користи фреквенцискиот опсег од 470 до 862 MHz, односно истиот фреквенциски појас кој се користи за пренос на ТВ каналите до корисниците. Притоа, ширината на еден "*dowstream*" канал изнесува 8 MHz (исто колку еден ТВ канал во UHF опсегот)

Се користи квадратна модулација (QAM - *Quadrature Amplitude Modulation*) Постојат повеќе степени на QAM модулација. На пример QAM16, QAM32, QAM64, QAM256 па дури и повеќе. Повисок степен на модулација значи дека се компресираат повеќе информации преку иста ширина на пропустен појас, но тогаш е потребно преносниот пат да биде со помалку шум.

Брзините на пренос кои се постигнуваат во дојдовниот сообраќај (EuroDOCSIS) изнесуваат 38Mbps при 64QAM модулација и 52Mbps при 256QAM модулација.

За оптимална работа на модемот, нивото на RF сигналот на влезот на модемот треба да биде во границите од -5 dBmV до +5dBmV (55 dB μ V до 65 dB μ V).

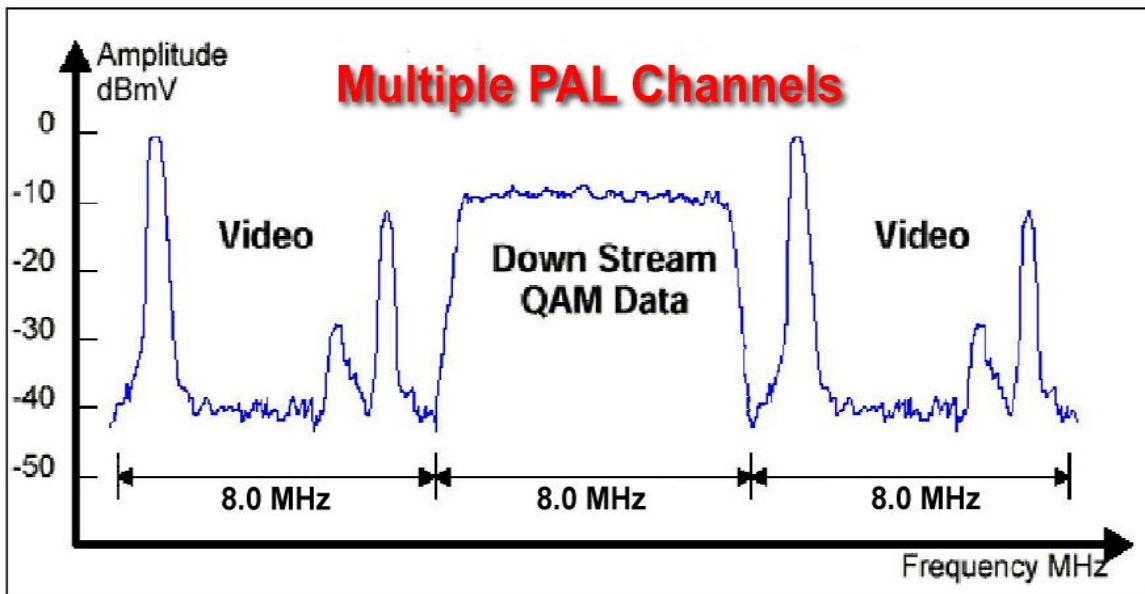
Односот на сигнал/шум на еден канал со ширина од 8 MHz треба да биде поголем од 31 dB.

Карактеристиките на електричните сигнали (при EuroDOCSIS стандардот) кои влегуваат во кабелскиот модем се дадени во табела 15:

Табела 15. Карактеристики на downstream сигнали за EuroDOCSIS

Table 15. EuroDOCSIS downstream electrical signals specifications

Параметар	Вредност
Централна фреквенција	112 до 862 MHz (470 до 862 MHz)
Ниво на влезен сигнал (по еден канал)	43 до 73 dB μ V (-17 до +13 dBmV) за 64 QAM 47 до 77 dB μ V (-13 до +17 dBmV) за 256QAM
Максимално дозволено влезно ниво на сигналите	<90 dB μ V (<30 dBmV) во опсег од 85 до 862 MHz
Вид на модулација	64QAM и 256QAM
Ширина на канал	8 MHz
Импеданса	75 оми
Конектор	F connector



Слика 75. Амплитудно-фреквенциска карактеристика на PAL каналите
 Figure 75. Amplitude-frequency characteristic of PAL signals

На слика 75 е прикажан дел од фреквенцискиот опсег каде што се пренесуваат аналогните ТВ канали, како и дигиталните ТВ и downstream-интернет канали. Како што се гледа на сликата, нивото на сигналот на дигиталните ТВ и интернет-downstream каналот (QAM модулација) треба да биде 6 до 10 dB пониско во однос на нивото на RF носителот на видео сигнал од обичен аналоген ТВ канал, за да не се преоптоварат засилувачите во мрежата. Ова е затоа што дигиталните QAM модулирани канали имаат поголема моќност од аналогните канали поради својата поголема исполнетост при иста ширина на каналот од 8MHz.

4.1.6. Пренос на појдовен интернет сообраќај (upstream)

Појдовниот интернет сообраќај се пренесува преку таканаречениот повратен канал (повратен пат) во фреквенцискиот опсег од 5 до 65 MHz. Во овој фреквенциски појас се присутни многу пречки и шумови. Најчесто овие шумови (*ingress* – шумови) се предизвикани од електрични искри, електрични машини, електрични искри во автомобилските мотори, неонски светилки, атмосферски празнења (громови), разни апарати кои се користат во индустријата и домаќинствата итн. Радио аматерите со своите радио станици кои емитуваат во ова фреквенциско подрачје исто така можат да предизвикаат

пречки во КДС. Овие пречки и шумови се особено изразени на фреквенциите до 30 MHz. Затоа, за повратен пат во КДС најчесто се користат фреквенции во опсегот од 30 до 65 MHz со исклучок на фреквенциите околу 49 и 53 MHz кои се користат од домашните безжични телефони. Исто така треба да се внимава, да не се користат фреквенциите на меѓуфреквенциските сигнали (33,4 и 38,9 MHz)

Иако вообичаено не се користат фреквенциите до 30 MHz во повратниот пат, сепак, шумови и пречки со висок интензитет можат лесно да го оптоварат влезот на засилувачот за повратен пат. Засилувачот е широкопојасен и ги „гледа“ сите фреквенции од 5 до 65 MHz кои пристигнуваат на неговиот влез. Така, сигналите на шум и пречки, иако можат да бидат со различна фреквенција од корисните сигнали, тие доколку се со поголемо ниво, можат да предизвикаат преоптоварување на засилувачите (или на ласерите во оптичките предаватели) и да предизвикаат изобличување и на корисниот сигнал.

Шумовите и пречките во повратниот пат, ако се со доволен интензитет можат да предизвикаат проблеми при преносот на интернет сообраќајот исто како и на телефонскиот (*VoIP*) сообраќај.

4.1.7. Користење на филтри во повратниот пат

Практичното искуство покажува дека 70% од пречките и шумовите во повратниот пат навлегуваат преку коаксијалните линии кои се наоѓаат во домовите на корисниците. За да се намалат пречките и да се зголеми односот сигнал/шум во повратниот пат, кабелските оператори поставуваат специјални филтри на линиите кои водат до корисниците на КДС кои не користат интернет или *VoIP*-телефон. Овие филтри се од типот високопропусни филтри кои овозможуваат премин на сигналите од 85 до 862 MHz, а ги придушуваат сите сигнали на фреквенциите под 65 MHz. На тој начин се спречуваат евентуалните пречки и шумови кои можат да навлезат во овие коаксијални линии, да го „загадат“ повратниот пат и да направат пречки во *upstream*-каналите кај корисниците кои користат интернет или *VoIP*-телефон.

ТВ приемниците на корисниците приклучени во мрежата произведуваат несакано зрачење кои може да прави пречки особено во фреквенциите на повратниот пат. Затоа, во коаксијалната линија која води од сплитерот или тапот до телевизорот на корисникот задолжително се става високопропусен филтер. Филтерот треба да се постави на самиот излез од сплитерот или

тапот, а потоа, на излезниот конектор од филтерот го спојуваме коаксијалниот кабел кој води кон телевизорот (и кон дигиталниот ТВ приемник).



Слика 76. Високопропусни филтри

Figure 76. High pass filters

Кај оние корисници кои користат телевизија, интернет и телефон, високопропусен филтер се поставува на онаа гранка од сплитерот (или тапот) која води до ТВ приемникот. Притоа, филтерот се поставува директно на сплитерот (или тапот).

На гранката од сплитерот која води до кабелскиот модем не се поставува високопропусен филтер. Тука може да се употреби банд-филтер, односно филтер пропусник на опсег (30 – 65 MHz).

Исто така, добро е да се користат високопропусни филтри кои ги придушуваат сигналите од фреквенциите под 30 MHz на сите коаксијални линии бидејќи тие фреквенции не се користат за повратниот пат а во тој фреквенциски појас шумовите и пречките се најизразени.

4.1.8. Карактеристики на повратниот пат

Ширината на upstream-каналот изнесува до 6,4 MHz, а модулацијата која се користи е QPSK или QAM. Брзините кои можат да се постигнат изнесуваат од 0,32 до 5,12 Mbps при QPSK модулација и од 0,64 до 10,24 Mbps при 16QAM модулација.

Карактеристиките на електричните сигнали (при EuroDOCSIS стандардите) кои ги емитува кабелскиот модем се дадени во табела 16:

Табела 16. Карактеристики на upstream сигнали за EuroDOCSIS

Table 16. EuroDOCSIS upstream electrical signals specifications

Параметар	Вредност
Фреквенција	Од 5 до 65 MHz
Ниво на емитуваниот сигнал	68 до 114 dBμV (+8 до +54 dBmV) (32QAM, 64QAM) 68 до 115 dBμV (+8 до +55 dBmV) (8QAM, 16QAM) 68 до 118 dBμV (+8 до +58 dBmV) (QPSK) S-CDMA: 68 до 113 dBμV (+8 до +53 dBmV) за сите модулации
Ширина на канал	200, 400, 800, 1600, 3200 6400 kHz
Вид на модулација	QPSK, 8QAM, 16QAM, 32QAM, 64QAM и 128QAM
Импеданса	75 оми
Конектор	F connector

За пренос на појдовниот интернет сообраќај преку повратниот пат на коаксијалната кабелска мрежа се користи дигитална модулација слично како за пренос на дојдовниот интернет сообраќај.

На ниските фреквенции во повратниот пат (5 – 65 MHz) кои се користат за пренос на појдовниот интернет сообраќај, многу повеќе е присутен шум отколку на повисоките фреквенции кои се користат за дојдовниот интернет сообраќај. Затоа, кога односот сигнал/шум во повратниот канал не е доволен, тогаш се користи QPSK (*Quadrature Phased Shift Keying*) модулација. Овој вид на дигитална модулација е помалку ефикасна во однос на QAM-модулацијата. Тоа значи дека пренесува помало количество на информации преку определен пропустен појас, но од друга страна е многу поотпорна на шумови и пречки при преносот.

Примената на QPSK модулација значи и соодветно помали брзини на *upstream*-от, но ова не претставува голем проблем бидејќи како што беше спомнато, количеството на информации (*upload*) кои се пренесуваат преку појдовниот интернет сообраќај (*upstream*) е многу помало во однос на количеството на информации (*download*) кои се пренесуваат преку дојдовниот интернет сообраќај (*downstream*).

Минималниот однос сигнал/шум во повратниот пат треба да изнесува најмалку 25 dB за DOCSIS 1.1 и 2.0 стандардот, и најмалку 31 dB за DOCSIS 3.0 стандардот.

Доколку односот сигнал/шум во повратниот пат на КДС е доволно висок, тогаш може да се употреби 16QAM модулација и поголеми брзини на *upstream*-от.

4.1.9. Ниво на емитувани сигнали од модемот

Кабелскиот модем емитува сигнал преку повратниот пат кон CMTS-от. Нивото на емитуваниот сигнал е многу критично. Премногу високо ниво на емитуваниот сигнал ќе предизвика изобличување на сигналот. Исто така, високото ниво од само еден модем во системот, може да предизвика преоптоварување на засилувачите во повратниот пат (или ласерот за повратен пат во оптичкиот нод), па така, сигналите од сите модеми преку тој преоптоварен засилувач да бидат изобличени.

Модемот започнува да емитува сигнал (на доделената фреквенција во повратниот пат) со најниско ниво, а потоа постепено го зголемува нивото сè додека CMTS-от не го „слушне“ новиот модем. Од тој момент CMTS-от и модемот започнуваат двонасочна меѓусебна комуникација. Емитуваниот сигнал тогаш е нагоден на оптимално ниво.

Кабелскиот модем е предвиден да емитува сигнал во повратниот пат со ниво од 92 dB μ V до 114 dB μ V (+32dBmV до +54dBmV) без изобличување на сигналот.

За оптимална работа на кабелскиот модем, нивото на емитуваниот сигнал треба да биде помеѓу +36 и +50 dBmV (96 - 110 dB μ V).

Непрописно нагоден и балансиран повратен пат може да го форсира модемот да емитува сигнал со ниво дури до 120 dB μ V (+60 dBmV) за да биде „слушнат“ од CMTS-от. Се разбира дека при такво ниво на сигнал кое е надвор

од пропишаните граници за модемот, ќе настанат изобличувања на емитуваните дата-пакети во појдовниот интернет сообраќај (*upstream*).

4.1.10. Временски офсет (*timing offset*)

Временскиот офсет е воспоставен потребен период на „тишина“ помеѓу емитирање на сигнал од два кабелски модеми за да се избегне истовремено емитирање на два модема односно да се избегне преклопување и попречување на сигналите од модемите во системот.

4.1.11. Контрола на сигналите со помош на самиот кабелски модем

На секој модем може да му се пристапи преку интернет пребарувач бидејќи модемите имаат веб-базиран графички интерфејс. На модемскиот графички интерфејс можат да се видат сите параметри на модемот, како и нивото на сигналите и односот на сигнал/шум. Се разбира дека овие вредности се само ориентациони. Не може да се очекува дека еден евтин модем може со доволна прецизност да ги прикаже вредностите на сигналите, како што може да ги измери некој стотитина па дури и илјада пати поскап мерач на сигнал или анализатор, но сепак, прикажаните приближни вредности на сигналите можат многу да помогнат при брзо дијагностицирање на евентуалните проблеми.

Кабелскиот модем е предвиден да емитира сигнал во повратниот пат со ниво од 92dB μ V до 114dB μ V (+32dBmV до +54dBmV) без изобличување на сигналот. За оптимална работа на кабелскиот модем, нивото на емитуваниот сигнал (*upstream*) не треба да биде пониско од +36dBmV (96dB μ V). и повисоко од +50dBmV (110dB μ V). Пониското ниво на емитуваниот сигнал од 36dBmV може да биде причина за влошување на односот сигнал/шум во *upstream* каналот, особено ако присуството на шум на тие фреквенции е високо. Односот сигнал/шум во *upstream* каналот треба да биде поголем од 25 dB за docsis 2.0 и поголем од 31 dB за docsis 3.0.

