

ОСНОВИ НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ

*електротехничар за електроника и телекомуникации
за 11 година*



*Јасна Домазетовска
Светлана Николовска*

Јасна Домазетовска
Светлана Николовска

ОСНОВИ НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ

II година

електротехничар за електроника и телекомуникации

Струка/сектор
Електротехничка/електротехника

Скопје, 2024

ОСНОВИ НА ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ

II година
електротехничар за електроника и телекомуникации
Струка/сектор: Електротехничка/електротехника

Автори:

Јасна Домазетовска
Светлана Николовска

Рецензенти:

Марко Порјазоски
Гордана Мулева
Тони Панов

Лектор:

Елена Саздовска

Стручна редакција:

Риза Етеми

Уредник:

Риза Етеми

Компјутерска подготовка: Светлана Николовска

Дизајн на корица: Каја Домазетовска

Издавач: Министерство за образование и наука на Република Северна Македонија,
ул. „Св. Кирил и Методиј“ бр. 54, 1000 Скопје

Графичко и техничко уредување: Ели Василевска Илиевска – АРС СТУДИО

Место и година на издавање: Скопје, 2024 година

Со одлука за одобрување и употреба на учебник по наставниот предмет Основи на телекомуникации за II година, струка/сектор: електротехника, образовен профил/квалификација: електротехничар за електроника и телекомуникации, средно стручно четиригодишно образование, бр. 26-104/1, од 22.01.2024 година, донесен од Националната комисија за учебници.

Една од најважните работи што треба да ги научиме во животот е како да ги препознаеме луѓето кои се подготвени несебично со нас да го споделат своето знаење, искуство, идеи, да нè насочат и да нè поттикнат да го бараме она што е вредно и посебно за нас и да создадеме дела со кои ќе оставиме траг зад себе.

Токму таква беше нашата драга пријателка и колешка Искра Јовановска, моќна и способна жена која нè учеше дека нема невозможни работи ако им приоѓаш со љубов, искрено и одговорно.

Со задоволство ѝ порачуваме дека продолжуваме по патот што заеднички го започнавме и создаваме дела по кои ќе нè паметат.

Авторите

ПРЕДГОВОР

Наставниот предмет Основи на телекомуникации се изучува во втора година од Електротехничка струка за образовниот профил *електротехничар за електроника и телекомуникации*. Тој е наставен предмет кој дава основни знаења за овој профил од областа на телекомуникациите. Знаењата стекнати од овој предмет се база за изучување на наставните содржини од стручните предмети во трета и во четврта година.

Учебникот е работен според реформираната наставна програма и има за цел во целост да ги покрие наставните содржини по предметот Основи на телекомуникациите во втора година. Оваа наставна програма е реформирана во 2019 година, во согласност со реформите во средното стручно образование, со што се направи осовременување на наставата и на наставните програми во стручното образование. Кредитната вредност на оваа наставна програма изнесува 8 кредити. Содржината на учебникот е во согласност со целите на наставната програма за стекнување базични знаења од областа на телекомуникациите, кои ќе бидат во чекор со современите сознанија од оваа област. Учениците ќе се стекнат со знаења за основните поими што се користат во телекомуникациите, како на пример: *пренос, сигнал, порака, модулација, медиум за пренос, мрежи за пренос, водови, антени итн.*

Со изборот на содржините се настојува да се исполнат резултатите од учењето кои произлегуваат од наставната програма за предметот Основи на телекомуникациите. Се настојува да се користат термини и интегративни поими со цел да се исполни интердисциплинарноста со други области од физиката, електрониката и од практиката. По секоја тема во учебникот има прашања, задачи или активности, како и резиме, со што се настојува да се повторат стекнатите знаења, да се применат знаењата и да се направи проверка на постигнувањата на учениците.

Содржините во учебникот го следат развојот во оваа област и даваат основа за разбирање и изучување на современите дисциплини во оваа област (дигитални телекомуникации, теорија на информации, трансмисиски системи, мобилни и персонални мрежи и др.). На крајот од некои параграфи во заграда се наведени броеви кои одговараат на редниот број на наведената користена литература од која се преземени дефинирањата за дадените поими.

Имајќи го предвид сето ова, од учениците и од наставникот се бара дополнителен ангажман за да се следат новите достигнувања од областа на телекомуникациите.

Авторите им се заблагодаруваат на рецензентите со чии забелешки и сугестии се подобри квалитетот на овој учебник. Посебна благодарност до нашиот колега Слободан Таневски, наставник по група електро предмети во СОУ „Илинден“, кој со своите идеи, насоки и стручен материјал максимално придонесе овој ракопис да биде колку што е можно попристапен и подобар учебник.

Можни се и некои пропусти, кои се обидовме да ги сведеме на минимум, а со благодарност ќе ги прифатиме сите добронамерни укажувања што ќе водат кон отстранување на можните недостатоци.

Скопје, 2023 год.

Авторите

Содржина

1	ВОВЕД ВО ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ.....	11
1.1	ОСНОВЕН ПРИНЦИП НА КОМУНИКАЦИЈА	12
1.2	ПРЕНОС НА АНАЛОГНИ СИГНАЛИ НА НИСКИ И ВИСОКИ ФРЕКВЕНЦИИ	13
1.3	ПРЕНОС НА СИГНАЛИ.....	14
2	ПОРАКИ И СИГНАЛИ	23
2.1	ПРИРОДА НА ПОРАКИТЕ.....	23
2.2	АНАЛОГНИ И ДИГИТАЛНИ СИГНАЛИ	24
2.3	ХАРМОНИСКА АНАЛИЗА НА КОМПЗИТНИ (СЛУЧАЈНИ) СИГНАЛИ.....	29
3	МЕДИУМИ ЗА ПРЕНОС.....	39
3.1	ВИДОВИ МЕДИУМИ ЗА ПРЕНОС.....	39
3.2	СИСТЕМИ ЗА ПРЕНОС.....	45
4	ЖИЧЕНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ	57
4.1	ВИДОВИ НА ЖИЧЕНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ.....	57
4.2	ЕЛЕКТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА ТК-ВОД	58
4.3	ПРОСТИРАЊЕ НА БРАНОВИ ВО ВОД	63
4.4	СИМЕТРИЧНИ ЖИЧЕНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ.....	65
4.5	ПОСТАВУВАЊЕ НА КАБЛИ	69
4.6	КОАКСИЈАЛНИ КАБЛИ	71
5	ОПТИЧКИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ.....	79
5.1	СТРУКТУРА НА ОПТИЧКО ВЛАКНО И ПРИНЦИП НА ПРОСТИРАЊЕ НА СВЕТИНАТА НИЗ НЕГО.....	82
5.2	ВИДОВИ НА ОПТИЧКИ ВЛАКНА.....	83
5.3	ТРАНСМИСИОНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОПТИЧКИТЕ ВЛАКНА	86
5.4	ЕЛЕКТРООПТИЧКИ ПРЕТВОРУВАЧИ.....	91
5.5	ОПТИЧКИ МОДУЛИ	94
6	АНТЕНИ.....	99
6.1	УЛОГА НА АНТЕНАТА	99

6.2	САТЕЛИТСКИ АНТЕНИ.....	112
7	МОДУЛАЦИЈА И ДЕМОДУЛАЦИЈА.....	125
7.1	АМПЛИТУДНА МОДУЛАЦИЈА	125
7.2	МОДУЛАТОРИ НА АМ-СИГНАЛИ	131
7.3	АМ-ДЕТЕКТОРИ	136
7.4	АГОЛНА МОДУЛАЦИЈА.....	140
7.5	АГОЛНИ МОДУЛАТОРИ И ДЕМОДУЛАТОРИ.....	150
8	ПРЕНОС НА СИГНАЛИ СО МУЛТИПЛЕКС.....	159
8.1	ДОБИВАЊЕ СЛОЖЕН СИГНАЛ СО ФРЕКВЕНЦИСКО МУЛТИПЛЕКСИРАЊЕ.....	160
8.2	ПРИМЕНА НА ФРЕКВЕНЦИСКИ МУЛТИПЛЕКС ЗА АНАЛОГЕН ПРЕНОС НА СИГНАЛИ.....	161
9	КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА	165
10	ВЕЖБИ	167

Модуларна единица 1: Вовед во телекомуникации

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Основни принципи на комуникација и системи и медиуми за пренос
2. Пренос на аналогни сигнали на ниски и високи фреквенции
3. Видови пренос на различни сигнали и пречки при пренос

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Дефинираат и објаснуваат систем за комуникација, порака и сигнал и препознаваат предавател и приемник
2. Разликуваат нискофреквентен и високофреквентен сигнал, опишуваат пренос во основен опсег и на високи фреквенции
3. Споредуваат радиодифузен пренос со пренос од точка до точка
4. Објаснуваат пренос на говор, видеосигнал и податоци; разликуваат радиобранов, електричен и оптички пренос и објаснуваат влијание на шум

1 ВОВЕД ВО ТЕЛЕКОМУНИКАЦИИ

Телекомуникациите се наука што ја поддржува и ја поттикнува човековата потреба, желба и можност за комуникација. Името доаѓа од зборовите „теле“ (далечина) и „комуникација“ (комуницирање), што значи комуницирање на далечина. По конкретна дефиниција која е прифатена од Меѓународната унија за телекомуникации (ITU), под поимот телекомуникации се подразбира „каква било опрема, пренос и прием на знаци, звук или слика или други човекови сознанија, на кој било начин, преку жица, радио или други електромагнетни системи“ (2).

Телекомуникациите опфаќаат техничка опрема потребна за најверно и најточно пренесување на информации меѓу кои било две точки, на кое било растојание, по колку што е можно поприматлива цена. Под телекомуникациска опрема се подразбираат средства и уреди за обработка, пренос и прием на сигнали, како и соодветниот софтвер што се користи за таа цел. Телекомуникација е секое емитурање, пренос и прием на говор, звук, текст или податоци во вид на сигнал, од едно место до некое друго оддалечено место, при што се користи жица, оптички или друг електромагнетен систем.

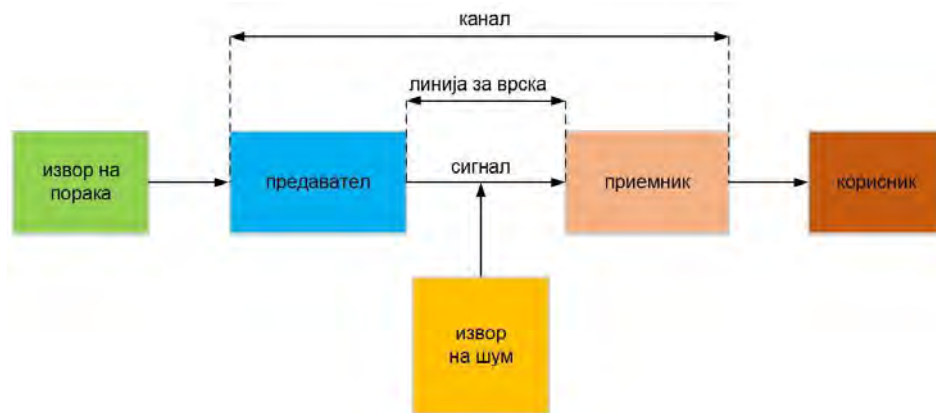
Историски гледано, почетоките на телекомуникациите датираат од 1837 година, кога Семјуел Морзе го измислил системот за кодирање букви и бројки, т. н. Морзев код. Овој код е интуитивен почеток на теоријата на кодирање. Во 1844 година е поставена првата телеграфска врска во Балтимор, а во 1892 година во Ла Порте, САД, е поставена и првата автоматска телеграфска централа.

Во 1906 година во Берлин е одржана првата конференција за радиокомуникација. Првата трансатлантска врска е воспоставена во 1927 година. Во 1937 година е пронајден радарот, а во 1938 година Алек Ривс го патентирал својот изум „импулсно-кодна модулација“ (PCM), кој е основа за претворање на аналогните сигнали во дигитални.

Со откривањето на транзисторот во 1948 година започнува брзиот развој на телекомуникациите. Во 1960 година се јавува уште еден револуционерен пронајдок – ласерот. Во седумдесеттите години се развиваат првите комуникациски мрежи кои се базираат на комутација на пакети, кои се претходници на Интернет мрежата. Развојот на интернетот каков што го знаеме денес е започнат во раните деведесетти години на минатиот век. Првиот комерцијален комуникациски систем за мобилна телефонија е пуштен во употреба во 1979 година во Јапонија и ја претставува првата генерација (1G) на системи за мобилна комуникација. Во овие системи, преносот на говор се вршел во аналоген формат. Следниот исчекор во мобилните комуникации е направен во деведесеттите години, со стандардизацијата на GSM (Global System For Mobile Communication). Оваа генерација на мобилни системи се нарекува и втора генерација (2G), а основната разлика во однос на првата генерација е преносот на говорот и податоците во дигитален формат. Веднаш по имплементацијата и комерцијалниот успех на системите од втората генерација, започнува развојот на следната генерација (3G) системи за мобилна комуникација. Во 2001 е пуштена во употреба првата мрежа за мобилни комуникации од третата генерација (3G). Следните чекори во развојот на системите за мобилна комуникација се стандардизацијата на WiMAX (2005 г.) и LTE (2008 г.) кои требаше да ги задоволат барањата поставени од ITU за системите од четврта генерација (4G) мобилни системи. Првите системи од петтата генерација (5G) се имплементирани во 2019 година.

1.1 ОСНОВЕН ПРИНЦИП НА КОМУНИКАЦИЈА

Секој телекомуникациски систем може да се претстави со еден општ модел на телекомуникацискиот систем. Моделот на комуникацискиот пренос со упростена блок-шема е прикажан на Сл. 1-1. Општиот модел овозможува да се одредат функциите на основните составни делови на секој систем за пренос на пораки.



Сл. 1-1. Општ модел на комуникациски систем

Извор на пораки е каков било објект, машина или човек што генерира или создава пораки кои треба да се пренесат до корисникот. Под порака се подразбира говор, музика, напишан текст, цифри, неподвижни и подвижни слики, податоци од мерења и др. Изворот на пораки му испраќа една од множеството можни пораки на корисникот.

Предавателот (трансмисер) е блок во кој пораките се претвораат во сигнали погодни за пренос. Според тоа, велиме дека **сигналот е електричен еквивалент** на пренесуваната порака. Сигналите се електрични големини (напон, струја или моќност), кои се менуваат во зависност од пораките. Предавателот врши обработка и модулација на сигналите во зависност од системот за пренос, а со цел сигналите да се приспособат кон особените на линијата за врска.

Линијата за врска (систем за пренос) претставува средина или медиум за пренос, низ кој сигналот се пренесува од предавателот до приемникот. Тоа може да биде:

- електричен вод (телекомуникациски вод) или
- светловод низ кој се пренесува сноп светлина или
- слободен простор (етер) низ кој се простираат радиобранови.

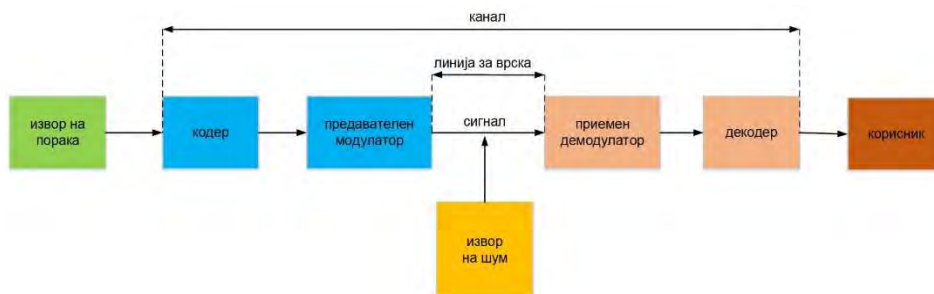
Изворот на шум е блок кој симболично ги претставува сите електрични и електронски уреди, како и природните извори на пречки, кои создаваат електрични сигнали што влегуваат во системот на пренос, се мешаат со сигналот на пораката, а на местото на прием се манифестираат како шушкање, пиштење, крчење, и сл. Сите набројани појави на местото на прием се викаат со заедничко име **шум**.

Приемникот (ресивер) е дел од системот во кој се вршат операции спротивни од операциите во предавателот. Во приемникот, електричниот сигнал кој доаѓа преку преносниот систем се претвора во порака. Во најопшт случај, приемник може да биде телефонската слушалка, но може да е и комплетен радиоприемник или ТВ-приемник, мобилен телефон, компјутерот кој прима податоци од друг оддалечен компјутер итн.

Корисник е човек или машина за која е наменета пораката.

Канал е збир на технички уреди кои обезбедуваат независен пренос на пораките низ заеднички преносен пат. Тој ја претставува средината низ којашто се пренесува пораката во вид на сигнал. Уредите со кои се обезбедува сите корисници да го примат само избраниот сигнал, ја сочинуваат врската на каналот. Значи каналот го сочинуваат: *предавателот, линијата за врска и приемникот*. Во каналот е присутен шум, кој може да ја менува пораката.

Кога се прави детална анализа на системите за пренос се користи и проширена шема на системите за пренос на пораки како на Сл. 1-2. Во зависност од карактерот на пораката која еден оперативен центар ја испраќа или во зависност од обликот на пренесената информација во изворот на пораки се прави избор на симболите со кои пораката ќе биде испратена. Симболите можат да бидат букви, бројки од различни бројни системи или некои шифри. Изразувањето на пораките со некои симболи се нарекува **кодирање**, а правилото по кое се реализира се нарекува **код**.



Сл. 1-2. Проширена шема на системи за пренос на пораки

Во проширениот модел на комуникациски систем, предавателот за пренос на пораките е составен од:

- **кодер на изворот (К)**, кој врши кодирање на пораките;
- **кодер на каналот**, кој се состои од **предавател-модулатор (ПМ)** и има задача кодираните пораки да ги претвори во сигнали, кои преку преносниот систем се пренесуваат до приемната страна.

Приемниот дел го сочинуваат:

- **декодер на каналот, приемник – демодулатор (ПД)**, каде што приемните сигнали се претвораат во кодирани пораки;
- **декодер на приемникот (ДК)** кој на приемникот на пораки, корисникот, му ја предава кодираната порака во првобитниот облик како што е испратена.

При преносот, пренесените пораки од предавателот до приемникот можат да се разликуваат. Затоа големо внимание се посветува на кодерот и декодерот на каналот, со што грешката во преносот ќе биде минимална.

Делот од преносот кој го сочинуваат **каналскиот кодер, преносниот систем, односно телекомуникацискиот медиум и каналскиот декодер се нарекува канал.**

1.2 ПРЕНОС НА АНАЛОГНИ СИГНАЛИ НА НИСКИ И ВИСОКИ ФРЕКВЕНЦИИ

Во зависност од фреквенцијата на сигналот, во телекомуникациите се разликуваат два вида на преноси: нискофреквенциски (НФ) пренос и високофреквенциски (ВФ) пренос.

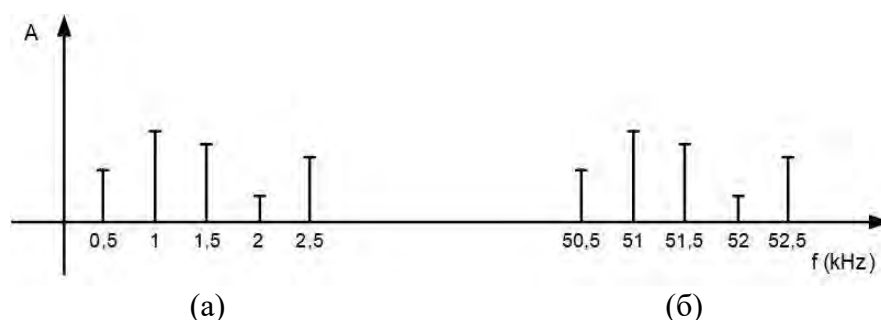
НФ преносот или, како што уште се нарекува, пренос во основниот физички опсег на фреквенции, е пренос при кој сигналот во сите точки на системот за пренос ги има своите природни фреквенции.

Така на пример, говорниот сигнал се наоѓа во фреквенциски опсег од 0 Hz до 4 kHz, што претставува негов природен опсег, тоа е опсегот на фреквенции кој се појавува на излезот од микрофонот. Во класичната телефонија, овој сигнал се пренесува од микрофонот до звучникот на приемникот. Тоа е нискофреквенциски пренос или пренос во НФ ниво.

Претставувањето на овој сигнал кое се врши на тој начин што на x-оската се нанесува фреквенцијата, а на y-оската се отчитуваат амплитудите на сигналот при таа фреквенција, се нарекува спектар на сигналот. Говорниот сигнал има свои спектрални компоненти кои се наоѓаат во таканаречениот нискофреквенциски дел. Ако овие компоненти се пренесат во

својата изворна форма, станува збор за пренос во основен опсег, или **НФ пренос**. Пренос во основен опсег имаме кај класичната телефонија (честопати нарекувана и фиксна телефонија (landline)), како и кај факс-машините кои ги користат овие телефони и врските помеѓу нив.

За да може низ еден вод во исто време да се пренесуваат повеќе независни сигнали, потребно е да се изврши дополнителна обработка на сигналите во централите и нивно мултиплексирање. Некои од техниките на мултиплексирање, кои ќе овозможат меѓусебно поврзување на телефонските централи, предвидуваат транслирање на телефонските сигнали од основен опсег (ниски фреквенции), во опсег на високи фреквенции. Ваквиот пренос се нарекува високофреквенциски, или **ВФ пренос**. Ваквата транслација обезбедува пренос на поголеми далечини, со помали загуби. Пренос во транслиран, високофреквенциски опсег се користи кај телевизијата и кај радиопреносот – дифузија на радиопрограми.



Сл. 1-3. Спектар на говорен сигнал: (а) природен опсег на фреквенции, (б) поместен (транслиран) за 50 kHz

Така на пример, на сл. 1-3 (а) е претставен еден говорен сигнал со своите 5 основни компоненти во својот природен опсег, а на сл. 1-3 (б) е претставен спектар кој од својот природен опсег на фреквенции се транслира за 50 kHz во областа на високите фреквенции. Овој спектар се пренесува до местото на прием, каде што се враќа во својот природен опсег и се носи на слушалката на корисникот. Во телефонските водови, преносот може да биде НФ и ВФ пренос, додека во радио и телевизискиот пренос се користи само ВФ пренос.

Радиофреквенцискиот (безжичниот) пренос претставува пренос на каква било информација. **Радиодифузниот** пренос е пренос со еден предавател и многу приемници (корисници), тука спаѓа преносот на радио и телевизиските програми. **Радиорелејниот** пренос, пак, е пренос помеѓу еден предавател и еден приемник. За да се постигне поголема далечина, сигналот од предавателот се пренесува до првата оптички видлива радиорелејна станица, во која тој ќе се засили и потоа повторно ќе се пренесе до друга таква станица, сè додека сигналот не стигне до приемникот. Поради механизмот на префрлање од една до друга радиорелејна станица, овој пренос уште се нарекува и **пренос од точка до точка**. Во групата на телекомуникациски системи кои користат безжичен пренос спаѓаат сателитските комуникациски системи, системите за мобилна телефонија, безжичните локални мрежи (WLAN или WiFi), радарите, навигацијата, авионските врски, подводните комуникации итн.

1.3 ПРЕНОС НА СИГНАЛИ

Пораките што се пренесуваат од местото на изворот до некое оддалечено место (место на прием) можат да се јават во различен облик: напишан текст, говор, музика, неподвижна и подвижна слика, резултати од мерења или команди за управување итн. Затоа, постојат и различни методи за пренос на пораките по електричен пат. Во зависност од карактерот на пораките и обликот во кој сакаме да ги пренесеме, а во согласност со техничките можности, се користат следниве методи: телеграфија, телефонија, телевизија, пренос на податоци, телекоманда, телеметрија, телесигнализација итн.

1.3.1 Пренос на говор

Главно, преносот на говорот на далечина се реализира со **телефонијата**. Зборот телефонија доаѓа од зборовите, теле (далечина) и фон (глас). Во телефонијата, говорот се претвора во електричен сигнал во телефонскиот апарат и преку сложен систем на телефонски мрежи кои ја обезбедуваат комуникацијата се поврзуваат корисниците на едната и другата страна на врската. Опсегот на фреквенции на говорот е од 300 до 3400 Hz.

Телефонот го пронашол Александар Грахам Бел во 1875 година. Тој открил дека кога челична жица трепери во магнетно поле, во неа се создава променлива струја. Кај телефонот, тоа се случува во микрофонот, односно електроакустичкиот претворувач, кој акустичната енергија ја претвора во електрична енергија. Таа енергија преку водот се пренесува до приемната страна. Тука, со помош на звучник, електричната енергија се претвора во акустичка. Во електроакустичките претворувачи (микрофонот и слушалката) се врши претворање на звукот во електричен сигнал и обратно.

Со телефонските системи се пренесува говор во две насоки. Секој телефонски апарат има и микрофон и слушалка и тие преку вод се поврзани со телефонската централа. Телефонската централа врши посредување, односно поврзување на два претплатника. Недостаток на ваквиот пренос е тоа што преку еден вод може да се пренесе само еден сигнал, односно еден разговор. За да може низ еден вод во исто време да се пренесат повеќе независни сигнали, потребна е дополнителна обработка на сигналите, која се врши во централите. Ваквиот пренос се нарекува високофреквенциски ВФ-пренос и тој се користи за меѓусебно поврзување на телефонските централи.

Како медиуми за пренос се користат ТК кабли, светловоди или воздухот. Постојат повеќе начини со кои корисниците се врзуваат на телефонската мрежа: фиксна телефонија, мобилна телефонија, сателитска телефонија и телефонија преку интернет-протокол (VoIP).

Во традиционалниот начин, или фиксната телефонија, врската е со кабли за една одредена физичка локација. Мобилната телефонија која се појавува во 1979 година користи безжичен пренос на информации. Станува збор за организиран пренос со базни станици кои се врзани на заедничка централа. При преносот, пораките се претвораат во дигитални сигнали и се пренесуваат преку мрежата на базни станици и централата до корисниците. Денес, мобилната телефонија е во постојан развој и проширување на своите можности. Телефонскиот пренос кој се реализира преку телекомуникациски сателити исто така користи безжичен пренос кој поврзува оддалечени централи на површината на земјата преку воспоставување безжични линкови (врски) помеѓу централите и вештачките сателити поставени во орбитата на Земјата. Денес голем дел од телефонскиот сообраќај се пренесува преку Интернет мрежата со користење на таканаречени протоколи за пренос на говор преку интернет-протоколот VoIP.

Преносот на радиопрограми е уште еден пример на аналоген пренос на звук. Стандардната дифузија на радио предвидува втиснување на аналоген сигнал во носителот со помош на амплитудна модулација (AM) и фреквенциска модулација (FM). Иако постојат стандарди за дигитална дифузија на радио (DAB), сè уште не е донесена одлука за напуштање на аналогниот пренос и замена на аналогните приемници со дигитални.

1.3.2 Пренос на слика

Предавањето и приемот на подвижни слики на далечина со помош на електромагнетни бранови се нарекува **телевизија**. За да се пренесе сликата на далечина, таа се дели на точки или елементи, значи сликата има елементарна структура. На нормално растојание, на кое се гледа телевизија, точките не се распознаваат и човекот гледа чиста слика. Ако сликите се менуваат така што во секоја секунда се јавуваат по 25 слики, тогаш окото ги гледа како подвижна слика. Сликата се пренесува откако оптичкиот лик ќе се претвори во електричен запис.

Од појавата па до денес, телевизијата поминала неколку чекори на еволуција, од пренос само на монохроматски слики, преку пренос на слики во боја, пренос на телевизиски сигнали, преку системи за терестријална дифузија, сателитска телевизија, кабелска телевизија, до дигитална телевизија со ултрависока резолуција. Во стандардната дифузија на телевизиски сигнал (стандардна телевизија), тоа се првите сателитски и кабелски системи, телевизискиот сигнал се пренесува во аналогна форма.

Во телевизијата истовремено се пренесуваат звукот и сликата. Преносот се врши со електромагнетни бранови низ етерот, или се испраќа како светлосен сигнал низ оптичките влакна. Во аналогната телевизија, преносот се добива така што сликата се втиснува во носечки бран со амплитудна модулација (АМ), а звукот се втиснува со фреквенциска модулација (FM).

Дигиталната телевизија ја потисна стандардната аналогна телевизија. Кај нас, преносот на телевизиски сигнал по пат на терестријална дифузија во 2013, од аналогна е заменета со дигитална дифузија на видео (DVB), а аналоген пренос на телевизијата е сè уште зачуван во некои сателитски и кабелски системи за дистрибуција на телевизиски сигнал.

Кај телевизискиот приемник, преку антената се примаат електромагнетни бранови. Високофреквенцискиот сигнал кој ја носи сликата се одвојува од носечкиот бран и се претвора во променлива струја, колор видеосигнал. Оваа струја потоа се испраќа во екранот и се врши претворање на електричниот сигнал во слика.

1.3.3 Пренос на податоци

Поимот пренос на податоци (Data Transmission) ги опфаќа преносот на податоци, како и класичниот начин на пренос на напишан текст, во телеграфијата.

Податоците се пренесуваат како низи од цифри, односно **дигитално**. Ако во дигиталниот пренос на сигнали постојат само две цифри: нула и единица, односно има напон (единица) или нема напон (нула), тогаш системот го викаме бинарен.

Цифрите можат да се претстават во различни бројни системи. Најблизок до нашите секојдневни сфаќања е децималниот систем. Основа на децималниот систем е бројот 10 и десетте цифри: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и 9, кои се потребни за да се прикаже кој било број. За да се напише број поголем од 9, се дава значење на различните места на цифрите во низата која го претставува бројот. Така, на пример, бројот 5 932, 87 има значење:

$$5\ 932, 87 = 5 \times 10^3 + 9 \times 10^2 + 3 \times 10^1 + 2 \times 10^0 + 8 \times 10^{-1} + 7 \times 10^{-2}$$

коэффициент ↑ ↓ тежински фактор

Според тоа, местото на цифрата во низата која го сочинува бројот има значење на тежински фактор.

Бинарниот систем на прикажување на броевите за основа го има бројот 2. За да се прикаже кој било број, потребни се само две цифри 0 и 1. Според тоа, децималниот број 21_{10} (индексот 10 значи дека бројот е напишан во децимален систем) во бинарниот систем се пишува како 10101_2 (индексот 2 значи дека бројот е напишан во бинарен систем).

$$10101_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

Постојат разработени алгоритми за конверзија на децималните броеви во бинарни броеви. Бинарната цифра 0 или 1 се нарекува бит–бинарен дигит. Така, бројот 1010 претставува 4-битен бинарен број, додека 101 е број со 3 бита.

Група битови која има одредено значење се нарекува код. Првиот бит од кодот има најголем тежински фактор, додека последниот бит од кодот има најмал тежински фактор.

Постојат најразлични кодови за прикажување на децималните цифри. Најпопуларен е BCD-кодот (Binary Coded Decimal). Кај него, со помош на 4 бита се прикажува секоја цифра од декадниот систем. Најпознат е ASCII (American Standard Code for Information Interchange), кој означува американски стандарден код за информациска размена; ова е код за кодирање на текст. Тој користи 7 бита за кодирање на знаци, знаци на интерпункција, контролни знаци и графички знаци. Овој код се користи за запишување текст кај компјутерите.

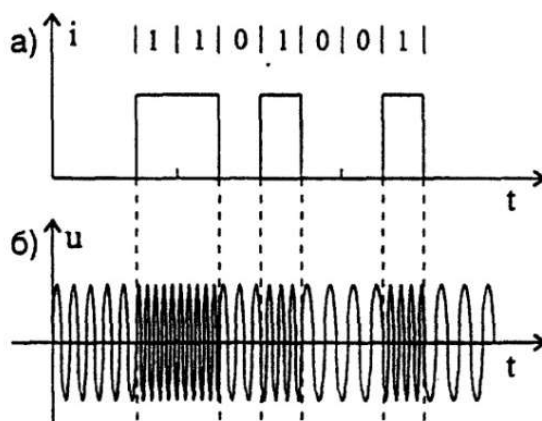
Во декадниот броен систем основата е десет, па оттаму симболот 755 означува број што се состои од седум стотки, пет десетки и пет единици. Тоа може да се напише на следниов начин:

$$755 = 7 \cdot 10^2 + 5 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$$

Во бинарниот броен систем, основата е два и бројот 105 се запишува на следниов начин:

$$105 = 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$

Следејќи ја логиката што се користи при пишувањето на броевите од декадниот систем, бројот 105 во бинарниот систем се пишува како 1101001.



Сл. 1-4. Низа од струјни импулси: (а) бинарен, (б) наизменичен

При преносот на ваков број, на пример, од сметачот на некоја банка на податоци до сметачот на некој корисник, тој се претвора во низа од струјни импулси (сл.1-4).

Единица за количество информација, нула или единица е бит (bit). Брзината на преносот на податоци, која се нарекува битска брзина или бинарен проток, се изразува со бројот на пренесени битови во една секунда (bit/s) или (bps).

Кај **аналогните** системи за пренос на податоци, информациите не се пренесуваат многу брзо. Денес, системите за пренос се дигитализираат и брзината на пренос на информациите е многу голема. Во компјутеризираниите мрежи, брзината на преносот на податоци е од неколку Mbps до 10 Gbps.

1.3.4 Влијание на околината врз преносот на сигнал, изобличување и шум

Каналот којшто го сочинуваат предавателот, линијата за врска и приемникот ја претставува средината (околината) низ којшто се пренесува пораката во вид на сигнал. Каналот внесува:

- слабеење, кое се зголемува со должината на каналот, а тоа слабеење е со променлив карактер;
- изобличување кое може да биде линеарно и нелинеарно;
- шум кој влијае на пренесуваната порака. Шумот го сочинуваат случајни и непредвидливи сигнали предизвикани од надворешни и внатрешни причини.

Шумот се јавува поради влијание на блиските канали, шумови предизвикани од самиот човек, како што се расипани контакти, прекинувачи во електрична опрема, од индукција при стартување на автомобил, од флуоресцентни светилки или природен шум настанат од гром, електрични бури, соларна и интергалактичка радијација. Делумно, овие шумови можат да се намалат или речиси да се отстранат. Шумовите предизвикани од елементите во електронските уреди можат да се намалат, но никогаш не можат да се отстранат.

Шумот е еден основен фактор кој ги поставува границите за брзина на комуникациите.

Односот сигнал-шум (SNR) претставува однос на моќноста на пренесениот сигнал и моќноста на шумот. Овој број треба да има што поголема вредност. Со пренесувањето на сигналот, неговата моќност опаѓа, како што се зголемува растојанието на врската, но и моќноста на шумот се зголемува, така што SNR е во постојано опаѓање по должината на каналот. Во приемникот, засилувањето кое е тука за да го надомести слабењето ќе внесе засилување и на корисниот сигнал, како и на приемниот шум, па односот SNR ќе се намали или, во најдобар случај, ќе остане ист (1).

РЕЗИМЕ:

- Општиот модел на телекомуникациски систем ги претставува местото и функцијата на основните составни делови на секој систем за пренос на пораки.
- Извор на порака е субјект или објект кој генерира порака.
- Сигналот претставува електричен еквивалент на пренесуваната порака.
- Линија за врска претставува средина или медиум за пренос, низ која сигналот се пренесува од предавателот до приемникот.
- Приемникот го прима сигналот од линијата за врска, го обработува и го предава како порака на корисникот.
- Каналот го сочинуваат предавателот, линијата за врска и приемникот. Во каналот е присутен шум, кој може да ја менува пораката.
- Шумот е важен фактор кој влијае на брзината и на квалитетот на телекомуникациите.
- Односот сигнал – шум (SNR) претставува однос на моќноста на пренесениот сигнал и моќноста на шумот. Овој број треба да има колку што е можно поголема вредност.
- Изразувањето на пораката со некои симболи се нарекува кодирање.
- Кодерот на изворот се наоѓа на предавателната страна и врши кодирање на пораката.
- Декодерот на каналот се наоѓа на приемната страна и кодираниот сигнал го претвора во порака.
- Во зависност од фреквенцијата на сигналот, во телекомуникациите се разликуваат два вида на пренос: нискофреквенциски (НФ) пренос и високофреквенциски (ВФ) пренос.
- Телефонијата е пример за пренос на говор со помош на електрични сигнали.
- Слика се пренесува во телевизија. Се пренесуваат 25 слики во секунда.
- Податоците се пренесуваат како низи од цифри, односно **дигитално**.
- Ако во дигиталниот пренос на сигнали постојат само две цифри: нула и единица, тогаш системот го викаме бинарен.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ:

1. Која е разликата меѓу општиот модел на комуникациски систем и деталниот модел?
2. Што е порака, а што сигнал?
3. Направи разлика меѓу линија за пренос и канал?
4. Какви видови на пренос разликуваме во зависност од фреквенцијата на сигналот?
5. Каков е сигналот при преносот на говор?
6. Како се дефинира односот сигнал – шум?

Заокружи го точниот одговор:

7. Линијата за врска ја сочинуваат:
 - а. медиумот за пренос, изворот на шум
 - б. предавателот и медиумот за пренос, изворот на шум и приемникот
 - в. предавателот и приемникот
 - г. приемникот, медиумот за пренос и корисникот.
8. Морзеовиот код е составен од:
 - а. точки, црти и паузи
 - б. точки, букви и паузи
 - в. точки, импулси и паузи
 - г. букви, бројки и црти
9. Кој од дадените броеви е запишан бинарно?
 - а. 001101
 - б. 1002106
 - в. $1x2 + 0x2$
 - г. 88
10. Колку бита за кодирање користи ASC II кодот?
 - а. 7 бита
 - б. 3 бита
 - в. 4 бита
 - г. 10 бита

Модуларна единица 2: Пораки и сигнали

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Дискретна и континуирана порака
2. Аналогни дигитални сигнали
3. Хармониска анализа на сигнали

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

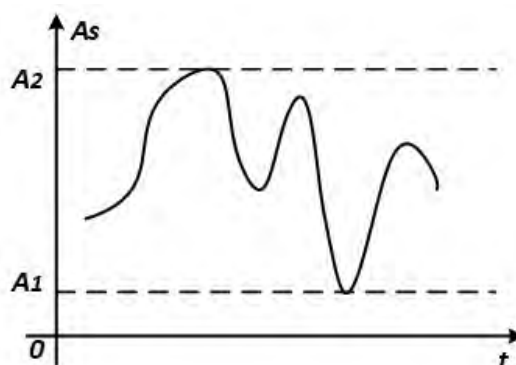
1. Разликуваат дискретни и континуирани пораки
2. Искажуваат и мерат параметри на синусен сигнал
3. Објаснуваат синусен сигнал во временски и фреквенциски домен
4. Наведуваат пречки при пренос на сигнали

2 ПОРАКИ И СИГНАЛИ

Со телекомуникациската техника се овозможува пораката во вид на сигнал да се пренесе до некое оддалечено место, а притоа сигналот да остане колку што е можно повеќе сличен на самиот себеси. Оттаму, неопходно е да се познаваат особените на пораките, односно нивниот еквивалентен сигнал, зашто тие ги одредуваат карактеристиките на системите со коишто се пренесуваат.

2.1 ПРИРОДА НА ПОРАКИТЕ

По својата природа, сите пораки што ги испраќа некој извор на пораки можат да се поделат во две групи: **континуирани пораки** (непрекинати, без скоковити промени и прекини) и **дискретни пораки** (испрекинати, со скоковити промени и прекини).

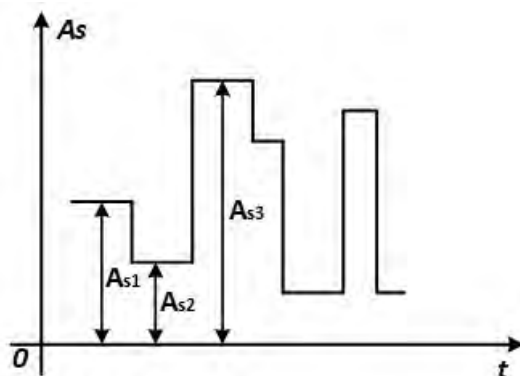


Сл. 2-1. Континуирана порака

Континуираните пораки се непрекинати во текот на времето, а можат да ги имаат сите можни вредности помеѓу некои одредени граници. Такви пораки се говорот, музиката, сликата и сл. Суштинска разлика во однос на дискретните пораки е тоа што сите вредности кои ја карактеризираат континуираната порака му припаѓаат на *едно неограничено, континуирано множество*. Сигналите коишто служат за пренос на континуираните пораки можат да се претстават со некоја непрекината временска функција, како онаа прикажана на сл. 2-1. Кога зборуваме за пораките, со поимот *континуиран* се означува дека величината A_s може да ја има која било вредност што се наоѓа меѓу A₁ и A₂.

Дискретни пораки се пораки коишто се јавуваат како низа од одвоени елементи и имаат конечен број на различни вредности. Тие елементи се викаат симболи. Симболите можат да бидат букви, бројки, ноти. Посложените пораки се состојат од низа попусти дискретни пораки. Буквите образуваат зборови, зборовите образуваат реченици, бројките образуваат повеќецифрени броеви, а нотите образуваат акорди. Вакви се пораките што се пренесуваат во телеграфијата и во преносот на податоци.

Сигналите со кои се пренесуваат дискретни пораки можат да се претстават со некоја временска функција која покажува како некоја карактеристична величина на сигналот зависи од времето. Типичен пример на дискретен сигнал е прикажан на сл. 2-2.



Сл. 2-2. Дискретна порака

Величината A_s може да е напон, струја или фреквенција на наизменичната струја. Таа има строго одредени дискретни вредности A_{s1} , A_{s2} , A_{s3} ... кои формираат едно конечно множество.

2.2 АНАЛОГНИ И ДИГИТАЛНИ СИГНАЛИ

Под поимот порака во телекомуникациите се подразбираат говорот, музиката, пишаниот текст, подвижната и неподвижната слика, компјутерските податоци, податоците од мерењата на далечина и др. За зборот порака, во стручната литература се користи и зборот информација, овие два збора рамноправно се користат во практиката.

Прв чекор во преносот на далечина е претворањето на пораките, информациите во нивниот електричен еквивалент; тоа може да биде електрична струја или електричен напон, но во практиката се користи поимот **сигнал**. Сигналот е електричен еквивалент на пораката или тој е електрична слика на информацијата што се пренесува. Тој треба да се пренесе и од него во приемникот може да се регенерира, одново да се добие оригиналната информација.

Во практиката видовме дека сите информации, пораки кои ги испраќа изворот можат да се поделат на две групи: дискретни и континуирани. Такви се и сигналите, односно: **аналогни (континуирани) и дигитални (дискретни) сигнали**.

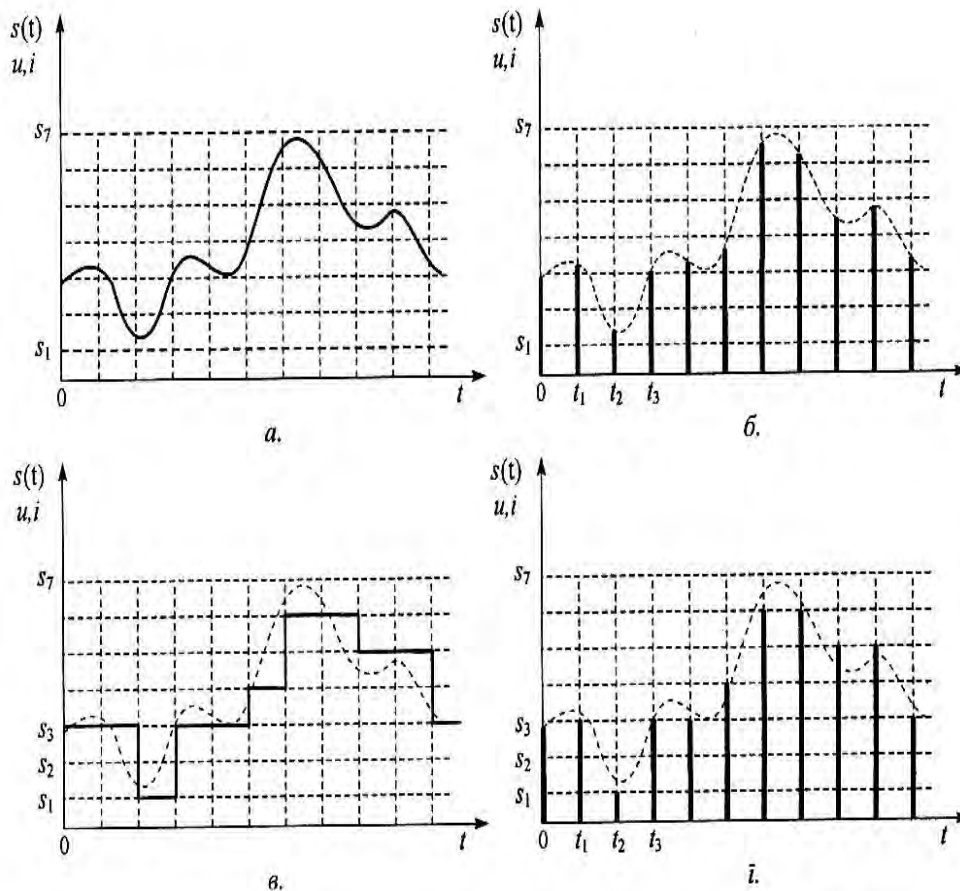
2.2.1 Континуирани и дискретни сигнали

Електричните сигнали кои се добиваат со претворање на информациите во соодветен претворувач исто така се делат на **континуирани и дискретни сигнали**.

Во современите телекомуникации, континуираните сигнали сè повеќе се пренесуваат во дигитализиран облик (во облик на цифри), а еден од чекорите на дигитализацијата е претворање на континуираните во дискретни сигнали. Така може да се добиваат различни видови сигнали, каде што освен дискретните и континуираните сигнали ги додаваме и сигналите кои се добиваат со нивна обработка. Тие може да се:

- амплитудно и временски континуирани;
- амплитудно континуирани, а временски дискретни;
- амплитудно дискретни, временски континуирани;
- амплитудно и временски дискретни сигнали.

Различните видови на сигнали кои се добиваат со обработка на дискретните и континуираните сигнали се претставени на сл. 2-3.



Сл. 2-3. Сигнали: (а) амплитудно и временски континуирани, (б) амплитудно континуирани, а временски дискретни, (в) амплитудно дискретни, а временски континуирани, (г) амплитудно и временски дискретни.

На сл. 2-3 (а) даден е сигнал кој е континуиран и по време и по амплитуда. Сигналот е обележан со $s(t)$, а не само s , со што се истакнува дека неговата големина е функција од време, се менува во текот на времето. Под $s(t)$, стои и ознаката u или i , која покажува дека сигналот може да биде кој било напон или струја.

На сл. 2-3 (б) е даден амплитудно континуиран, а временски дискретен сигнал. Тоа значи дека тој во конечен временски интервал (од 0 до T) е дефиниран со конечен број импулси со континуирано променливи амплитуди.

На сл. 2-3 (в) сигналот е амплитудно дискретен, а временски континуиран. Овој сигнал континуирано се менува во времето, а неговите моментални вредности можат да имаат вредности кои се дискретни и се збир на амплитудни вредности.

Амплитудите и временските дискретни сигнали дадени на сл. 2-3 (г) се дискретни по амплитуда и дискретни по време. Во нашиот пример, дискретните моментални вредности се $0, t_1, t_2, t_3, \dots$, а амплитудните имаат седум вредности s_1, s_2, s_3, s_7 .

Значи на сл. 2-3 (а) даден е класичен континуиран сигнал, а на сл. 2-3 (г) класичен дискретен сигнал.

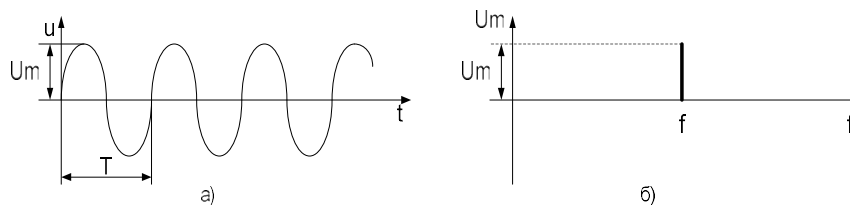
Во современите телекомуникации, сигналите кои се користат се делат на аналогни и дигитални.

Аналогниот сигнал е класичен континуиран сигнал, кој ги има сите вредности, а неговата моментална вредност може да има која било вредност во некој одреден опсег.

Дигиталните (digit) бројки или цифри се класични дискретни сигнали: постојат само во одреден временски интервал, а нивните моментални вредности можат да имаат само некои од вредностите од некое конечно множество на вредности. Најважни дигитални сигнали се бинарните дигитални сигнали, чија величина може да има само една од две вредности. Бинарните сигнали се добиваат на два начина: со кодирање на дискретните сигнали сл. 2-3 (г) или со обработка на аналогните сигнали. Обработката на аналогните сигнали е позната како А-Д аналого-дигитална конверзија.

2.2.2 Периодичен и непериодичен сигнал, нивни карактеристики

Сигналите може да се претставуваат на два начина: **временски и фреквенциски**. Кога се претставуваат временски, сигналот е ист како што е неговата слика на осцилоскопот. На пример, детерминистичкиот сигнал кој е **синусоида** и е дефиниран со математичкиот израз $u(t) = U_m \sin(2\pi ft)$, временски претставен е како на сл. 2-4 (а). Тој е претставен во координатен систем кој на ординатата има напон или струја, а на апсцисата – време.



Сл. 2-4. Простопериодичен сигнал: (а) претставен временски, (б) претставен фреквенциски

Математички гледано, овој сигнал има позната амплитуда U_m и фреквенција f . Тој може да се претстави и во координатен систем во кој ординатата е U_m , а на апсцисата f , како на сл. 2-4 (б). Тогаш тој е синусоидален сигнал претставен фреквенциски. Значи дадениот синусоидален сигнал фреквенциски е претставен во координатен систем во кој на апсцисата имаме фреквенција, а на ординатата максималната вредност на амплитудата.

Сигналите кои се добиваат со претворање на говор, музика, слика и друго се многу посложени од синусоидата. Таков сигнал е даден на сл. 2-5 (а). Со математичка постапка која се нарекува Фуриева анализа, секој периодичен сигнал (сигнал кој се повторува) може да се разложи на повеќе сигнали со синусоидален облик, кои се викаат хармоници. Фреквенцијата на првиот (основниот) хармоник е иста како фреквенцијата на сложениот сигнал (f), фреквенцијата на вториот хармоник е двапати поголема ($2f$), фреквенцијата на третиот хармоник е трипати поголема ($3f$), фреквенцијата на четвртиот хармоник е четирипати поголема од фреквенцијата на сложениот сигнал ($4f$) итн.

Значи секоја **периодична** функција може математички да се претстави како збир (сума) од повеќе простопериодични функции како:

$$f(t) = F_0 + \sum_{n=1}^{\infty} 2|F_n| \cos(n\omega_0 t + \Theta_n) \quad \dots \dots \dots (2-1)$$

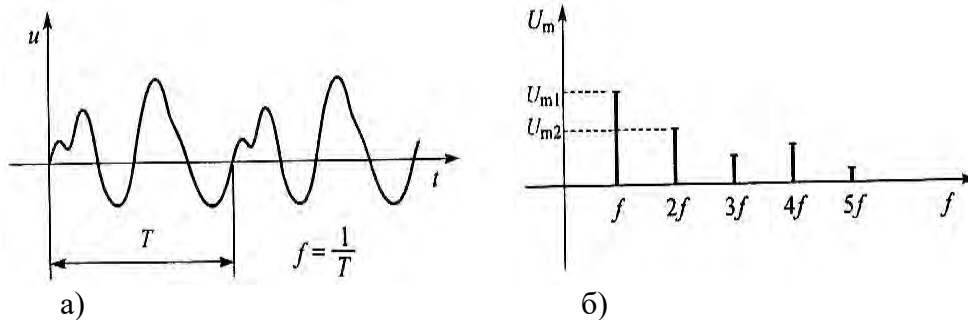
Периодичната функција $f(t)$ може да се разложи на: константен дел F_0 и сума од простопериодични, синусни осцилации чиешто амплитуди $2|F_n|$ и фази θ се различни.

Периодичната функција $f(t)$ има период на повторување T_0 , а нејзина основна кружна фреквенција $\omega_0 = 2\pi / T_0$.

Простопериодичните компоненти се нарекуваат **хармоници**. **Хармониците и нивните фреквенции ω_n се цел број пати поголеми од основната фреквенција ω_0 и можат да се претстават со изразот:**

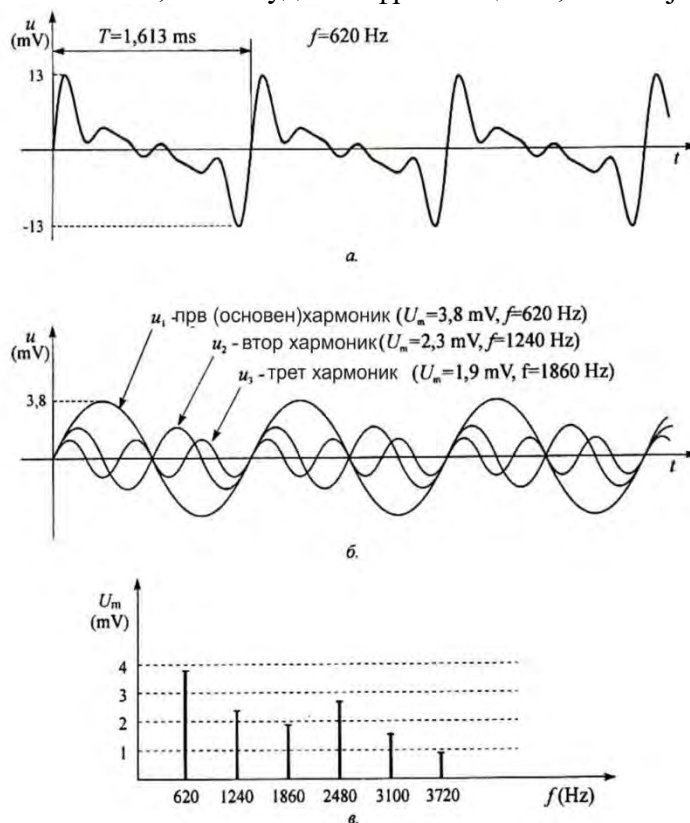
$$\omega_n = n \cdot \omega_0 \quad n=1, 2, 3 \dots \dots \dots (2-2)$$

Сложен музички сигнал како на сл. 2-5 (а), може да се разложи на пет компоненти. Неговата фреквенциска претстава е дадена на сл. 2-5 (б).



Сл. 2-5. Музички сигнал: (а) претставен временски, (б) претставен фреквенциски

Да разгледаме еден пример во кој се гледа предноста на претставување на сигналите фреквенциски. На сл. 2-6 (а) даден е временски еден сложен сигнал кој се состои од шест компоненти (хармоници). Амплитудите на хармониците се: 3,8 mV; 2,3 mV; 1,9 mV; 2,7 mV; 1,5 mV и 0,9 mV. Првите три компоненти временски се претставени на сл. 2-6 (б). Како што се гледа од сликата, тоа претставување е непрегледно и непрактично. Кога на оваа слика би ги нацртале и останатите компоненти, таа ќе стане уште понебрегледна и непрактична. Не е тешко да се претпостави каков ќе биде сложениот сигнал ако има педесет компоненти. Кога сигналот на сл. 2-6 (а) го претставуваме фреквенциски, како на сл. 2-6 (в), основните карактеристики на компонентите, амплитудите и фреквенциите, сосема јасно се гледаат.



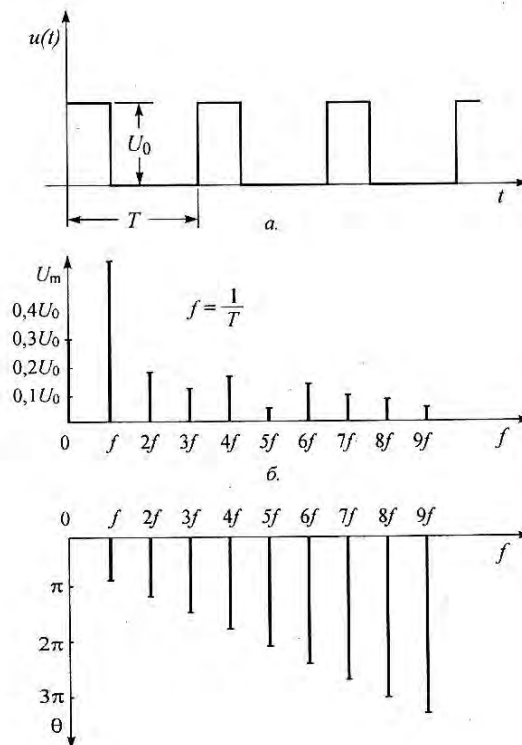
Сл. 2-6. Сигнали (а) сложен сигнал, (б) првите три хармоници на сложениот сигнал, (в) спектарот на сложениот сигнал

2.2.3 Спектар на сигналот

Сите фреквенциски компоненти на сложениот сигнал заедно претставени прават група на прости сигнали (синусоидални), која се нарекува **спектар на сложениот сигнал**. На сл. 2-5 (б) и сл. 2-6 (в), дадени се спектри на сигналите или амплитудни спектри.

Амплитудните спектри ја даваат зависноста на амплитудата на сигналите од фреквенцијата. Освен овие спектри, има и фазни спектри.

Фазните спектри ги даваат фреквенциски почетните фази на компонентите на сигналот. На сл. 2-7 (а) е даден детерминистички сигнал како низа од правоаголни импулси со амплитуди U_0 и периодот T .

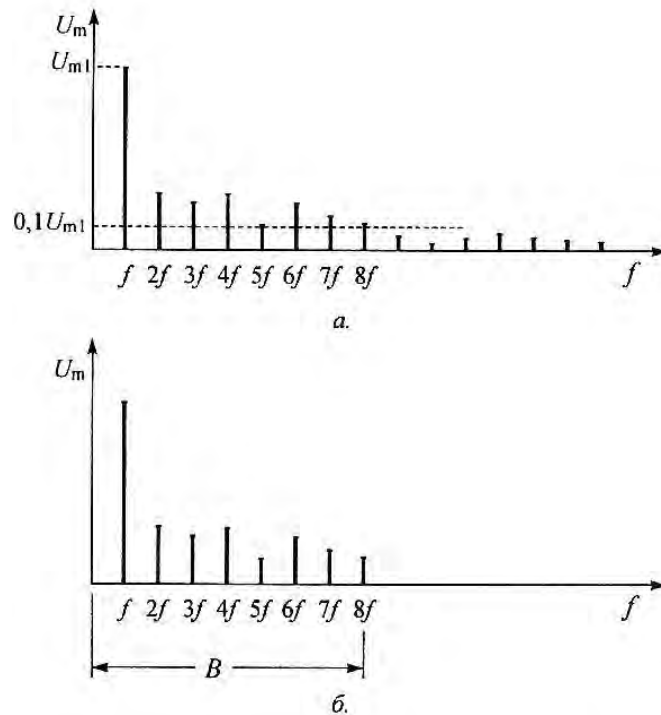


Сл. 2-7. Низа од правоаголни сигнали: (а) временски приказ, (б) амплитуден спектар, (в) фазен спектар

Амплитудно-спектрален дијаграм на низа од правоаголни импулси е даден на сл. 2-7 (б), а фазен спектар на сл. 2-7 (в).

Од ова се гледа дека секој сложен временски сигнал може да се разложи на своите простопериодични компоненти. Таа постапка се нарекува декомпозиција на сложениот сигнал. Обратната постапка е суперпозиција (или собирање).

Да разгледаме еден сложен сигнал кој има бесконечно многу компоненти како на сл. 2-8. Со пресметки и мерења се доаѓа до заклучок дека компонентите чии амплитуди се помали од $0,1 \cdot U_{m1}$ (10 % од амплитудата на првите компоненти) немаат значење за квалитетот на преносот (и без нив квалитетот е задоволувачки). Тие можат да се одделат со помош на филтер. Така, ограничениот спектар е даден на сл. 2-8 (б). Ширината на овој спектар е $B = 8 \cdot f$. Ако сложениот сигнал чиј спектар е даден на сликата е добиен со трансформација на звук, односно говор, а неговата основна фреквенција е $f = 400 \text{ Hz}$, тогаш ширината на каналот низ кој се пренесува овој сигнал треба да е нешто поголема од $B = 8 \cdot f$ односно $B = 3200 \text{ Hz}$.



Сл. 2-8 Амплитуден спектар на (а) неограничен сложен сигнал, (б) ограничен сложен сигнал

Ако на сигналот му се зголеми периодот T (сигналот подолго трае), фреквенцијата се намалува ($f = 1/T$). Тогаш сите компоненти од спектарот ќе се поместат налево, а нивното меѓусебно растојание ќе се намали. Значи кога траењето на сигналот е големо, ширината на спектарот е мала. Ова важи и обратно, ако траењето на сигналот се намалува, ширината на спектарот се зголемува. Овој инверзен однос време-фреквенција ја опишува карактеристиката на временските функции и Фуриевата анализа.

Композитниот сигнал е збир од едноставни синусоидални сигнали. Тој претставува комбинација од едноставни синусоидни бранови со различна фреквенција, амплитуда и фаза.

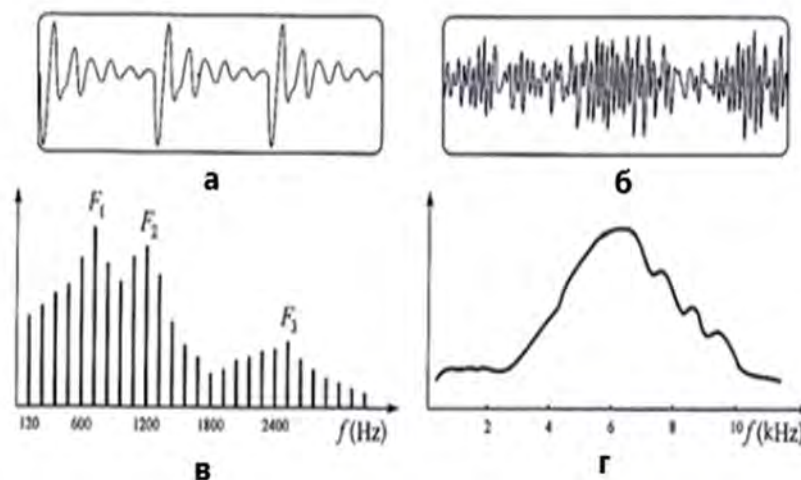
2.3 ХАРМОНИСКА АНАЛИЗА НА КОМПОЗИТНИ (СЛУЧАЈНИ) СИГНАЛИ

Случајни се оние сигнали чија промена на вредноста не може однапред да се одреди. Случајни сигнали кои се пренесуваат во телекомуникациските системи се: говорот, музиката, сликата, компјутерските податоци итн. Секој случаен сигнал има свои карактеристики кои произлегуваат од природата на пораката. Овие карактеристики се многу важни за организацијата на преносот, како и за проектирањето на системот и уредите.

2.3.1 Карактеристики на говор и музика

Говорот и музиката по својата природа се звук. Звукот е механички бран кој се добива со осцилирање на изворот на звук. Извор на звук е осцилација на жица на инструмент, осцилација на гласните жици кај човекот и слично. Осцилацијата на изворот создава осцилација на честичките на воздухот околу нивната рамнотежна положба. Сигналот на говор и музика е континуиран, аналоген и случаен сигнал. Овие сигнали се пренесуваат во телефонијата, телевизијата и радиопреносот.

За одредување на карактеристиките на говорен сигнал, потребно е да ги познаваме карактеристиките на човековиот говор. Големината на основниот хармоник кој го создава човекот е во граници од 80 до 400 Hz за мажи, а од 110 до 700 Hz за жени. Фреквенцијата на повисоките компоненти хармоници се до 6 kHz. На сл. 2-9 прикажани се временскиот дијаграм и фреквенцискиот спектар на буквите А и С.



Сл. 2-9. Говорен сигнал а) временски дијаграм на самогласката А б) временски дијаграм на согласката С в) фреквенциски спектар на самогласката А г) фреквенциски спектар на согласката С

Кога говориме, самогласките ја даваат моќноста, бојата и „топлината“ на гласот, а согласките „острината“ и разбирливоста на говорот. Најважни од споменатите карактеристики на говорот се моќноста и разбирливоста, првите ја носат самогласките, а втората согласките.