За оптимална работа на модемот, нивото на сигналот на влезот на модемот (*downstream*) треба да биде во границите од -5 dBmV до +5dBmV (55 dB μ V до 65 dB μ V). Може да се толерира ниво на влезот на модемот до максимум +10 dBmV. Над оваа вредност може да дојде до загуба на пакети и проблеми во интернет врската.

Што се однесува до односот сигнал/шум во *downstream* каналот, тој треба да биде поголем од 31 dB. Колку е поголем тој износ, толку е подобро. Од друга страна, ако односот сигнал/шум е помал од 31 dB тогаш може да има загуби на пакети и проблеми во интернет врската.

4.1.12. **Балансирање на сигналите во повратниот пат во КДС**

На прикажаната блок шема од еден дел на коаксијалната кабелска мрежа (слика 77) прикажан е кабелски модем кај корисник кој се наоѓа на определено растојание од главната станица. Сите засилувачи во мрежата треба да бидат двонасочни за да можат да го пренесуваат повратниот пат кој се користи за појдовниот интернет сообраќај (*upstream*) испратен од модемот.

Секој шум кој потекнува од секој корисник во КДС, може да навлезе во повратниот пат на мрежата, а потоа ќе биде засилен во засилувачите, така што на крајот, во главната станица доаѓа високо ниво на акумулиран шум. Затоа треба да се посвети големо внимание и напор за да се спречи или намали шумот (*ingress noise*) од било која точка на мрежата.

Кабелскиот модем ги прима дојдовните интернет сигнали од главната станица. Тој комуницира назад кон главната станица испраќајќи појдовни интернет сигнали преку повратниот пат на мрежата. Секој модем има софистициран модулатор способен да генерира сигнал во повратниот пат на повеќе фреквенции. Кабелскиот модем континуирано ги скенира сите фреквенции во повратниот пат тражејќи слободна фреквенција во дефинираниот фреквенциски појас во кој му е дозволено да емитува. Значи излезната фреквенција на која модемот испраќа сигнал може да варира во зависност од шумот на поодделните фреквенции во системот, или пак од тоа, дали некој друг модем веќе ја користи таа фреквенција.

Кабелскиот модем исто така автоматски може да го променува нивото на излезниот сигнал во зависност од слабеењето на повратниот пат, за да обезбеди доволно јак сигнал до главната станица (CMTS-от).

Да го пресметаме слабеењето на сигналот од повратниот пат прикажан на сликата 77. Игнорирајќи го слабеењето во кабелот, слабеењето на сигналот во повратниот пат од кабелскиот модем, до точката "X" (излезот на првиот засилувач A1) ќе биде: 8 dB на тапот број 3, плус 2 dB слабеење (влез/излез) на тапот број 2, плус 4 dB на сплитерот, плус 16 dB на тапот број 1. Добиваме

вредност од 30 dB слабење. Во овој случај, кабелскиот модем треба да емитува сигнал со ниво од 100 dB μ V за да може во точката "X" да пристигне сигнал со ниво од 70 dB μ V. Кога ќе додадеме неколку dB слабење на кабелот, ќе заклучиме дека модемот често треба да емитува сигнал со ниво близу до 112 dB μ V (52 dBmV) кое е горното гранично ниво за сигналот да не биде изобличен.

Доколку во мрежата има поголем број на пасивни елементи (тапови и сплитери) поставени едноподруго, слабењето во повратниот пат ќе биде поголемо, а модемите автоматски ќе бидат принудени да емитуваат сигнал со ниво повисоко од нивото кое можат да го дадат без изобличување. На тој начин, сигналот ќе биде со изобличување кое може да предизвика пречки на дигиталниот сигнал за појдовниот интернет сообраќај. Засилувачот на повратниот пат може само да го засили сигналот доведен на неговиот влез, но не може да го поправи изобличувањето на сигналот ако тој веќе бил изобличен.

Од друга страна, превисокото ниво на сигнал емитуван од кабелскиот модем може да предизвика изобличување на засилувачите од повратниот пат (во коаксијалниот сегмент од мрежата), исто како и на ласерот (во нодот) од оптичкиот предавател за повратен пат (во оптичкиот сегмент од мрежата).

Сето ова значи дека треба да се посвети многу внимание при пресметките на слабењето, проектирањето и поставување на мрежата за да може да се постигне оптимално функционирање на кабелскиот дистрибутивен систем.

4.1.13. Процедури и методи за нагудување на повратниот пат во КДС

За правилно функционирање на интернетот, телефонијата и другите интерактивни сервиси кои се обезбедуваат преку кабелскиот дистрибутивен систем, од особена важност е правилното нагудување на т.н. повратен пат, преку кој се пренесува *upstream*-сообраќајот.

Вообичаено, на влезот од CMTS уредот (на пример, cisco UBR 7200 серија, или cisco UBR 10000 серија) нивото на *upstream* сигналот треба да биде 0dBmV (60 dB μ V).

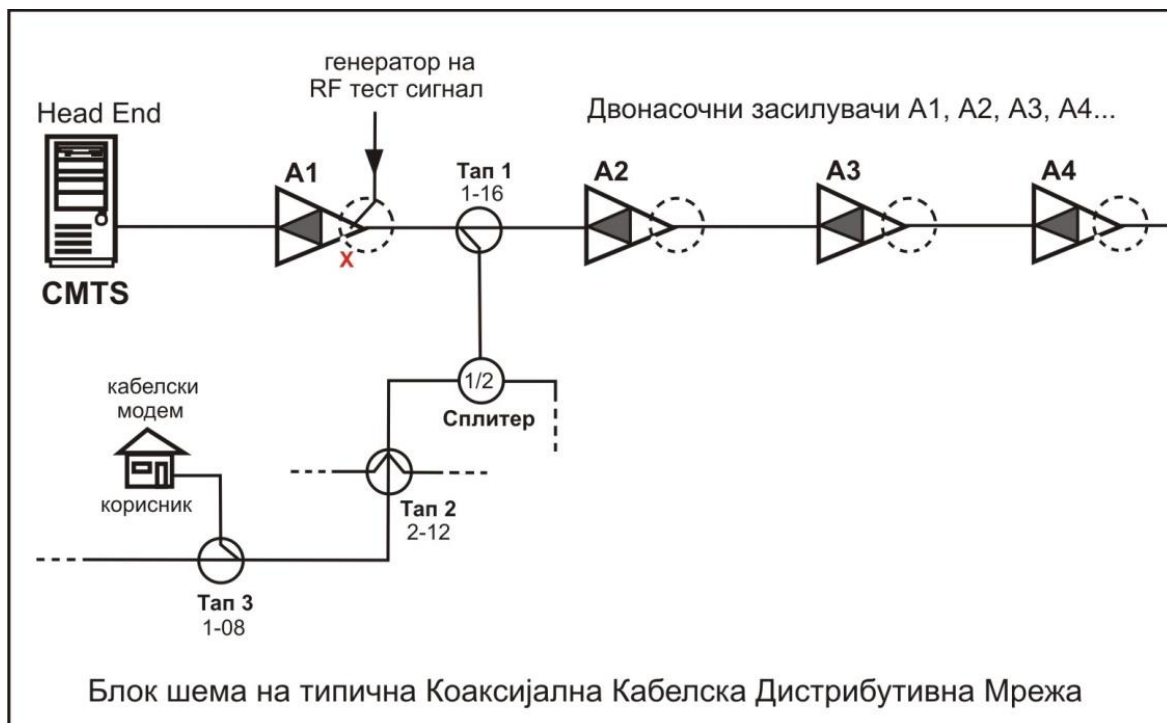
Поради попречувачки сигнали и шум во повратниот пат, нивото на *upstream* сигналот на влезот од CMTS уредот може да се зголеми. Тоа значи

дека и кабелските модеми ќе треба да емитуваат сигнал со повисоко ниво за да се зголеми односот сигнал/шум (но не треба да се претерува, бидејќи може да дојде до изобличување).

Постојат повеќе методи за нагдување на повратниот пат во кабелските дистрибутивни системи. Некои од нив ќе ги објаснам во текстот што следува.

1. Најстар и наједноставен (но не и најефикасен и најдобар) метод за нагдување на повратниот пат е методот за кој се потребни двајца техничари.

Нагдувањето на повратниот пат се врши на секој засилувач во мрежата, започнувајќи од првиот засилувач после CMTS-от па натаму. Потребни се двајца техничари.



Слика 77. Блок шема на типична коаксијална кабелска дистрибутивна мрежа
Figure 77. Block diagram of typical coaxial cable distribution network

Едниот техничар оди на терен и со себе носи генератор на RF сигнал а другиот техничар се наоѓа во главната станица (кај CMTS-от) со мерач на ниво на RF сигнал или анализатор на спектар за фреквенции кои се користат во повратниот пат (5-65 MHz). Генераторот на RF сигнал треба да има можност да емитува сигнал со фреквенција блиску до фреквенциите кои се користат за

повратниот пат (обично 20, 30, 40, 50 и 60 MHz), а нивото на излезниот сигнал треба да може да се нагодува на потребната вредност (обично 70 до 110 dB μ V).

Нагодувањето започнува кај првиот засилувач (A1) кој е најблиску до CMTS-от (слика 77). На излезот од тој засилувач се приклучува тап или може да се користи тест приклучокот на излезот од засилувачот. Ако тапот или тест приклучокот го слабеат сигналот за 20 dB, тогаш од генераторот пуштаме сигнал со ниво од 97 dB μ V. Така, на влезот од засилувачот за повратниот пат (од двонасочниот CATV засилувач A1) се појавува сигнал од генераторот со ниво од 77 dB μ V (17dBmV).

Со помош на атенуатори се нагодува засилувањето на засилувачот за повратниот пат (од двонасочниот CATV засилувач A1) така што во главната станица, пристигнува сигнал со ниво од точно 77 dB μ V. (потоа, ова ниво се намалува со пасивна структура од сплитери така што на влезот од CMTS уредот сигналот изнесува 60 dB μ V, односно 0 dBmV). Од практични причини, дозволени се отстапувања од ± 2 dB. Ова значи дека засилувањето на засилувачот на повратниот пат (во двонасочниот CATV засилувач A1) треба да биде нагодено така што во главната станица да пристигнува сигнал со ниво од 75 до 79 dB μ V, а на влезот од CMTS уредот сигналот треба да биде 60 dB μ V. Сигналот од повратниот пат треба да се мониторира во главната станица на влезот од CMTS-от со помош на инструмент - спектрален анализатор или мерач на ниво на RF сигнал. Овие инструменти треба да бидат за фреквенции кои се користат во повратниот пат (5 до 65 MHz).

Штом се постигне нивото на приманиот сигнал во главната станица да биде исто како нивото на тест сигналот што се внесува на влезот од засилувачот за повратен пат (во двонасочниот CATV засилувач A1) тоа значи дека делот од засилувачот A1 до CMTS-от е прописно нагоден за пренос на сигнали преку повратниот пат.

Генераторот на тест сигнал сега се преместува кај следниот засилувач во мрежата (A2) и постапката се повторува на ист начин како за првиот засилувач (A1). Понатаму следи нагодување на засилувачот (A3) и така сè до последниот двонасочен засилувач во линијата.

Оваа постапка ја вршат двајца техничари истовремено. Едниот техничар оди на терен од првиот кон последниот засилувач во линијата што се нагодува, а другиот техничар го мониторира нивото на сигналот на влезот од CMTS-от. Техничарите меѓусебно комуницираат со мобилен телефон или со рачни радио станици за да го нагодат нивото на засилување на засилувачите во повратниот пат.

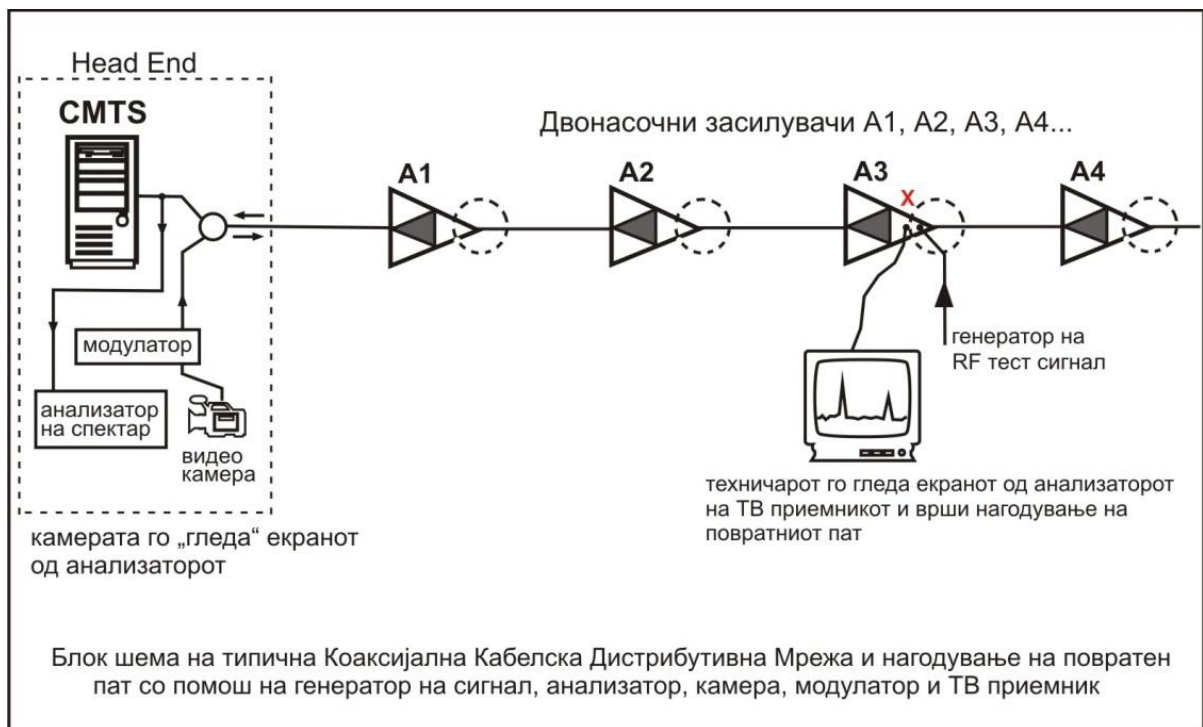
2. Подобар и поефикасен метод за нагодување на повратниот пат, за што е потребен само еден техничар, се врши со помош на употреба на следниве уреди: генератор на еден или уште подобро генератор на неколку RF тест сигнали истовремено, анализатор на фреквенциски спектар, камера, модулатор и ТВ приемник.

Во главната станица, на влезот од CMTS-от се приклучува анализатор на фреквенциски спектар (нагоден така што на екранот од анализаторот се гледа фреквенцискиот опсег од 5 до 65 MHz). Пред екранот од анализаторот, се поставува видео камера која се насочува кон екранот и се фокусира на него. Видео сигналот од камерата се носи во модулатор каде се втиснува во носечки RF сигнал (на некој празен канал) и потоа се пушта во мрежата на КДС.