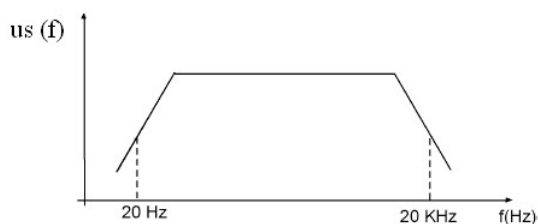
Моќноста на говорниот сигнал е различна кај различни луѓе и се менува во текот на времето. По експериментален пат е одредена динамиката на говорот, разликата меѓу најголемото и најмалото ниво на говорната моќност. Оваа моќност е од 40 dB до 70 dB. Денес телекомуникациските системи се проектираат така што динамиката на говорниот сигнал да е 62 dB.

Ако **разбирливоста** е добра и е пренесена добро, за таквата порака велиме дека го задржала своето значење. Разбирливоста се мери на два начина: со објективни методи, каде што се користат посебни инструменти и со субјективни методи, тоа е метод на мерење на логотомии (зборови од 3 букви кои немаат никакво значење во комбинација согласка – самогласка – согласка). Добар пренос е кога разбирливоста на логотомите е 85 – 96 %. Разбирливоста и бојата на гласот ја определуваат верноста на репродукција на сигналот.

Најголемо влијание на верноста на репродукција на говорниот сигнал имаат: широчината на фреквенцискиот опсег, изобличувањата и шумот.

Ширината на фреквенцискиот опсег на говорниот сигнал е од 80 Hz до 6 kHz, кога се реализира квалитетен пренос. При високофреквенциски пренос се користи потесен опсег од 300 Hz до 3,4 kHz. Ширината на фреквенцискиот опсег на музички сигнал е од 20 Hz до 15 kHz за природни извори на музика, музички инструменти, за пеење и до 20 kHz за електронски создадена музика.

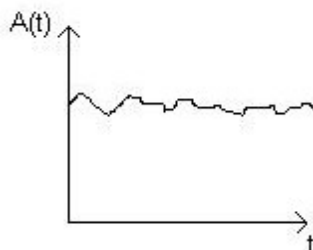
Фреквенцискиот спектар на музичкиот сигнал е прикажан на сл. 2-10.



Сл. 2-10. Фреквенциски спектар на музички сигнал

При преносот се јавуваат изобличувања на говорот и музиката. Тогаш квалитетот на сигналот се намалува. Изобличувањата можат да бидат: линеарни и нелинеарни. Линеарните изобличувања се амплитудни и фазни изобличувања. Амплитудните се последица на тоа што засилувањето не е исто за сите компоненти од фреквенцискиот спектар, а фазните се врзани за временската компонента на пренос. Нелинеарните изобличувања се јавуваат како последица на нелинеарните карактеристики на транзисторите, диодите и другите компоненти кои се користат во уредите за пренос на сигналот; се манифестираат со промена на бојата на тонот од пренесениот сигнал.

Пречките во облик на електрични сигнали со различна фреквенција и амплитуда на местото на прием се манифестираат како шум. Спектарот на шумот е широк, при што може да го намали или да го покрие корисниот сигнал.

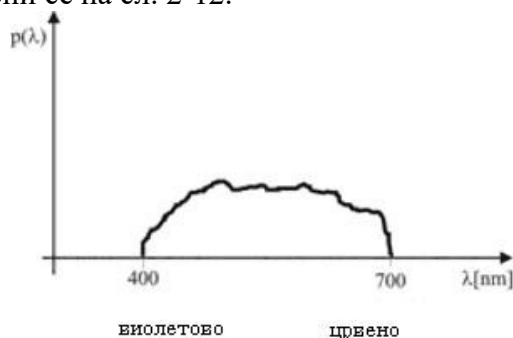


Сл. 2-11. Временски дијаграм на шумот

Временскиот дијаграм на шумот е даден на сл. 2-11. Според потеклото, шумот се дели на: амбиентен, атмосферски, од уредите за напојување, термички, интермодулационен и шум како последица од преслушување.

2.3.2 Карактеристики на видеосигнал

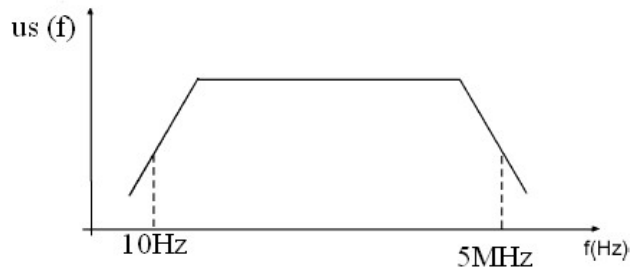
Преносот на слика во телевизијата се реализира преку видеосигналот. Физички гледано, сликата е светлина; без светлина не можеме да гледаме слики. Светлината е електромагнетно зрачење чија бранова должина во видливиот опсег на светлини е од 400 до 700 nm. Фреквенцискиот спектар, односно количеството на енергија на компонентите на видливата светлина дадени се на сл. 2-12.



Сл. 2-12. Енергија на компонентите на видливата светлина

Видеосигналот има повеќе карактеристики, меѓу кои најважни се: ширината на фреквенцискиот опсег, резолуцијата на сликата, форматот на сликата и хоризонталната и вертикалната резолуција.

Ширината на фреквенцискиот опсег на видеосигналот се дефинира како разлика на максималната и минималната фреквенција. Кај нас, усвоениот стандард за ширина на фреквенцискиот опсег на видеосигналот е 5 MHz.



Сл. 2-13. Фреквенциски спектар на видеосигнал

За пренос на видеосигналот, потребен е фреквенциски опсег од 10 Hz до 5 MHz. На сл. 2-13 е прикажана спектралната густина на видеосигналот претставен со амплитудниот спектар.

Резолуцијата е една од најважните карактеристики кои го одредуваат квалитетот на видеосигналот. Видеосигналот се состои од поголем број слики, при што секоја слика ја делиме на голем број точки, таканаречени пиксели. Вкупниот број на точки во една слика се нарекува резолуција. Резолуцијата на сликата ја дефинира структурата на сликата или јасноста на сликата, која кај квалитетните уреди достигнува и до 400 000 пиксели.

Пикселите во една слика формираат хоризонтални и вертикални линии. Бројот на вертикални линии ја дава хоризонталната резолуција, а бројот на хоризонтални линии ја дава вертикалната резолуција. Односот меѓу хоризонталната и вертикалната резолуција го дефинира форматот на сликата кој досега стандардно изнесуваше 4:3. Во поново време, сè почесто се применува форматот 16:9. Постојат и некои формати кои сè уште не се стандардизирани, како на пример 21:9, кои се наметнуваат од дадени производители.

Денес се развиваат нови начини на пренос на видеосигналот. Таков е преносот HDTV (High Definition Television) – тоа е телевизија со висока резолуција.

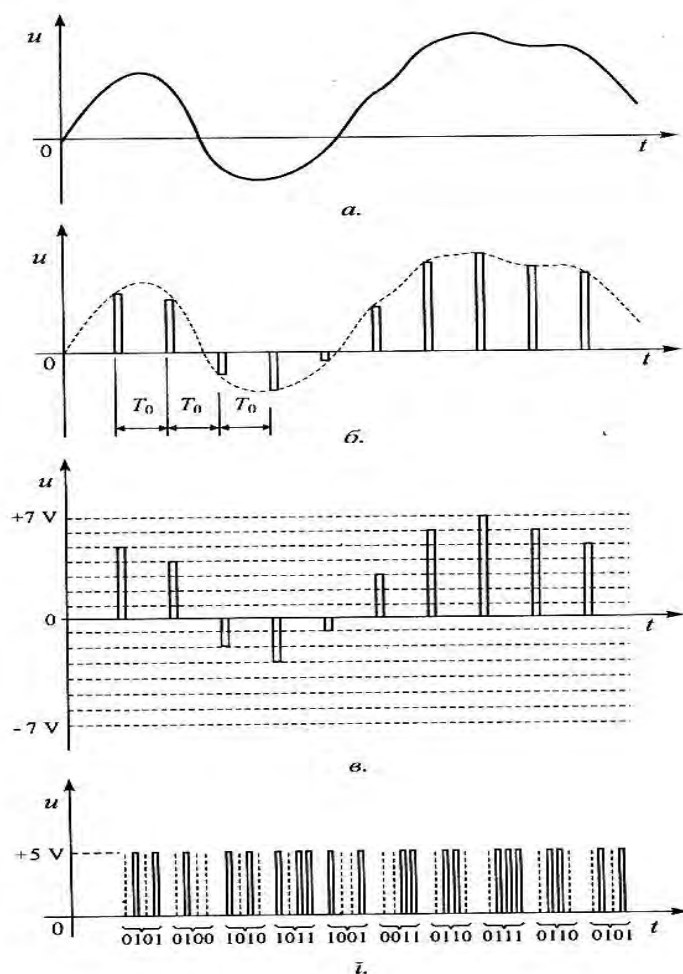
2.3.3 Пренос на податоци

Во преносот на податоци и во телеграфијата се пренесуваат информации како: напишан текст, цифри, симболи и др. Ваквите сигнали се дискретни и преносот е дискретен пренос. Во дискретниот пренос постои и едно добро решение. Наместо на секој симбол да одговара одредена амплитуда од сигналот, може да се работи со само две амплитуди на сигналот, под услов нивните комбинации во некој дефиниран временски интервал да ги претставуваат дадените симболи. Во таков случај се работи со конечни множества пораки, во кои секој член може да се нумерира и понатаму да се пренесуваат цифри. Овој пренос се нарекува дигитален пренос.

Дигиталниот пренос има предности во однос на аналогниот. Како во поглед на квалитетот, така и во поглед на флексибилноста и економичноста. Некои од особините на дигиталниот пренос се: единствен начин на пренос и регенерирање (обновување) на сигналите на различни пораки, единствен начин на комуницирање на дигитално ниво, можност за мултиплексирање и др. Имајќи ги предвид овие особини, јасно е дека трендовите во телекомуникациите се кон создавање и оптимизирање на интегрираниот дигитален телекомуникациски систем (локален, регионален и глобален) преку кој се пренесуваат сите видови на сигнали.

Карактеристиките на сигналите при пренос на податоци се: дигитализација на преносот, битската брзина и спектралната густина.

Обработката на аналогните сигнали, позната како А/Д **аналогна-дигитална конверзија** се состои од три фази: одбирање, квантизирање и кодирање. Постапката на А/Д конверзијата е дадена со примерот на сл. 2.14.



Сл. 2-14 Дигитализација на аналогни сигнали

На сл. 2.14 (а) е даден еден аналоген сигнал, на сл. 2.14 (б) е дадена постапката на одбирање, која се прави во согласност со теоремата на одбирање за која важи: ако континуираниот сигнал има спектар во опсегот на фреквенции од нула до f_m , тој сигнал е во потполност дефиниран со своите моментални вредности земени во еквидистантни точки со растојание $T = \frac{1}{2} f_m$.

На сл. 2-14 (в) е даден следниот чекор, квантизацијата. Тоа е постапка со која на амплитудите на импулсите им се даваат вредности од едно конечно множество на вредности; вредностите од примерот се од -7 V до $+7\text{ V}$.

Во постапката на кодирање, декадните броеви, кои се еквивалент на амплитудите на импулсите, се претвораат во бинарни броеви. Најзначајна е цифрата (првата од лево) од бинарниот број, која се користи за одредување на знакот: ако таа е нула, бројот е позитивен, а ако таа е единица, бројот е негативен. Останатите три цифри ја одредуваат апсолутната вредност на бројот.

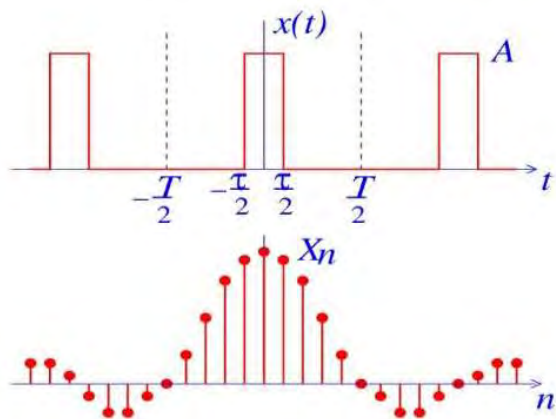
Битската брзина на податоците зависи од тоа каков систем за пренос се користи. Кај телефонскиот пренос, интензитетот на сигналот треба да биде таков што при преносот, апсолутното ниво на неговата средна моќност во референтната точка на сигналот да биде -10 dB . Тоа одговара на средната моќност на просечен говорник.

Спектралната густина на кодираниот сигнал, низа од импулси и паузи, е слична на спектарот на еден правоаголен импулс со амплитуда E и траење τ . Нулите на овој спектар се наоѓаат на фреквенција $f = 2\pi/\tau, 4\pi/\tau, \dots$, кои зависат од траењето τ на импулсот. Доколку ова траење е помало, спектарот е поширок.

Битската брзина R_b е бројно еднаква на фреквенцијата на која се наоѓа првата нула на спектарот:

$$f = 1/\tau = R_b \dots\dots\dots (2-3)$$

Спектарот од $0 - (2\pi/\tau)$, односно до првата нула, носи 90 % од енергијата на сигналот, но тоа не е доволен критериум за потребната ширина на пропусниот опсег на сигналот за пренос. Заради големата брзина на пренос на сигналите на податоци, потребен е поголем фреквенциски опсег за пренос.



Сл. 2-15 Спектар на периодична поворка на правоаголни импулси

Други карактеристики на дигиталниот пренос се: мал однос сигнал – шум, економичност, регенерација на сигналот, едноставно мултиплексирање, едноставна сигнализација, модерна технологија, интеграција на системите за пренос и комуникација, можност за надгледување и контрола, и др.

Дигиталните системи на пренос имаат и недостатоци: зголемена ширина на фреквенцискиот опсег, потреба од А/Д и Д/А конверзија, потреба за синхронизација, тополошка (географска) ограниченост на мултиплексирањето, која е причина за бавниот развој на дигиталните радиодифузни системи, некомпатибилност со постоечките аналогни системи.

Предностите на дигиталните телекомуникации особено се изразени во дигиталните мрежи.

РЕЗИМЕ:

- Според својата природа, пораките можат да бидат дискретни и континуирани пораки.
- Дискретни пораки се оние пораки кои се јавуваат во вид на низа од елементи (симболи) кои му припаѓаат на едно конечно множество од симболи. Такви се телеграфските сигнали и сигналите за пренос на податоци.
- Континуирани пораки се јавуваат како временски функции кои ги имаат сите вредности што се наоѓаат меѓу некои одредени граници. Тоа се пораки кои припаѓаат во едно неограничено континуирано множество.
- Сигналот е електричен еквивалент на пораката и може да биде и континуиран и дискретен.
- Детерминистички сигнали се оние сигнали кај кои постои точно одреден закон на промена. Тие се користат при мерења или за претставување на сложените сигнали.
- Случајни сигнали се оние сигнали кај кои не може однапред да се определи законот на промена на вредноста. Временските функции на случајните сигнали се познати во минатото, но непознати во иднината.
- Хармониците се сигнали со фреквенции ω_n кои се цел број пати поголеми од основната фреквенција ω_0 . Со помош на хармониците се врши анализа на случајните сигнали.
- Обработката на аналогните сигнали, позната како А/Д аналогна-дигитална конверзија се состои од три фази: одбирање, квантизирање и кодирање.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што е случаен сигнал?
2. Кои се детерминистички сигнали?
3. Што се добива со хармониската анализа на детерминистичките сигнали?
4. Каков е спектарот на апериодичните сигнали?
5. Што е динамика на говорот?
6. Каков е амплитудниот спектар на периодичните сигнали.
7. Кои се потребните фреквенциски опсеги за пренос на говор, музика и слика во телекомуникацискиот пренос?

Заокружи го точниот одговор на дадените прашања:

8. Кој од дадените сигнали е континуиран?
 - а. телефонски
 - б. Морзеов
 - в. бинарен
 - г. телеграфски
9. Кој од дадените сигнали не е случаен?
 - а. тест-сигнал
 - б. ТВ-сигнал
 - в. музички сигнал
 - г. говорен сигнал
10. Колкава е фреквенцијата на хармониците?
 - а. цел број пати поголема од основната фреквенција
 - б. континуирано поголема од основната фреквенција
 - в. многу поголема од основната фреквенција
 - г. цел број пати помала од основната фреквенција



Модуларна единица 3: Медиуми за пренос

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Различни видови медиуми за пренос
2. Системи за пренос

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Дефинираат преносен медиум
2. Разликуваат нискофреквенциски и високофреквенциски пренос
3. Познаваат карактеристики на електромагнетни бранови
4. Наведуваат бранови подрачја во електромагнетниот спектар
5. Разликуваат двојична и четирижична врска
6. Наведуваат системи за пренос по физички водови (симетрични, коаксијални водови и светловоди) и системи за пренос со електромагнетни бранови



3 МЕДИУМИ ЗА ПРЕНОС

Медиумите за пренос, или трансмисијски медиуми, претставуваат физичка врска помеѓу два телекомуникациски уреди по која се пренесуваат сигналите. Општо земено, медиумите за пренос ја претставуваат средината низ која се пренесуваат пораките и можат да бидат цврсти, течни или гасовити материјали. Медиумите за пренос во општиот модел на телекомуникацискиот систем ги поврзуваат предавателот и приемникот и ја сочинуваат линијата за врска.

3.1 ВИДОВИ МЕДИУМИ ЗА ПРЕНОС

Сигналот на излез од предавателот може да биде во вид на променлива електрична струја, светлина или електромагнетен бран, па во зависност од тоа, преносот може да се реализира преку различни медиуми, и тоа:

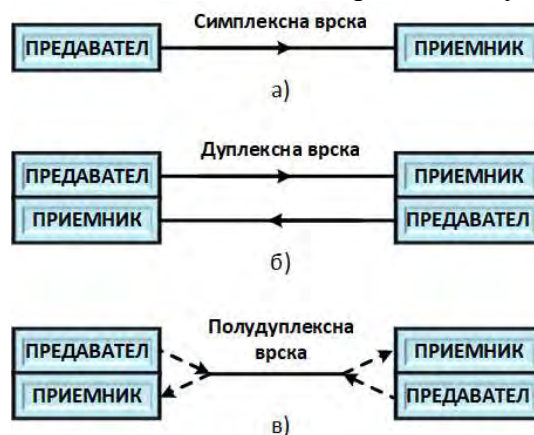
- впредени парици,
- коаксијални кабли,
- оптички влакна,
- телекомуникациски водови или
- преку безжичен медиум – етер

Според спектарот на сигналите кои се пренесуваат, медиумите може да се наменети за:

- нискофреквенциски пренос и
- високофреквенциски пренос.

Преносот, односно врскаста која се воспоставува помеѓу предавателот и приемникот може да биде:

- пренос само во една насока – **симплекс**;
- симултан пренос во две насоки – **дуплекс**;
- пренос во две насоки, но не во исто време – **полудуплекс**.



Сл. 3-1. Трансферните патишта се реализираат како:

(а) симплексна врска, (б) дуплексна врска, (в) полудуплексна врска

Симплексна, или еднонасочна врска, е врска кај која сигналот помеѓу две точки се пренесува во една насока. Тука еден уред секогаш е предавател, а другиот секогаш е приемник, при што приемникот и предавателот не ги менуваат местата. Најпознати примери за симплекс врска се врскаста во телевизијата и во радиодифузијата, кај кои еден предавател емитува програма за голем број приемници.

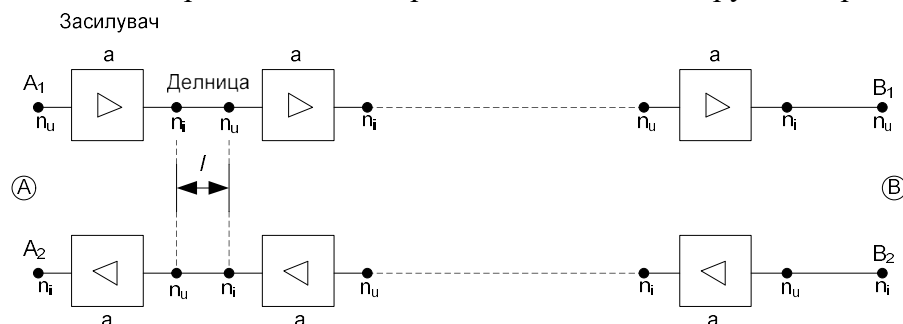
Полудуплексна (семидуплексна), или реверзибилна врска, е врска во која сигналот помеѓу две точки се пренесува во двете насоки, но не истовремено. Во еден временски интервал, едниот уред работи само како предавател, а во друг момент како приемник. Во следниот временски интервал, обратно, првиот уред работи како приемник, а другиот како предавател. Полудуплексната врска се користи во преносите со радиостаници кои ги користат полицијата и други специјални служби.

Дуплекс, или двонасочна врска, е врска каде што помеѓу две точки, пораките се пренесуваат истовремено во двете насоки. Најпознат пример за дуплексна врска е телефонскиот пренос, каде што истовремено се реализира предавање и прием на пораките.

3.1.1 Нискофреквенциски (НФ) пренос

Нискофреквенцискиот (НФ) пренос може да се реализира на два начина, како четирижичена и како двојичена НФ-врска.

Четирижичената дуплексна врска е систем за пренос во кој, според блок-шемата дадена на сл. 3-2, врската помеѓу точките А и В се реализира така што за пренос во насока А-В се користи еден електричен вод, а за пренос во насока В-А друг електричен вод.



Сл. 3-2. Блок-шема на четирижичена врска за НФ-врска

На сл. 3-2, електричниот вод е претставен со една линија, иако тој секогаш се состои од два електрични спроводника (две изолирани жици). Тука, системот A_1B_1 претставува една симплексна врска, а делот B_2A_2 друга симплексна врска. Дуплексната врска помеѓу точките А и В се реализира со четири електрични спроводници, од кои еден пар се користи за пренос во една насока, а друг пар за пренос во друга насока. НФ засилувачот (а) во овој пренос служи за да го засили НФ сигналот и да ги компензира слабеењата кои ги внесуваат водовите помеѓу двата засилувача.

Еден дел на водот со должина (l) се нарекува делница. Вообичаено се зема дека сите делници на една врска имаат еднаква должина, а засилувањето на засилувачите треба да е еднакво со слабеењето во делницата. Затоа и нивоата на сигналите на влезот на сите засилувачи (n_u) се еднакви, како што е прикажано на сликата. Исто така и нивоата на сигналот на излезот на засилувачот (n_i) се еднакви. Освен шумот кој е проблем во сите телекомуникациски врски, па и во четирижичените врски, кај овие врски постои и проблем на преслушување. Сите блокови и врски се наоѓаат блиску една до друга, така што дел од сигналот од еден вод „поминува“ во друг вод. Таа појава се нарекува **преслушување**. Тоа се манифестира така што додека корисниците на врската зборуваат во микрофонот, го слушаат својот глас во слушалката.

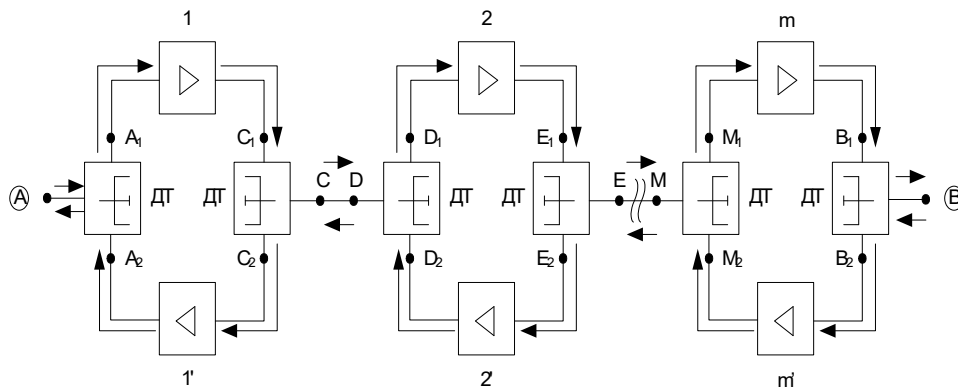
Двојичената дуплексна врска се реализира само преку еден електричен вод, односно преку еден пар спроводници. Проблем при реализацијата на оваа врска се засилувачите кои се несиметрични четириполи кај кои преносот е можен само во една насока. Проблемот се решава така што на местото каде што треба да се засили сигналот, двојичената врска поминува во четирижичена врска и така раздвоениот сообраќај од една во друга насока се засилува поодделно за секоја насока.

За поминување од двојичена во четирижичена врска и обратно, од четирижичена во двојичена, се користат посебни склопови кои се викаат разделници. Во НФ преносот, како разделници можат да се користат диференцијални трансформатори.

Блок-шема на двојичена НФ-врска е дадена на сл. 3-3, каде што преносот во насока А-В се реализира така што сигналот во точката А, преку диференцијалниот трансформатор (на сликата обележан со ДТ) се пренесува само во точката А₁, а не и во точката А₂. Кога сигналот се пренесува во насока В-А, сигналот се јавува во точката А₂, а не и во точката А₁. Со ваквото свртување на насоката на пренос, има загуба на моќноста на сигналот. Тие загуби се намалуваат со засилувањето во засилувачките станици.

Во практиката, диференцијалните трансформатори успешно ја вршат својата функција ако слабењето во пропусната насока не е помало од 3 dB, а во непропусната насока е 10 пати поголема (30 dB). Во практиката тоа значи дека сигналот во точката А₁ не смее да биде ослабен повеќе од 3 dB во однос на сигналот во точката А, а во точката А₂ мора да биде ослабен за повеќе од 30 dB.

Преносот од точката А во точката В се реализира: А-А₁ – засилувач 1 –С₁-С-D-D₁ – засилувач 2 –Е₁-Е-...-М-М₂ –засилувач m –В₁-В. Преносот во спротивната насока, В кон А, е спротивен од А кон В и е претставен со стрелки. На тој начин, со помош на диференцијални кола се реализира дуплексна врска со помош на еден електричен вод.



Сл. 3-3. Блок-шема на двојичена НФ-врска

Кога имаме двојичена дуплексна врска, главен проблем кој е поголем од проблемот на шум е можноста за појава на осцилирање. До осцилирање доаѓа ако помеѓу засилувачите во една станица за засилување, преку диференцијалните системи се јави „кружно засилување“ на сигналот.

Двојичената НФ-врска е поевтина од четирижичената НФ-врска, но е помалку квалитетна и се реализира на пократки растојанија. Во професионалните телекомуникации, НФ преносот се реализира по физички водови за пренос на еден сигнал (за една врска) или за истовремен пренос на повеќе сигнали со користење на временски мултиплекс.

3.1.2 Високофреквенциски (ВФ) пренос

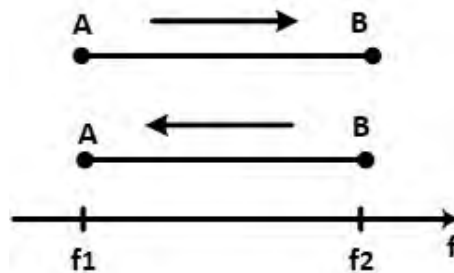
Главна предност на ВФ преносот е тоа што кај него може истовремено да се пренесат поголем број на информации преку ист преносен систем. Тој се реализира на два начина: по физички вод (телефонија и сл.) и со електромагнетни бранови (радио, телевизија, системи на радиоврска и сл.). Високофреквенцискиот жичен пренос се реализира на сличен начин како и НФ преносот, преку четирижичените и двојичените врски.

Четирижичената дуплексна врска е дадена на сл. 3-4, со блок-шема. За да биде сликата поедноставна, дадени се преносни патишта со две делници, но нивниот број вообичаено е многу поголем. Четирижичените врски најчесто се користат кај кабелските линии со голем капацитет.



Сл. 3-4. Блок-шема на четирижичена ВФ-врска со иста фреквенција на каналите во двете насоки

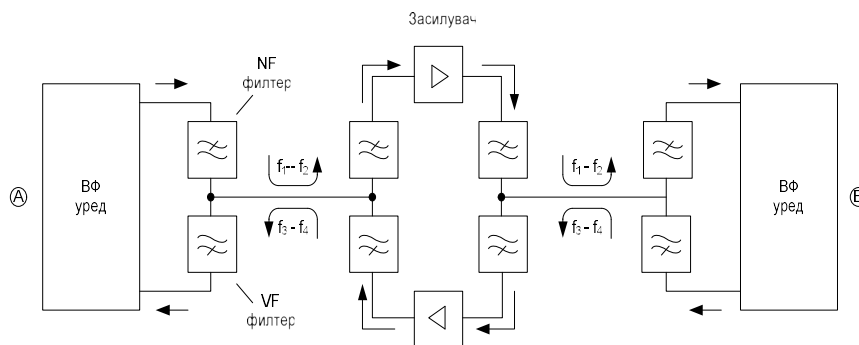
Преносот се реализира така што спектарот на сигналот кој се пренесува се транслира во канали чии гранични фреквенции се f_1 и f_2 и низ тој ист канал се пренесува во двете насоки. Бидејќи во двете насоки се пренесуваат сигнали во ист фреквенциски опсег, постои можност за преслушување помеѓу поодделни водови. За да се минимизира преслушувањето, како преносен пат се користат коаксијални кабли.



Сл.3-5. Фреквенциски план на четирижичена врска

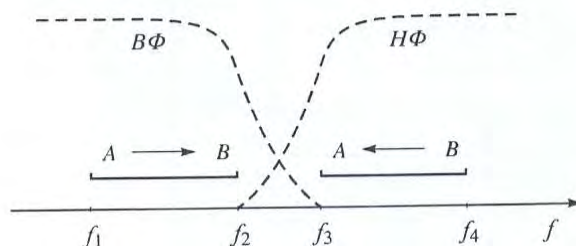
Добра страна на четирижичената врска е таа што во целост го искористува можниот фреквенциски линиски простор. Употребените уреди се поедноставни затоа што нема филтерски свртници за одвојување на насоките на пренос, што е карактеристично за ВФ системите со голем број канали и голем број засилувачки станици. Фреквенцискиот план за четирижичена врска е претставен на сл. 3-5.

Двожичена дуплексна врска е прикажана на сл. 3-6. Таа се реализира така што спектарот на сигналот кој се пренесува во насока А-В се транслира во канал со гранични фреквенции f_1 и f_2 , а спектарот на сигналот кој се пренесува во насока В-А – во канал чии гранични фреквенции се f_3 и f_4 . Насоките на пренос се разделуваат со помош на филтерски свртници.



Сл. 3-6. Блок-шема на двожичена ВФ-врска

Во ваквиот пренос можни се осцилации, но тие се многу помали отколку кај НФ преносот. Фреквенцискиот план на ВФ двојичена дуплексна врска дадена е на сл. 3-7.



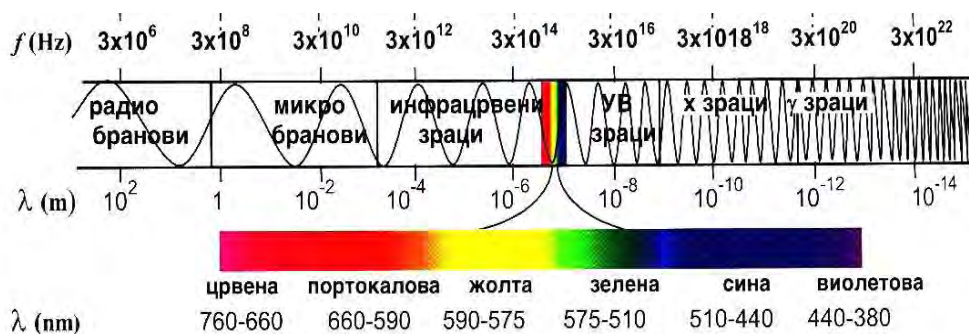
Сл. 3-7. Карактеристика на слабеење на НФ и ВФ дел на филтерските секции

На сликата, со испрекината линија се дадени кривите на слабеење на нискофреквенцискиот и високофреквенцискиот дел на филтерските свртници. Заради карактеристиката на слабеењето на фреквенциската свртница се јавува губење на еден дел од фреквенцискиот опсег (од f_2 до f_3), што претставува недостаток на овој вид на пренос.