Техничарот кој го нагодува повратниот пат со себе носи генератор на тест сигнал и ТВ приемник. Влезот на ТВ приемникот се приклучува на тест точката од засилувачот или нодот кој се нагодува. ТВ приемникот е наместен на каналот од модулаторот, односно од камерата која го „гледа“ екранот од анализаторот на фреквенцискиот спектар.

На тој начин, техничарот на терен може да го гледа екранот од анализаторот на фреквенцискиот спектар и го мониторира целиот фреквенциски појас на повратниот пат. Истовремено го гледа нивото на тест сигналите кои ги пушта од генераторот на тест сигнали во повратниот пат (слика 78).

Потоа, (на начин како во претходно опишаниот метод под број 1) со промена на соодветни атенуатори и коректори во делот од повратниот пат на засилувачот (или оптичкиот нод) го нагодува коректното ниво на сигналот од генераторот.



Слика 78. Нагдување на повратен пат со помош на камера, модулатор и ТВ
 Figure 78. Return path alignment (using video camera, modulator and TV-receiver)

Со нагдување се започнува од првиот засилувач (или оптички нод) после CMTS уредот, па потоа, по ред сè до последниот засилувач.

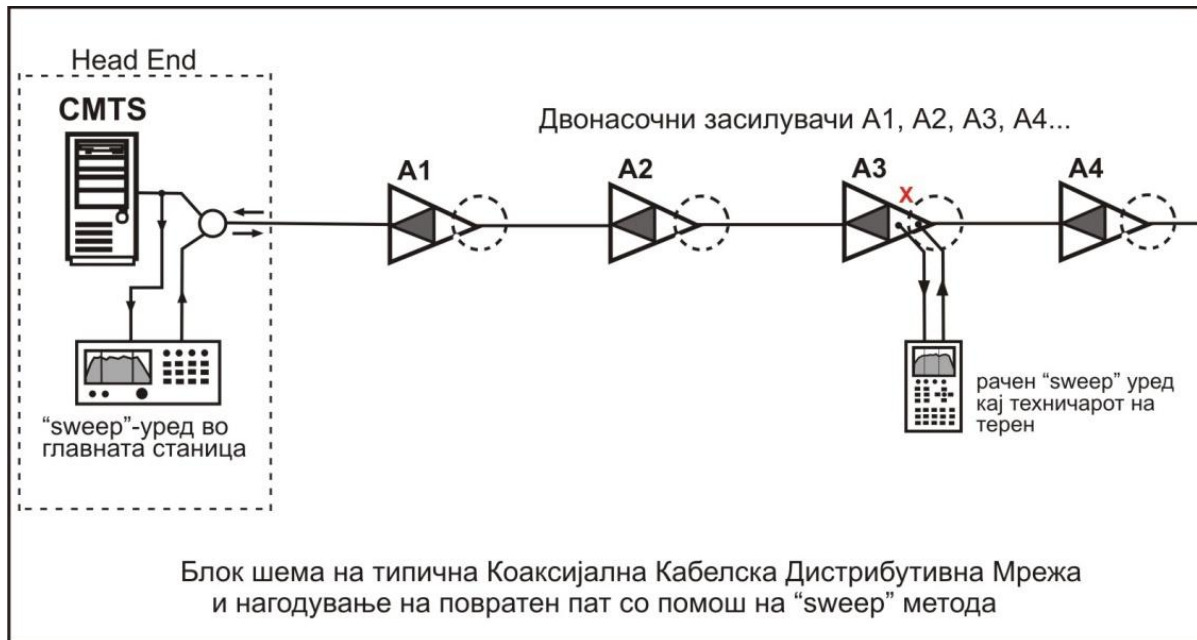
Предност на овој метод е тоа што само еден техничар истовремено може да го нагдува и повратниот пат, односно *upstream*-сигналот и *downstream*-сигналот.

Со набљудување на екранот од анализаторот преку камерата и ТВ приемникот, може многу подобро (во реално време) да се забележи присуството, нивото и фреквенцијата на сигналите на шум и сигналите на пречки во повратниот пат. Истовремено, нагдувањето е побрзо и попрецизно.

Негативна страна е потребата од релативно поскапи уреди и зафаќање на еден *downstream*-ТВ канал за набљудување на сигналот од камерата.

3. Постои и процедура на нагдување на повратниот пат со помош на таканаречена „*sweeping*“ метода. Кај оваа метода, наместо генератор на еден, два или неколку RF тест сигнали се инјектира т.н. „*sweep*“ - широкопојасен RF тест сигнал со константна амплитуда преку целиот RF спектар од повратниот пат. Всушност *sweep*-генераторот генерира еден RF сигнал на кого му ја

менува фреквенцијата во определен фреквенциски опсег многу пати во секунда, при што сигналот има константна амплитуда. На тој начин се постигнува ефект како кога генераторот на тест сигнал би емитувал безброј многу референтни RF сигнали во зададениот фреквенциски појас.



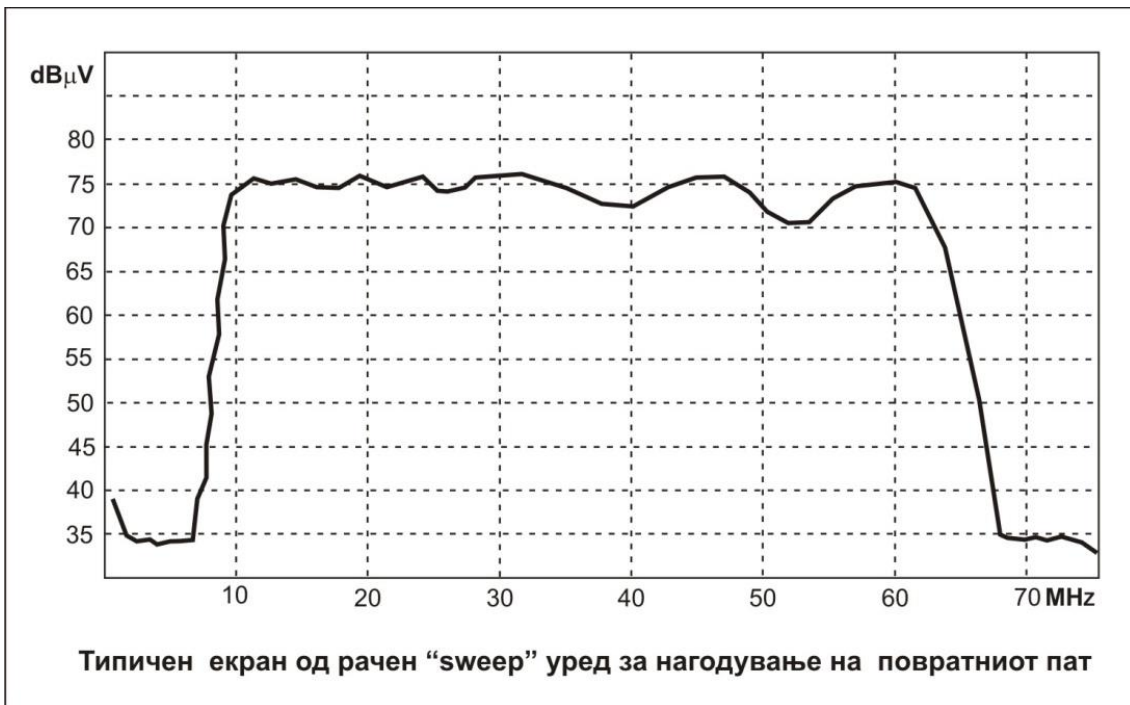
Слика 79. Нагудување на повратен пат со помош на sweep метода.

Figure 79. Return path alignment (using sweep method)

Со помош на оваа метода може да се набљудува амплитудно-фреквенциската карактеристика на целото фреквенциско подрачје на повратниот пат. Притоа, лесно можат да се воочат евентуалните неправилности и нелинеарности во повратниот пат.

За примена на оваа метода на нагудување на повратниот пат се потребни два „sweep“ уреди. Еден рачен уред го носи техничарот со себе на терен кога го врши нагудувањето на повратниот пат, а другиот уред се наоѓа во главната станица.

Рачниот уред е приклучен на еден од засилувачите во кабелската линија (почнувајќи од првиот засилувач па до последниот) Тој може да прима сигнали од *downstream* фреквенцискиот појас и да емитува сигнали во повратниот пат. Рачниот уред генерира *sweep*-сигнал и го инјектира во повратниот пат.



Слика 80. Типичен екран од рачен „sweep“ уред.

Figure 80. Typical screen of hand-sweep meter

„Sweep“ уредот во главната станица го прима емитуваниот сигнал од рачниот уред преку повратниот пат и го испраќа назад преку еден *downstream* канал кон рачниот уред.



Слика 81. Рачен „sweep“ уред DSAM-6300

Figure 81. Hand-sweep meter DSAM-6300

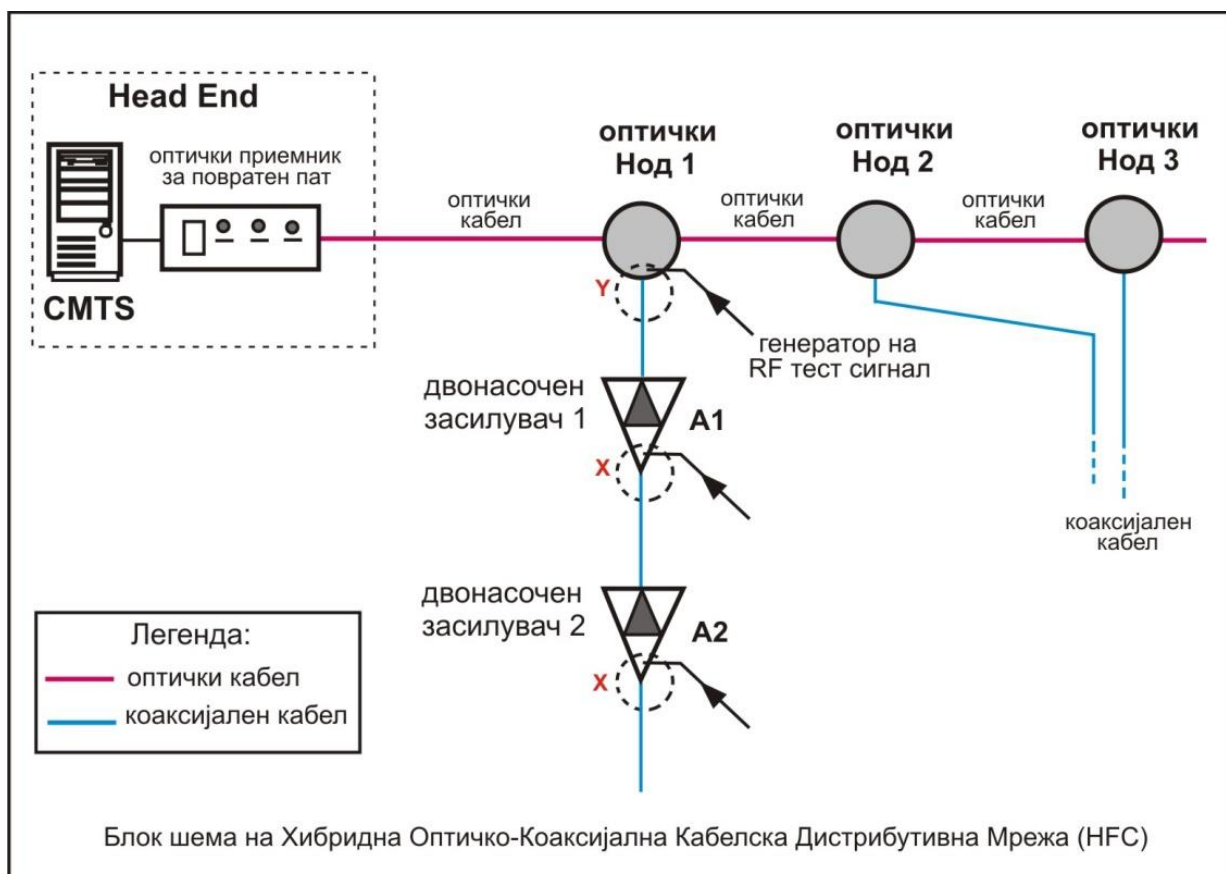
Рачниот „sweep“ уред ги споредува (компарира) сигналите кои ги испратил со тие што ги примил. Разликата помеѓу тие два сигнали ги прикажува на својот екран заедно со голем број нумерички податоци неопходни за правилно нагодување на повратниот пат односно *upstream*-от

4.1.14. Нагодување на повратниот пат кај хибридните оптичко-коаксијални (HFC) мрежи

Современите хибридни оптичко-коаксијални (HFC) мрежи имаат оптички сегмент и коаксијален сегмент на кабелската дистрибутивна мрежа.

Сигналот од главната станица се пренесува преку оптички кабли до повеќе оптички нодови. Слично како двонасочните засилувачи во коаксијалната мрежа и оптичките нодови се двонасочни и составени од два дела. Едниот дел на оптичкиот нод е приемник за сигналите од главната станица кон корисниците. Другиот дел на оптичкиот нод претставува оптички предавател (fiber optic transmitter) за сигналите во повратниот пат.

Упростена блок шема на еден дел од хибридна оптичко-коаксијална мрежа е прикажана на следнава слика:



Слика 82. Блок шема на дел од хибридна оптичко-коаксијална кабелска мрежа

Figure 82. Block diagram of hybrid fiber-coaxial cable distribution network

Процедурите за нагодување (балансирање) на повратниот пат се идентични како за коаксијалната мрежа, опишани претходно.

Најнапред се нагодува засилувањето на оптичкиот нод во повратниот пат, а потоа се нагодува засилувањето на засилувачите на повратниот пат (во двонасочните засилувачи) на коаксијалниот сегмент од тој нод во мрежата.

За нагодување на оптичкиот нод (види ја слика 82) се приклучува генератор на RF сигнал на тест приклучокот на RF излезот на нодот. (RF излезот, всушност претставува RF влез за повратниот пат). Генераторот на RF сигнал треба да има можност да емитува сигнал со фреквенција блиску до фреквенциите кои се користат за повратниот пат (обично 20, 30, 40, 50 и 60 MHz), а нивото на излезниот сигнал треба да може да се нагодува на потребната вредност (обично 70 до 110 dB μ V). Тест приклучокот на RF излезот на нодот всушност претставува тап со слабеење од околу 20 dB. Ако тест приклучокот е со слабеење од 20 dB, тогаш од генераторот пуштаме сигнал со ниво од 97 dB μ V (+37 dBm). Така, на влезот од повратниот пат (во оптичкиот нод 1 на сликата) се појавува сигнал од генераторот со ниво од 77 dB μ V (+17 dBm).

На другиот крај од оптичкиот линк, во главната станица, на излезот од оптичкиот приемник за повратен пат, се добива RF сигнал од повратниот пат со ниво кое е пропишано од производителот на оптичкиот приемник. Потоа RF сигналот од оптичкиот приемник со помош на пасивна структура од сплитери (или атенуатори) се нагодува така што на *upstream*-влезот на CMTS уредот да се добие потребното ниво на сигнал од околу 60 dB μ V (0 dBmV).

Со помош на атенуатори се нагодува нивото на повратниот пат (во оптичкиот нод 1 на сликата 82) така што во главната станица, преку оптичкиот линк и приемникот за повратен пат, на влезот од CMTS-от да пристигнува сигнал со ниво од точно 60 dB μ V (види ја слика 84). Сигналот од повратниот пат треба да се мониторира во главната станица на влезот од CMTS-от со помош на инструмент - Спектрален Анализатор или мерач на ниво на RF сигнал. Овие инструменти треба да бидат за фреквенции кои се користат во повратниот пат (5 до 65 MHz).

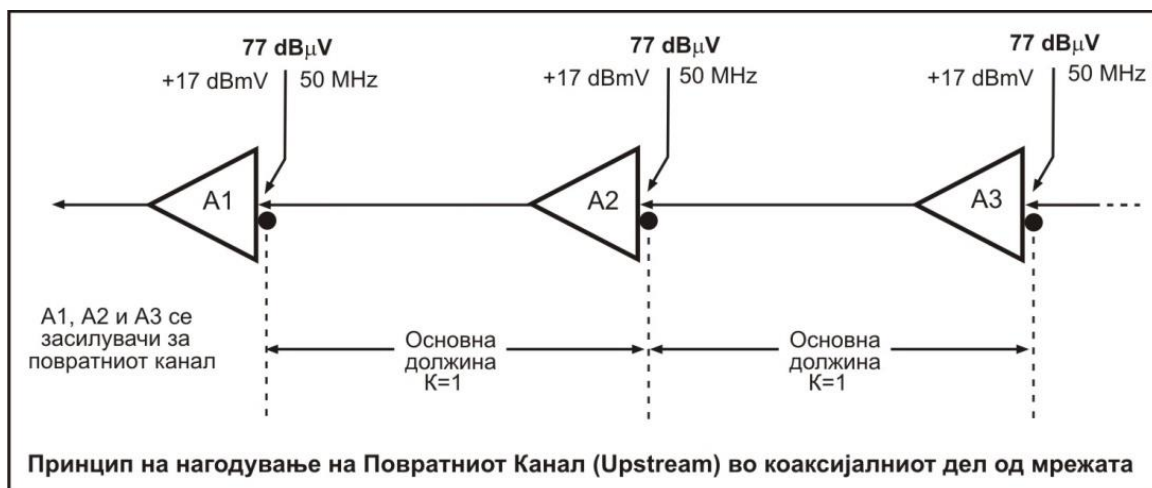
Штом се постигне потребното ниво на приманиот сигнал на влезот од CMTS-от, тоа значи дека делот од оптичкиот нод 1 до CMTS-от е прописно нагоден за пренос на сигнали преку повратниот пат.

Генераторот на тест сигнал потоа се преместува кај првиот засилувач (A1) после оптичкиот нод во коаксијалната мрежа и постапката се повторува на ист начин како за нагдување на нодот. Понатаму следи нагдување на засилувачот (A2) и така сè до последниот двонасочен засилувач во линијата.

Заклучок: Откако повратниот пат прописно е нагоден, тоа значи дека сигналот кој пристигнува на влезот од повратниот пат од било кој активен елемент во мрежата (оптички нод или двонасочен засилувач) ќе биде проследен (пресликан) со исто ниво до главната станица, односно CMTS-от.

Имплементацијата на опишаните методи за нагдување не е сложена, но е апсолутно критична за правилна работа на повратниот пат.

Прописно нагоден и балансиран повратен пат е основен предуслов за преносот на интернетот и телефонијата преку кабелскиот дистрибутивен систем.



Слика 83. Принцип на нагдување на upstream-от во коакс. дел на КДС

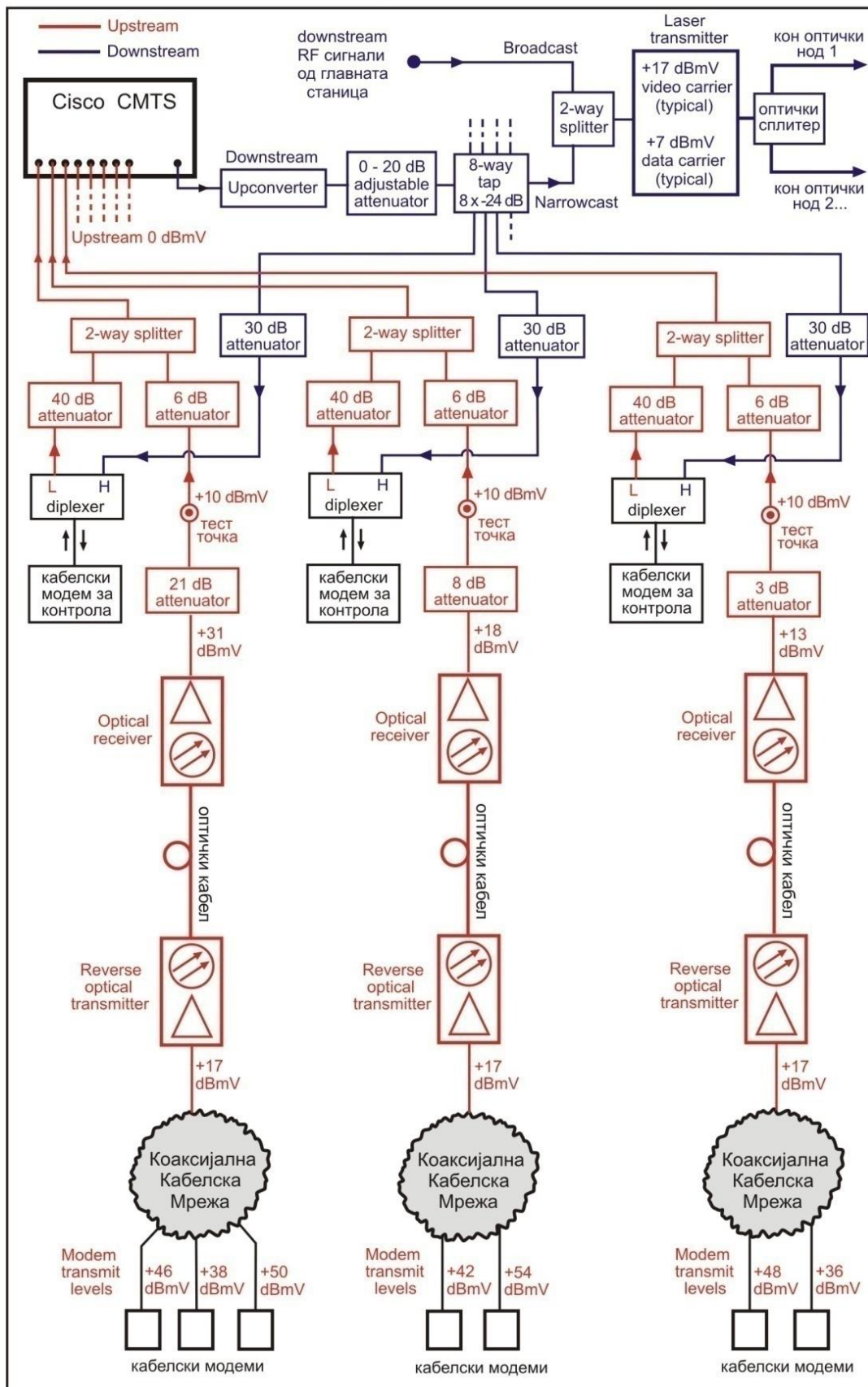
Figure 83. Principle of the return path alignment in coaxial part of the HFC

Кај хибридните оптичко-коаксијални (HFC) мрежи, во делот на оптичкиот линк (од нодот до главната станица, односно до оптичкиот приемник за повратен пат) многу е важно правилно нагдување на влезниот сигнал во оптичкиот предавател од оптичкиот нод. Премногу јак сигнал ќе го доведе ласерот во предавателот до таканаречен „клипинг“, односно нелинеарен режим

на работа што предизвикува изобличување на сигналот. Притоа треба да се има на ум дека ласерот може да се доведе до клипинг и од премногу големо ниво на шум во повратниот пат, како и од пречки од други RF сигнали присутни на тие фреквенции. Затоа, неопходно е редовно детално мониторирање на целиот фреквентен појас од 5 до 65 MHz.

Секој ласер има пропишано ниво на моќност на влезниот сигнал при кој ќе се појави „клипување“ на ласерот. Моќноста на влезниот сигнал зависи од нивото на RF сигналот, но исто така зависи и од ширината на фреквенцискиот појас на повратниот канал, а пак ширината зависи од видот на модулацијата на сигналот кој се користи за повратниот пат. Ова треба да се има на ум кога се преминува од еден вид на модулација (на пример QPSK) на друг вид на модулација (на пример QAM). QAM модулацијата има поголема фреквенциска ширина и поголема моќност на сигналот за разлика од QPSK модулацијата, и ако не се внимава на тоа, може да доведе до клипување на ласерот во предавателот за повратен пат во оптичкиот нод. Исто така, треба да се внимава на бројот на пренесувани RF канали во повратниот пат. На пример два RF сигнали во повратниот канал имаат за 3dB поголема моќност од еден RF сигнал при иста ширина на фреквенцискиот појас на каналите.

БЛОК ШЕМА НА ПОВРЗУВАЊЕ НА CMTS И НИВО НА СИГНАЛИ



Слика 84. Блок шема на поврзување на CMTS и нивоа на сигналите

Figure 84. Block diagram of CMTS connection and signal levels

4.1.16. Сегментирање на повратниот пат, за зголемување на ширината на преносниот опсег

Во современите HFC мрежи вообичаено е еден CMTS да опслужува определен број кабелски модеми (неколку стотици корисници).

Обично сигналите од CMTS-от до некој јазол (оптички нод) се пренесуваат преку оптичкиот сегмент на кабелската мрежа.

Оптичкиот нод типично има еден *downstream* канал кој внатре во нодот е поделен на два или повеќе одделни излезни конектори на кои се приклучуваат различни гранки од коаксијалната кабелска мрежа. На секоја од овие коаксијални кабелски линии има определен број корисници кои претставуваат делови од вкупниот број корисници кои се опслужуваат со тој оптички нод. Повратните патишта (*upstream*-ите) од сите тие корисници можат да се комбинираат преку структура на пасивни комбајнери-сплитери и сите *upstream* сигнали да се здружат и испратат преку еден повратен пат од нодот до CMTS-от.

Алтернативно на ова, повеќе *upstream* канали од неколку повратни патишта (коаксијални линии) можат да делат еден ист *downstream* сигнал од оптичкиот нод.

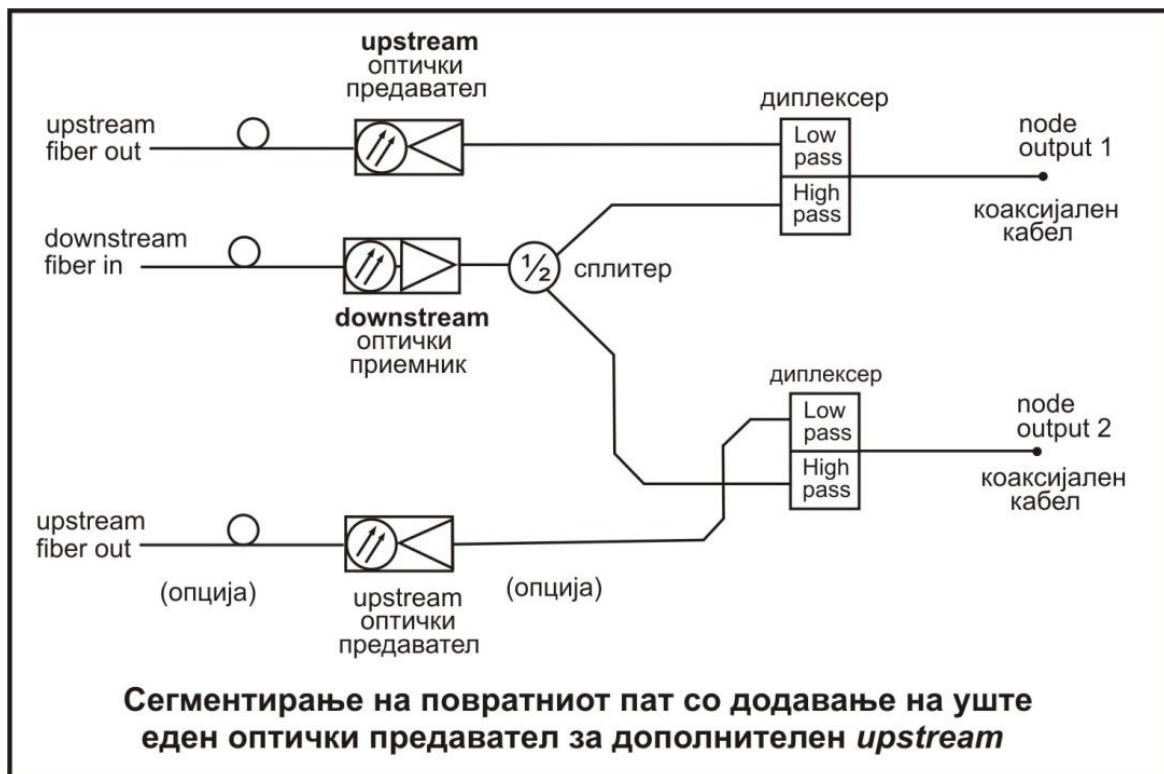
Ова е прикажано на слика 85.

Прикажани се два излези од оптичкиот нод. И двата излези го делат заедничкиот *downstream* канал од оптичкиот приемник за *downstream* сигнал, но има два одделни оптички предаватели за два различни *upstream* канали.

Поделбата на *upstream*-ите преку повеќе повратни патишта, е една од методите за зголемување на ширината на преносниот опсег при пренос на *docsis*-интернет преку КДС, имајќи предвид дека ширината на преносот на појдовниот интернет сообраќај преку *upstream*-каналот е многу помала во однос на *downstream*-каналот за дојдовниот интернет сообраќај.

Доколку има потреба од уште поголем капацитет на *upstream* каналот, може да се направи уште поголема поделба на *upstream*-ите употребувајќи повеќе оптички предаватели за повратен пат (*upstream*). Притоа, секој оптички предавател за повратниот пат може да емитува во засебно оптичко влакно како на горнава слика, или може да се употреби мултиплексирање на оптичките

сигнали по бранови должини (WDM) за сигналите од повратниот пат, користејќи само едно оптичко влакно.



Слика 85. Сегментирање на повратниот пат

Figure 85. Return path segmentation

Зголемените потреби за поголем капацитет на повратниот пат е особено изразено кај современите мултисервис оператори (MSO) кои воведуваат VoIP телефонија за свите корисници, и сè поголем број на корисници ја користат таа услуга. Секој телефонски разговор бара околу 128 kbps *upstream* сообраќај. Иако секој телефонски разговор сам за себе не е големо оптоварување, ако има 40 истовремени телефонски разговори од корисници во тој *upstream*, тогаш целиот капацитет на *upstream*-от ќе биде зафатен само од корисниците за овие телефонски разговори без да земаме предвид дека некои корисници ќе користат интернет во исто време.