3.1.3 Електромагнетни бранови

Познато е дека во просторот околу наелектризираните полнежи и тела постои електрично поле, а во просторот околу спроводник низ кој тече електрична струја постои магнетно поле. Од друга страна, според законот за електромагнетна индукција, ако некој спроводник се наоѓа во променливо магнетно поле, тогаш на неговите краеве се индуцира напон. Општ заклучок е дека електричните и магнетните појави се меѓусебно поврзани, т. е. електричните струи и променливите електрични полиња создаваат магнетни полиња, а променливите магнетни полиња индуцираат електрични полиња. Електромагнетните бранови претставуваат посебен вид на временски променливо електромагнетно поле кое ширејќи се низ просторот овозможува пренос на енергија. Ако низ спроводникот тече временски променлива простопериодична електрична струја со одредена фреквенција f , тогаш и електромагнетното поле ќе биде променливо според синусен закон со иста фреквенција f како и струјата која тече низ спроводникот. Ова временски променливо електромагнетно поле се шири во просторот во облик на електромагнетен бран. Брзината на ширење на електромагнетните бранови во вакуум изнесува $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Други карактеристики на електромагнетните бранови се фреквенцијата на осцилирање f [Hz] и брановата должина λ [m]. Врската помеѓу овие три основни карактеристики на електромагнетните бранови е дадена со релацијата $c = \lambda \cdot f$.

Електромагнетен спектар претставува поделба на ЕМБ според нивната бранова должина и фреквенции. Оваа поделба е прикажана на сл. 3-8.



Сл. 3-8. Електромагнетен спектар

Спектарот на електромагнетни бранови е составен од:

Радиобранови – тоа се електромагнетни бранови со најдолга бранова должина. Нивната бранова должина е помеѓу 3 km и 30 cm. Голем број уреди што не опкружуваат ги користат радиобрановите.

Микробранови – имаат бранова должина од ред на големина на сантиметри. Освен кај микробрановите печки, овие бранови се користат и кај радарот. Радарот создава слика преку рефлексија на микробранови од даден објект. Микробрановите се добри за пренос на информации од едно место на друго, како телефонски разговори, компјутерски податоци и слично, бидејќи не ја губат енергијата при надворешни атмосферски влијанија. Затоа, тие се користат во астрономијата и метеорологијата за набљудување на Земјата од сателитите.

Инфрацрвено зрачење – се користи за инфрацрвена фотографија и за медицинска терапија. Човекот емитура инфрацрвено зрачење со бранова должина од околу 10 μm .

Видливото електромагнетно зрачење – најважно подрачје од електромагнетниот спектар затоа што човековото око е осетливо само на тој дел од спектарот. Опсегот на бранови должини на видливата светлина е од 400 nm до 770 nm.

Ултравиолетова светлина – човечкото око не ги гледа овие бранови. За време на сончевите бури, Сонцето емитура поголеми количества такво зрачење. Најголем дел од ова зрачење се апсорбира во атмосферата.

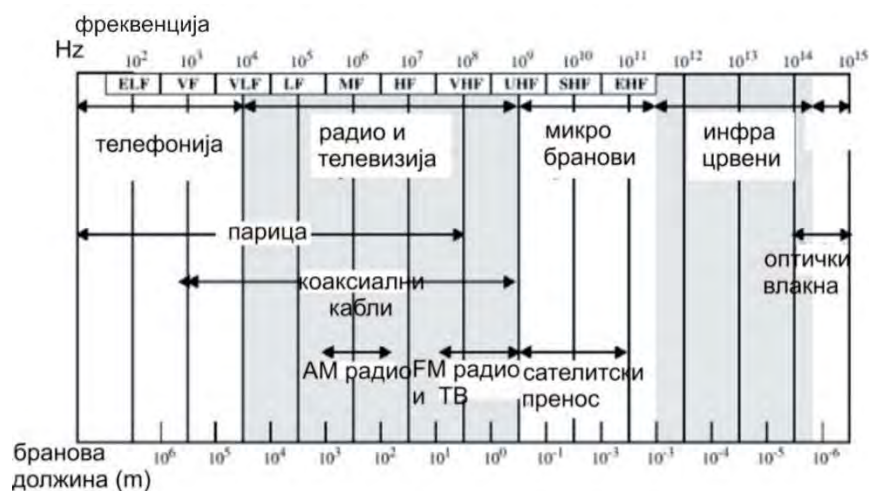
X (рендген) зрачење – најголема примена има во медицината. За научни цели се користат методите на рендген-дифракцијата. Наоѓаат примена и во индустријата. Многу тела во вселената зрачат рендгенски зраци.

При простирањето на брановите низ воздухот важат истите закони на простирање како при простирањето на секој бран: рефлексија, рефракција, интерференција и др. Карактеристиките на радиобрановите зависат од фреквенцијата. Кога имаат ниски фреквенции тие поминуваат низ пречките, но нивната моќност опаѓа со зголемувањето на растојанието. За високи фреквенции можат да се простираат по права линија или да се одбиваат од пречките, да се апсорбираат и сл. На сите фреквенции тие се подложни на интерференции од уреди и друга електрична опрема.

Во зависност од особините, електромагнетните бранови се делат на бранови подрачја. Различните бранови подрачја имаат примена во различни преносни системи.

Опсегот 30 MHz–1 GHz е радиоопсег и се користи: за AM/FM радио, UHF и VHF телевизија и инфрацрвени зраци. Опсегот на фреквенции од 2 GHz–40 GHz се користи за пренос на микробранови, насочени бранови, за пренос од точка до точка, сателитски врски и сл.

Спектарот на електромагнетни бранови што се користи во телекомуникациите, според нивните фреквенции, бранови подрачја, местото на користење и медиумот за пренос што се користи во даденото подрачје, може да се претстави со шематски приказ како на Сл. 3-9.



Сл. 3-9. Користење на фреквенциските подрачја

3.2 СИСТЕМИ ЗА ПРЕНОС

Преносот на пораките, односно информациите се врши со системи за пренос, или **преносни системи**, кои може да бидат организирани како жичени преносни системи или како безжични преносни системи. *Жичени преносни системи* имаме кога за пренос на пораките се користат телекомуникациски водови. Кај *безжичните преносни системи* пораките се пренесуваат во форма на **електромагнетни бранови**.

Телекомуникациските водови се насочени медиуми за пренос. Тие можат да бидат жичени, кои носат електричен сигнал, и оптички, кои носат светлосни сигнали.

Безжичните медиуми се ненасочени медиуми за пренос. Тие имаат голема примена како линија за врска, односно како медиум за пренос во телекомуникациските системи. Во основата на безжичните комуникации е користењето на електромагнетните бранови (ЕМБ) како носители на информациите. Во тој систем постои *предавател* – почеток на комуникацискиот пат и *приемник* – крај на комуникацискиот пат. Помеѓу нив има воздушен простор, атмосфера или вода низ која се простираат брановите. Кај **безжичниот пренос** на електричните предаватели и приемници потребно е да се вградат антени. Предавателните антени зрачат електромагнетни бранови во атмосферата, а приемните антени ги примаат и ги претвораат во електрична струја која ја предаваат на приемникот и од нив се добива пораката.

Денес пораките и информациите се пренесуваат со комбинации на двата вида системи за пренос. Комбинациите на системите зависат од повеќе фактори: глобализацијата на светот, огромниот пораст на количеството информации, потребата од голема брзина на пренос, потребата од интеграција на повеќе видови сервери, потребата за интернационални мрежи и сл.

3.2.1 Системи за пренос по физички водови

Системите за пренос по физички водови се реализираат преку: симетрични бакарни парици, коаксијални парици или оптичко влакно.



Сл. 3-10. Видови на бакарни парици

Најшироко користени насочени медиуми за пренос се две впредени и изолирани бакарни жици кои се наречени **симетрични бакарни парици**. Со нивното преплетување се намалуваат преслушувањата во медиумот. Тие воедно се и најевтините медиуми за пренос. Дијаметарот на жицата е 0,4 – 0,9 mm. За реализација на врски на големи растојанија се групираат повеќе бакарни парици во кабли кои некогаш имаат и по 100-ци парици во конструкцијата. На Сл. 3-10 се прикажани различни видови на бакарни парици. Повеќе симетрични бакарни парици се спојуваат во **телекомуникациски кабел**.

Симетричните бакарни парици имаат широка примена за пренос на аналогните и дигиталните сигнали. Тие се користат во телефонијата како: претплатнички јамки (до централата), комутации во згради (приватни центри) и сл. Со користење на модеми за дигитални претплатнички линии (DSL), преку бакарните парици можат да се пренесуваат и дигитални сигнали со брзина од неколку Mbps (ADSL 8 Mbps, ADSL2+ 24 Mbps, VDSL 52 Mbps). Во компјутерските мрежи, по впредени бакарни парици се пренесуваат податоци со брзина од 100 Mbps до 10 Gbps.

За добри преносни карактеристики на симетричните бакарни парици во аналогниот пренос потребно е употреба на засилувачи на секои 5 до 6 km. Во дигиталниот пренос потребни се регенераторски станици на секои 2 до 3 km. При преносот со париците има ограничено растојание на пренос, ограничен пропусен опсег (1 MHz), ограничена податочна брзина, подолжна интерференција и шум. За да се подобрат преносните карактеристики на париците, тие се преплетуваат во спирала и се додаваат заштитни обвивки.

Коаксијален кабел (сл. 3-11) е насочен медиум за пренос кој се состои од два концентрично поставени спроводника. Надворешниот спроводник е со облик на шуплив цилиндар во чија внатрешност е поставен изолиран централен спроводник.



Сл. 3-11. Коаксијален кабел

Во зависност од намената, коаксијалните кабли може да имаат дополнителни заштитни слоеви. Дијаметарот на овие кабли најчесто е 1- 2,5 cm. Коаксијалните кабли се применуваат за пренос на поширок фреквенциски опсег, за поголеми растојанија и за пренос на повеќе станици во една линија.

Коаксијалните кабли имаат широка примена. Се користат за дистрибуција на телевизиски сигнали во кабелската телевизија, во телефонијата за пренос на сигналите на големи растојанија, за пренос на голем број разговори низ еден кабел (10 000 разговори низ еден канал), кратки компјутерски врски, локални компјутерски мрежи. За пренос на аналогни сигнали се користат коаксијални кабли со карактеристична импеданса 75Ω , а за пренос на дигитални сигнали, коаксијални кабли со карактеристична импеданса 50Ω .

Нивните преносни карактеристики се: поголеми фреквенции, поголема податочна брзина, помалку се подложни на интерференции и преслушувања. Кај коаксијалните кабли, ограничени се слабеењата, термалниот шум и интермодулациските шумови.

При пренос на сигнали по должината на коаксијалните кабли се поставуваат засилувачи на растојанија од неколку километри и регенераторски станици на секој километар.

Оптичките влакна или светловодите се насочени медиуми за пренос каде што сигналите се пренесуваат во светлосен облик. Низ оптичките влакна се пренесуваат светлински импулси, како бит 1 или бит 0. Оптичките влакна се изработени од стакло или пластика. Најдобри се кога се изработени од ултрачист силициум

Повеќе оптички влакна се спојуваат во **оптички кабел** (сл. 3-12).



Сл. 3-12. Оптички кабел

Оптичките кабли имаат широка примена заради нивните карактеристики: мали димензии, мала тежина, голем информативен капацитет, голема податочна брзина од 100-тици Gbps, мали слабеења, големи растојанија помеѓу повторувачите до 10-тици километри. Тие се користат во локалните компјутерски мрежи, за пренос на долги растојанија во воени цели и др.

Светловодите ја користат појавата на внатрешна тотална рефлексија за пренос на светлината. На влезот на оптичкото влакно има некој фотопретворувач кој сигналот го претвора во светлина. Тоа може да бидат LED (Light Emitting Diode) диоди кои се поевтини, со поширок пропусен опсег на работната температура и подолго време на користење или ILD (Injection Laser Diode) диоди, кои се поефикасни и се со поголема податочна брзина.

3.2.2 Мрежи кај фиксни преносни системи

Со фиксен, насочен пренос се пренесуваат пораките во фиксната телефонија, кабелската телевизија, интернетот. Телекомуникациската линија во системите е збир на водови кои се во иста насока. Телекомуникациските линии формираат телекомуникациска мрежа. Телекомуникациската мрежа е збир на сите телекомуникациски линии и уреди на одредена територија. Целиот пренос се реализира со **организирани мрежи** на пренос.

Постојат повеќе поделби на мрежите, во зависност од: примената, величината, видот на водовите, бројот на линиите, подрачјето што го покриваат, природата на сигналите, топологијата на елементите и др.

Според подрачјето што го покриваат и пакетите за пренос, мрежите се делат на:

- LAN (Local Area Network) локална мрежа;
- MAN (Metropolitan Area Network) е мрежа што покрива пошироко подрачје на едно место или „метропола“;
- WAN (Wide Area Network) широка мрежа.

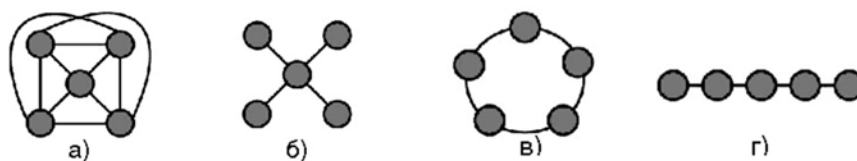
Според природата на сигналите кои се пренесуваат, мрежите можат да бидат:

- аналогни мрежи и
- дигитални мрежи.

Според топологијата или распоредот на елементите, мрежите можат да бидат:

- целосно врзани мрежи;
- ѕвезда-мрежи;
- прстен-мрежи;
- каскадни мрежи;

На сл. 3-13 се дадени некои мрежи во зависност од топологијата, т. е. распоредот на елементите:



Сл. 3-13. Распоред на елементите во мрежата

(а) целосно врзани, (б) звезда, (в) прстен, (г) каскадна врска

3.2.3 Системи за пренос со електромагнетни бранови (Безжични преносни системи)

Системи за пренос со електромагнетни бранови се радиодифузијата или радиоврските (R) и радиорелејните врски (RR). Радиоврските се карактеризираат со тоа што има еден предавател и многу корисници во исто време, со можност за движење. Радиорелејните врски обезбедуваат безжичен пренос на информации помеѓу две фиксни точки на површината на земјата, со користење на повеќе примопредаватели, зависно од растојанието помеѓу точките кои сакаме да ги поврземе.

Радиопреносот се реализира како пренос на говор во мобилната телефонија, пренос на пораки и музика во радиодифузниот пренос, пренос на слика во класичната телевизија и во сателитската телевизија.

Посебен вид на безжичен пренос е **преносот со инфрацрвена светлина**. Со овој ненасочен медиум за пренос се пренесуваат информации во мрежи кои се на видливо растојание. Се користат инфрацрвените бранови кои не минуваат низ ѕидови, се пренесуваат директно или преку рефлексија. Типична употреба е кај телевизиските далечински управувачи и кај оптичка безжична комуникација (OWC Optical Wireless Communications) за поврзување на згради.

Bluetooth е технологија на безжичен пренос помеѓу уреди кои во себе имаат вградено Bluetooth примопредаватели (мобилни телефони, лаптоп компјутери, десктоп компјутери, дигитални фотоапарати, камери и сл.). Преносот на податоци преку Bluetooth може да се реализира на мали растојанија до 100 m. Bluetooth примопредавателите се со мала моќност (до 100 mW), што значи дека имаат многу мала потрошувачка на енергија. Тие работат во фреквенциски опсег од 2,4 GHz.

3.2.4 Антенски системи

Кај **безжичниот пренос** на електричните предаватели и приемници, потребно е да се вградат антени. **Аntenите** се електрични уреди со кои се собира или се зрачи електромагнетна енергија. Тие се поставени на излезот од предавателот или на влезот од приемникот. Според местото на поставеност, антените во безжичниот пренос можат да бидат: **предавателна и приемна антена**. Доколку истата антена се користи како предавателна и како приемна, за таквата антена велеме дека е **примопредавателна**. Предавателната антена врши претворање на електричен сигнал во електромагнетен бран. Приемната антена врши претворање на електромагнетен бран во електричен сигнал.

На сл. 3-14 се прикажани неколку различни типови на антени.



Сл. 3-14. Антени: (а) јаги телевизиска антена, (б) сателитска антена

Аntenите можат да се разликуваат според брановото подрачје на кое работат, конструкцијата и местото на употреба. Според брановото подрачје, тие можат да бидат телевизиски антени, антени за УКБ бранови, антени за сателитски пренос, радиоантени и др. Во зависност од конструкцијата има повеќе типови на антени: дипол-антена, јаги-антена, сателитски антени.

За да се зголеми растојанието на пренос, кое кај класичните системи вообичаено е 60 – 250 km, се користат **сателитските системи**. Појавата на вештачките сателити отвори нова можност за зголемување на растојанието на пренос. Типична употреба на сателитскиот пренос е во телевизијата, телефонијата, за бизнис мрежи, глобално позиционирање, интернет и сл.

Сателитите се примопредаватели. Тие ги примаат сигналите со една фреквенција, ги засилуваат и повторно ги враќаат назад, но со друга фреквенција. Сателитите се наоѓаат во геостационарна орбита на околу 36 000 km над Земјата. Сателитскиот пренос нема потреба од повторувачи на самата линија на видливост. Користи параболични антени за фокусирање на снопот, повисоки фреквенции во опсези: 4 GHz, 6 GHz, 11 GHz, 12 GHz, 22 GHz. Користи појдовен линк (uplink) на 14 GHz и емитува сигнал кон корисниците кој се нарекува дојдовен или надолен линк (downlink) на 12 GHz.

На сл. 3-15 е даден приказ на сателитски пренос.

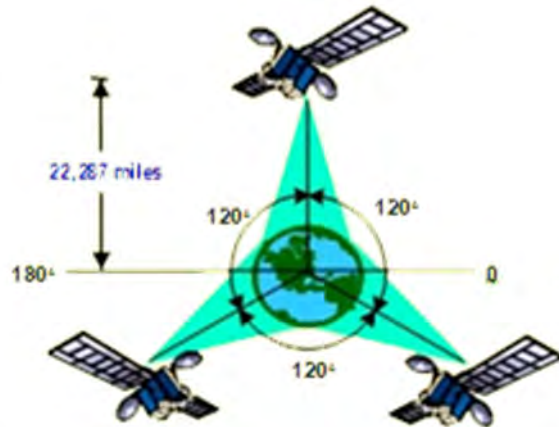


Сл. 3-15. Сателитски пренос

Бидејќи Земјата има форма на топка, а електромагнетните бранови се простираат праволиниски, преносот на некоја информација по безжичен пат, од едната хемисфера до другата е можно да се оствари со примена на телекомуникациски геостационарни сателити. Проблемот на покривање на целата Земја се решава со најмалку 3 сателити кои се во меѓусебна комуникација. Тие си ја предаваат информацијата еден на друг и ја дистрибуираат секој во својот просторен домен на површината на Земјата.

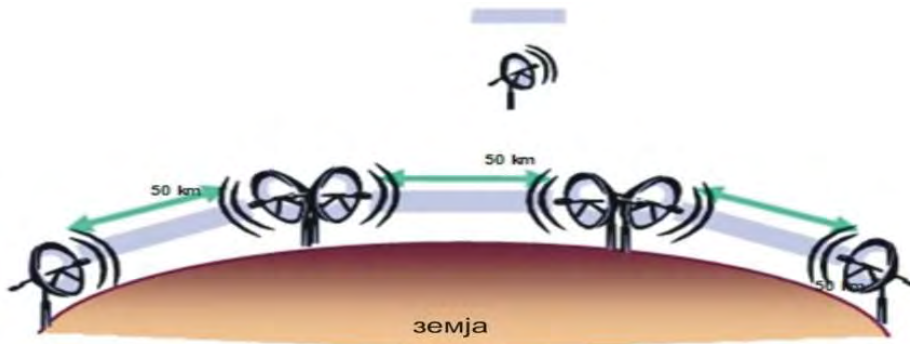
Предавателните антени се наоѓаат на вештачкиот сателит, со што нивното поле на зрачење многу се зголемува.

На сл. 3-16 е прикажано како со три геостационарни сателити се покрива целата површина на Земјата. Тоа е еден вид на радиодифузен пренос. Три сателити го покриваат просторот на целата земја со пораки како телевизиски, радиопрограми и др.



Сл. 3-16. Три геостационарни сателити

Радиорелејните врски обезбедуваат поврзување на две фиксни точки на површината на земјата со користење на електромагнетни бранови. Тие се замена на фиксните комуникациски линкови реализирани со помош на телекомуникациски водови. Тоа се реализира со повеќе примопредаватели кои се наоѓаат на одредено растојание. Ова растојание зависи од изборот на антените и вообичаено изнесува од десетина километри до 50 km.



Сл. 3-17. Радиорелеен пренос

Ваквата радиорелејна врска се нарекува микробранова врска, затоа што се реализира со микробранови чија фреквенција е во опсег од 2 до 23 GHz. На сл. 3-17 даден е радиорелеен пренос на станици на растојание од 50 km.

Мобилната телефонија претставува софистициран двонасочен радиорелеен пренос. Принципот на мобилната телефонија се состои во тоа што една територија, место, град или држава се дели на ќелии (cells), па оттаму и популарното име за мобилните телефони во САД (cell phones). Областа се дели на ќелии со форма на правилни шестоаголници. Во секоја ќелија има базна станица која се состои од антенска кула и електронска опрема. Во еден голем град може да има и стотина базни станици. Сите ќелии се во комуникација со централата на провајдерот. Повикот од мобилните телефони користи соодветно избрана носечка фреквенција и него го прима најблиската базна станица и го насочува кон централата и корисникот.

Организацијата на преносот во мобилната телефонија е дадена на сл. 3-18, системот се состои од: BTS (Base Transceiver Station) базни станици и BSC (Base Station Controller) контрола на базните станици. Каде што MSC (Mobile Station Controller) претставува интерфејс помеѓу мобилната мрежа и фиксната мрежа PSTN (Public Switched Telephone Network).



Сл. 3-18. Организација на пренос во мобилна телефонија

Мобилниот телефон работи како двонасочно радио: едновремено работи и како приемник и како предавател. За разлика од воки-токи или обичните радиостаници, каде што за двете насоки се користи само една иста фреквенција, мобилните телефони едновремено користат две фреквенции: една за зборување, а друга за слушање, што значи дека двата корисника можат да зборуваат во исто време.

РЕЗИМЕ:

- Медиум за пренос или трансмисиjsки медиум е физичка врска помеѓу два телекомуникациски уреда по кои се пренесува сигнал. Тие можат да бидат телекомуникациски водови (бакарни или оптички) или воздух низ кој се простираат електромагнетни бранови.
- Во зависност од фреквенциите на сигналите кои се пренесуваат, преносот може да биде нискофреквенциски и високофреквенциски. НФ преносот е пренос во основниот физички опсег на фреквенции каде што спектарот на сигналот е ист како и на сигналот добиен на излезот од претворувачот. ВФ пренос се реализира со користење на фреквенциски мултиплекс, со што се овозможува истовремен пренос на поголем број информации преку ист преносен систем. ВФ пренос може да биде четирижичена врска или двојжичена врска.
- **Двојжичената дуплексна врска** се реализира само преку еден електричен вод, односно преку еден пар спроводници.
- **Четирижичената дуплексна врска** е систем за пренос, во кој врската помеѓу две точки А и В се реализира така што за пренос во насока од А кон В се користи еден електричен вод (еден пар спроводници), а за пренос во спротивната насока од В кон А се користи друг електричен вод (друг пар спроводници).
- Најшироко користени насочени медиуми за пренос се две изолирани впредени бакарни жици кои се наречени симетрична бакарна парица.
- Коаксијалните парици се насочени медиуми за пренос кои се состојат од два концентрично поставени спроводници. Надворешниот спроводник е со облик на шуплив цилиндар и во неговата внатрешност се поставува изолиран централен спроводник.
- Повеќе парици под заеднички заштитни и изолациски слоеви формираат телекомуникациски кабел.
- Оптичките водови или светловодите се медиум за пренос каде што информациите се пренесуваат со помош на светлина. Нивни добри карактеристики се малите димензии, мала тежина, голем информациски капацитет, голема податочна брзина, мало слабеење и сл.
- Безжичниот пренос се реализира со помош на електромагнетни бранови. Електромагнетните бранови може да се поделат во различни подрачја како: долги, средни, кратки и ултракратки. Во зависност од фреквенциските подрачја, имаат различна примена.
- Фиксни преносни системи можат да се реализираат со организирани мрежи на пренос. Такви се: LAN (Local Area Network) локална мрежа, или широко подрачје, WAN (Wide Area Network), додека мрежата MAN (Metropolitan Area Network) е мрежа што покрива пошироко подрачје од LAN, но потесно од WAN.
- Преносот со електромагнетни бранови се реализира и со сателитски пренос. Користи параболични антени за фокусирање на снопот, повисоки фреквенции во опсези: 4 GHz, 6 GHz, 11 GHz, 12 GHz, 22 GHz. Користи појдовен линк (uplink) на 14 GHz и емитува сигнал кон корисниците кој се нарекува дојдовен или надолен линк (downlink) од 12 GHz.



Модуларна единица 4: Жичени телекомуникациски водови

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Симетрични жичени телекомуникациски водови
2. Коаксијални кабли

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Наведуваат параметри на жичени телекомуникациски водови
2. Објаснуваат градба на жичени телекомуникациски водови
3. Користат основни алатки за работа жичени телекомуникациски водови
4. Наведуваат параметри на коаксијални кабли
5. Објаснуваат градба на коаксијални кабли
6. Користат основни алатки за работа коаксијални кабли



4 ЖИЧЕНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ

Телекомуникациски вод претставува физички медиум кој служи за пренос на информации со помош на електромагнетни бранови. Современиот развој на телекомуникациските мрежи условил цела низа телекомуникациски водови со различни карактеристики.

4.1 ВИДОВИ НА ЖИЧЕНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ

Жичените телекомуникациски водови (скратено жичени ТК-водови) можат да се поделат според повеќе основи. Една од основните поделби е според нивната конструкција. Денес се користат главно следните конструкции на жичени ТК-водови:

- симетрични кабелски водови прикажани на сл. 4-1(а)
- несиметрични кабелски водови (коаксијални водови) прикажани на сл. 4-1(б)



Слика 4-1 Жичени ТК водови: (а) симетричен; (б) коаксијален

Според заштитата од можен допир, влага или надворешни влијанија, се разликуваат следните видови на телекомуникациски водови:

- голи водови (потполно незаштитени),
- изолирани водови (заштитени само од допир) и
- кабелски водови (заштитени од сите влијанија).

Векот на траење на голите водови е најмал, 5 години, додека кај кабелските водови е најголем, 30 години.

Според бројот на жиците што се користат за пренос на сигналите, жичените ТК-водови се делат на:

- едножичени водови,
- двојжичени водови и
- повеќежичени водови.

Денес, едножичените водови се користат многу ретко (кај домофоните). Најчесто се употребуваат двојжичените водови (во телефонијата) и четирижичените водови (за пренос на податоци), додека за некои специјални цели се користат и шестжичени и осумжичени водови.

Според ширината на фреквенциското подрачје кое може да го пренесуваат, ТК-водовите се делат на:

- теснопојасни и
- широкопојасни.

Треба да се прави разлика помеѓу ТК-водовите и енергетските водови. Двата типа на водови пренесуваат електрични сигнали со помош на бакарни спроводници. Разликата е во фреквенцијата на сигналот што го пренесуваат и во моќноста на сигналот. Енергетските водови пренесуваат електрични сигнали со мали фреквенции, најчесто 50 Hz и големи моќности. ТК-водовите пренесуваат електрични сигнали со мали моќности од редот на десетина mW и високи фреквенции од редот на GHz.

Повеќе водови, споени и изолирани, прават кабел.

4.2 ЕЛЕКТРИЧНИ ПАРАМЕТРИ НА ТК-ВОД

Примената на телекомуникациските водови е условена од нивните особини или параметри. Особините на водовите зависат од геометриските димензии на спроводникот (должина и површина на напречен пресек), како и од карактеристиките на материјалот од кој е изработен спроводникот и неговата изолација. На пример, две симетрични парици кои се направени од ист материјал и имаат иста изолација нема да се однесуваат исто при преносот на сигналот ако имаат различни напречни пресеци. Надолжните карактеристики се менуваат, особено кај симетричните водови. Изборот на водот што ќе се користи зависи од тоа кои сигнали со него треба да се пренесат. Врз основа на овие фактори се избираат водови чиј однос цена – квалитет е прифатлива.

Една хомогена линија за пренос каква што е ТК-водот има свои електрични параметри. Електричните параметри на ТК-водот се воедно неговите примарни параметри. Примарни параметри се:

- надолжна отпорност,
- надолжна спроводливост,
- надолжна индуктивност и
- надолжна капацитивност на водот.

Секундарни параметри на ТК-водот се добиваат од примарните параметри и зависат од нив. Секундарни, изведени параметри на водот се:

- карактеристична импеданса,
- константа на простирање на водот и
- брзина на пренос.

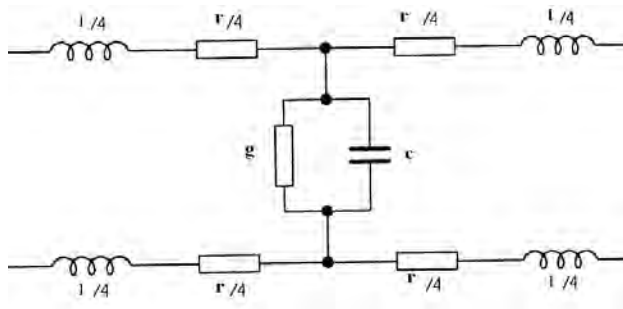
Примарните параметри ги дефинираат електричните карактеристики на одреден двожилен вод, а секундарните параметри ги дефинираат карактеристиките на пренос низ целата линија.

Еден двожилен вод може шематски да се претстави како четирипол. Така разгледувајќи го водот, за него важат сите карактеристики кои важи за секој четирипол.

4.2.1 Примарни параметри

Секој хомоген жичен вод може да се претстави преку своите примарни параметри за пренос. Жичениот вод е **хомоген** ако по целата своја должина подеднакво ја пренесува електричната енергија.

Еден хомоген жичен вод може да се претстави со еквивалентна шема на систем за пренос на сигнали и е даден на сл. 4-2. На сликата се гледа дека водот е претставен како четириполен, со два пара полови на влезот и два пара полови на излезот.



Сл. 4-2. Еквивалентна шема на вод

Во еквивалентната шема, секој километар на водот може да се претстави со едно едноставно електрично коло составено од елементи кои ги викаме примарни параметри на водот. Примарни параметри на водот се:

- r – надолжна отпорност на водот (Ω/km);
- l – надолжна индуктивност на водот (H/km);
- c – надолжна капацитивност на водот (F/km);
- g – надолжна спроводливост на изолацијата на водот (S/km);

Првите два параметри r и l зависат од карактеристиките на спроводникот на водот. Параметарот g зависи од карактеристиките на изолацијата на спроводникот, а c зависи од карактеристиките на спроводникот и од карактеристиките на изолацијата. Од надолжните параметри на водот може да ги добиеме вкупните вредности на секој параметар долж хомогениот вод, ако примарните параметри ги помножимо со должината на водот.

Надолжната отпорност на водот r (Ω/km) покажува колкава електрична енергија се претвора во топлинска енергија кога низ спроводникот со должина од 1 km тече телекомуникациски сигнал; тоа за сигналот е загуба на енергија. Овој параметар најмногу зависи од материјалот и од геометриските димензии на спроводникот, температурата на средината во која е водот, но и од карактеристиките на сигналот кој се пренесува. Вкупната отпорност на жица со должина l , површина на напречниот пресек s и специфична отпорност на материјалот од кој е изработена ρ се пресметува според следната равенка:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{s} \dots\dots\dots (4-1)$$

Од равенката се гледа дека отпорноста на жицата ќе биде мала ако специфичната отпорност на материјалот од кој е изработена е помала – затоа се користи бакар (кој има мала специфична електрична отпорност) – и ако напречниот пресек на спроводникот е голем. На зголемувањето на отпорноста влијае и должината на жицата, така што отпорноста се зголемува со зголемување на должината. За да се пресмета надолжната отпорност на жицата, вкупната отпорност треба да се подели со должината на жицата.

$$r = \frac{R}{l} = \frac{\rho \cdot l}{l \cdot s} = \frac{\rho}{s} \dots\dots\dots (4-2)$$

Надолжната отпорност на жицата не зависи од должината на водот, така што оваа карактеристика е идеална за споредување на квалитетот на спроводниците во однос на отпорноста.