Истава техника може да се примени и за сегментирање на downstream-каналот кај оптичките нодови имајќи ја предвид брзо растечката потреба од сè поголем *downstream* сообраќај особено при воведување на нови сервиси како што е „видео по нарачка“ (VOD - Video On Demand)

Поголемата сегментацијата на повратниот пат, но исто така и на *downstream* каналите, многу помага за намалувањето на шумот во повратниот пат, а истовремено овозможува брзо пронаоѓање на евентуален проблем во мрежата, како и негово побрзо решавање.

4.1.17. Верзии на EuroDOCSIS стандардот и нивни карактеристики

Освен EuroDOCSIS 1.1 стандардот. Постојат и EuroDOCSIS 2.0 и EuroDOCSIS 3.0 стандард кои овозможуваат поголеми брзини на интернет сообраќајот.

Сите три стандарди на EuroDOCSIS користат исти фреквенциски подрачја. Појдовниот интернет сообраќај (*upstream*) се пренесува од 5 до 65 MHz додека дојдовниот сообраќај (*downstream*) се пренесува од 470 до 862 MHz. EuroDOCSIS 1.1 и 2.0 главно се разликуваат по брзините кои можат да се постигнат во појдовниот (*upstream*) сообраќај, при што кај EuroDOCSIS 2.0 брзините на појдовниот сообраќај се до три пати поголеми.

Најкарактеристично за EuroDOCSIS 3.0 стандардот е тоа што овозможува користење на повеќе фреквенциски канали за пренос на податоци со различни фреквенции истовремено од еден корисник. Тоа значи дека брзините на преносот на податоци што се постигнуваат со EuroDOCSIS 3.0 стандардот се многу поголеми отколку кај претходните верзии на EuroDOCSIS стандардот. Тоа може да се види во табела 17:

Табела 17. EuroDOCSIS стандарди

Table 17. EuroDOCSIS specifications

Верзија	Број на <i>downstream</i> канали	Брзина на <i>downstream</i> сообраќај	Број на <i>upstream</i> канали	Брзина на <i>upstream</i> сообраќај
EuroDOCSIS 1.1	1	50 Mbps	1	9 Mbps
EuroDOCSIS 2.0	1	50 Mbps	1	27 Mbps
EuroDOCSIS 3.0	4	200 Mbps	4	108 Mbps
EuroDOCSIS 3.0	8	400 Mbps	4	108 Mbps

Кај EuroDOCSIS 1.1 за комуникација преку повратниот пат се користат FDMA и TDMA пристап. „FDMA – Frequency Division Multiple Access“ е Фреквенциски поделен пристап, додека „TDMA – Time Division Multiple Access“ е временски поделен пристап.

Кај EuroDOCSIS 2.0 освен овие два начина на пристап се користи и S-CDMA пристап (*S-CDMA – Synchronous Code Division Multiple Access*). Тоа е метода на повеќекратен пристап со кодирање на податоците која овозможува побрз пренос на податоците преку повратниот пат.

Фреквенциски поделениот пристап подразбира користење на повеќе канали во фреквенцискиот опсег (5-65MHz) за испраќање на податоци.

Временски поделениот пристап подразбира испраќање на податоци во точно определени временски исечоци – интервали.

Кодирањето на податоците кај EuroDOCSIS 2.0 овозможува повеќе кабелски модеми да испраќаат податоци на ист канал во ист временски интервал со помош на код кој е единствен за секој модем во мрежата.

За TDMA пристап, модемот треба да поддржува QPSK и 16QAM модулација.

EuroDOCSIS 2.0 модемите додатно поддржуваат 8QAM, 32QAM, 64QAM, 128QAM модулација за *upstream* каналот.

4.2. ФИКСНА ТЕЛЕФОНИЈА преку кабелски дистрибутивен систем

Операторите на современите кабелски дистрибутивни системи нудат и услуги на фиксна телефонија на своите корисници. Фиксната телефонија во рамките на кабелскиот дистрибутивен систем се пренесува преку интернетот. Оваа технологија е позната како „VoIP“ (*VoIP = Voice Over IP*). Треба да се разликува *VoIP* технологијата во рамките на еден КДС, од таканаречената „Интернет телефонија“ која се користи кај интернет корисниците со посредство на соодветни софтверски програми како што е „Skype“ на пример.

За функционирање на телефонијата преку КДС, кај корисниците е потребно инсталирање на кабелски модем со интегриран мултимедиски адаптер (*MTA – Multimedia Terminal Adapter*). Тоа значи дека модемот освен што има конектор за приклучок на интернет, има додатен конектор(и) за приклучок на еден или два телефонски апарати кои можат да работат како две различни виртуелни телефонски линии.

Во главната станица на кабелскиот дистрибутивен систем потребно е да се инсталира уред наречен телефонски свич “IP-to-PSTN” (*Public-Switched Telephone Network*). Овој уред ги конвертира и рутира IP-базираните телефонски разговори во телефонски сигнали преку традиционален класичен телефонски систем.

Исто како и интернетот, пренесувањето на корисните информации од телефонијата се врши така што информациите се делат на голем број „пакети“ и се испраќаат преку интернетот кон примачот. Пакетите претставуваат низа од информации. Секоја од низата на информации има свое заглавје, во кое покрај другото ја има и адресата на испраќачот, адресата на примачот и кодови за идентификација на секој од пакетите. Кај примачот овие пакети пристигнуваат со помало или поголемо доцнење во зависност од квалитетот на интернет врката. Исто така, сите пакети не мора да стигнат по истиот редослед по кој се испратени. На страната на примачот овие пакети се примаат, се групираат по редослед, се декодираат и на крајот се формира информацијата во облик како кога била испратена од страна на испраќачот.

Важно е да се разбере дека сите пакети во мрежниот сообраќај не се со еднаков приоритет и важност. Особено пакетите од *VoIP* телефонскиот сообраќај се многу осетливи на доцнење, за разлика од пакетите од *e-mail* интернет сообраќајот за кои не е проблем ако задоцнат некоја секунда при преносот.

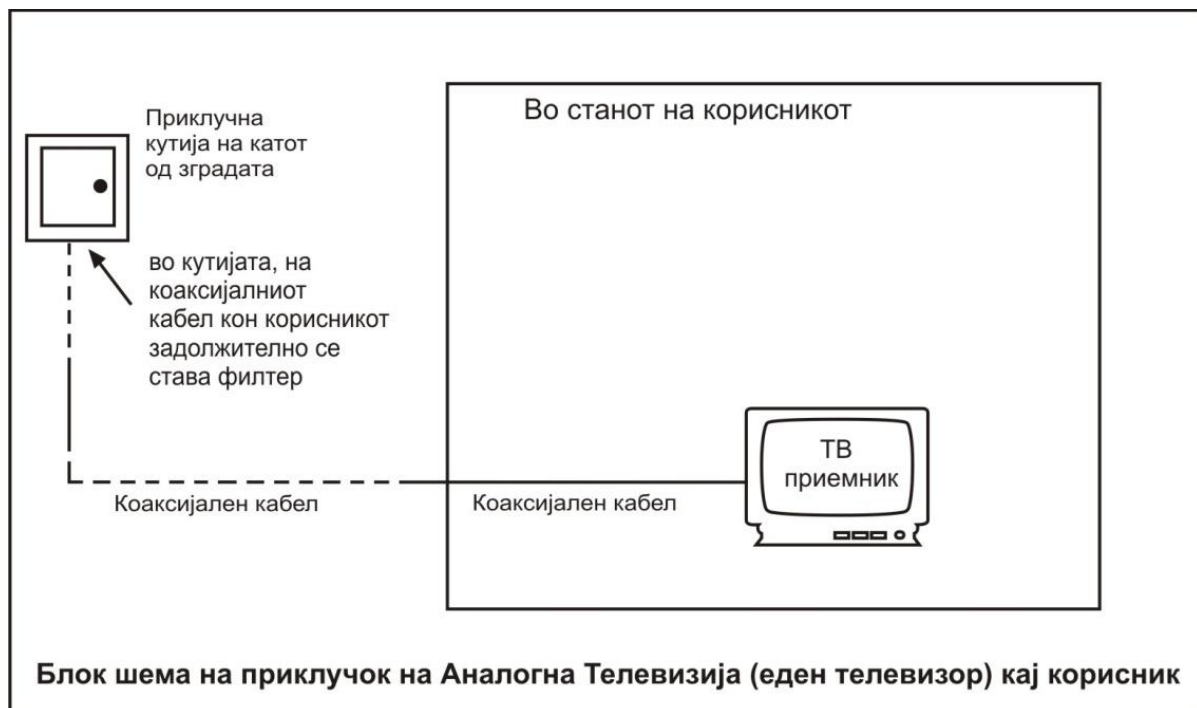
За квалитетна телефонска услуга не е потребна многу брза интернет врска. Доволно е брзина од само 128 Kbps, но потребна е интернет врската да биде многу стабилна и со многу мало доцнење на пакетите со информации. *VoIP* сообраќајот се одвива преку интернетот преку специјални пакети на информации при што доцнењето на пакетите многу малку се толерира. Доколку интернет врската не е многу квалитетна и има поголемо доцнење на пакетите, гласот што се пренесува во телефонскиот сообраќај ќе биде испрекинат, а може да дојде и до прекин на телефонската врска.

5. ПРАКТИЧНИ ПРИМЕРИ ЗА ИНСТАЛАЦИЈА И ШЕМИ НА ПОВРЗУВАЊЕ НА ПОТРЕБНИТЕ УРЕДИ КАЈ КОРИСНИКОТ, ПРИ ПРИКЛУЧУВАЊЕ НА РАЗНИ УСЛУГИ КОИ ГИ НУДИ КАБЕЛСКИОТ ОПЕРАТОР

5.1. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија кај корисник (со еден ТВ приемник)

Обично во секоја зграда на секој кат се поставува приклучна кутија до која доаѓаат сигналите од КДС преку коаксијални кабли. Во приклучната кутија со помош на пасивни разделници и тапови сигналот се дели за секој стан на тој кат од зградата.

Од приклучната кутија на катот, со коаксијален кабел (обично RG-6) сигналот се доведува до собата во станот на корисникот. На крајот од кабелот кој што треба да се приклучи во ТВ приемникот се става ТВ конектор и се приклучува во телевизорот како на слика 86.



Слика 86. Приклучок на ATV кај корисник со еден телевизор

Figure 86. ATV connection at subscriber home with 1 TV

ВАЖНО

Доколку корисникот не користи интернет и телефон, во кутијата поставена во ходникот од зградата, на коаксијалниот кабел кој води до станот од корисникот, веднаш по сплитерот (или тапот) задолжително се поставува филтер.

Овој филтер служи за да ги блокира евентуалните пречки кои би ги предизвикал ТВ приемникот кај корисникот кој користи само аналогна или дигитална ТВ а не користи интернет или телефон.

Доколку во иднина, корисникот приклучи и интернет или телефон, филтерот се вади од кутијата во ходникот од зградата и се преместува во станот на корисникот, веднаш после сплитерот, во коаксијалната линија која води кон ТВ приемникот.

Филтерот не смее да се постави во коаксијалната линија која води до кабелскиот модем за интернет.

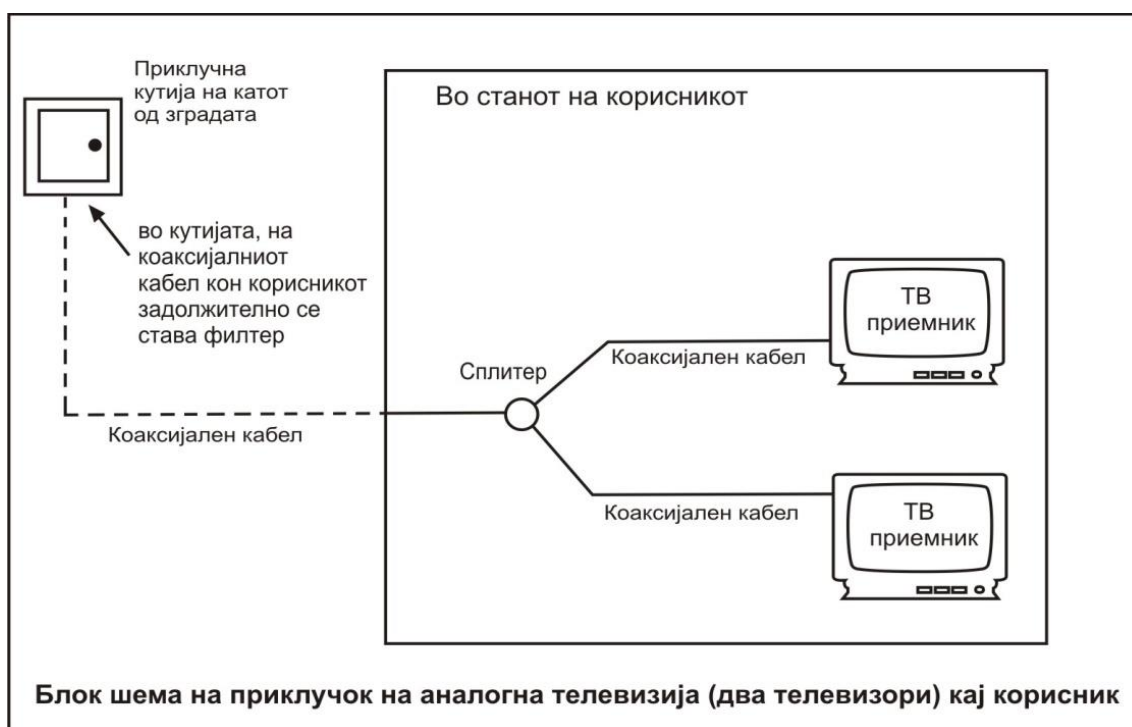
5.2. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија кај корисник (со два ТВ приемници)

Од приклучната кутија на катот, со коаксијален кабел (обично RG-6) сигналот се доведува во станот на корисникот. Во станот, на крајот од кабелот се поставува сплитер за да го раздели сигналот на два или повеќе делови (во зависност од бројот на телевизори) и се приклучуваат телевизорите како на слика 87.

ВАЖНО: Доколку корисникот не користи интернет и телефон, во кутијата поставена во ходникот од зградата, на коаксијалниот кабел кој води до станот од корисникот, веднаш после сплитерот (или тапот) задолжително се поставува филтер. Овој филтер служи за да ги блокира евентуалните пречки кои би ги предизвикал ТВ приемникот кај корисникот кој користи само аналогна или дигитална ТВ а не користи интернет или телефон.

Доколку во иднина, корисникот приклучи и интернет или телефон, филтерот се вади од кутијата во ходникот од зградата и се преместува во станот на корисникот, веднаш по сплитерот, во коаксијалната линија која води кон ТВ приемникот.

Филтерот не смее да се постави во коаксијалната линија која води до кабелскиот модем за интернет.



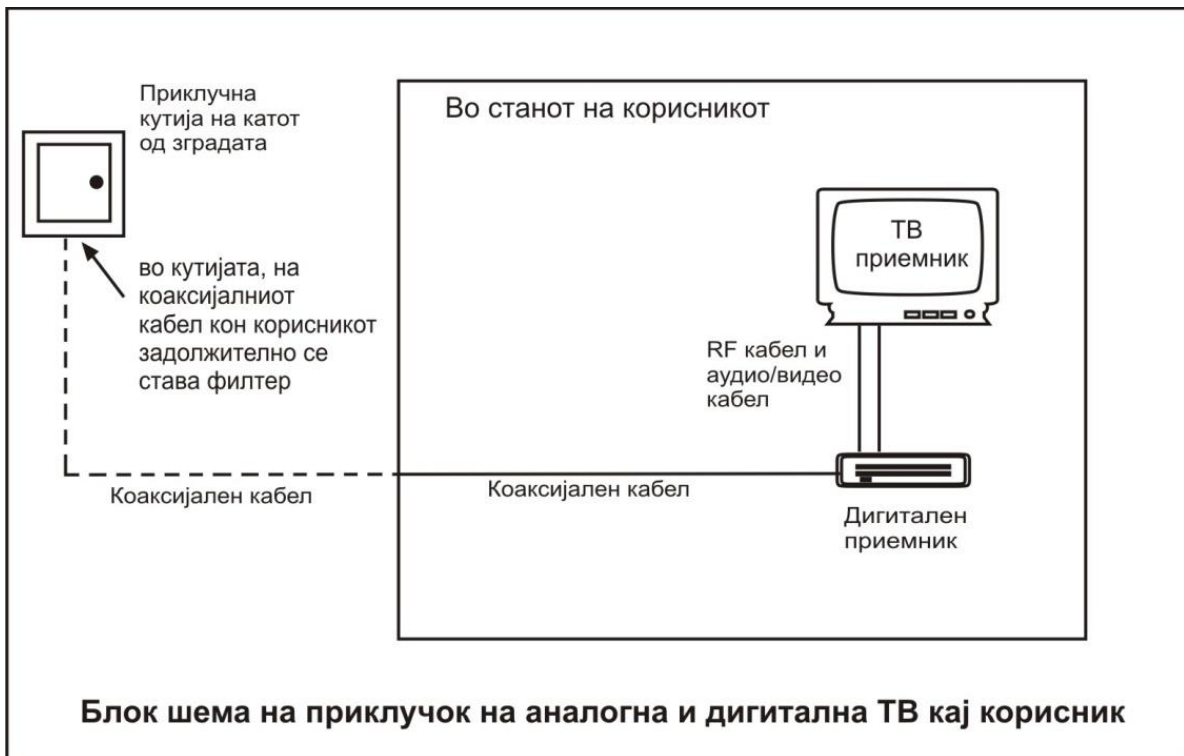
Слика 87. Приклучок на ATV кај корисник со 2 телевизори

Figure 87. ATV connection at subscriber home with 2 TV

5.3. Инсталација на приклучок за аналогна и дигитална телевизија кај корисник

Од приклучната кутија на катот (во влезот од зградата), со коаксијален кабел (обично RG-6) сигналот се доведува до собата во станот на корисникот. На крајот од кабелот кој што треба да се приклучи во ТВ приемникот се става ТВ конектор и се приклучува во приемникот за прием на дигитална кабелска телевизија (DVB-C). Од дигиталниот приемник (кој ште се нарекува "Set-top Box") со помош на два кабли се приклучува телевизорот (слика 88).

Едниот кабел е коаксијален и служи за да ги пренесе RF сигналите до телевизорот за да можат да се примаат аналогните ТВ програми, а другиот кабел може да биде SCART или HDMI (видео/аудио) кабел, со кој декодираните видео и аудио сигнали од дигиталните ТВ програми ги води до ТВ приемникот.



Слика 88. Приклучок на ATV и DTV телевизија кај корисник

Figure 88. ATV and DTV connection at subscriber home

ВАЖНО: Доколку корисникот не користи интернет и телефон, во кутијата поставена во ходникот од зградата, на коаксијалниот кабел кој води до станот од корисникот, веднаш после сплитерот (или тапот) задолжително се поставува филтер.

Овој филтер служи за да ги блокира евентуалните пречки кои би ги предизвикал ТВ приемникот кај корисникот кој користи само аналогна или дигитална ТВ а не користи интернет или телефон.

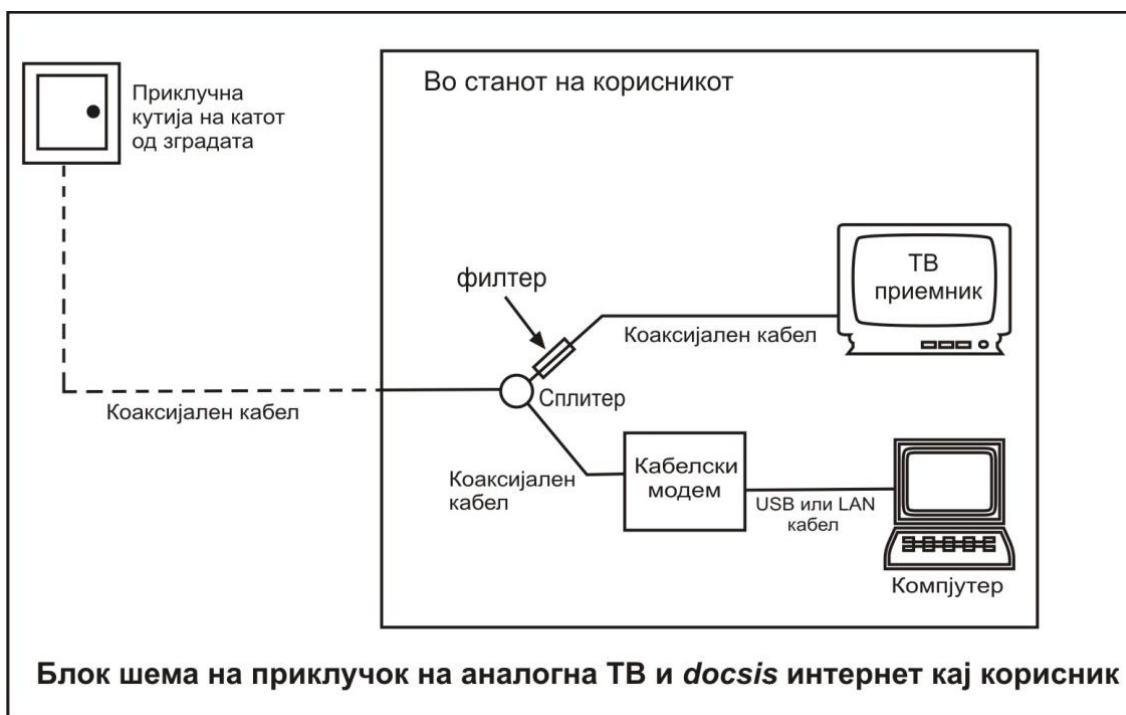
Доколку во иднина, корисникот приклучи и интернет или телефон, филтерот се вади од кутијата во ходникот од зградата и се преместува во станот на корисникот, веднаш по сплитерот, во коаксијалната линија која води кон ТВ приемникот.

Филтерот не смее да се постави во коаксијалната линија која води до кабелскиот модем за интернет.

5.4. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија и *docsis* интернет кај корисник (еден компјутер)

Од приклучната кутија на катот, со коаксијален кабел (обично RG-6) сигналот се доведува до собата во станот на корисникот каде се поставува сплитер и сигналот се дели на неколку дела. На едниот излез од сплитерот се поставува кабел со ТВ конектор и тој се приклучува во ТВ приемникот за прием на аналогна телевизија. На другиот излез од сплитерот се поставува кабел со (F) конектор и тој се приклучува на кабелскиот модем.

Компјутерот со модемот може да се приклучи со LAN кабел или со USB кабел во зависност од модемот (слика 89). Подобрo е ако кабелскиот модем се приклучи со компјутерот преку LAN кабел, односно *Ethernet* конекција.



Слика 89. Приклучок на ATV и docsis-интернет кај корисник

Figure 89. ATV and docsis-internet connection at subscriber home

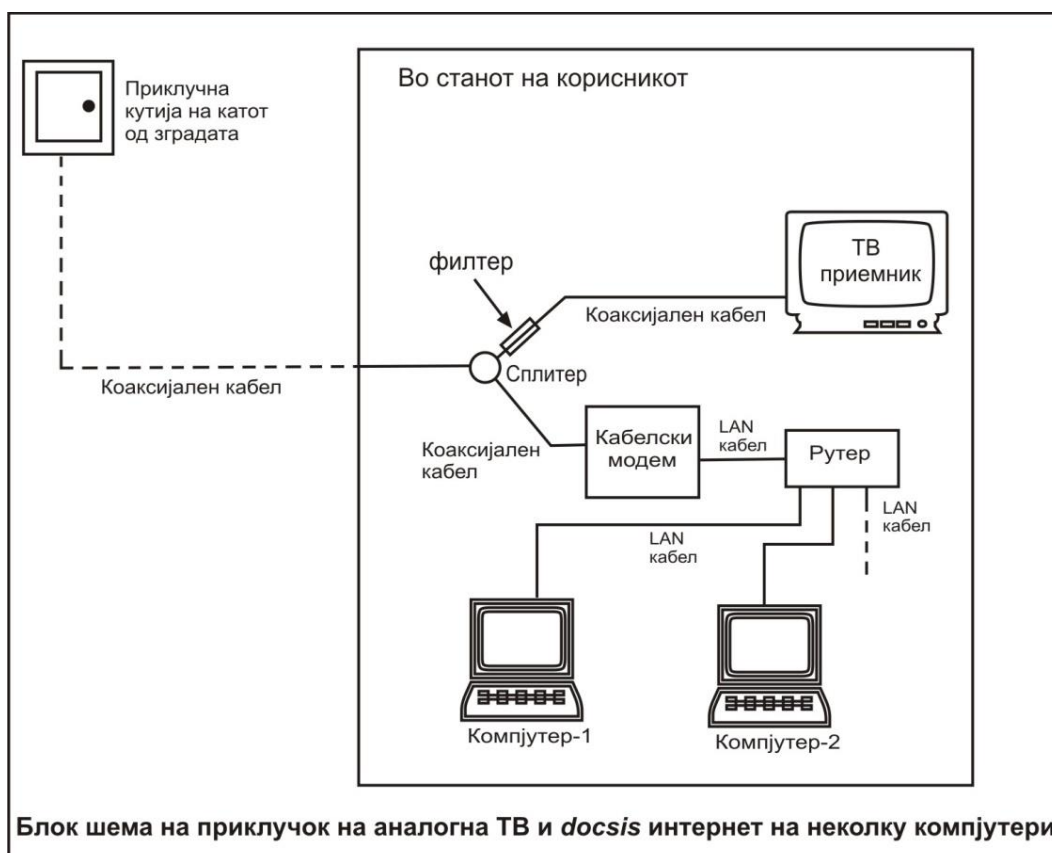
Многу **ВАЖНО** е да не се заборава да се извади високопропусниот филтер од кутијата во ходникот од зградата и да се премести во станот на корисникот, веднаш по сплитерот (или тапот), во коаксијалната линија која води кон ТВ приемникот или приемникот за кабелска дигитална телевизија.

Улогата на тој филтер е да ги придуши евентуалните пречки и шумови од телевизорот, кои можат да навлезат во повратниот канал и со тоа да направат пречки на појдовниот интернет сообраќај (upstream).

Филтерот не смее да се постави во коаксијалната линија која води до кабелскиот модем за интернет.

5.5. Инсталација на приклучок за аналогна телевизија и *docsis* интернет кај корисник (неколку компјутери)

Од приклучната кутија на катот, со коаксијален кабел (обично RG6) сигналот се доведува до собата во станот на корисникот каде се поставува сплитер и сигналот се дели на неколку дела. На едниот излез од сплитерот се поставува коаксијален кабел со ТВ конектор и тој се приклучува во ТВ приемникот за прием на аналогна телевизија. На другиот излез од сплитерот се поставува коаксијален кабел со (F) конектор и тој се приклучува на кабелскиот модем.



Слика 90. Приклучок на ATV и docsis-интернет на неколку компјутери
Figure 90. ATV and docsis-internet connection on several computers

Модемот се приклучува на РУТЕР со помош на FTP (LAN) кабел.

На рутерот се приклучуваат два или повеќе компјутери кои треба да користат интернет (слика 90).

Многу **ВАЖНО** е да не се заборава да се извади високопропусниот филтер од кутијата во ходникот од зградата и да се премести во станот на корисникот, веднаш после сплитерот (или тапот), во коаксијалната линија која води кон ТВ приемникот или приемникот за кабелска дигитална телевизија.

Улогата на тој филтер е да ги придуши евентуалните пречки и шумови од телевизорот, кои можат да навлезат во повратниот канал и со тоа да направат пречки на појдовниот интернет сообраќај (upstream).

Филтерот не смее да се постави во коаксијалната линија која води до кабелскиот модем за интернет.

5.6. Инсталација на Трипл плеј (Triple Play) услуга, односно приклучок на ТВ, DOCSIS-интернет и телефон кај корисник

Обично во секоја зграда на секој кат се поставува приклучна кутија до која доаѓаат сигналите од КДС преку коаксијални кабли.

Во приклучната кутија со помош на пасивни разделници и тапови, сигналот се дели за секој стан на тој кат од зградата.

Од приклучната кутија на катот, со коаксијален кабел (обично RG-6) сигналот се доведува до собата во станот на корисникот каде се поставува сплитер и сигналот се дели на неколку дела.