Водовите не се однесуваат подеднакво ако низ нив протекуваат различни сигнали. Однесувањето на водот при простирање на сигнали со различни фреквенции е многу различно. При пренос на еднонасочна струја, густината на струјата е рамномерно распоредена по целата површина на пресекот на спроводникот, додека при пренос на наизменична струја, густината на струјата се намалува во центарот на спроводникот, а истовремено се зголемува по површината на спроводникот (т. н. скин ефект – површински ефект кој сè повеќе се изразува кога струите се со повисоки фреквенции). Со тоа се намалува површината на напречниот пресек на кој струјата има влијание и се јавува загревање на надворешниот дел на водот. Заради ова, со зголемување на фреквенцијата на струјата која ја пренесуваме низ водот, се зголемува надолжната отпорност.

На надолжната отпорност исто така влијае и бројот на блиските спроводници, затоа што индуцирањето струја на преслушување ја зголемува температурата на спроводникот.

Сите овие влијанија што ги споменавме можат да се претстават со формула и тие секогаш се земаат предвид при проектирањето на водот. Тие формули се сложени и се применуваат при поконкретни пресметки. Да нагласиме дека надолжната отпорност на водот е од редот на величини стотина Ω/km .

Надолжната индуктивност на водот l (H/km) дава информација колкав дел од електричната енергија која ја носи телекомуникациски сигнал во вод со должина од 1 km ќе се претвори во електромагнетно поле кое се пренесува на околината. Овој параметар зависи од магнетните особини на материјалот од кој е изработен спроводникот, од неговите геометриски димензии, од меѓусебната положба на спроводниците во кабелот, како и од видот на сигналот кој се пренесува. Надолжната индуктивност зависи правопрпорционално од магнетната пермеабилност на материјалот (μ), од површината на напречниот пресек на спроводникот (s) и од растојанието помеѓу спроводниците (d). Надолжната индуктивност се зголемува со пораст на фреквенцијата на сигналот кој се пренесува низ водот. Ова се основните компоненти кои влијаат на надолжната индуктивност, но таа зависи и од други фактори. Да нагласиме дека надолжната индуктивност е од ред на величини неколку mH/km.

Надолжната капацитивност на водот c (F/km) дава информација колкав дел од електричната енергија што ја носи телекомуникациски сигнал во вод со должина од 1 km ќе се претвори во електростатичко поле кое се јавува помеѓу сите спроводници во водот заради различната електрична поларизација на изолаторот. Овој параметар зависи од диелектричните својства на употребениот изолациски материјал, од геометриските димензии на спроводникот, од меѓусебната положба на спроводниците во кабелот и од други карактеристики. Ако s е површина на напречниот пресек на спроводникот, d е растојанието помеѓу спроводниците, а ϵ диелектрична константата на употребениот изолациски материјал, тогаш вкупната капацитивност на водот се пресметува според следната равенка:

$$C = \epsilon \cdot \frac{s}{d} \dots\dots\dots (4-3)$$

Надолжната капацитивност може да се одреди со равенката:

$$c = \frac{C}{l} = \frac{\epsilon \cdot s}{d \cdot l} \dots\dots\dots (4-4)$$

Таа е правопрпорционална со површината на напречниот пресек на спроводникот, а обратнопрпорционална со растојанието помеѓу спроводниците. Доколку изолацискиот материјал е подобар (неговата диелектрична константа е поголема), тогаш ќе биде поголема и надолжната капацитивност. Помеѓу сите спроводници во кабелот се јавува капацитивна спрега, а тоа значи дека колку е поголем бројот на спроводници во кабелот, толку ќе биде поголема вредноста на надолжната капацитивност. Заради големиот број и комплицираниот распоред на елементи во еден кабел, многу е тешко да се најде израз за пресметка на надолжната капацитивност. Таа е од редот на величини од десетина nF/km.

Надолжната спроводливост на изолацијата на водот g (S/km) дава информација колкав дел од електричната енергија која ја носи телекомуникациски сигнал во вод со должина од 1 km ќе биде „впиена“ од изолацијата и ќе се претвори во топлотна енергија. Значи r и g се бројни показатели на ист процес, само што r е резултат на термичките загуби во спроводникот, а g е резултат на термичките загуби во изолацискиот материјал на водот. За водот е добро доколку овие два параметри се колку што е можно помали. Надолжната спроводливост на изолацијата на водот е од редот на неколку mS/km.

Типичните вредности на примарните параметри за различни водови за фреквенција $f = 1\ 000\ \text{Hz}$ се дадени во Табела 4-1:

Табела 4-1. Примарни параметри за различни видови ТК водови:

Параметар	Воздушни	Симетрични	Коаксијални
R	2 – 3 Ω/km	25 – 500 Ω/km	40 – 80 Ω/km
L	2 $\mu\text{H}/\text{km}$	0,7 $\mu\text{H}/\text{km}$	0,26 $\mu\text{H}/\text{km}$
C	6 nF/km	30 – 40 nF/km	50 nF/km
G	3 $\mu\text{S}/\text{km}$	1 $\mu\text{S}/\text{km}$	14 $\mu\text{S}/\text{km}$

4.2.2 Секундарни параметри

Иако примарните параметри во целост го одредуваат водот, во практиката се употребуваат и секундарни параметри на водот. Секундарните параметри не навлегуваат во природата на процесот туку ја претставуваат интеракцијата на овие процеси долж водот. Секундарни параметри на водот се:

- карактеристична импеданса на водот Z_c ;
- константа на простирање γ . Константата на простирање е комплексен број чиј реален дел α е константа на слабеење, а имагинарниот дел β е константа на фазно поместување;
- брзина на простирање на сигналот по водот v .

Карактеристичната импеданса на водот Z_c (Ω) за хомоген вод претставува однос на напонот и струјата во кој било пресек на водот.

Во општ случај, карактеристичната импеданса на водот е комплексна величина којашто зависи од неговите примарни параметри (r , g , c и l) и од фреквенцијата на сигналот, а не зависи од должината на водот (l).

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{r+j\omega l}{g+j\omega c}} \dots\dots\dots (4-5)$$

За еднонасочна струја и за струи со високи фреквенции, импедансата е реална величина, односно чисто активна отпорност.

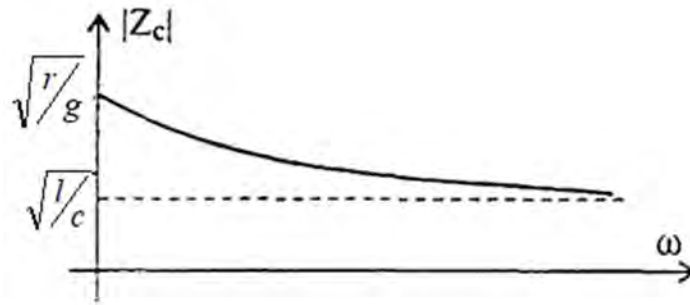
За еднонасочна струја, $\omega = 0$, па изразот за карактеристичната импеданса добива облик

$$\underline{Z}_c = \sqrt{r/g} \dots\dots\dots (4-6)$$

За струи со високи фреквенции може да се смета дека $r \ll \omega l$ и $g \ll \omega c$, па изразот за карактеристичната импеданса ќе биде

$$\underline{Z}_c = \sqrt{l/c} \dots\dots\dots (4-7)$$

На сл. 4-3 е претставена графичката зависност на карактеристичната импеданса од фреквенцијата.



Сл. 4-3. Фреквенциска зависност на карактеристична импеданса

Константата на простирање на водот γ е секундарен параметар на телекомуникацискиот вод кој дава информација за однесувањето на сигналот по должината на водот во однос на слабеењето и фазното поместување на напонот и струјата при простирање по хомоген вод кој е затворен со својата карактеристична импеданса. Константата на простирање, исто како и карактеристичната импеданса е комплексна величина која во општ случај зависи од примарните параметри на водот и од фреквенцијата на сигналот кој се пренесува. Таа зависност е дадена со следниот израз:

$$\underline{\gamma} = \alpha + j\beta = \sqrt{(r + j\omega l) \cdot (g + j\omega c)} \quad \dots\dots\dots (4-8)$$

Реалниот дел α се нарекува **константа на слабеење**, а имагинарниот дел β се нарекува **фазна константа**.

Константата на слабеење α ја дефинира промената на амплитудата на сигналот по должината од водот, односно ни кажува за колку ќе се намали амплитудата на сигналот на единица должина од водот. Општиот израз за одредување на константата на слабеење е:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [\sqrt{(r^2 + \omega^2 l^2) \cdot (g^2 + \omega^2 c^2)} + (rg - \omega^2 lc)]} \quad \dots\dots\dots (4-9)$$

Мерна единица за константата на слабеење е Np/km (непери на километар).

Вкупното слабеење т. е. вкупното придрушување на сигналот по целата должина на водот се означува со a и се добива ако константата на слабеење се помножи со должината на водот.

$$a = \alpha \cdot l \quad [Np] \quad \dots\dots\dots (4-10)$$

Слабеењето на сигналот по должината на водот зависи од примарните параметри на водот и од фреквенцијата на сигналот.

Фазната константа β ја определува промената на фазата на сигналот по единица должина од водот. Фазното изобличување на сигналите кои се пренесуваат е посебно изразено кај каблите со поголема должина. Мерна единица за фазно изобличување е rad/km. Општиот израз за одредување на фазната константа е:

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot [\sqrt{(r^2 + \omega^2 l^2) \cdot (g^2 + \omega^2 c^2)} - (rg - \omega^2 lc)]} \quad \dots\dots\dots (4-11)$$

Фазната константа зависи од примарните параметри на водот и од фреквенцијата на сигналот.

Брзината на простирање на сигналот по водот v се дефинира преку секундарниот параметар фазна константа β , од кој зависи обратнопропорционално.

$$v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{sc}} \dots\dots\dots (4-12)$$

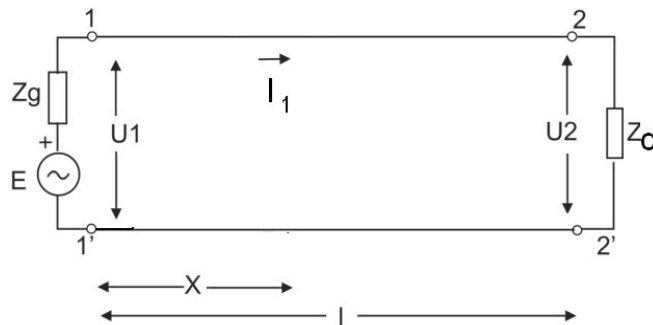
Мерна единица за брзината на простирање на сигналот по водот е km/s .

Познавањето на секундарните параметри е од практична важност за секој што проектира или одржува телекомуникациска линија. Треба да се знае дека при спојување на телекомуникациските водови со уреди или други водови кои имаат различна импеданса, може да дојде до загуби на енергија заради многустепената рефлексивна на електромагнетните бранови и заради неприспособените краеве на водот. За да се спречи ова, треба да се познаваат карактеристичната импеданса на водот и влезната импеданса на уредот на кој водот се приклучува, и да се изврши нивно приспособување.

4.3 ПРОСТИРАЊЕ НА БРАНОВИ ВО ВОД

Кај хомоген вод затворен на крајот со карактеристична импеданса или бесконечно долг вод затворен на крајот со карактеристична импеданса, се јавуваат само **прогресивни бранови** на напонот и струјата кои се простираат од генераторот до потрошувачот. На сл. 4-4 е претставен хомоген вод затворен со карактеристичната импеданса Z_c .

Влезните краеве 1-1' на хомогениот вод се приклучени на простопериодичен генератор, а на излезните краеве 2-2' е приклучен потрошувач Z_c .



Сл. 4-4. Хомоген ТК-вод

Напонот на кое било место на водот на растојание x од почетокот на водот е дефиниран со равенката:

$$u(t, x) = U_m \cdot \sin(\omega t - \beta x) \dots\dots\dots (4-13)$$

Во релацијата (4-13) фазната константа β ја покажува промената на фазата на напонот при поместување на бранот на единица должина.

Ако изразот за прогресивен бран на напон се подели со карактеристичната импеданса, се добива равенката на прогресивниот бран на струјата:

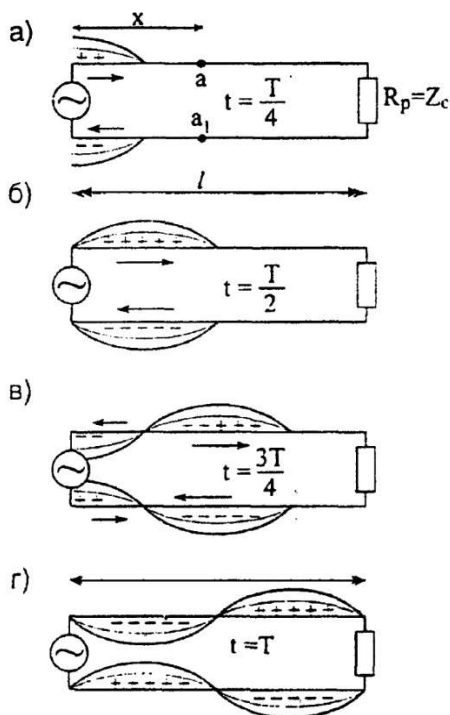
$$i(t, x) = I_m \cdot \sin(\omega t - \beta x) = \frac{U_m}{Z_c} \cdot \sin(\omega t - \beta x) \dots\dots\dots (4-14)$$

Од равенките за прогресивни бранови на напонот и струјата може да се види дека тие се синусни функции од две независно променливи големини: времето t и растојанието x .

Ако времето t е константа, равенките стануваат функции од една променлива, односно од растојанието x и обратно.

4.3.1 Простирање на бранови во вод без загуби

Вод без загуби е оној вод кај кој надолжната отпорност, надолжната спроводливост и слабеењето во водот се еднакви на нула. Простирањето на прогресивниот бран долж хомогениот вод без загуби е дадено на сл. 4-5.



Сл.4-5. Простирање на електромагнетната енергија во вод без загуби

Моменталните вредности што ги има влезниот напон, распоредени по должината на водот без загуби, на должина $\lambda/4$, се претставени на сл. 4-5 (а). На овој дел на водот тече струја која во секоја точка од спроводникот е одредена со потенцијалот во таа точка.

Во текот на втората четвртина од периодот, односно од $t = T/4$ до $t = T/2$, напонот на влезот од водот опаѓа до нула, а по должината на водот се простира за уште една четвртина од брановата должина. Така бранот се простира и во следните $\lambda/4$. Ако на влезот од водот имаме синусен извор, прогресивните бранови на напон (струја) претставуваат синусна распределба на напонот, која по должината на водот се движи со брзина v .

Струјата и напонот на прогресивните бранови се поклопуваат по фаза во која било точка на водот. Ако во водот постојат само прогресивни бранови меѓу генераторот и потрошувачот, тогаш тој вод се смета за приспособен. Неговата влезна импеданса е чисто активна отпорност и е еднаква на карактеристичната импеданса на водот.

Кога водот е затворен со отпорност која е еднаква со карактеристичната импеданса на водот, тогаш целата енергија на бранот се троши на крајот од водот, во активната отпорност.

4.3.2 Простирање на бранови во вод со загуби

Кај вод со загуби се јавуваат слабеења на амплитудата на напонот и струјата на прогресивните бранови кои се намалуваат по експоненцијален закон. Тоа може да се објасни така што при простирањето, дел од енергијата на водот се троши заради термичката отпорност на водот и несовршеноста на диелектрикот.

Равенките на прогресивните бранови во вод со загуби го имаат следниов облик:

$$u(t, x) = U_{mvl} \cdot e^{-\alpha x} \cdot \sin(\omega t - \beta x) \dots\dots\dots (4-15)$$

$$i(t, x) = \frac{U_{mv}}{Z_c} \cdot e^{-\alpha} \cdot \sin(\omega t - \beta x) \dots\dots\dots (4-16)$$

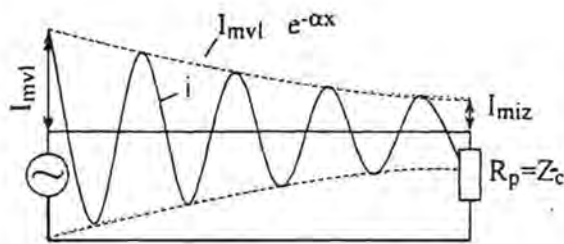
каде што U_{mvl} е амплитудата на прогресивниот бран на влезот од водот. Загубите се изразуваат со воведување на експоненцијалниот множител $e^{-\alpha x}$. Бидејќи моменталните вредности на напонот и струјата истовремено се функции од растојанието x и времето t , треба прво да претпоставиме дека растојанието x е константно, а времето t е променлива.

Ако водот е со должина $x = l$, амплитудата на напонот на прогресивниот бран на крајот од водот, односно на потрошувачот ќе биде:

$$U_{miz} = U_{mvl} \cdot e^{-\alpha l} \dots\dots\dots (4-17)$$

Константата на слабеење α зависи од примарните параметри r , g , s и c , а тие зависат од фреквенцијата. Според тоа, константата на слабеење зависи од фреквенцијата, односно со зголемување на фреквенцијата, расте и константата на слабеење.

Простирање на прогресивен бран во вод со загуби е претставено на сл. 4-6.

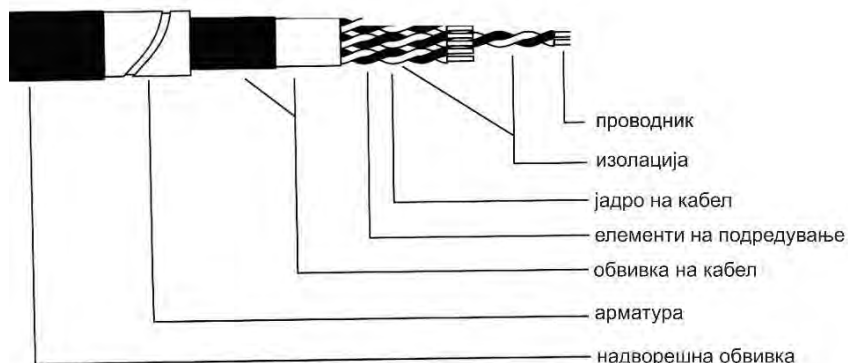


Сл. 4-6. Простирање на бран во вод со загуби

Карактеристичната импеданса на водот е комплексна величина и има активна и реактивна компонента. Тоа значи дека во вод со загуби, напонот и струјата се фазно поместени меѓу себе.

4.4 СИМЕТРИЧНИ ЖИЧЕНИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ

Еден или повеќе изолирани спроводници, обвиткани со заедничка обвивка сочинуваат **кабел** (сл. 4-7).



Сл. 4-7. Основни елементи на кабелот

Сите изолирани спроводници под заедничка заштитна обвивка претставуваат **јадро на кабелот**. Во зависност од местото на примена, условите на поставување и експлоатацијата, конструкциите на каблите се различни. Но без разлика на која група припаѓаат, нивни основни конструктивни елементи се **јадрото и обвивката**.

Јадрото има основни конструктивни делови: спроводник, жила, парица, тројка, четворка, петка, шестка, осумка.

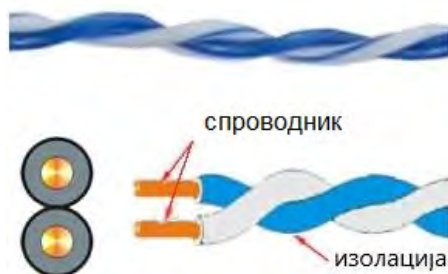
Спроводникот е изработен од метал со голема специфична спроводливост. Вообичаено е од бакар, со напречен пресек од 0,32 mm до 1,4 mm.

Жила е изолиран спроводник и претставува основен елемент со кој се врши подредувањето во кабелот (сл. 4-8). Кај коаксијалните кабли, внатрешниот и надворешниот спроводник се изолираат заедно, па кај нив не се користи поимот жила, туку внатрешен и надворешен спроводник. Секоја жила е изолирана со изолациски материјал. Како материјал за изолација се употребува: гума, памук, свила или хартија.



Сл. 4-8. Жила

Парица – две жили образуваат парица. Парицата се користи како основен елемент за подредување кај монтажни кабли (кабли за централи, радиокабли и претплатнички кабли со мал број елементи). Чекорот на впредување е до 300 mm.

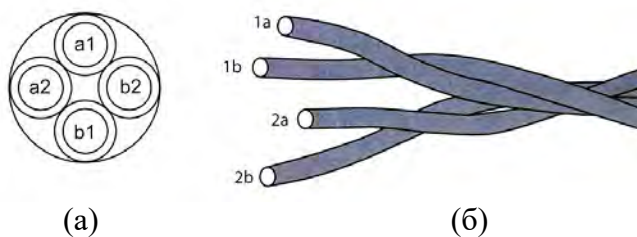


Сл. 4-9. Симетрична парица

Париците можат да бидат симетрични и несиметрични. Коаксијалната (несиметрична) парица во својот основен облик се состои од внатрешен спроводник, слој изолација, надворешен спроводник во форма на плетена метална мрежа обвиткана околу слојот изолација и уште еден надворешен изолациски слој концентрично поставен над плетената метална мрежа.

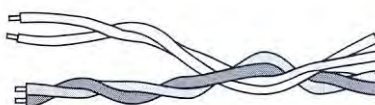
Симетричните кабли се составени од парици кај кои спроводниците се со стандардизиран напречен пресек: 0,32; 0,4; 0,6; 0,8; 0,9; 1,2 и 1,3 mm. Малите димензии служат за носење на сигналите на мали растојанија, на пример до претплатникот, додека спроводниците со поголем напречен пресек се користат за големи растојанија, на пример за врски помеѓу централите. Впредувањето на спроводниците се прави за да се намали слабењето на сигналот. Пропусниот опсег на кабелот е 0 – 150 KHz. Ако обвивката е од пластика, тогаш пропусниот опсег е 0 – 552 KHz.

Свезда-четворка се добива со истовремено впредување на 4 жили кои се распоредени во темињата на еден квадрат. Свезда-четворка се употребува за подредување на кабелски јадра за месна и за меѓумесна мрежа (сл. 4-10).



Сл. 4-10. Свезда-четворка: (а) напречен пресек, (б) впредена четворка

ДМ четворка се добива со впредување на две парици (сл. 4-11). Чекорите на впредувањето на паричите се различни меѓу себе. Чекорите на впредување се од 400 до 800 mm, а четворките 150 до 300 mm. Насоките на впредување се спротивни.



Сл. 4-11. ДМ-четворка

Вкрстување на паричите се врши со цел каблите да се заштитат од електромагнетни влијанија кои може да потекнуваат од мноштво уреди што може да се најдат во близина на кабелот (радио и ТВ-уреди, мобилни телефони, компјутери, разладни уреди, мотори, трансформатори и сл.). Во зависност од потребното ниво на заштита во телефонските и во компјутерските мрежи се применуваат следните видови на кабли со вкрстени парици:

- **UTP** (Unshielded Twisted Pair) кабли (сл. 4-12.) – се состојат од одреден број вкрстени парици обвиткани со заедничка заштитна изолација, најчесто од полиетилен. Поради ниската цена на чинење, многу често се користат како кабли за поврзување со интернет на кратки и средно долги растојанија. Имаат добри преносни карактеристики, но не се заштитени од електромагнетни влијанија.

- **FTP** (Foil Twisted Pair) (сл. 4-13.) – кабли со оклопени вкрстени парици. Слични се со UTP каблите со таа разлика што под слојот изолација има заштита од електромагнетни влијанија во облик на алуминиумска фолија.

- **STP** (Shielded Twisted Pair) (сл. 4-14.) – кај овој вид на кабли, секоја парича одделно е обвиткана со заштитна алуминиумска фолија со дебелина од 25 μm , која служи да го спроведе индуцираното електромагнетно зрачење кон маса.

- **S/FTP** (Shielded Foil Twisted Pair) (сл. 4-15.) – овој тип на кабли со вкрстени парици е комбинација од FTP и STP каблите.



Сл. 4-12. UTP кабел



Сл. 4-13. FTP кабел

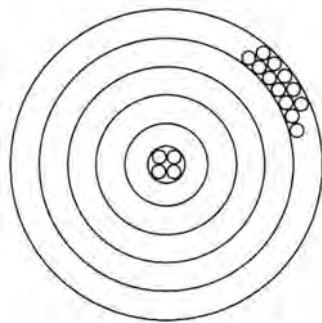


Сл. 4-14. STP кабел

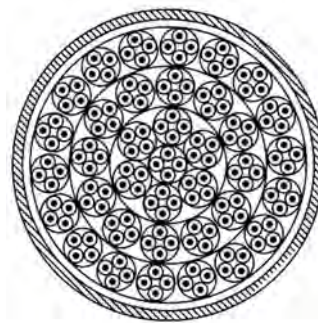


Сл. 4-15. S/FTP кабел

- **Јадро** – во зависност од бројот на елементите што го сочинуваат јадрото на кабелот, разликуваме едноставни хомогени и сложени јадра (сл. 4-16.)



(а)

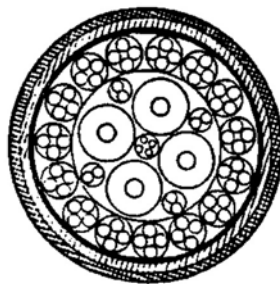


(б)

Сл. 4-16. Комбинирани јадра

Едноставните јадра се изработуваат со подредување на жилите во круг, како на сл. 4-16 (а), додека хомогените јадра се составени од исти елементи, со ист напречен пресек, групирани во секции како на сл. 4-16 (б).

Комбинираните јадра се составени од елементи со различна конструкција и различни пречници на спроводниците, со различни изоляции и начини на впредување како на сл. 4-17. Според начинот на формирање на јадрото, има концентрични и секторски (групни) јадра.



Сл. 4-17. Комбинирани јадра со четворки

Јадрото со концентрични слоеви има централен слој кој е составен од еден, два, три, четири или пет основни елементи, а другите елементи се подредуваат во правилни слоеви околу централното јадро. Секој нареден слој се реди во спротивна насока. Секој слој, со исклучок на надворешниот, се обвиткува со памучен конец, хартиена или пластична лента. Преку последниот слој се става прво лента од хартија, па слој од пластика и тоа се нарекува појас на изолатија. На крајот има метална фолија од бакар или од алуминиум.

Секторското јадро е составено од повеќе еднообразни групи. Групите се подредуваат во концентрични слоеви. Овие јадра се користат кај каблите со голема концентрација каде што има повеќе од 75 четворки.

На сл. 4-18 дадени се практични изведби на телекомуникациски кабли.



Сл. 4-18. Телекомуникациски кабли

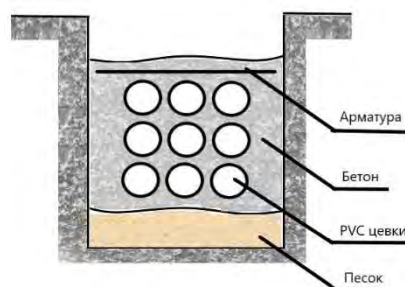
4.5 ПОСТАВУВАЊЕ НА КАБЛИ

Жичените телекомуникациски водови се поставуваат на неколку начини. Најчесто се поставуваат: под земја, под вода и низ воздух.

Подземните кабли се поставуваат директно во земјата или во однапред направена кабелска канализација. Од начинот на поставувањето на каблите зависи и изборот на обвивката на каблите. Каблите што се поставуваат директно во земјата мора да имаат дополнителна обвивка, односно заштита од влага. Потребата од заштита е уште поголема кај подводните кабли, особено кај водовите што се поставуваат во морињата и океаните, каде што поправките се тешки поради лошата достапност. За таа цел се избираат кабли кај кои во просторот меѓу париците има масло.

Кабелската канализација е мрежа од подземни цевки во кои се поставени ТК-кабли. Каблите што се поставуваат во кабелска канализација имаат метална обвивка, најчесто оловна цевка. Оловната заштита се избира кога има зголемен механички притисок и кога има потреба од заштита од електромагнетни интерференции. Оловото има и поголема свитливост, со што се постигнува поедноставен транспорт и поставување. Ако изведената кабелска канализација е во внатрешноста на објектите, доволно е обвивката да биде пластична. Мрежата што е поставена во кабелската канализација лесно се одржува и е добро заштитена.

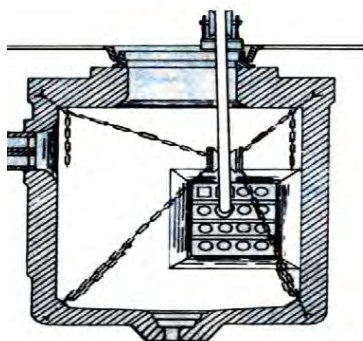
Кабелската канализација е составена од: канали за поставување на каблите, кабелски окна и кабелски галерии.



Сл. 4-19. Ров за кабелска канализација со PVC цевки

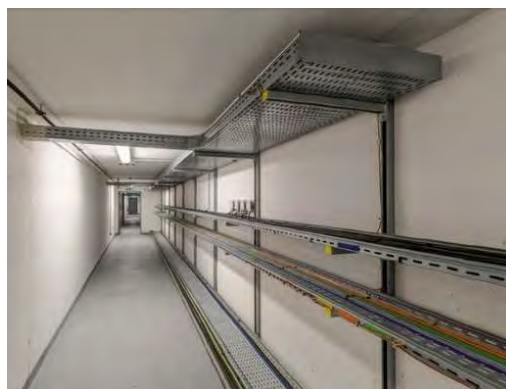
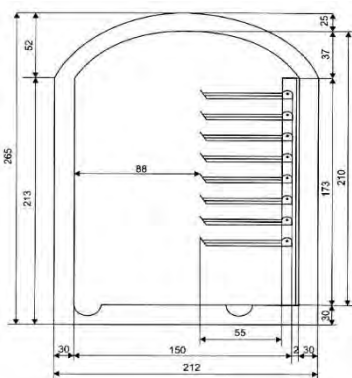
Каналите за поставување на каблите може да бидат бетонски блокови, азбестно-цементни цевки, а кај новите изведби каблите се поставуваат во термопластични цевки. При изведбата и поставувањето на секој од овие канали се почитуваат посебни процедури и стандарди. На сл. 4-19 е даден ров за кабелска канализација со PVC цевки.

Кабелските окна се градат по должината на кабелските канали каде што треба да се продолжат или да се разделат каблите. Обликот, димензиите и конструкцијата на кабелските окна зависат од бројот на цевките што треба да се постават, од бројот на каблите, бројот на потребните продолжувања и друго. На сл. 4-20 е прикажано кабелско окно.



Сл. 4-20. Кабелско окно

Кабелски галерии се подземни простории, ходници, во кои се ставаат голем број кабли. Најчесто се поставуваат на излезот од централите. Тие служат како врска помеѓу кабелските цевки и централата. Кабелската галерија вообичаено е бетонска и во тој простор е сместена опремата за носење на каблите. На сл. 4-21 е претставена една кабелска галерија.



Сл. 4-21. Кабелска галерија

Предностите кои се јавуваат кога каблите се поставуваат во галерија се: едноставен и економичен начин на поставување, каблите кои се поставуваат не мора да имаат арматура, можност за сместување на голем број кабли и сл.

Поставувањето на каблите се планира со инвестициско-техничка документација со која се одредува начинот на поставување на каблите. Во зависност од условите, поставувањето на каблите може да биде:

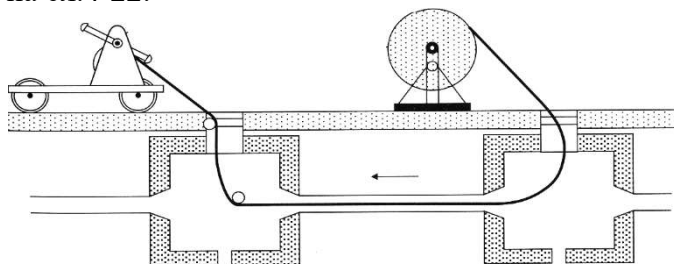
- со вовлекување на каблите во кабелска канализација,
- со поставување на каблите во земја и
- со поставување на подводни кабли.

При вовлекување на каблите во кабелска канализација, се провлекуваат помошни јажиња, потоа се контролираат цевките за поставување и на крајот се провлекува кабелот на тој начин што со јажето се влече кабелот.

Каблите во земја се поставуваат во **ровови**, во зависност од условите на теренот и начинот на употреба. Рововите може да се со:

- длабочина 80 cm и широчина 40 cm (на локации каде што нема други видови инсталации), и
- длабочина 120 cm и широчина 40 cm (за меѓумесни мрежи).

Поставувањето на каблите е сложен процес. За таа цел е потребна специјална опрема и обучени екипи кои ќе ги поставуваат подземните кабли. Поставувањето кабел во кабелски окна со влечење е дадено на сл.4-22.