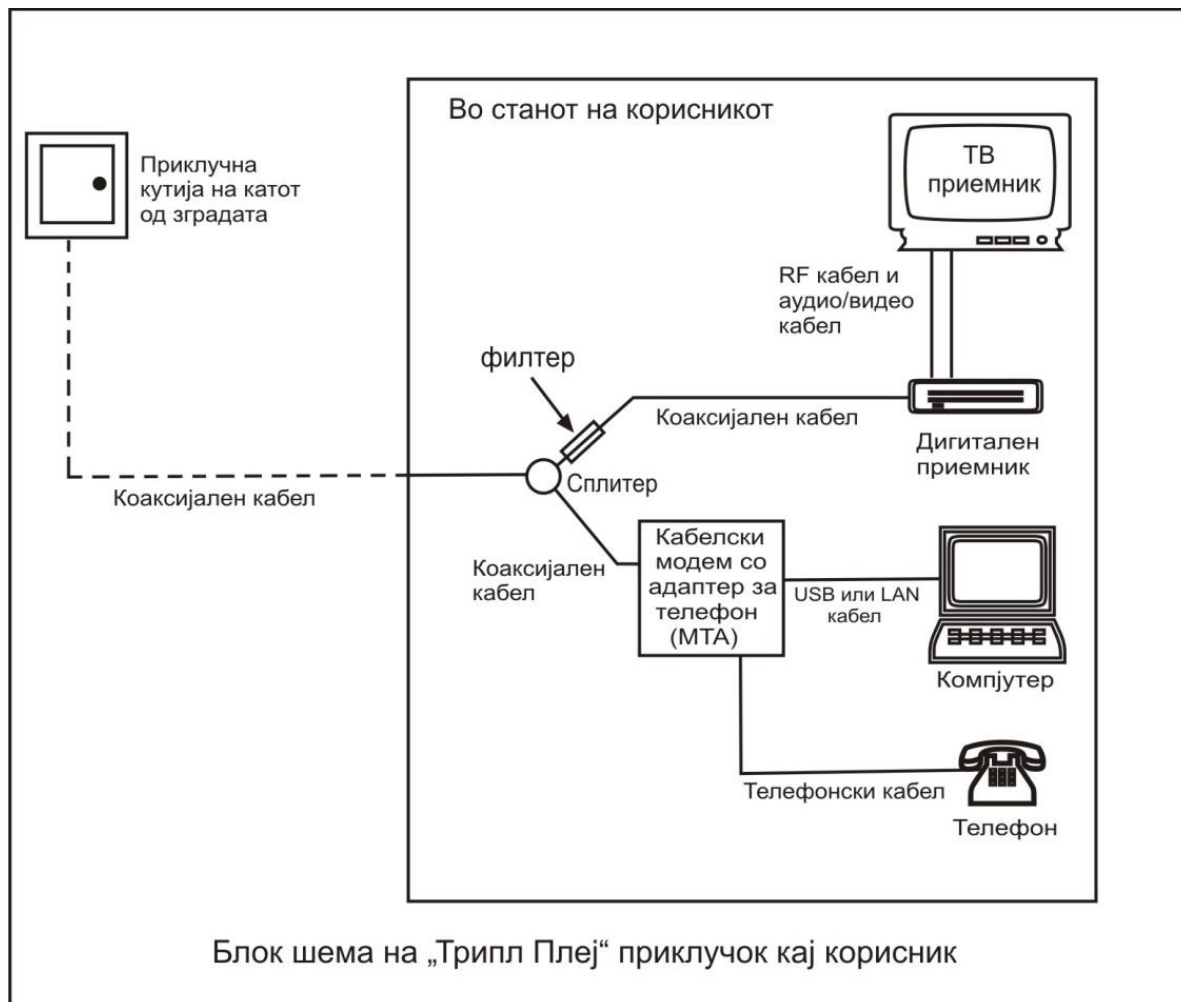
На едниот излез од сплитерот се поставува кабел со ТВ конектор и тој се приклучува во ТВ приемникот за прием на аналогна телевизија.

На другиот излез од сплитерот се поставува кабел со (F) конектор и тој се приклучува на кабелскиот модем.

За приклучок на телефон, се употребува кабелски модем кој има MTA - *Multimedia Terminal Adapter*. Овој кабелски модем, освен конектор за приклучок на интернет има конектори за приклучок на еден или два телефонски апарати кои можат да функционираат како две виртуелни независни телефонски линии.

Компјутерот со модемот може да се приклучи со LAN кабел или со USB кабел во зависност од модемот (слика 91). Подобрo е ако кабелскиот модем се приклучи со компјутерот преку LAN кабел, односно *Ethernet* конекција.

Доколку корисникот сака да има повеќе компјутери кои ќе користат интернет, тогаш интернет конекторот од кабелскиот модем наместо во компјутер, се приклучува на рутер кој потоа ја дели интернет конекцијата на два или повеќе компјутери.



Слика 91. Приклучок на ATV, DTV, docsis-интернет и телефон кај корисник
Figure 91. ATV, DTV, docsis-internet and telephone connection at subscriber home

Доколку корисникот сака да користи и дигитална телевизија, тогаш се поставува и дигитален приемник (DVB-C digital receiver, односно “Set-top Box”). Тогаш коаксијалниот кабел наместо во ТВ приемникот се приклучува во дигиталниот приемник.

Дигиталниот приемник се поврзува со ТВ приемникот со два кабли. Едниот е коаксијален кабел и се приклучува на RF влезот на ТВ приемникот, а другиот кабел е аудио-видео кабел (SCART или HDMI кабел) и се приклучува на соодветниот аудио-видео влез или HDMI влез на ТВ приемникот.

Многу **ВАЖНО** е да не се заборави да се извади високопропусниот филтер од кутијата во ходникот од зградата и да се премести во станот на корисникот, веднаш после сплитерот (или тапот), во коаксијалната линија која води кон ТВ приемникот или приемникот за кабелска дигитална телевизија.

Улогата на тој филтер е да ги придуши евентуалните пречки и шумови од телевизорот, кои можат да навлезат во повратниот канал и со тоа да направат пречки на појдовниот интернет сообраќај (upstream).

Филтерот не смее да се постави во коаксијалната линија која води до кабелскиот модем за интернет.

5.7. Инсталација на АТВ, ДТВ и LAN-интернет кај корисник

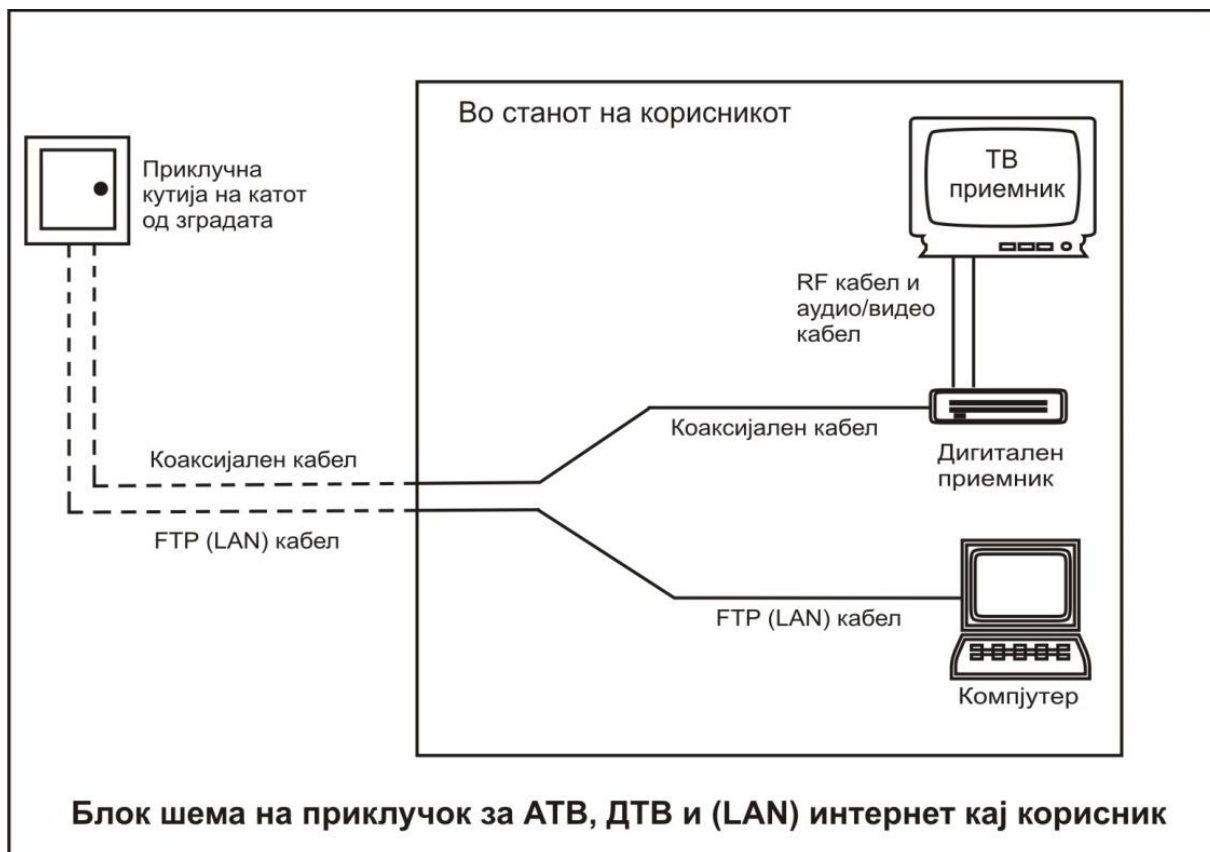
Обично во секоја зграда на секој кат се поставува приклучна кутија до која доаѓаат сигналите од КДС преку коаксијални кабли за телевизија и FTP кабли за LAN интернет и телефонија. Од приклучната кутија сигналот за телевизија се дели со помош на пасивни разделници и тапови.

За LAN мрежата преку која се пренесува интернетот и телефонијата, во кутијата на катот постои свич преку кој интернет сигналот се дели за секој стан на тој кат од зградата.

Од приклучната кутија на катот, до секој стан се поставуваат по два кабли. Еден е коаксијален кабел (обично RG-6), а другиот е FTP кабел. Каблите се доведуваат до собата во станот на корисникот.

На коаксијалниот кабел се приклучува еден или повеќе телевизори (преку сплитери) а FTP кабелот се води директно во *Ethernet* конекторот на компјутерот за користење на интернет (слика 92).

Доколку корисникот сака да користи и дигитална телевизија, тогаш се поставува и дигитален приемник (DVB-C digital receiver, односно "Set-top Box"). Во таков случај коаксијалниот кабел наместо во ТВ приемникот, се приклучува во дигиталниот приемник. Дигиталниот приемник се поврзува со ТВ приемникот со два кабли. RF излезот од дигиталниот приемник со коаксијален кабел се приклучува на RF влезот на ТВ приемникот за следење на аналогните ТВ канали. Другиот кабел е аудио-видео кабел (SCART или HDMI кабел) и се приклучува на соодветниот конектор на ТВ приемникот.



Слика 92. Приклучок на АТВ, ДТВ и LAN-интернет кај корисник

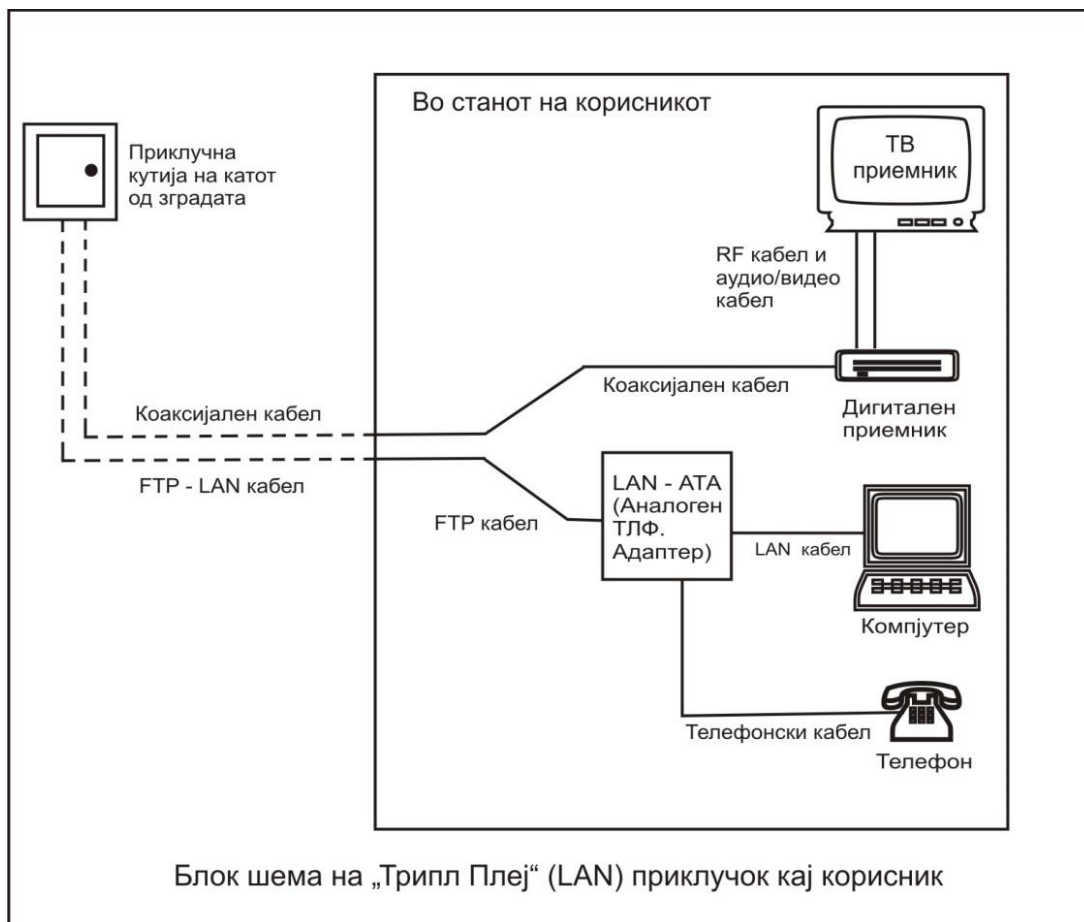
Figure 92. ATV, DTV and LAN-internet connection at subscriber home

5.8. Инсталација на Трипл плеј (*Triple Play*) услуга, односно приклучок на ТВ, LAN-интернет и телефон кај корисник

Обично во секоја зграда на секој кат се поставува приклучна кутија до која доаѓаат сигналите од КДС преку коаксијални кабли за телевизија и FTP кабли за интернет и телефонија.. Од приклучната кутија сигналот за телевизија се дели со помош на пасивни разделници и тапови.

За LAN мрежата преку која се пренесува интернетот и телефонијата, во кутијата на катот постои свич преку кој интернет сигналот се дели за секој стан на тој кат од зградата.

Од приклучната кутија на катот, до секој стан се водат два кабли. Еден е коаксијален кабел (обично RG-6), а другиот е FTP кабел. Каблите се доведуваат до собата во станот на корисникот.



Слика 93. Приклучок на АТВ, ДТВ, LAN-интернет и телефон кај корисник
 Figure 93. ATV, DTV, LAN-internet and telephone connection at subscriber home

На коаксијалниот кабел се приклучува еден или повеќе Телевизори (преку сплитери) а FTP кабелот се води директно во *Ethernet* конекторот на компјутерот за користење на интернет.

Доколку се приклучува и телефон, тогаш FTP кабелот се приклучува директно на адаптер за телефон. Адаптерот за телефон има приклучоци за телефонски апарат и за компјутер за користење на интернет (слика 93).

Доколку корисникот сака да користи и дигитална телевизија, тогаш се поставува и дигитален приемник (DVB-C digital receiver, односно "Set-top Box"). Тогаш коаксијалниот кабел наместо во ТВ приемникот, се приклучува во дигиталниот приемник. Дигиталниот приемник се поврзува со ТВ приемникот со два кабли. RF излезот од дигиталниот приемник со коаксијален кабел се приклучува на RF влезот на ТВ приемникот за следење на аналогните ТВ канали. Другиот кабел е аудио-видео кабел (SCART или HDMI кабел) и се приклучува на соодветниот аудио-видео влез на ТВ приемникот.

6. Контрола на пристап на корисниците кон услугите од КДС

На еден кабелски дистрибутивен систем можат да бидат приклучени повеќе десетици (па дури и стотици) илјади корисници. Некои од нив користат само аналогна телевизија, односно плаќаат такса за да гледаат само аналогна ТВ. Некои корисници се претплатени за аналогна и дигитална ТВ. Има корисници кои освен телевизијата се претплатени и користат интернет преку КДС, а во најново време сè поголем е бројот на корисници кои користат „Трипл плеј“ (Triple Play) услуга, односно телевизија, интернет и телефон.