Сл. 4-22. Машина за поставување кабел

ТК-инсталациите се поставуваат заедно со другите инсталации. Поставување на различни инсталации (енергетски, телекомуникациски, водоводни, топоводни и сл.) се прави според утврден план и стандарди за дадена локација, зграда, населено место или држава.

4.6 КОАКСИЈАЛНИ КАБЛИ

Основен конструктивен елемент на коаксијалниот кабел е коаксијалната парица. Коаксијалната парица во својата основна конструкција се состои од централен спроводник кој најчесто е изработен како полн спроводник од бакар, но може да биде и во облик на повеќе испреплетени ситни жички. Околу централниот спроводник има слој изолација. Концентрично над слојот изолација има алуминиумска фолија и плетена метална мрежа (ширм) која го претставува вториот, надворешен спроводник од коаксијалната парица. Над оваа метална мрежа е поставена надворешна заштитна изолација.



Сл. 4-23. Коаксијални кабли

Податоците се пренесуваат низ централниот спроводник во облик на електричен сигнал. Електромагнетното поле кое го создава струјата што тече низ централниот спроводник е затворено во просторот помеѓу централниот и надворешниот спроводник. Струјата што тече низ надворешниот спроводник, не создава ниту електрично ниту магнетно поле во внатрешноста на водот. Плетената метална обвивка, ширмот, има улога на заземјување. Тој истовремено служи како заштита од електромагнетни влијанија кои може да потекнуваат од некои уреди што се во близина на коаксијалниот кабел, како на пример трансформатори, електромотори, енергетска инсталација и слично. Ширмот обезбедува заштита и од електромагнетните полиња кои потекнуваат од други соседни спроводници, со што се спречува појавата на преслушување.

Централниот спроводник и надворешниот спроводник не смеат да бидат во контакт затоа што тоа претставува куса врска и доведува до губење на податоците што се пренесуваат.

Предности на коаксијалните кабли во споредба со каблите со симетрични парици се:

- Слабењето на сигналите при пренос е помало, односно помало е придушвањето на сигналите.
- Помало е влијанието на надворешни магнетни полиња.
- Не постои преслушување, односно нема влијание од соседните парици.

Недостатоци на коаксијалните кабли во однос на каблите со симетрични парици се:

- Продолжувањето и завршувањето на коаксијалните кабли е покомплицирано во споредба со каблите со симетрични парици.

- При полагање на коаксијалните кабли во земја, на места каде што кабелот треба да ја промени насоката на простирање, мора да се виткаат во лак со поголем радиус, затоа што коаксијалните кабли се покроти и постои можност да дојде до усукување и нивно оштетување.

Коаксијалните кабли спаѓаат во групата широкопојасни водови. Во тој поглед, нивните карактеристики се подобри во споредба со каблите со симетрични парици. Коаксијалните кабли се применуваат за пренос на сигнали во опсег на фреквенции од приближно 50 KHz до 1 GHz.

Кај компјутерските мрежи најчесто се употребуваат стандардни типови на мрежни коаксијални кабли, и тоа:

- Тенок 50-омски RG-58 кабел (стандард 10 Base2), кој се употребувал за поврзување на помал број компјутери и кој овозможувал брзина на пренос до 10 Mb/s на сегмент од кабелот со должина од 185 m. Коаксијалниот кабел RG-58 е со напречен пресек од 5 mm на централниот спроводник, а изведбата може да биде од полн бакарен спроводник или од повеќе преплетени тенки жици. Освен RG-58, според истиот стандард (10 Base2), за истата намена се употребувале и тенките коаксијални кабли RG-59 (со напречен пресек на централниот спроводник од 6 mm), како и RG-6 (кај кој централниот спроводник е со напречен пресек од 7 mm).

- RG-11 (стандард 10 Base5), дебел 75-омски кабел кој се користел како кабел за дистрибуција на интернет помеѓу катовите кај повисоки згради. Дебелината на централниот спроводник на овој кабел е 1,27 cm. Поголемата дебелина на централниот спроводник овозможува и поголем досег на сигналот кој изнесува до 500 m при брзина на пренос на податоците од 10 Mb/s.

Денес, за изведба на компјутерски мрежи сè помалку се употребуваат коаксијалните кабли. Тие се потиснати од употреба најнапред од бакарните кабли со вкрстени парици кои се поевтини, имаат поголеми брзини на пренос и овозможуваат поголема флексибилност при проектирање на мрежата, а во поново време, со напредокот на безжичните технологии, сè почесто како медиум за пренос не се користат физички водови (кабли), туку се проектираат и се изведуваат безжични компјутерски мрежи.

Меѓусебното поврзување на коаксијалните кабли, како и поврзување на коаксијалните кабли со некои уреди се врши со посебен вид на конектори, т. н. BNC-конектори. BNC-конекторите може да се постават со лемење или со помош на специјална клешта за таа намена. Во зависност од намената, се применуваат различни видови на BNC-конектори: BNC, BNC-T, BNC-терминатор, F конектор и други видови.

На сл. 4-25 се прикажани различни видови на BNC-конектори.

BNC споен конектор, прикажан на сл. 4-24 а), служи за поврзување на два коаксијални кабли. Конекторот BNC-T, прикажан на сл. 4-24 б), служи за поврзување на три коаксијални кабли. Конекторот наречен BNC-терминатор, прикажан на сл. 4-24 в), се применува за завршување на коаксијалните кабли. F-конекторот, прикажан на сл. 4-24 г), има навој со кој може да се наврти на соодветен приклучок на кабелски модем за сателитска телевизија.



Сл. 4-24. Различни видови на BNC-конектори

За примената на коаксијалните кабли, од посебна важност е познавањето на карактеристичната импеданса. Карактеристичната импеданса на кабелот не зависи од геометриските димензии, туку зависи од видот и карактеристиките на употребените материјали и од конструкцијата на кабелот. Со порастот на фреквенцијата, карактеристичната импеданса на кабелот опаѓа. На високи фреквенции, карактеристичната импеданса постепено достигнува константна вредност. Вредноста на карактеристичната импеданса на кабелот ја даваат производителите како техничка карактеристика на одделните видови кабли. Вообичаени вредности за карактеристичната импеданса на коаксијалните кабли се 50Ω и 75Ω . Сите компоненти на еден коаксијален систем (кабли, конектори, адаптери, инструменти...) треба да се со иста импеданса за да се избегне појава на рефлексија на спојните места. Рефлексиите доведуваат до слабеење на сигналите. На пример, ако коаксијалниот кабел завршува така што на неговиот крај да нема поврзано ништо, тогаш ќе дојде до рефлексија затоа што крајот од кабелот има бесконечно голема отпорност. Ако пак крајот на коаксијалниот кабел е кратко споен, тогаш повторно доаѓа до рефлексија на сигналот затоа што крајот на кабелот има отпорност нула. За да се избегне појава на рефлексија, во вакви случаи, на крајот на кабелот треба да се постави BNC терминатор конектор со отпорност со иста вредност како и карактеристичната импеданса на кабелот.

Коаксијалните кабли денес се користат за поврзување на предавателите и приемниците со антените, кај кабелската и сателитската телевизија, во системите за видеонадзор, за изработка на сонди за мерни инструменти и за други намени.

РЕЗИМЕ:

- Особините на жичените телекомуникациски водови зависат од материјалот, дебелината на спроводникот и изолацијата, како и од конструкцијата на составните елементи.
- Секој хомоген двојичен вод може да се претстави преку своите примарни параметри. Секој километар на водот може да се претстави со просто електрично коло составено од елементи кои ги нарекуваме примарни параметри на водот.
- Примарни параметри на жичените водови се: надолжна отпорност, надолжна индуктивност и надолжна капацитивност на спроводникот и надолжна спроводливост на изолацијата на водот. Примарните параметри на водот, измерени и изразени со броеви, во потполност го одредуваат жичениот вод. Надолжната отпорност на водот Γ бројно покажува колку вод со должина од 1 km може електричната енергија низ водот да ја претвори во топлинска енергија.
- Телекомуникациски кабел претставува повеќе групирани водови, заштитени од надворешни механички и електрични влијанија.
- Телекомуникациските кабли се состојат од јадро и обвивка.
- Основен конструкциски елемент на кабелот е спроводникот.
- Изолиран спроводник претставува жила. Жилата е основен елемент на впредување.

- Парица претставува два изолирани спроводника (жили). Постојат симетрични и коаксијални парици. Симетричните парици се состојат од две жили кои се впредуваат. Со впредувањето се намалуваат електромагнетните влијанија. Парицата се заштитува со алуминиумска фолија. Јадрото на кабелот се состои од основни елементи на кабелот: жила, парица и четворка.
- Во зависност од распределбата на основните елементи во јадрото, постои густо впредено јадро и концентрично впредено јадро.
- Телекомуникациските кабли можат да се положуваат на повеќе начини: подземно (директно во земјата и кабелска канализација), подводно и во воздухот. Кабелска канализација претставува мрежа на подземни цевки во кои се положуваат каблите. Кабелската канализација овозможува: поставување на нови кабли, поправка на каблите, брзо и лесно менување на постоечките кабли, а притоа да не се оштетат улиците, не го попречува сообраќајот и сл. Кабелската канализација се состои од цевки, кабелски окна и кабелски галерии.
- Кабелските окна се подземни простории со одредена големина каде што може да се продолжуваат или да се вовлекуваат каблите.
- Во кабелската канализација се положуваат кабли без арматура. Низ една цевка се поставува еден кабел. Каблите се положуваат во цевки, така што се почнува од најниската цевка и во вертикала се оди кон највисоката.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ:

1. Од што зависат особините на жичените телекомуникациски водови?
2. Со што се одредени примарните параметри на водот?
3. Како се добиваат вистинските вредности на примарните параметри на водот?
4. Што покажуваат секундарните параметри?
5. Што е телекомуникациски кабел?
6. Кои се основни елементи на кабелот?
7. Какви парици постојат?
8. Зошто жилите, париците и четворките се впредуваат?
9. Зошто се врши означување на каблите?

Заокружи го точниот одговор на дадените прашања:

10. Која е единицата во која се мери надолжната спроводливост на еден телекомуникациски вод?
 - а. сименс [S]
 - б. ом на метар [Ω/m]
 - в. сименс на метар [S/m]
 - г. оми [Ω]
11. Која е мерната единица за константа на слабеење на телекомуникациски вод?
 - а. децибел на метар [dB/m]
 - б. непер [Np]
 - в. метар [m]
 - г. бел по метар [Bm]
12. Кој бран се простира по еден ТК-вод?
 - а. наизменичен бран
 - б. аналоген бран
 - в. прогресивен бран
 - г. праволиниски бран

-
- 13.** Кога еден телекомуникациски вод е приспособен?
- а. се простираат стојни бранови
 - б. се простираат рефлектирани бранови
 - в. се простираат наизменични бранови
 - г. се простираат прогресивни бранови
- 14.** Какви бранови се простираат низ водови за радиофреквенции?
- а. рефлектирачки бранови
 - б. директни бранови
 - в. стојни бранови
 - г. тангенцијални бранови
- 15.** Колкав е коефициентот на рефлексија (p) кај водови отворени на крајот?
- а. $p = 0$
 - б. $p = \infty$
 - в. $p = -1$
 - г. $p = 1$
- 16.** Колкав е напонот кај вод кусо врзан на крајот?
- а. $U_{iz} = U_d$
 - б. $U_{iz} = U_p$
 - в. $U_{iz} = U_r$
 - г. $U_{iz} = 0$



Модуларна единица 5: Оптички телекомуникациски водови

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Технологија на оптички влакна
2. Оптички преносен систем
3. Електрооптички претворувачи

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Познаваат структура на оптичко влакно
2. Објаснуваат начин на простирање на светлина низ оптичко влакно и разликуваат појави при простирање на светлината низ оптичко влакно
3. Објаснуваат модови за простирање светлина низ оптичко влакно: мултимоден и мономоден
4. Познаваат функцијата на елементите во еден оптички систем
5. Искажуваат принцип на работа на електрооптички претворувачи
6. Искажуваат предности и недостатоци на оптички комуникациски систем
7. Објаснуваат примена на оптички комуникациски системи



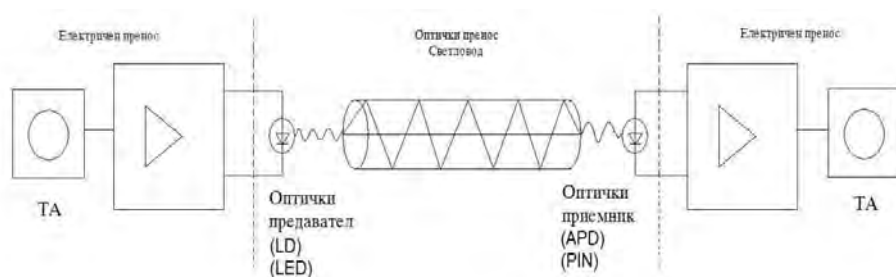
5 ОПТИЧКИ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИСКИ ВОДОВИ

Еден од најпознатите технолошки изуми во врска со преносот на пораки е развојот на оптичките телекомуникациските водови. Основен конструктивен елемент на овие водови е оптичкото влакно. Оптичкото влакно е светловод кој го носи светлинскиот сигнал од предавателот до приемникот во телекомуникацискиот оптички систем. Едно влакно е еден вод, по кој може да се пренесат и повеќе различни сигнали во иста насока. Оптичките влакна се прават од специјално стакло од силициум диоксид, на кое се додаваат оксиди на флуор и германиум. Силициум диоксидот е евтин материјал, кој го има во изобилство во природата, а тоа всушност е песокот. Заради изобилството на основната суровина, современиот технолошки процес за изработка на светловоди е евтин. Заради добрите карактеристики и ниската цена на производство, оптичките кабли во современите комуникациски системи ги потиснуваат жичените кабли.

Првите оптички влакна се појавиле пред повеќе од триесетина години и главно биле користени во телекомуникациите за врска помеѓу поголеми телефонски центри. Идејата за пренос на информации со користење на светлина постоела одамна, но до откривањето на ласерите во 1960 година не постоело соодветно решение за практична примена. Со појавата на ласерите започнува брзиот развој на оптичките комуникациски системи, кои денес се користат за пренос на голем број пораки во облик на дигитални сигнали.

Основни делови на оптичкиот систем за пренос се предавател, оптички вод и приемник. Освен овие делови, еден оптички телекомуникациски систем содржи и засилувачи на светлинскиот сигнал, модем за дигитализација на сигналот, ако пренесуваме оптички дигитален сигнал, мултиплексер кој овозможува пренос на повеќе сигнали истовремено и др. Голем дел од овие дополнителни уреди се електрични. Засега нема телекомуникациски мрежи кои се целосно оптички. Се користат таканаречени хибридни мрежи, кај кои преносниот дел е оптички систем кој поминува во електричен врзувајќи ги предавателот и приемникот.

Оптичките влакна (optical fiber) се дел од оптичкиот систем. Секој оптички систем се состои од три основни дела, а тоа се: предавател, тоа е извор на светлина – LED или ласерска диода, оптичко влакно и приемник кој е некој вид на фото-сензор. Шематски приказ на оптички преносен систем е даден на сл. 5-1.



Сл. 5.1. Оптички преносен систем

Во оптичкиот комуникациски систем, електричниот сигнал на излезот од предавателот, со помош на електрооптички претворувачи, ласери и светлосни диоди, се претвора во светлосен сигнал, а на влезот од приемникот, со помош на фотодетектори, светлинскиот сигнал повторно се претвора во електричен. Со оглед на тоа што во светловодот доаѓа до слабеење на сигналот, на соодветни растојанија се поставуваат засилувачи-регенератори.

Денес, поимот светловод означува оптичко влакно со микронски димензии. Основната разлика со бакарните спроводници е таа што овде се пренесува светлински зрак. Низ светловодите, светлината се простира со тотална рефлексija, што значи дека светлинскиот зрак се движи помеѓу две гранични површини во влакното. Притоа се јавуваат сите појави што се јавуваат кога бран се простира на гранична површина: рефлексija, рефракција, дифракција и други.

Во оптички хомогена средина, светлинските зраци се движат праволиниски. Кога светлински зрак ќе „удри“ во некоја точка на граничната површина помеѓу две оптички средини со различна оптичка густина (различни индекси на прекршување n_1 и n_2), можни се два случаја:

- Светлинскиот зрак се одбива од граничната површина, ги менува правецот и насоката на движење, но продолжува да се движи праволиниски низ истата оптичка средина. Во овој случај велиме дека настанала **рефлексija или одбивање на светлината** (сл. 5.2.). Аголот кој упадниот светлинскиот зрак го гради со нормалата на граничната површина се нарекува упаден агол (означен со α на сл. 5.2.), а аголот кој рефлектираниот зрак го формира со нормалата на граничната површина се нарекува агол на рефлексija (означен со β на сл. 5.2.). При рефлексija на светлината, упадниот агол е еднаков со рефлектираниот и тие секогаш лежат во иста рамнина.



Сл. 5.2. Рефлексija (одбивање на светлината)

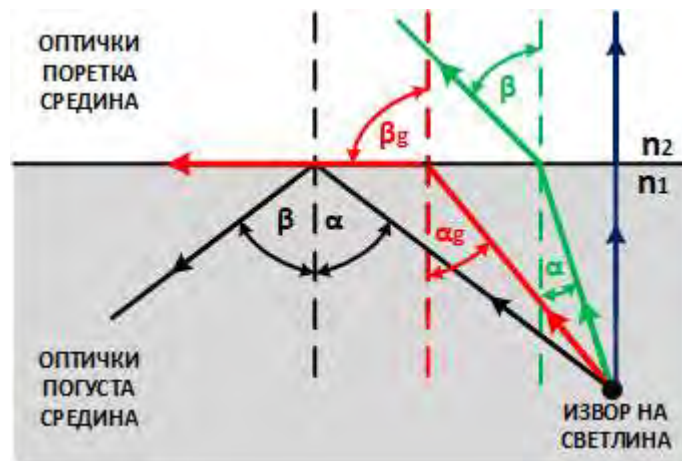
- Светлинскиот зрак преминува во другата оптичка средина, при што настанува промена на правецот и брзината на движењето, светлинскиот зрак продолжува праволиниски да се движи низ втората оптичка средина. Во овој случај велиме дека настанала **рефракција или прекршување на светлината** (сл. 5.3.). Оваа појава настанува како резултат на тоа што светлината во различни средини се движи со различна брзина.



Сл. 5.3. Рефракција (прекршување на светлината)

Индексот на прекршување на светлината n е карактеристика на еден материјал (средина) низ која се простира светлината и тој се дефинира како однос помеѓу брзините со кои се простира светлината во слободен простор – воздух (c) и брзината на светлината во материјалот – средината од интерес (v), $n = c/v$. Во оптички погуста средина, светлината се движи со помала брзина во споредба со оптички поретка средина каде што се движи со поголема брзина. Кога светлинскиот зрак преминува од оптички поретка во оптички погуста средина, по прекршувањето, зракот се приближува кон нормалата ($\beta < \alpha$), а во случај кога светлинскиот зрак преминува од оптички погуста во оптички поретка средина, тогаш по прекршувањето, зракот се оддалечува од нормалата ($\beta > \alpha$). Упадниот зрак, нормалата на граничната површина и прекршениот зрак лежат во иста рамнина.

Тотална рефлексција е појава која настанува при премин на светлинските зраци од оптички поретка во оптички погуста средина ако светлината паѓа под упаден агол кој е поголем од граничниот што е карактеристичен за конкретните оптички средини. Појавата тотална рефлексција е прикажана на сл. 5.4.



Сл. 5.4. Тотална рефлексција

Светлинскиот зрак кој паѓа нормално на граничната површина не го менува правецот на движење. Кога светлинскиот зрак паѓа на граничната површина помеѓу оптички погуста и оптички поретка средина, под агол α , тогаш тој се прекршува од нормалата под агол на прекршување β . Колку повеќе се зголемува упадниот агол ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$), толку повеќе ќе се зголемува и аголот на прекршување ($\beta_1, \beta_2, \beta_3$, соодветно). Најголема вредност која може да ја добие аголот на прекршување β_g е 90° . Упадниот агол α , при кој аголот на прекршување $\beta_g = 90^\circ$, односно прекршениот светлински зрак се простира во правец на граничната површина се нарекува **граничен агол или агол на тотална рефлексција α_g** .

Граничниот агол или аголот на тотална рефлексција α_g зависи од индексите на прекршување на двете оптички средини n_1 и n_2 :

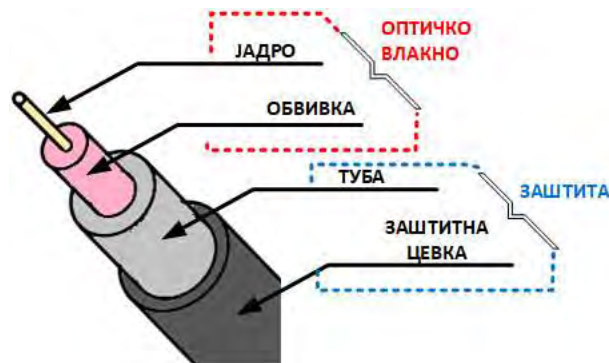
$$\alpha_g = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots (5.1)$$

каде што n_1 е индекс на прекршување на оптички погустата средина, а n_2 е индекс на прекршување на оптички поретката средина.

За агли поголеми од граничниот агол α_g , упадната светлина нема да премине во оптички поретката средина, т. е. светлинскиот зрак не се прекршува туку се рефлектира. Оваа појава е наречена тотална рефлексција. На појавата тотална рефлексција се заснова преносот на светлинските сигнали низ оптичките влакна.

5.1 СТРУКТУРА НА ОПТИЧКО ВЛАКНО И ПРИНЦИП НА ПРОСТИРАЊЕ НА СВЕТЛИНАТА НИЗ НЕГО

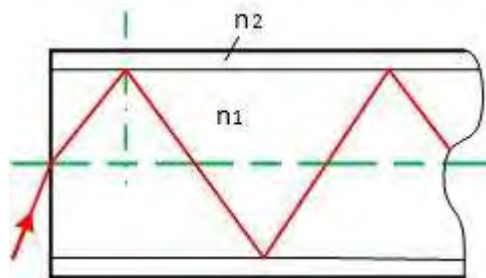
Оптичките влакна (optical fiber) се стаклени нишки (конци) со микронски димензии, со кои се врши трансмисија на сигналите. Тие се тенки, свитливи и цврсти влакна од стакло кое не е со хомогена структура. Оптичкото влакно го сочинуваат два основни дела: јадро (Core) и обвивка (Cladding). Двата дела (јадрото и обвивката) се стаклени, но имаат мали разлики во хемискиот состав, што придонесува да имаат различен индекс на прекршување. За да се заштити влакното од надворешни влијанија, се става во пластична покривка, односно заштитна цевка, која обезбедува механичка заштита. Заштитата е изведена со два слоја: туба (Buffer) и заштитна цевка (Jacket).



Сл. 5-5. Составни делови на светловод

Оптичкото влакно (јадрото и обвивката) и заштитата (тубата и заштитната цевка), односно сите четири слоја прават оптички вод. Напречниот пресек на оптичко влакно со неговите составни делови, заштитни слоеви, односно оптички вод се дадени на Сл. 5-5.

Светлината патува низ јадрото на оптичкото влакно користејќи го принципот на тотална рефлексција. Ако индексот на прекршување на јадрото е n_1 , а индексот на прекршување на обвивката е n_2 , тогаш кога $n_2 < n_1$ во јадрото на светловодот ќе има рефлексција на светлинскиот зрак, прикажана на сл. 5-6.



Сл. 5-6. Простирање со тотална рефлексција

При пренос на светлина низ оптичкото јадро, се појавува ефектот на рефлексција (одбивање) и рефракција (прекршување) на светлината.

Рефлексijата е резултат на одбивање на светлината од граничната површина помеѓу јадрото и обвивката. Рефракцијата се објаснува како ефект на прекршување на светлината при нејзиното удирање на граничната површина помеѓу јадрото и обвивката, при што прекршената светлина продолжува да се движи низ обвивката. Доколку се јави рефракција во светловодот, тоа би значело губење на светлината, односно губење на информации од пораката што се пренесува.

За информациите да се простираат низ светловодот, помеѓу две гранични површини кои овде се направени од стакло, треба да биде исполнет условот нивните индекси на прекршување да се $n_2 < n_1$ (n_2 е индексот на прекршување на надворешниот слој или обвивката).

Најзначајни карактеристики на оптичките влакна се:

- оптичките влакна се употребуваат за пренос на големи количества податоци од 100 Mbps до 1 Gbps;
- сигналот може да се пренесува на големи далечини, без притоа да има потреба од засилување;
- мало слабеење на сигналот;
- голем информативен капацитет, заради големата ширина на пропусниот опсег;
- отпорност на разни пречки од електромагнетна природа, заради диелектричниот карактер на светловодот;
- релативно мали димензии и маса на елементите од преносниот систем, заради малите бранови должини на сигналите (од околу 50 μm – ултравиолетово подрачје до околу 100 μm – инфрацрвено подрачје) и
- оптичките влакна работат на принципот на тотална рефлексija.

Оптичките влакна се групираат во зависност од начинот на употреба. Сноп од повеќе оптички влакна е даден на Сл. 57.



Сл. 5-7. Сноп од повеќе оптички влакна

5.2 ВИДОВИ НА ОПТИЧКИ ВЛАКНА

Постојат голем број групи и подгрупи оптички влакна, но најчесто се користат две поделби:

- мултимодно (**multimode - MM multi-mode optical fiber**), т. е. мултирежимско влакно
- мономодно (**singlemode - SM single-mode optical fiber**), т. е. монорежимско влакно

Влакното чие јадро има поголем пресек и пренесува повеќе светлосни зраци со различни бранови должини се нарекува **мултимодно оптичко влакно (MM)**. Ако јадрото на влакното има мал пресек и низ него се простира светлина само по неговата оска, праволиниски, таквите влакна се викаат **мономодни оптички влакна (SM)**.

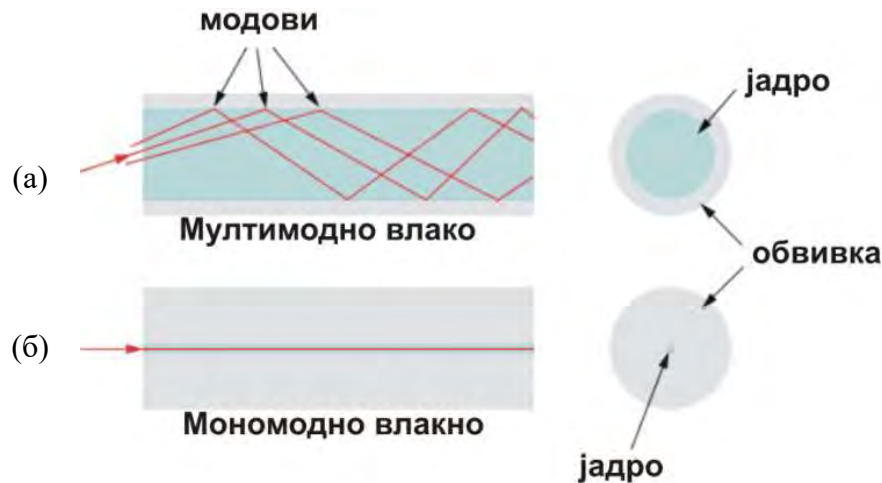
Пресекот на јадрото на мономодното влакно типично е од 9 μm , додека пречникот на влакното и обвивката е околу 125 μm .

Пресекот на јадрото на мултимодните влакна е од 50 μm или 62,5 μm , а вкупниот пресек на влакното е околу 125 μm . Пресекот на јадрото на мултимодното влакно може да биде и до 100 μm . Во таков случај, пресекот на влакното е 140 μm . Заедно со пластичната примарна заштита, пресекот достигнува дебелина на влакно на човечка коса, околу 250 μm .

Mod е секој посебен пат што го изминува секој светлосен зрак кога ќе се внесе во јадрото. Има оптички влакна само со еден пат (мономодни) или со повеќе патишта (мултимодни).

Напречен пресек заедно со патишта на светлинските зраци кај мултимодно оптичко влакно е прикажан на Сл. 5-8 (а), додека кај мономодните оптички влакна на сл. 5-8 (б).

Кај мултимодните влакна, пресекот на јадрото е поголем и поголем е бројот на зраци кои се простираат низ влакното. При преносот, можно е зраците да се судираат и да дојде до нивна интерференција, односно поништување, а со тоа и слабеење. Значи кај мултимодните влакна поголемо е слабеењето, а со тоа помали се растојанијата кои со нив можат да се премостат до 2 km, за разлика од мономодните, кои се користат за пренос на неколку десетици километри без регенератори. Исто така, излезниот сигнал многу повеќе се деформира кај мултимодните влакна, па веројатноста за грешка при декодирање е поголема, се зголемува битовата грешка BER (bit error rate).



Сл. 5-8. Мултимодно и мономодно оптичко влакно

Технолошкиот процес за производство на оптичките влакна е поедноставен, а со тоа и со пониска цена, ако се произведува влакно со поголем пресек на јадрото. Во пошироко јадро, полесно влегува светлина и предавателот не е многу фокусиран и полесно ги прима пораките. Така целокупниот оптички систем е поевтин и таквите системи денес се користат кај локалните компјутерски мрежи. Со стандардот ISO 11801, со кој се дефинира структурното вмрежување на LAN, се препорачуваат мултимодни влакна, и тоа со пресек на јадрото од 62,5 μm (обвивката е 125 μm , па тие влакна се означуваат како 62,5/125). За поголеми растојанија во телекомуникациите доминираат мономодните оптички влакна, и тоа со ознака 9/125, значи со пресек на јадрото од 9 μm и обвивка од 125 μm .

Познато е дека сите оптички влакна имаат јадро кое е од стакло со одреден индекс на прекршување и обвивка која се наоѓа околу јадрото. Обвивката е исто така од стакло, но со друг индекс на прекршување. Во јадрото упаѓа светлина од изворот, но под одреден агол доаѓа до тотална рефлексija. Во зависност од конструкцијата, начинот на рефлексija од граничната површина и напречниот пресек на оптичките влакна, разликуваме три типа на оптички влакна:

- мултимодни оптички влакна со индекс на стапка (степ индекс) на прекршување;
- мултимодни оптички влакна со градиентен индекс на прекршување;
- мономодни оптички влакна со степ индекс на прекршување.

Мултимодно влакно со степ индекс на прекршување-Ова влакно има дијаметар од 100 μm до 970 μm и може да биде направено од стакло, PVC или пластика. Јадрото и обвивката имаат различни индекси на прекршување. Јадрото е направено само од еден материјал.

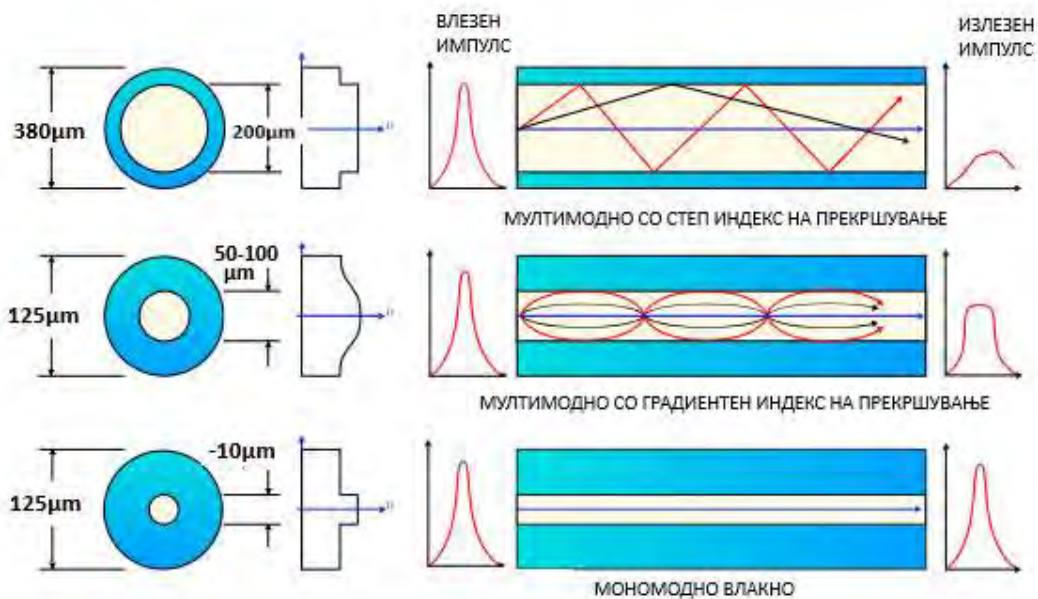
Индексот на прекршување на јадрото е n_1 , тогаш светлинскиот зрак низ влакното се простира во ист материјал и неговата патека е праволиниска и кога доаѓа на граничната површина, тотално се рефлектира од неа. Тоа се таканаречени степ-индекс влакна.

Бидејќи дијаметарот на јадрото е голем, низ влакното во исто време се простираат многу различни модови. Како резултат на ова, имаме значително ширење на импулсот на излезот од влакното.

Мултимодно влакно со градиентен индекс на прекршување-Ако јадрото е направено од стакло со индекс на прекршување кој не е ист во сите точки, тогаш зракот нема да се пренесува праволиниски. Секое место каде што се менува индексот на прекршување се однесува како мала гранична површина која го рефлектира зракот. Кај мултимодното влакно со градиентен индекс на прекршување, центарот на јадрото има поголем индекс на прекршување од неговите краишта. Индексот на прекршување градиентно се намалува одејќи од центарот кон надворешните делови на јадрото. Затоа светлината што патува низ центарот на јадрото патува побавно од светлината што минува по крајот на јадрото. Светлината што се одбива од граничните делови има подолг пат, но патува со поголема брзина, па на излезот стигнува во исто време со светлината што патува низ центарот. Со ова е намалено несаканото ширење на импулсот.

Мономодно влакно со степ-индекс на прекршување-Мономодното влакно со степ-индекс на прекршување има јадро со дијаметар 8-10 μm . Индексот на прекршување на јадрото е само малку поголем од оној на обвивката и не се менува во функција од радиусот на јадрото. Дијаметарот на јадрото е толку мал што може да се пренесува само еден мод, со што во голема мера е намалено ширењето на импулсот на излезот.

На Сл. 5-9 е даден приказ на принципот на пренос преку оптичките влакна.



Сл. 5-9. Видови на оптички влакна: мултимодно, со степ индекс на прекршување, мултимодно со градиентен индекс на прекршување и мономодно влакно

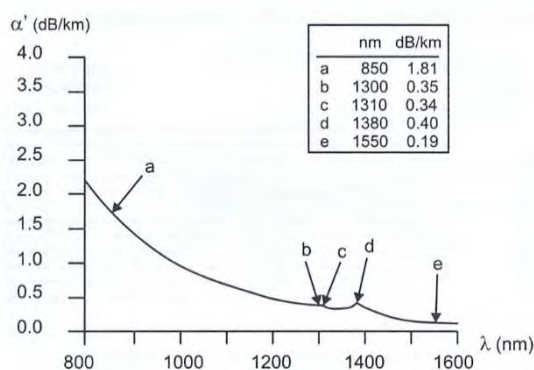
5.3 ТРАНСМИСИОНИ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОПТИЧКИТЕ ВЛАКНА

5.3.1 Зависност на слабењето од брановата должина на светлината

Денес, за пренос на оптичките сигнали се користи светлина чија бранова должина е на границата помеѓу инфрацрвената светлина и видливиот опсег. Воочено е дека во овој бранов опсег има помало слабење при поминување на светлината низ оптичкото влакно. Брановите должини што се користат во оптичките телекомуникации во кои има мало слабење на светлинскиот сигнал се викаат „оптички прозорци“.

Ако направиме мерења, така што на почетокот на оптичкото влакно долго точно еден километар поставиме предавател на оптички сигнали со бранова должина $0,70 \mu\text{m}$ и ја одредуваме моќноста на крајот со одреден приемник, тогаш ја мериме моќноста на оптичкиот сигнал помеѓу предавателот и приемникот. Мерењето го повторуваме така што го заменуваме парот предавател – приемник со нов кој работи на бранова должина од $0,75 \mu\text{m}$ и повторно вршиме ново мерење, па повторно ги заменуваме парот предавател – приемник со нови кои работат на $0,80 \mu\text{m}$ (така ги мериме сите бранови должини во опсегот од $0,70$ до $1,60 \mu\text{m}$ со чекор од $0,05 \mu\text{m}$). Вака измерените вредности ги претставуваме графички, каде што е дадена зависноста на промената на слабењето на единица должина, односно надолжно слабење α (dB/km). Графичката зависност на надолжното слабење од брановата должина е дадена на сл. 5-10.

На графиконот разликуваме три области на бранови должини кои се користат во оптичките комуникациски системи и тие области се викаат „оптички прозорци“. Трите прозорци се избрани поради некои специфични карактеристики на оптичкото влакно на тие бранови должини. Првиот прозорец е околу 850 nm ; кај него зависноста на слабењето од брановата должина е линеарно. Вториот прозорец е околу 1300 nm ; кај него материјалната и брановата дисперзија меѓусебно се поништуваат, па се јавува хроматска дисперзија еднаква на нула. Третиот прозорец е околу 1550 nm , со најмало слабењето од $0,2 \text{ dB/km}$.

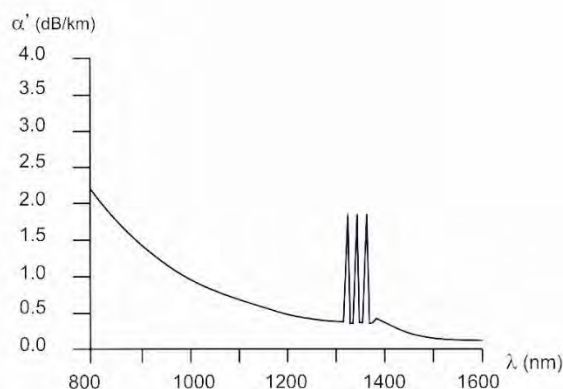


Сл. 5-10. Графичка зависност на надолжното слабење од брановата должина

За пренос на оптичките сигнали се користат предаватели и приемници кои емитураат (инфрацрвена) светлина со бранова должина, кои се наоѓаат во оптичките прозорци, за да се намали слабењето на сигналот. Најдобро е кога се користи третиот оптички прозорец, доколку цените на предавателот и приемникот кои работат во овој оптички прозорец не се високи. Со усовршувањето и поевтинувањето на оптичките компоненти, наместо првиот оптички прозорец се користи вториот оптички прозорец, а денес се користи целиот опсег на фреквенции на вториот и третиот оптички прозорец.

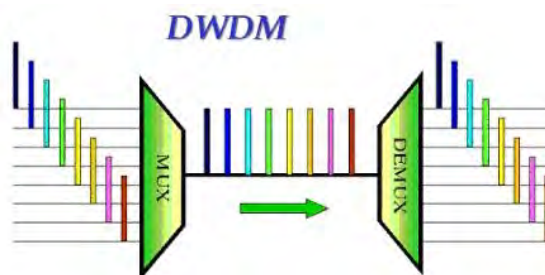
Можно е истовремено да се пренесуваат повеќе светлосни сигнали со различни бранови должини во еден оптички прозорец. Тогаш има подобро искористување на потенцијалот на оптичките влакна. За реализација на ваков пренос се користат предаватели кои дават сигнали со тесни спектри, кои се надоврзуваат еден на друг, притоа да нема мешање на сигналите.

Оптичките системи кои вака се изведени прават мултиплексирање по бранови должини и се нарекуваат WDM системи (Wavelength division multiplex). Тоа е фреквенциски мултиплекс. На сл. 5-11, даден е WDM систем со три сигнали чии спектри не се поклопуваат. Светлините се од повеќе бои или бранови должини и секоја од нив носи различен канал на податоци.



Сл. 5-11. WDM систем со три сигнали

DWDM (Dense wavelength-division multiplexing) е систем од 4 и повеќе бранови должини во третиот оптички прозорец; главно се користат од 16 до 40 различни бранови должини. Во лабораториите на Bell, во 1997 година, демонстрирале употреба на WDM систем со 100 зраци, секој да работи на 100 Gbps. Моментно, во комерцијална употреба се наоѓаат системи со 80 канали од 100 Gbps. Во најновите системи, бројот на фреквенции, односно бои е и до 160. Во план се и системи со 240 мултиплексирани бранови должини. На сл. 5-12 е даден мултиплекс на бранови должини DWDM.



Сл. 5-12 Мултиплекс на бранови должини DWDM

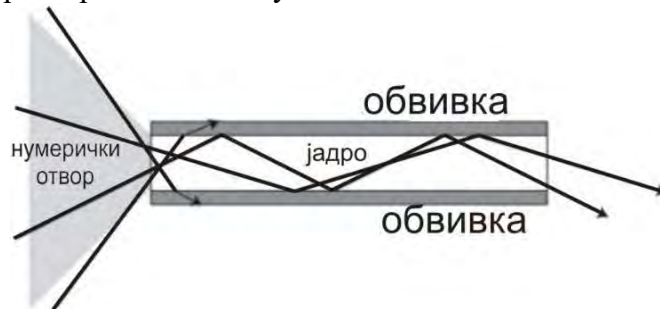
Голема примена имаат системите со 8 бранови должини CWDM (CoarseWDM). Тие имаат помала цена затоа што не им требаат температурно стабилни ласери.

5.3.2 Пренос и загуби при преносот со оптички влакна

Преносот со помош на оптички влакна и видовите загуби кои се појавуваат при преносот, како и употребата на различните видови оптички влакна зависат од преносните карактеристики. Типични преносни карактеристики на светлководите се: нумеричкиот отвор, брзината на простирање, слабењето, дисперзијата, широчината на пропусниот опсег и бројот на модови.

Битен фактор што влијае на донесувањето на светлината во јадрото е **нумеричкиот отвор** или нумеричка апертура (NA) на влакното. За да се добие колку што е можно повеќе ласерска светлина во приемникот, потребно е да се искористи колку што е можно поефикасен метод на внесување на светлината во јадрото.

Нумеричкиот отвор е просторот пред светловодот во кој упаѓаат светлосните зраци. На сл. 5-13 даден е просторот на можно упаѓање.



Сл. 5-13. Нумерички отвор

Нумеричкиот отвор може да го замислиме како инка пред јадрото, која ја води светлината внатре. Секој светлосен сноп што влегува со агол поголем од аголот одреден со инката ќе биде изгубен во обвивката, бидејќи нема да се одбие од граничната површина меѓу јадрото и обвивката, туку ќе се прекрши и ќе патува низ обвивката.

Во мултимодните оптички влакна во кои влегуваат повеќе светлосни зраци, сите тие имаат различен упаден агол. Упадниот агол кој е во просторот на нумеричкиот отвор го одредува и модот, патот на движење низ светловодот чиешто простирање е со тотална рефлексија. Нумеричкиот отвор на оптичкото влакно зависи од индексот на прекршување на јадрото (n_1) и на обвивката (n_2).

$$NA = \sin \theta = \sqrt{(n_1)^2 - (n_2)^2} \dots\dots\dots (5-1)$$

каде што θ е упадниот агол на светлосниот сноп.

Од индексот на прекршување n зависат уште некои параметри на светловодот, како:

Брзината на простирањето. Брзината на простирањето низ оптичкото влакно е иста со брзината на светлината, но обратнопропорционално зависи од индексот на прекршувањето на средината низ која се простира, односно јадрото

$$v = C_0/n \dots\dots\dots (5-2)$$

каде што C_0 е брзината на светлината во слободен простор (воздух).

Дисперзија е појава на ширење на светлинскиот импулс кога тој патува низ оптичкото влакно. Разликуваме два типа дисперзии: модална дисперзија и хроматска.

➤ Модална дисперзија се јавува само кај мултимодните влакна. Таа е резултат на тоа што светлината минува различни патишта низ влакното и на далечниот крај пристигнува со извесно задоцнување.

➤ Хроматската дисперзија е резултат на фактот што изворите на светлина не зрачат „монохроматска“ светлина со една бранова должина, туку изворите зрачат светлина во одреден спектар на бранови должини. Тој спектар е тесен, не многу широк, но сепак факт е дека некои карактеристики на влакното зависат од брановата должина и различните бранови должини се движат со различна брзина, што резултира со појава на хроматска дисперзија. Хроматската дисперзија се дели на материјална и брановидна дисперзија.

Слабењето на светлината е исто така важен параметар при пренесувањето низ светловодите. Кога светлината патува низ јадрото, слабењето може да биде предизвикано од четири причини: апсорпција, растурање, макросвиткувања и микросвиткувања.

- Апсорпција се јавува како последица на постоењето на одредени нечистотии во стакленото јадро.
- Растурање се јавува кога светлината удира во одредена позиција на материјалот со различна густина.
- Макросвиткување е свиткување на оптичко влакно кое е поголемо од дозволеениот радиус на свиткување на влакното, а кое предизвикува светлината да го напушти јадрото и да патува низ обвивката (вообичаено, макросвиткувањето се јавува поради лоша инсталација).
- Микросвиткување е микроскопско избличување на оптичкото влакно кое предизвикува светлината да го напушти јадрото и да патува низ обвивката (микросвиткувањето е резултат на одредени проблеми во производството). Оптичкиот извор и приемникот треба да бидат поврзани на исто влакно.

Широчината на пропусниот опсег на светловодите го одредува опсегот на фреквенции во кои амплитудите на импулсите не се намалуваат на половина, односно намалување од 3 dB. Широчината на опсегот е тесно врзана со дисперзијата во светловодот и за некои светловоди е:

- кај мултимодните оптички влакна со степ-индекс на прекршување, пропусниот опсег е десетина MHz на 1 km;
- кај мултимодните оптички влакна со континуиран индекс на прекршување, градиентен, пропусниот опсег е стотина MHz на 1 km;
- кај мономодните оптички влакна со скоковит индекс на прекршување (степ-индекс), пропусниот опсег е од илјада MHz на 1 km.

Овој производ го дефинира квалитетот на пренос по светловодот.

На пример, светловод со пропусен опсег од 200 MHz на 1 km, има можност за пренос на: 200 MHz на 1 km; или 400 MHz на 0,5 km; или 100 MHz на 2 km.

Бројот на водечки модови кај оптичкото влакно зависи од: дијаметарот на јадрото, брановата должина и од нумеричкиот отвор.

5.3.3 Оптички кабли

Оптичкиот кабел е збир на повеќе оптички модули кои се споени на одреден начин. Оптичките влакна и оптичките модули во каблите може да се поставени на различен начин. На сл. 5-14 се дадени некои изведби на оптички кабли.



Сл. 5-14. Оптички кабли

Во зависност од изведбата, оптичките кабли можат да се поделат во две групи: кабли со цврста структура и кабли со лабава структура.

За **каблите со цврста** структура е карактеристично следното:

- Примарната заштита е од многу мек силикон, смола или од акрилат, со дебелина од 0,1 mm до 0,2 mm.
- Директно над примарната заштита се наоѓа слој од секундарна заштита од полиестер, полиамид или од полиолефин, со дебелина од 0,1 до 0,3 mm.
- Дијаметарот на оптичката жила е типично од 0,6 до 1,2 mm.

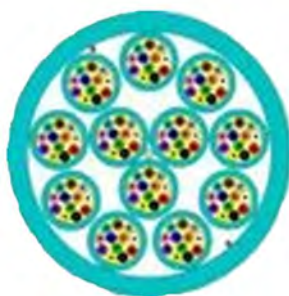


Сл. 5-15. Оптички кабел со концентрично поставени влакна

На сл. 5-15 е претставен напречен пресек на еден оптички кабел со концентрично поставени влакна, каде што: 1 – заштитна обвивка, 2 – гел, 3 – оптичко влакно, 4 – пластично јадро. Кај овие кабли може да се постигне голема густина на пакување на влакната и голема свитливост. Овие кабли поднесуваат оптоварувања од удари и краткотрајни високи притисоци. За добро да се поднесуваат многу високи и многу ниски температури, изработката на оптичките влакна бара голема геометриска прецизност и униформност на физичките карактеристики на примарната и на секундарната заштита. Таквите кабли можат да работат во опсег на температури од -55° до $+70^{\circ}$.

Кабли со лабава структура. Каблите со лабава структура можат да бидат: кабли со жлебови и кабли со цевки.

Кабли со жлебови – класичните и жлебестите модули се подредуваат концентрично, слично како кај симетричните кабли (сл. 5-16). На централниот елемент, кој е од челик, се наоѓа профил од тврда пластика, на пример, со 6 жлеба. Жлебовите се или во облик на завртка или во облик на синусоида. Во жлебовите, без затегнување, се поставени оптички влакна (едно или повеќе во секој жлеб). Жлебовите можат да бидат наполнети со гел или масло. Преку пластичниот профил е поставена обвивка од пластични ленти – полиетиленски плашт. Модулите во лента се редат така што два краја остануваат празни заради заштита.



Сл. 5-16. Оптички кабли поставени во цевка

Освен оптичките влакна, во јадрото на кабелот се вметнуваат и **елементи за зајакнување**, кои ги штитат оптичките влакна од развлекување и од прекин. За таа цел вообичаено се користат: жица од челик, алуминиум или бакар; влакна од полиестер, стакло или јаглен; повеќе впредени влакна од пластична материја и др. Елементите за зајакнување можат да се постават: во средина на јадрото, на периферијата на јадрото или околу јадрото. Други елементи се: надворешната заштита, која е метална, и различни видови пластични материји за исполнување на каблите.

Означувањето на оптичките кабли се врши со букви или со цифри, и тоа: ТО-ТК-кабел со светловодни влакна.

Оптичките кабли со повеќемодни влакна ја имаат следната ознака:

ТО ММ аb пхАхNхВхS,

каде што:

ММ означува повеќемодни влакна (Multi Mode);

аb – бројна ознака за арматурата на каблите (13-полиетилен, 14 PVC, 15 мазен.);

п – број на влакна;

А – бројна ознака за слабеење [dB/km];

N – со римски број, бранова должина [I-850 mm, II-1.300 mm];

В – фреквенциски опсег (MHz/km);

S – дополнителна ознака за конструкција.

Поставувањето на оптичките кабли во земја е слично како и конвенционалната техника на поставување на ТК-бакарни кабли во кабелската канализација. При поставувањето на оптичките кабли се води посебна грижа за заштитата од удари, оптоварувања, како и за заштита од глодари. При поставувањето се користат кабелски плугови, макари со возило или се поставуваат рачно.

Вовлекувањето на оптичките кабли во кабелската канализација се прави со помош на млаз од компримиран воздух. За да се искористи просторот на кабелската канализација (на пример, во цевка со дијаметар од 100 mm) прво се вовлекуваат три или четири помошни цевки со надворешен дијаметар од 35 mm до 40 mm, а потоа во нив се ставаат оптички кабли со дијаметар од 23 mm.

Оптичките кабли можат да се поставуваат и над земја, како дел од воздушните мрежи. Ваквото поставување на оптичките кабли е слично на конвенционалниот начин на поставување на воздушни водови. Притоа, може да се користи инфраструктурата на други преноси. Така, на пример, може да се користат мрежите во железничкиот сообраќај. При ваквото поставување треба да се води сметка на надворешните влијанија (температурата, ветерот и сл.).

Оптичките кабли се поставуваат и во згради, како и во одредени простории. Притоа се води сметка на спојувањето на оптичките влакна, кое може да биде:

- топлинско (со термичко варење), при што се можни слабеења од 0,1 dB или;
- механички фиксирања, при што се можни слабеења до 0,3 dB.

Споените оптички кабли се ставаат во куќишта, односно во оптички спојници.

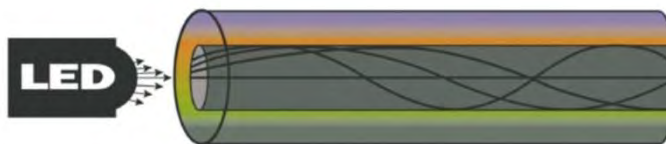
5.4 ЕЛЕКТРООПТИЧКИ ПРЕТВОРУВАЧИ

Во оптички комуникациски систем, електричниот сигнал на излезот од предавателот, со помош на електрооптички претворувачи (ласери и светлосни диоди), се претвора во светлосен сигнал, а на влезот од приемникот, со помош на фотодетектори, светлинскиот сигнал повторно се претвора во електричен. Значи фотоелементите имаат важна улога и место во фибер-системите. Најчесто користени оптички уреди кои електричниот сигнал од предавателот го претвораат во светлина се:

- LD (Laser diode) извори на кохерентна светлина, кои се почувствителни на температурни промени, но се поскапи;
- LED (Light emitting diode) извори на некохерентна светлина, кои се многу сигурни во работата и се поевтини.

Кога преносот е со амплитудно-модулирани сигнали, тогаш се врши промена на интензитетот на светлината на оптичкиот извор, а кога преносот е со дигитално-модулирани сигнали, тогаш имаме импулс на светлина со променлива должина или положба.

На сл. 5-17 даден е еден оптички кабел со фотоелемент LED-диода.



Сл. 5-17. Мултимоден кабел со фотоемисиона LED-диода

Како оптички приемници на страната на предавателот се користат детектори чувствителни на светлина, во кои се врши конверзија на светлината во електричен сигнал. На приемната страна најчесто се користат:

- PIN-фотодиода,
- APD (Avalanch photo diofde) лавиринт фотодиода;

Светлината што се користи за пренесување на информациите е во опсегот од 10^{14} Hz до 10^{15} Hz или (300 nm до 3 μ m). Во овој опсег се користат некои делови или прозорци, како:

- прв прозорец (first FW) на 850 nm;
- втор прозорец (second SW) на 1.300 nm;
- трет прозорец (third TW) на 1.500 nm
- двоен прозорец (double DW) комбинација од два прозорци.

5.4.1 Фотодиода

Фотодиоди се полупроводнички елементи чија електрична спроводливост се менува во зависност од светлината. При инверзна поларизација, без изложеност на светлина, низ диодата протекува многу мала струја наречена струја на темно. Доколку инверзно поларизираната фотодиода се изложи на зрак светлина, низ диодата ќе почне да протекува струја која ќе биде пропорционална на интензитетот на светлината. Ако фотодиодата директно се поларизира, таа влегува во нелинеарен режим на работа, кој не може да се користи за детектирање на светлина.

За силициумските диоди, чувствителноста е најголема за бранова должина од околу 900 nm. Фотодиодите имаат добра фреквенциска карактеристика (мала инертност); зависноста на струјата од светлинскиот флукс е линеарна.

Недостаток на фотодиодата е брзото растење на струјата на темно, во зависност од температурата и од нејзините мали вредности. Затоа фотодиодите најчесто се изведени во спрега со транзисторски засилувачи.

5.4.2 LED-диода (Light Emitting Diode)

Светлосна или LED-диода е полупроводнички елемент со еден **pn** спој во кој електричната енергија се претвора во светлосна.

Работата на LED-диодата е спротивна од работата на фотодиода. Кога таа е директно поларизирана (анодата на поголем потенцијал од катодата), диодата емитира светлина. При судир на електроните со атомите доаѓа до ослободување на енергија, т. е. фотони (елементарни честички на светлината). Таа појава се нарекува ефект на електролуминисценција, кој се појавува кај сите pn споеви, меѓутоа лесно е забележлив само кај одредени полупроводливи материјали. Каква боја ќе биде светлината, зависи од материјалот од кој е изработена диодата. Галиум арсенид дава инфрацрвена светлина, галиум фосфид дава видлива светлина со црвена боја, додека галиум арсенид фосфид, во зависност од количината на фосфор, може да има зелена или жолта боја. Инфрацрвените диоди се употребуваат кај мобилните телефони, далечински управувачи, сензори, во роботиката, за ноќни снимања.

Секоја диода си има своја работна струја (ред на големина 20 mA) при што диодата свети најсилно. За помали струи, диодата слабо свети или нема да свети, а за поголеми може да се оштети. На таа работна струја одговара и соодветен работен напон (црвена LED, $U_D = 1,6 \text{ V}$; портокалова LED, $U_D = 2 \text{ V}$; жолта, зелена LED, $U_D = 2,4 \text{ V}$; сина LED, $U_D = 3,4 \text{ V}$).

Светлосните диоди се вградуваат во пластични или метални куќишта со цилиндричен облик, чија горна површина е од просирен материјал. Често може да се додаде леќа за фокусирање на светлосниот сноп или оптички филтер, кој ќе ја промени бојата на светлината. Добри страни на LED-диодите се: работа со мали напони и мала потрошувачка на моќност, голема брзина на одзив, долг работен век, широко подрачје на работни температури, голема механичка отпорност. Недостатоци се: температурна зависност на моќноста од светлосното зрачење, чувствителност при зголемување на напонот и струјата.

5.4.3 Ласери

Ласерите се оптички квалитетни генератори на монохроматски и строго кохерентни бранови на светлина во видливиот, инфрацрвениот и ултравиолетовиот дел од спектарот, добиена со помош на стимулирана емисија. Името **LASER** (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) значи засилување на светлината со стимулирана емисија на зрачење.

Првиот ласер кој работи во оптичко подрачје е рубинскиот ласер, конструиран во 1960 година.

Видови ласери. Во практиката се користат повеќе видови ласери. Во зависност од активната средина, ласерите може да се поделат на ласери со средина во тврда, гасна и течна состојба. Во посебна група ласери се вбројуваат полупроводничките ласери.

Според методот на побудување на атомите, ласерите може да бидат: оптички, топлотни, хемиски, побудување со високоенергетски електронски снопови, електројонизациски итн.

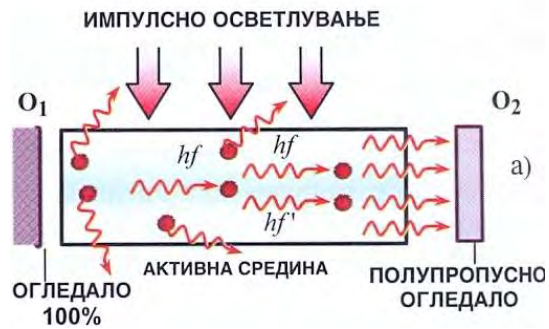
Во однос на внатрешниот состав на активната средина, ласерите може да се поделат на: атомски, молекулски и јонски, а според режимот на работа, на континуирани (He-Ne ласерот), импулсни (рубинскиот) и импулсно-периодични. Според брановата должина на светлината која ја емитуваат, ласерите се делат на: ласери за инфрацрвена (блиска и далечна), видлива, ултравиолетова и рендгенска светлина.

Во зависност од распределбата на светлината, ласерите можат да бидат: континуирани и импулсни. Кај континуираните ласери, светлоста е континуирана во зависност од времето, а кај импулсните светлината периодично се менува во времето. Ласерите со континуирано зрачење вообичаено се со мала моќност (до 100 mW) и најчесто се во црвен или инфрацрвен опсег на светлината. Како активна материја, а воедно и како резонатор се користат полупроводни плочки (eng. chip) од типот GaAs, InP, GaSb. Тие масовно се произведуваат и широко се употребуваат, заради едноставната технологија на изработка и ниската цена.

Основни составни делови на секој ласер се:

- **работната средина** – активната средина, каде што има услови за инверзна поларизација на енергетските нивоа, а со тоа и создавање на стимулирана емисија;
- **систем за побудување** или импулсно осветлување на атомите (за создавање инверзна поларизација во активната средина);
- **оптички резонатор** – огледала за одделување на снопот фотони во избрана насока и формирање кохерентен светлински сноп со определена бранова должина;
- **систем за ладење;**

Оптичка шема на ласер е дадена на сл. 5-18.



Сл. 5-18. Шема на ласер

Ласерското зрачење се јавува како резултат на рекомбинација на електрони и шуплини во самиот полупроводник кога на неговите краеве ќе се донесе соодветен напон. Номиналната бранова должина на емисијата (бојата) ја дефинира типот на полупроводникот и струјата која минува низ полупроводникот и температурата.

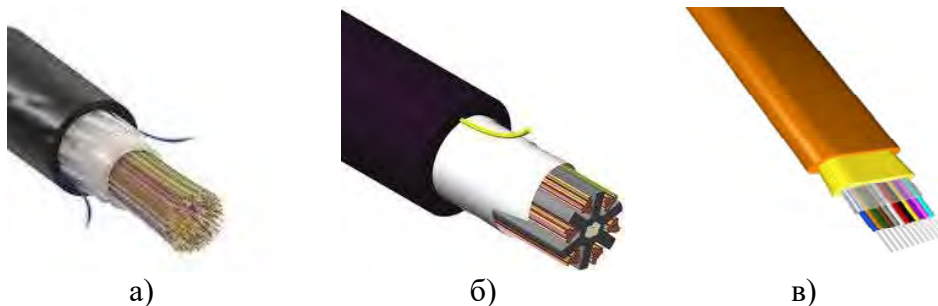
Основните својства на ласерската светлина, како што се: временски просторна кохерентност, висока монохроматичност, мала дивергентност, голем интензитет, лесно фокусирање на мали површини, нашле голема примена во науката и техниката.

Поради големата кохерентност, ласерската светлина е подобра за модулација од радиобрановите. Бидејќи ласерската светлина има милион пати поголема фреквенција од радиобрановите, исто така поголем е и бројот на информациите (тон и слика) што се пренесува.

5.5 ОПТИЧКИ МОДУЛИ

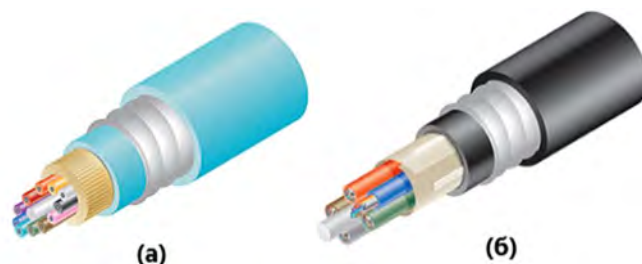
Оптичкиот модул е збир од оптички влакна кои на одреден начин се споени заедно и се ставени во заштитна обвивка. Имаат различни дизајни кои ја определуваат нивната механичка отпорност. Помеѓу јадрото и заштитната обвивка се наоѓа баферот или тубата. Денес се користат три основни типа модули:

- Класични модули, во кои оптичките влакна се слободно наредени во концентрични кругови, како кај симетричните кабли сл. 5-19 (а);
- Жлебести, во кои влакната се слободно ставени во жлебови на периферијата на цилиндричниот носач од пластика. Обликот на жлебовите може да биде правоаголен, триаголен и полукружен. Вообичаено е во нивниот состав да има и елемент за механичко растоварување (на пример, челична жица), сл. 5-19 (б);
- Лентести, во кои одделните заштитени и незаштитени влакна се ставени во посебни ленти од пластифициран алуминиум или полиестер сл. 5-19 (в).



Сл. 5-19. Оптички модули: (а) класичен модул, (б) жлебест модул, (в) лентест модул

Секое влакно е механички заштитено со обвивка од некој вид пластика. Начинот на кој влакното е сместено во таа заштита одредува каде кабелот може да се користи, дали кабелот е добар за инсталација во зграда или пак може да биде инсталиран надвор. Кај каблите кои се користат само за внатрешна монтажа, оваа заштитна обвивка е директно нанесена на влакното и тесно е споена со него (tight buffer), или цврста туба.



Сл. 5-20. Дизајн на оптичките влакна (а) цврста туба, (б) лабава туба

Кај каблите кои се за надворешна инсталација, помеѓу влакната и заштитата се наоѓа слој од аморфен гел (loose tube), или лабава туба. На сл. 5-20 дадени се двата типа на дизајн на оптички кабли. Со промена на температурата доаѓа до ширење и пукање на заштитата. Кај лабавата туба, дел од притисокот оди на гелот, така што овој вид на кабли може да се користат за надворешна инсталација.

РЕЗИМЕ:

- Оптичкото влакно или светловод е медиум за пренос низ кој се пренесуваат повеќе сигнали истовремено во иста насока, како светлина. Оптичкото влакно се состои од стаклено јадро и стаклена обвивка над кои се наоѓа пластична заштита. Оптичкото влакно може да биде мономодно и мултимодно.
- Долж оптичкото влакно се пренесува светлосен сигнал со бранова должина во опсегот од (800 – 1600 nm).
- Основни делови на оптичкиот систем се предавател, оптички вод и приемник на светлината.
- Предавателот може да биде ласер или LED-диода. Приемникот може да биде PIN или APD-фотодиода.
- Добри особини на оптичкото влакно се: мали димензии и маса, неосетливи се на електромагнетни влијанија, голем број сигнали се пренесуваат по едно влакно, мало слабеење и мал број на потребни засилувачи, не се штетни за човековото здравје, економични се.
- Оптички прозорци се области на брановите должини во кои слабеењето на светлинскиот сигнал е мало. Постојат три оптички прозорци: I (околу 0,85 μm), II (околу 1,3 μm) и III (околу 1,55 μm) со најмало слабеење.
- Изборот на оптичкиот прозорец во кој работи системот се сведува на избор на предавателот и приемникот кои работат на брановата должина што е во опсегот на прозорецот на даденото влакно.
- Оптички кабел кој има повеќе оптички влакна има улога да го штити влакното од механички влијанија на околината.
- По својата конструкција, оптичкиот кабел може да биде со јадро со стегната конструкција и јадро со слободна конструкција.
- Каблите со цврста структура, конструкција, се употребуваат за инсталации. Каблите со јадра со лабава структура се ставаат во земја или во кабелска канализација.