Контролата на корисниците кои се претплатени само на аналогната телевизија е најтешка и најсложена. За да се исклучи некој корисник кој користи аналогна ТВ од мрежата на КДС потребно е физички да се откачи конекторот од кабелот кој води кон соодветниот корисник. Потоа, за повторно приклучување на тој корисник кон мрежата, потребно е пак физички да се приклучи конекторот од кабелот кон мрежата на КДС. За ова да се направи, потребно е техничар вработен кај операторот на кабелската мрежа, лично да отиде до местото каде е приклучен кабелот од корисникот и да го откачи или приклучи конекторот.

Ова е операција која бара физичко ангажирање на техничари и возила со кои ќе се пренесат техничарите до местото каде ќе се направи исклучувањето или повторното приклучување. Освен тоа, времето потребно за извршување на овие задачи е релативно долго, а времето чини пари, особено кога треба да се исклучат или повторно вклучат голем број корисници...

Кон ова треба да се додаде и контролата на оние корисници кои без дозвола, самоволно се приклучиле на мрежата од кабелскиот дистрибутивен систем и бесправно гледаат аналогна ТВ („диви корисници“ или „пирати“).

Аналогната телевизија која се пренесува преку кабелската мрежа најчесто не е заштитена – шифрирана така што секој кој (правно или бесправно) ќе се приклучи на мрежата, може да гледа. Откривањето на ваквите пиратски корисници бара физичко контролирање од страна на вработени лица кај кабелскиот оператор, кои одат од зграда на зграда, со список на корисници кои легално се приклучени со цел да ги откријат дивоприклучените. Потоа следи документирање на откриените случаи и соодветна правна постапка кај надлежен судски орган...

Штетата која ја предизвикуваат дивите корисници е голема. Тие најчесто сами и нестручно се приклучуваат и предизвикуваат пречки и ослабување на сигналот кај останатите корисници кои легално се приклучени...

Со воведување на дигиталните услуги преку кабелскиот дистрибутивен систем, контролата и менаџирањето на корисниците е многу лесно и се врши преку компјутер. Контрола на корисниците кои користат дигитални услуги преку КДС (дигитална ТВ, интернет и телефон) е многу едноставна, брза, евтина и ефикасна операција.

Контролата на корисниците кои користат дигитални услуги се врши преку дигиталните уреди кои се поставени во просторијата кај корисниците (кабелски модем, дигитален set-top box приемник, рутер или компјутер)

Секој од овие уреди има своја единствена дигитална адреса (мак-адреса, ип-адреса, мта-адреса) Оваа идентификациона адреса се запишува од страна на кабелскиот оператор и е составен дел од „електронскиот картон“ кој се води за секој корисник во електронската база на податоци кај операторот на мрежата.

Исклучувањето и повторното приклучување на еден или цела група на корисници се врши преку системот од далечина, со едноставно „кликнување“ на едно копче на компјутерот или компјутерите со кои се контролира системот.

Дигиталните услуги (дигитална ТВ, интернет и телефон) се заштитени (шифрирани) така што практично е оневозможено неовластено приклучување и користење на дигиталните услуги.

7. Редовна контрола на квалитетот на сигналите кај современите HFC мрежи преку посредно постојано автоматско мониторирање на односот сигнал/шум во повратниот пат

Современите двонасочни HFC мрежи обично користат *docsis* технологија за пренос на интернетот. Притоа, уредите за *docsis* технологија а особено *CMTS*-ите имаат можност за пристап од далечина и контрола на критичните сигнали и работните параметри. За правилно функционирање на системот, покрај другото, од особена важност е контролата на односот на сигнал/шум во повратниот пат (*upstream*) на сите поодделни сегменти од мрежата.

Поголемите кабелски оператори имаат систем за постојан автоматски мониторинг на односот на сигнал/шум во повратниот пат и графички или табеларен приказ на состојбата во определен изминат период.

Потребно е односот сигнал/шум во повратниот пат (*upstream* - каналот) да биде што е можно повисок. Најмалку 25 dB за Docsis 1.1 и Docsis 2.0. Додека за Docsis 3.0 односот сигнал/шум во *upstream* – каналот треба да биде најмалку 31 dB.

Лош однос сигнал/шум (кој претходно бил добар) во определен сегмент на мрежата, укажува дека нешто не е во ред во тој дел од системот, а тоа рутински повлекува излегување на стручни лица на терен, кои детално ќе ја прегледаат ситуацијата и состојбата на тој сегмент од кабелската мрежа и ќе го санираат проблемот.

Најчесто, смалувањето на односот сигнал/шум во повратниот пат е резултат на лошо поставени конектори, кородирани конектори, влага или продирање на атмосферска вода во некои елементи на системот и слично.

Неправилно и несоодветно поставен конектор предизвикува проблеми кои потоа мошне тешко се лоцираат, одземаат многу време и се трошат многу ресурси за пронаоѓање и замена на лошо поставени конектори. Не добро поставен конектор освен слаб електричен спој, нема да обезбеди пропишана RF оклопеност. Како резултат на тоа, се формира „слаба точка“ во дистрибутивната мрежа од каде што навлегува шум во системот. Затоа од огромна важност е техничарите да научат правилно да поставуваат конектори и да посветат внимание при нивната инсталација во КДС.

„Диво приклучените“ пирати-корисници со своето нестручно приклучување, речиси по правило предизвикуваат влошување на односот на сигнал/шум во делот од мрежата каде нелегално ќе се приклучат. Со тоа го попречуваат сигналот на легалните корисници.

Бесправно поставување и приклучување на разни уреди во кабелскиот дистрибутивен систем исто така предизвикува намалување на односот сигнал/шум. Во последно време има голем број случаи на поставување на камери за видео надзор во зградите и нивно приклучување на системот од страна на други фирми изведувачи на видео надзор. Приклучувањето на видео камери преку RF модулатори го прават некои фирми на барање на станарите од зградата за да можат корисниците од зградата да ја „гледаат“ камерата

поставена на влезот од зградата преку своите телевизори. Тоа, се разбира, не е дозволено од страна на кабелските оператори и им предизвикува пречки...

8. ЗАКЛУЧОК

Електронска комуникациска мрежа е преносен систем кои овозможува пренос на сигнали преку жичени мрежи, радиобранови, оптички или други електромагнетни средства, вклучувајќи сателитски мрежи, фиксни и мобилни земски мрежи, електромагнетски кабелски системи, доколку се користат за пренос на комуникациски сигнали, радиодифузни мрежи и кабелски телевизиски мрежи, независно од видот на информациите што се пренесуваат.

Во овој труд, го обработувам преносниот систем кој овозможува пренос на информации преку жичени (оптичко-коаксијални) мрежи, попознат како кабелски дистрибутивни системи, а кај народот популарно наречен кабелска телевизија. Со своите интерактивни можности, кабелските дистрибутивни системи денес претставуваат основен елемент на глобалното информациско општество.

Кабелските дистрибутивни системи треба да обезбедат квалитетен прием и пренос на сигналите и затоа нивното правилно планирање е од особена важност.

По дефиниција, планирањето претставува свесна и креативна активност насочена кон донесување на одлуки за нешто што треба да се оствари во иднина. Преку планирањето се определува саканата цел, се осмислуваат неопходните постапки и процедури, како и неопходните средства и ресурси потребни за да се оствари таа цел.

Соодветно на оваа дефиниција, планирањето на електронските комуникациски мрежи е комплексен креативен процес на дефинирање и осмислување на целиот систем кој треба да овозможи квалитетен прием и пренос на сигналите, односно информациите од главната станица до крајните корисници и обратно. За квалитетно планирање на еден современ КДС, потребно е детално познавање на технологијата, начинот на работа, расположливите ресурси, како и познавање на сите елементите од КДС.

Најнапред е потребно да се направи правилен избор на локацијата на главната станица од кабелскиот дистрибутивен систем, согласно повеќе чинители кои се наведени во овој труд. Потоа се дефинираат потребните уреди, нивно разместување и поврзување во една функционална целина.

Дистрибутивната мрежа се планира во зависност од саканата област на опслужување, бројот на потенцијални корисници и карактеристиките на населеното место. Најважна задача на дистрибутивната мрежа е преносот на сигналот (информациите) да се врши со што помало намалување на квалитетот на истиот. Квалитетот на сигналот е најдобар на влезот од дистрибутивната мрежа. Секое натамошно проследување и засилување на сигналот од главната станица кон корисниците, непоправливо го намалува квалитетот. Затоа, потребно е да се посвети особено внимание при изборот на елементите кои ја сочинуваат дистрибутивната мрежа.

Современите кабелски електронски комуникациски мрежи се хибридни, односно се состојат од оптички и коаксијален дел на мрежата.

Најнапред се планира големината и опфатот на оптичкиот дел од мрежата. Оптичкиот дел од мрежата може да има подземен и надземен дел, во зависност од условите. Потоа се дефинира бројот и локациите на оптичките јазли (нодови), трасата на оптичките кабли и другите составни елементи и уреди. Откако ќе се испланира оптичкиот дел од мрежата, се определува коаксијалниот дел од мрежата која може да биде во еден дел подземна, а во друг дел надземна. Потоа се определува бројот и локациите на засилувачите, трасата на коаксијалните кабли и другите составни елементи и уреди на коаксијалниот дел од дистрибутивната мрежа, како и можните точки за напојување со електрична енергија на системот.

Освен планирањето и изградбата на кабелскиот дистрибутивен систем, многу е важно правилното и оптимално нагудување на сите елементи во системот. Правилната експлоатација, како и редовното континуирано одржување е предуслов за правилното функционирање на кабелскиот дистрибутивен систем, што подразбира преносот на сигналите, (информациите) низ системот да биде без пречки, а животниот век на целиот систем подолг.

Телекомуникациската технологија се развива и менува речиси секојдневно, па тоа треба да се има предвид при планирањето, за да се остави можност за надградба на системот.

Како што напредува технолијата, во иднина, оптичкиот сегмент од КДС сè повеќе ќе се проширува за сметка на коаксијалниот дел од КДС, сè до конечно истиснување на коаксијалниот дел од мрежата, кога целата кабелска дистрибутивна мрежа од главната станица до крајните корисници ќе биде оптичка (*FTTH - Fiber-To-The-Home*).

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

1. Walter Ciciora, James Farmer, David Large, and Michael Adams (2004), „**Modern Cable Television Technology: Video, Voice and Data Communications**, 2edition“;
2. David Large and James Farmer (2009), „**Broadband Cable Access Networks – The HFC Plant**“;
3. Ron Hranac, Cisco Systems Technical Leader of Broadband Network Engineering, „**Downstream RF Troubleshooting**“;
4. Ron Hranac, Cisco Systems Technical Leader of Broadband Network Engineering, „**Upstream RF Troubleshooting**“;
5. Ron Hranac, Cisco Systems Technical Leader of Broadband Network Engineering (2007) „**BER and MER Fundamentals**“;
6. Lawrence Harte (2007), „**Introduction to Cable Television, Analog and Digital TV Services Tecnology, and Operation**“, 2nd Edition;
7. Mike Blankenship, Field Engineer Magnavox CATV Systems UK Ltd. „**Simple preventive maintenance for trunk and feeder lines**“;
8. Jerry Marketos, Design engineer Philips Broadband Networks, Inc. „**Return path performance requirements in contemporary CATV systems**“;
9. Devchand Haria, B.E. Elect. & Telecom, „**The Digital Headend**“;
10. Bull Morgan, R&D Project Manager, Hewlett-Packard,

„Return Path Alignment“;

11. Bull Morgan, R&D Project Manager, Hewlett-Packard,
„Return Path Maintenance“;
12. Bull Morgan, R&D Project Manager, Hewlett-Packard,
„Noise and ingress performance in the return path“;
13. Kemal Dervic, „Praktikum Kablovske Televizije“;
14. M-r. Miladin Rabic, „TV i Satelitske Antene“, Tehnicka Knjuga – Beograd;
15. William i. Orr, „Radio Handbook“, print by Butterworth-Heinemann, USA;
16. група автори, „Приемане на радио и телевизионни програми чрез спутници и по кабел“, Електронинвест – Софија;
17. M-r Radoslav K. Simic, (2008), „Digitalne Telekomunikacione Mreze“, “Akademska misao” – Beograd;
18. Borislav Sesterikov i Zoran Manojlovic, „Televizija u boji“, “Tehnicka knjiga” – Beograd;
19. Svetislav Siler, „Radio-Tehnika i elektronika I i II deo“, “Tehnicka knjiga” – Beograd;
20. Prof. d-r Bozo Metzger, „Radio Prirucnik“, “Tehnicka knjiga” – Beograd;
21. The American Radio Relay League Inc. (2011)
„The ARRL Antenna Book“, 22nd Edition;
22. The American Radio Relay League Inc. (2013)
„ARRL Handbook for Radio Communications“;
23. William I. Orr, W6SAI (1997), „Radio Handbook“, 23th Edition, print by Butterworth-Heinemann, USA;
24. **MMANA** – Mathematical Modeling and Antenna Analysis software manual;
25. Mile Kokotov, Aleksandar Krstev, Boris Krstev, Simona Nushkova and Dejan Krstev (2016), „Cable Distribution systems - an essential element of the global information society“, ITRO 2016;

26. Mile Kokotov, Aleksandar Krstev, Dejan Krstev, Boris Krstev and Simona Nushkova (2016), „**Design of Information Systems monitoring, record and control**“, ITRO 2016;
27. Mile Kokotov, Aleksandar Krstev, Boris Krstev and Dalibor Serafimovski (2016), „**Mathematical modeling, analysis and optimization using MMANA - Mathematical Modeling and Antenna Analysis software**“, ITRO 2016;
28. Миле Кокотов, Александар Крстев (2016) „**Системи за мониторинг и евиденција на логистичките процеси кај оператор на електронска комуникациска мрежа**“, Природни ресурси и технологии (ФПТН 2016)
29. Миле Кокотов (2016) „**Планирање на постројки во главната станица на современ кабелски дистрибутивен систем, како дел од електронска комуникациска мрежа**“, Природни ресурси и технологии (ФПТН 2016)
30. Миле Кокотов (2001), „**Елаборат за изградба на електронска кабелска мрежа - CADIS-Скопје**“ – Концесиска конкурсна документација;
31. Миле Кокотов (2001), „**Елаборат за изградба на електронска кабелска мрежа - Канал-32, Скопје - Драчево**“ – Концесиска конкурсна документација;
32. Миле Кокотов (2002), „**Елаборат за изградба на електронска кабелска мрежа - Кабел Фокс, Скопје-Лисиче**“ – Концесиска конкурсна документација;
33. Миле Кокотов (2006), „**Планирање, проектирање и изградба на електронски комуникациски мрежи и системи – Прирачник за техничари и инженери, CADIS-Skopje**“;
34. Миле Кокотов (2010)
„**Основи на кабелските дистрибутивни системи**“