- Нумеричката апертура ја одредува максималната вредност на упадниот агол на светлината од надворешната средина во внатрешноста на влакното, при која сè уште доаѓа до тотална рефлексија на границата на обвивката и влакното.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ:

1. Која бранова должина на светлинскиот сигнал се пренесува низ оптичкото влакно?
2. Што е оптичко влакно?
3. Како се делат оптичките влакна според функцијата?
4. Објасни го поимот на оптички прозорец!
5. Како се делат оптичките кабли во зависност од конструкцијата?
6. Објасни ја структурата на оптичките кабли!
7. Кои се карактеристиките на ласерот?
8. Каде се користат јадрата со лабава структура?
9. Што покажуваат ознаките на оптичките кабли:
 - а. TO MM 09 19 29 P6 x1x30x600C M A
 - б. TO SM 03 4 x 11x 0,8x 3,5 CAN

Заокружете го точниот одговор.

10. Што значат буквите MM во ознаката на оптичките кабли со повеќемодни влакна TO MM ab nxAxNxVxS
 - а. мултимодни влакна
 - б. мономодни влакна
 - в. број на модови
 - г. број на модули
11. Кои оптички кабли би ги избрале за да постигнеме најквалитетен пренос на сигнали?
 - а. лентести
 - б. жлебести
 - в. класични
 - г. стандардни
12. Колкава е дебелината на мултимодното оптичкото влакно со степ-индекс на прекршување?
 - а. од 100 до 970 μm
 - б. од 100 до 970 nm
 - в. 1.970 μm
 - г. 10 μm
13. Што е збир на оптички влакна кои на одреден начин се споени заедно?
 - а. оптички модул;
 - б. оптички кабел;
 - в. оптички вод;
 - г. оптички мод.
14. Од што зависи нумеричкиот отвор на оптичкото влакно?
 - а. од индексот на прекршување;
 - б. од дебелината на јадрото;
 - в. од материјалот на обвивката;
 - г. од брзината на простирањето.

Модуларна единица 6: Антени

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Улога на антени
2. Насочено простирање на електромагнетни бранови од антени

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Наведуваат основни параметри на антени
2. Објаснуваат принцип на сателитски пренос
3. Разликуваат видови на антени и нивна примена

6 АНТЕНИ

Врската меѓу предавателот и приемникот се остварува со помош на електромагнетни бранови кои ги емитува предавателот, а ги прима приемникот. Оваа врска честопати користи антени, како електрични уреди со помош на кои се емитуваат и се примаат електромагнетни бранови и се претвораат во електричен напон. **Аntenите** се електрични уреди кои имаат улога од електромагнетните бранови да примат колку што е можно поголема енергија и да ја претворат во електричен сигнал и обратно.

Аntenите можат да бидат *предавателни* и *приемни*. Antените ефикасно ќе ги извршуваат двете функции, емитување и прием на енергијата, само за одредено фреквенциско подрачје. Во зависност од широчината на фреквенцискиот опсег во кој антената е приспособена, разликуваме: резонантни антени (со тесен опсег) и аperiодични антени (со широк опсег).

Според својата конструкција, антените можат да бидат најразлични. Најчесто се разликуваат според местото на употреба, па оттаму имаме: телевизиски антени, антени за УКБ бранови, антени за сателитски пренос, радиоантени и др. Основната разлика меѓу телевизиските и УКБ-антените, од една страна, и радиоантените, од друга страна, е во тоа што првите претставуваат резонантни антени, за разлика од радиоантените, кои не се резонантни. Резонантна антена значи дека антената е конструирана само за еден резонантен опсег на фреквенции, односно за прием на само еден влезен бран.

Оваа особина на телевизиските и на УКБ-антените бара точни пресметки на нивните конструктивни делови, затоа што резонантноста на антените се постигнува со користење на резонантни должини за елементите на антените. Голем број од антените се комбинирани. Комбинацијата е направена од повеќе резонантни антени, а секоја од нив покрива соодветен опсег на канали.

6.1 УЛОГА НА АНТЕНАТА

6.1.1 Пренос со електромагнетни бранови

Во безжичните комуникации, носители на информациите се електромагнетните бранови (ЕМБ). Во тој систем постои предавател кој е почеток на комуникацискиот пат и приемник кој е крај на комуникацискиот пат. Меѓу поважните делови на предавателот и приемникот се антените.

Уште во старо време биле познати појавите на електрицитет и магнетизам. Првите квалитативни мерења во оваа област ги направил Французинот Кулон. Првиот доказ за поврзаноста на електрицитетот и магнетизмот го дал Данецот Ерстед (1820). Продолжувањето на овој тип експерименти овозможило утврдување на создавањето електрична струја со помош на магнетно поле (Фарадеј, 1831). Финалните заклучоци ги извел неговиот ученик Максвел. Тој заклучил дека суштината е во тоа што променливото магнетно поле во просторот околу себе создава (индуцира) променливо електрично поле, кое пак создава струја во спроводникот. Со сите овие претпоставки, Максвел математички ја поставил теоријата на ЕМБ.

Експериментални докази на Максвеловата теорија извел Херц, десет години по смртта на Максвел во 1887 година. Печат на овој историски развој ставил Тесла, кој во 1893 година демонстрирал безжичен пренос на десетина километри, за во 1896 година, со станица со моќност од 200 kW, да направи врска на растојание од 1 000 km.

При простирањето на брановите низ воздухот важат истите закони на простирање како при простирањето на секој бран: рефлексива, рефракција, интерференција и др. Електромагнетните бранови се простираат со брзина од 300 000 km/s низ просторот.

На простирањето на електромагнетните бранови влијаат многу фактори, како: брановата должина, заобленоста на Земјата, составот на земјиштето, времето од денот и годината, составот на атмосферата, магнетното поле на Земјата, метеоролошките услови и др.

Средината низ која се простираат радиобрановите од предавателната до приемната антена најчесто е Земјината атмосфера, но радиобрановите можат да се простираат и низ горниот слој на Земјата, низ вода, и слично.

Во зависност од особините, електромагнетните бранови се делат на бранови подрачја. Поделбата на ЕМБ според подрачјата на користење, нивните метрични имиња, бранови должини и фреквенции е дадена во табела 6-1.

Табела 6-1.

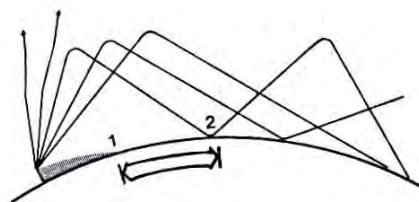
Подрачје	Метричко име на опсегот	Скратеница	Бранова должина	Фреквенција
Долги	Километарски	LF	10 – 1 km	30 – 300 kHz
Средни	Хектометарски	MF	1 000 – 100m	300 – 3 000 kHz
Кратки	Декаметарски	QF	100 – 10 m	3 – 30 MHz
Ултракратки	Метарски	VHF	10 m – 100 cm	30 – 300 MHz
	Дециметарски	UHF	100 – 10 cm	300 – 3 000 MHz
	Сантиметарски	SHF	10 – 1 cm	3 – 30 GHz
	Милиметарски	EHF	10 – 1 mm	30 – 300 GHz

Според меѓународната организација UIT (Unit Investment Trust), радиобранови се електромагнетните бранови чија фреквенција е пониска од 3 000 GHz. Во телекомуникацискиот пренос, пренесуваме бранови кои се во опсегот на радиобрановите. Такви се електромагнетните бранови во подрачјето на долгите, средните, кратките и ултракратките бранови. Овие бранови ги нарекуваме радиобранови.

6.1.2 Простирање на радиобранови

При преносот на информациите со радиоврски се користи физичката карактеристика на електричните осцилации да се пренесуваат како електромагнетни бранови на големи растојанија. Радиобрановите се карактеризираат со нивната фреквенција и бранова должина. Брзината на простирање на електромагнетните бранови е еднаква на брзината на светлината, така што еден радиобран може за секунда да ја заврти Земјата седум и пол пати.

Разликуваме два вида на простирање на радиобрановите: **површински и просторни радиобранови.**



Сл. 6-1. Површински и просторни радиобранови

Брановите кои се простираат над површината на Земјата се нарекуваат површински бранови, означени со (1) на сл. 6-1. Брановите кои се простираат по патеката (2) се нарекуваат просторни бранови.

6.1.2.1 Површински радиобранови

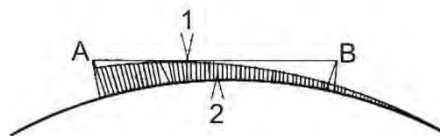
Површинските радиобранови се простираат по површината на Земјата и директно ги спојуваат предавателот и приемникот. Просторните бранови пак одат во атмосферата и еден дел од нив се рефлектираат од нејзините слоеви и се враќаат назад на Земјата.

Површинските бранови имаат способност да се свиткуваат околу нерамнините на земјиштето и другите препреки. Оваа нивна особина се нарекува дифракција. Дифракционата способност на брановите е поизразена ако нивната бранова должина е поголема во однос на димензиите на препреката. Според тоа, долгите бранови имаат поголема дифракциона способност од кратките бранови.

На сл.6-1 се гледа дека во просторот кој се наоѓа помеѓу површинскиот бран (1) и местото на појавување на првиот просторен бран кој се рефлектирал од јоносферата (2) нема сигнал, односно нема покриеност, што е карактеристично, пред сè, за кратките бранови. Големите растојанија, поголеми од 2 000 km, секогаш се покриваат со просторни радиобранови, додека површинските бранови се користат за помали растојанија. Двата вида на простирање на радиобрановите вообичаено се користат за опсег од 1,5 до 30 MHz. Во подрачјето на долги и средни бранови, може да се премостат растојанија до 2 000 km, додека во опсегот на кратки бранови, на копно достигнуваат растојанија до 100 km, а преку вода и до 1 000 km

Слабењето на површинските бранови зависи од нивната фреквенција и од спроводливоста на просторот. Слабењето е мало за ниски радиофреквенции и добра спроводливост на површината, но брзо расте со зголемување на фреквенцијата и намалување на спроводливоста. Максималното растојание на површинските радиобранови зависи од моќноста на радиопредавателот и висината и конструкција на антената, брановата должина и слабењето.

Посебен површински радиобран е директниот бран. Директните бранови се простираат праволиниски, со што нивното крајно растојание е теоретски ограничено со оптичката видливост помеѓу предавателната и приемната антена. Крајното растојание на директниот бран во практиката е поголемо од оптичката видливост, заради свиткувањето на радиобрановите, затоа постои поимот електрична видливост. Простирање на површински директен бран е дадено помеѓу точките А и В на сл. 6-2.

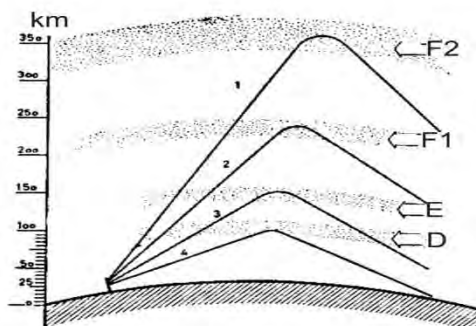


Сл. 6-2. Простирање на директен (1) и површински (2) бран

6.1.2.2 Просторни радиобранови

Земјината атмосфера се дели на повеќе карактеристични слоеви: тропосфера (обезбедува услови за живот и се протега на висина од 8 до 20 km), стратосфера (до 30 km), мезосфера (до 80 km), јоносфера (до 400 km), термосфера (до 700 km) и егзосфера (над 700 km) и потоа е меѓупланетарен простор. Под влијание на ултравиолетовото зрачење на Сонцето и космичките зрачења, доаѓа до јонизација на разредениот воздух во јоносферата. Заради позитивните и негативните полнежи, јоносферата станува електроспроводна.

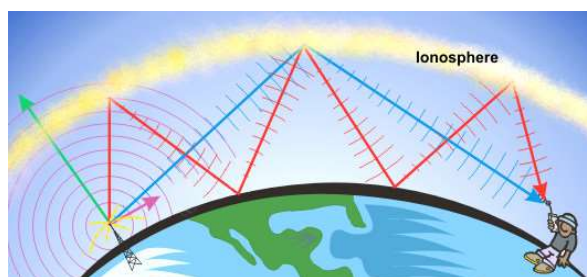
Спроводливоста на јоносферата е различна и зависи од нејзината височина. Јоносферата ја чинат четири слоеви: D слој, кој е најнизок (50-90 km), E слој (90-145 km), F-слој кој е променлив и е поделен на два дела F1 (150-200 km) и F2 (250-400 km). Двата слоја F1 и F2 во текот на ноќта се неутрализираат, се спојуваат во еден F-слој. Слоевите од јоносферата ја обвиткуваат Земјата како „електрични огледала“, на кои доаѓа до рефлексива на просторните радиобранови.



Сл. 6-3. Рефлексија на просторни радиобранови

На сл. 6-3 претставена е рефлексија на кратки бранови од слојот F2 ноќе (1) и дење од слојот F1 (2), како и рефлексијата на средните бранови (3) од слојот E и долгите бранови (4) од слојот D. На сл. 6-3 се гледа рефлексијата на просторните бранови од различните слоеви на јоносферата.

Упадниот агол при кој сè уште има рефлексија на површинските бранови го викаме **граничен (критичен) агол**. Сите радиобранови кои паѓаат со поголем агол минуваат низ јоносферата и не се враќаат на Земјата. Овие бранови се викаат просторни нерелектирани бранови. На сл. 6-4 прикажана е различната рефлексија од упадниот агол на радиобранот.



Сл. 6-4. Рефлексија од јоносферата во зависност од упадниот агол на радиобранот

Јоносферата има една карактеристика која се користи при пресметките на полето на покриеност од радиобранот. Тоа е дека сите слоеви на јоносферата имаат своја критична фреквенција f_c . Критичната фреквенција е максималната фреквенција емитирана вертикално нагоре, при која просторните бранови се рефлектираат назад кон Земјата. Секој бран вертикално емитиран кон јоносферата чија фреквенција е $f > f_c$ минува низ јоносферата, а брановите со $f < f_c$ се рефлектирани кон Земјата. Брановите кои упаѓаат под некој агол во јоносферата со фреквенции кои се поголеми од f_c можат да бидат рефлектирани кон Земјата.

Најголемата фреквенција на бран кој упаѓа под агол и се рефлектира од слојот на јоносферата е:

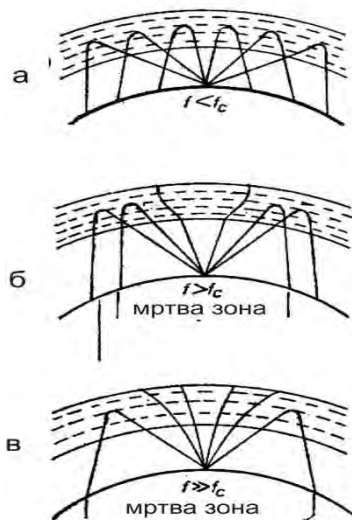
$$f_{\max} = \frac{f_c}{\cos \theta} \dots\dots\dots (6-1)$$

Може да се каже дека постоењето на јоносферата е многу важно за постоењето и квалитетот на радиоврските.

Кога врските се реализираат со просторни бранови, карактеристична е појавата на мртва зона; тоа е област околу предавателот во која приемот не е можен. На сл. 6-5 (а) се гледа дека тогаш кога $f < f_c$, не постои мртва зона, додека на сл. 6-5 (б и в) постои мртва зона затоа што фреквенцијата на радиобрановите е $f > f_c$.

Бидејќи слојевите на јоносферата често се менуваат, не треба да се користи f_{max} . Затоа се дефинира оптимална радиофреквенција f_{opt} .

$$f_{opt} = 0,85 \cdot f_{max} \quad \dots\dots\dots (6-2)$$



Сл. 6-5 Влијание на јоносферата и фреквенцијата на бранот

При простирањето на просторните бранови од една точка до друга се воочува и појавата на Фединг. Фединг е краткотрајно слабеење на сигналот предизвикано од интерференција на брановите кои во точката на прием стигнуваат по различни патеки. Фазната разлика меѓу брановите во точката на прием постојано се менува, во зависност од промената на условите при преносот, односно состојбата на јоносферата. Ако брановите на местото на прием се поклопат со фазата, тогаш резултантното поле се засилува. Ако брановите се сретнат во противфаза, резултантното поле е менливо и сигналот може сосема да исчезне.

6.1.3 Параметри на антена

Аntenите се одликуваат со некои свои особини (карактеристики) кои се:

- Поларизација

Поларизација на антена ја претставува кривата на електромагнетно зрачење на предавателната антена, односно кривата на примање кај приемната антена. Електричното и магнетното поле се нормални меѓу себе, а воедно се нормални и на правецот на простирање, поради што овие се нарекуваат трансверзални бранови. Овие бранови се линеарно поларизирани, при што електричните линии на полето се праволиниски и заземаат одредена насока во однос на Земјата. Ако насоката е вертикална, тогаш имаме вертикална поларизација, а ако насоката е хоризонтална, станува збор за хоризонтална поларизација.

- Дијаграм на зрачење

Насоченоста на полето на зрачење на една антена се нарекува **дијаграм на зрачење** на антената, кој покажува колкупати енергијата на зрачење во која било насока е помала од енергијата на зрачење во насоката со максимално зрачење.

- Агол на зрачење

Агол на зрачење е аголот кој се формира во однос на правецот на зрачење во кој моќноста со која зрачи антената е поголема од половина во однос на максималната моќност на зрачењето.

- Насоченост

Насоченоста на зрачењето го дефинира аголот на основниот сноп на електромагнетните бранови кој се емитира (зрачи), каде што густината на моќноста на зрачењето е еднаква на половина од максималната густина на емитираната моќност. Насоченоста на зрачењето кај полубрановиот дипол е 78° .

- Ефикасност

Ефикасноста на антената е број што покажува колкупати треба да биде поголема моќноста на зрачењето на еден полубранов дипол во однос на една насочена антена, за да има иста јачина на полето на приемното место. Ефикасност од $G = 4$ значи дека моќноста на еден полубранов дипол треба да биде четирипати поголема од моќноста на една антена која е земена како еталон мерка.

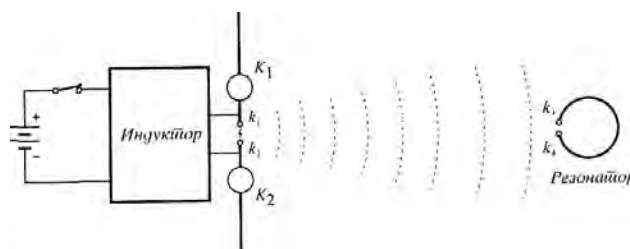
- Импеданса

Импедансата на една антена (Z_a) го дефинира односот на напонот и струјата на приклучоците на антената. Отпор на зрачење (R_s) е замислениот отпор со кој може да се замени антената којашто зрачи во некој простор. Отпорот на загуби (R_j) ги карактеризира топлинските загуби на антената. Овие две отпорности, отпорот на зрачење и отпорот на загуби, ја даваат омската (активната) сопствена импеданса на антената. Кај полубрановиот дипол, отпорот на зрачење е 73Ω .

6.1.4 Дипол-антена (херцов дипол)

Наједноставната класична антена со должина $\lambda/2$ е позната како полубранов дипол или Херцов дипол. Таа е составена од два вертикални или два хоризонтални спроводника со должина $\lambda/2$, кои во средината се напојуваат со високофреквенциска енергија, а на крајот имаат две сфери. Полубрановиот дипол се користи во фиксни уреди за фреквенции од 3 до 30 000 MHz. Најстарата антена е Херцовиот дипол (Сл. 6б).

Оригиналната Херцова антена била осцилаторно коло кое се состоело од кондензатор претставен од две топки (K_1 и K_2), кои можеле да се придвижуваат и на тој начин да се менува капацитивноста, односно фреквенцијата на колото. Индукторот произведувал висок напон при секој прекин на прекинувачот. На краевите на металните спроводници по кои се движеле топките се наоѓале две мали топки (k_1 и k_2) на меѓусебно растојание 2 до 3 cm. При секоја појава на висок индуциран напон помеѓу k_1 и k_2 прескокнувала искра.

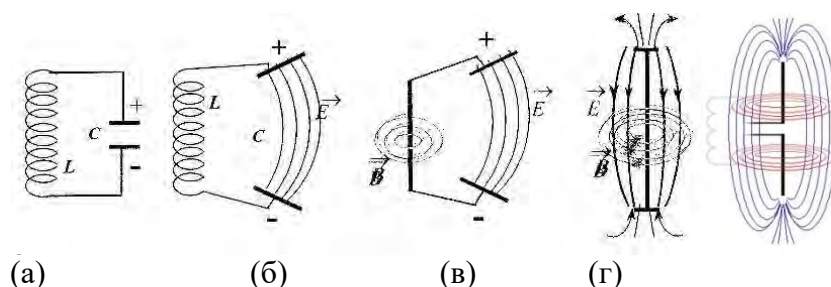


Сл. 6-б. Херцова антена, оригинална електрична шема

На растојание од 10 m, Херц поставил свиткан спроводник или резонатор, на чиешто краеве имало мали топки, исти како k_1 и k_2 . Искрењето се појавувало и помеѓу овие две топки. Со тоа го докажал простирањето на ЕМБ во просторот. Неговиот експеримент е воедно првиот предавател и приемник на ЕМБ. Како резонатори се користеле осцилаторните кола. Тие нашле примена во прямо-предавателните и во антенските системи.

Со меѓусебно одделување на плочите на кондензаторот на едно редно осцилаторно коло се добива отворено осцилаторно коло, како на сл. 6-7, и притоа се јавуваат силиви линии. Со истегнувањето на намотките на индуктивитетот, магнетното поле H рамномерно се распоредува по должината на линеарниот спроводник. Овој преоден облик на колото е претставен на сл. 6-7 (а). Кога плочите на кондензаторот сосема ќе се оддалечат, а намотката сосема ќе се растегне, како што е претставено на сл. 6-7 (б), затвореното осцилаторно коло добива изглед на линеарен спроводник, на чии краеве се наоѓаат плочите на кондензаторот и се нарекува отворено осцилаторно коло. Плочите на кондензаторот остануваат на краевите доколку е потребна голема капацитивност на колото. Вообичаено, отвореното осцилаторно коло е спроводник кој во средината се напојува од некој генератор на високи фреквенции сл.6-7 (в).

Силниците на електричното поле E се затвораат од едниот крај на спроводникот до другиот и се во облик на лак, додека силниците на магнетното поле H имаат облик на концентрични кругови околу спроводникот. Силниците на електричното и на магнетното поле се меѓусебно нормални сл. 6-7 (г).

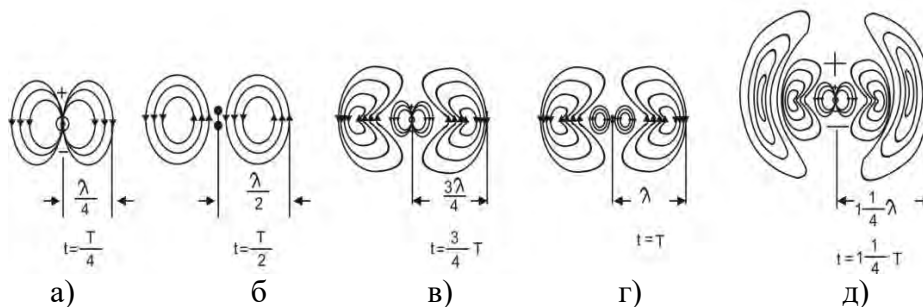


Сл. 6-7. Принципот од редно осцилаторно коло до дипол-антената

Отвореното осцилаторно коло во облик на спроводник кој во средината се напојува со високофреквенциска енергија се нарекува **дипол-антена** или само **дипол**. Во диполот, високофреквенциската струја ќе тече низ двата крака на антената, час во едната, час во другата насока, со тоа што меѓу краците на дипол-антената ќе се јавува променливо електрично, а околу краците на антената променливо магнетно поле. Со промена на насоката на високофреквенцискиот сигнал се менува и насоката на магнетните и на електричните силиви линии.

Новото електрично и магнетно поле околу антената го потиснува во просторот старото поле и така се јавува едно променливо електромагнетно поле кое од антената се простира низ околниот простор. Овие промени се од бранова природа и затоа се вели дека антената зрачи електромагнетна енергија во вид на електромагнетни бранови.

Линиите на силите на електричното поле се потиснуваат околу диполот и се менуваат со текот на времето. На сл. 6-8 дадени се линиите на електричното поле. На сл.6-8(а, б, в, г, д) е дадена промената на електричното поле во текот на времето.



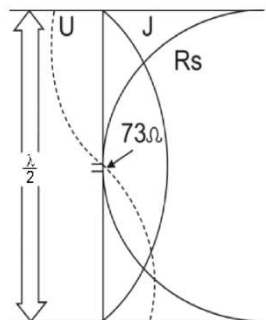
Сл. 6-8. Линиите на електричното поле во текот на времето

Променливото електрично поле околу диполот, според законот на електромагнетната индукција, во пооддалечените точки од диполот создава променливо магнетно поле. Така оваа промена се повторува во просторот. Овие променливи полиња се простираат околу диполот, со брзина еднаква на брзината на светлината.

Основната фреквенција f и брановата должина λ се поврзани со изразот за брзина на простирање на електромагнетните осцилации низ просторот:

$$c = f \cdot \lambda = 300.000.000 m/s \dots\dots\dots (6-3)$$

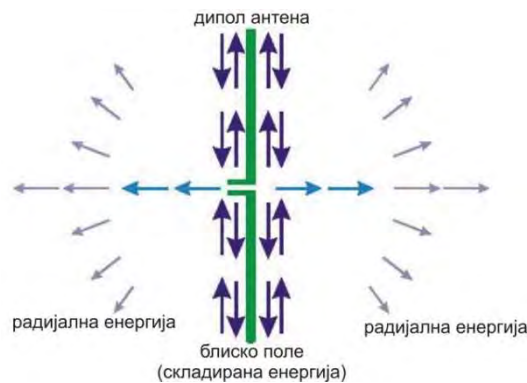
Основниот облик на дипол-антената е спроводник со многу мала должина каде што по целата должина тече константна струја со ефективна вредност. Најмалата должина на диполот со која може да се добие резонанција е онаа антена чијашто должина е еднаква на половина од брановата должина λ на електромагнетните осцилации (сл. 6-9).



Сл. 6-9. Параметри на дипол-антена

Параметрите на еден полубранов дипол се напонот и струјата кои се менуваат по должината на диполот, а излезната импедансата на диполот е чисто омска од 73Ω .

Електромагнетното поле околу антената се простира радијално во сите правци околу диполот, сл. 6-10.



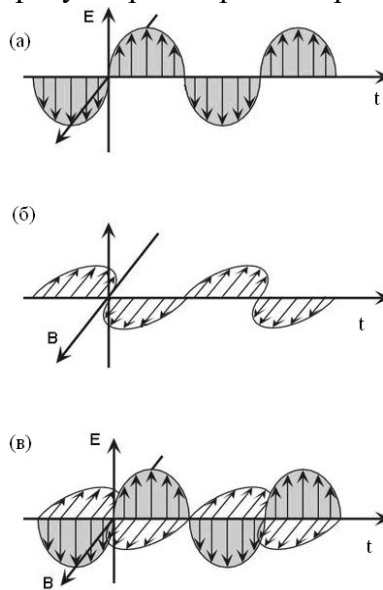
Сл. 6-10. Електричното и магнетното поле во зоната на зрачење

Полето на зрачење кое се јавува на големи растојанија го нарекуваме поле во зона на зрачење во која има „радијална енергија“. Полето во просторот околу самиот дипол се нарекува поле на блиска зона или блиско поле.

6.1.5 Поле на зрачење

Полубрановиот дипол има радијален (кружен) дијаграм на зрачење, каде што електромагнетните бранови, силовите линии на електричното поле E и магнетното поле B се секогаш нормални едно на друго. На сл. 6-11 се дадени електричното и магнетното поле на зрачење во просторот, во даден момент.

Треба да се замисли дека x-оската е временска оска (t-оска). Овде електромагнетниот бран се движи кон десно, а осцилациите на E и B се јавуваат во рамнини кои се меѓусебно нормални, но и нормално поставени на оската на простирање. Ваквиот бран се нарекува трансверзален бран.

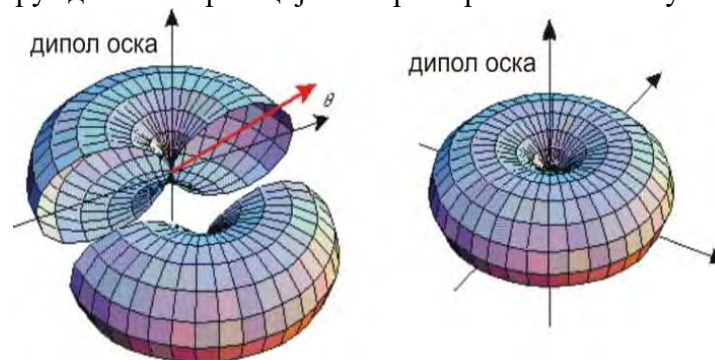


Сл. 6-11. Електричното и магнетното поле на зрачење во просторот

Ако ја разгледуваме промената на електричното и магнетното поле на сл. 6-11 каде што двете полиња се менуваат во текот на времето, електричното поле е вертикално и насочено е кон y-оската (нагоре), а полето B е хоризонтално и насоката му е кон позитивната насока на z-оската. Во секој момент двата брана ќе се поместат надесно, за растојание l ($l = c \cdot t$). Во првиот период, двете полиња прво растат и во $t = T/4$ имаат максимална вредност. Со текот на времето, јачината се намалува и за време на следните, $t = T/4$, за кои бранот минува растојание $\lambda/4$ и двете полиња се еднакви на нула. Во следниот период двете полиња растат, но во спротивна насока, за време од $t = T/4$, полињата стануваат максимални. Потоа јачината на полињата опаѓа и тие минуваат низ нула и повторно растат. За една периода T , двете полиња се исти како на почетокот.

Карактеристиката на зрачење на Херцовиот дипол во поларниот систем има облик на легната осумка која ја сочинуваат два круга со радиус r , кои се допираат во координатниот почеток, сл. 6-13 (б).

Карактеристиката на зрачење во екваторијалната рамнина има форма на круг со центар во оската на диполот. На сл. 6-12 е дадена просторна претстава на карактеристиката на зрачење, која има облик на торус добиен со ротација на карактеристиката околу z-оската.



Сл. 6-12. Карактеристиката на зрачење

Ако на диполот донесеме простопериодична струја $i(t) = I_m \cdot \cos \omega t$, со бранова должина λ , тогаш моменталните вредности на интензитетот на електричното поле E и магнетното поле B во зоната на зрачење се одредени со изразите:

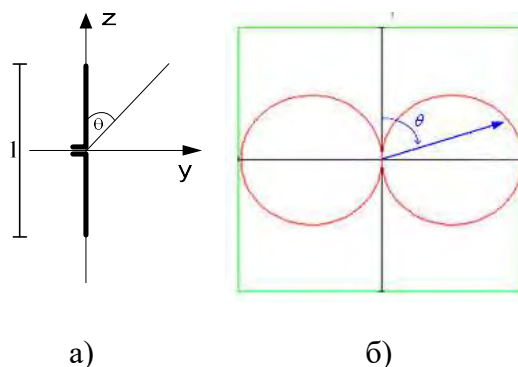
$$E = -\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} \cdot \frac{I \cdot l}{2\lambda r} \cdot \sin \theta \sin(\omega t - \beta \cdot r); \quad \dots \quad (6-4)$$

$$B = -\frac{I \cdot l}{2\lambda r} \cdot \sin \theta \sin(\omega t - \beta \cdot r) \quad \dots \quad (6-5)$$

каде што l е должината на диполот, r е растојанието од центарот на диполот до точката во којашто се разгледува електричното и магнетното поле, θ е аголот што го зафаќа правецот на зрачење со z-оската на диполот и $\beta = \omega/v$ е фазната константа.

Интензитетот на компонентите на полето зависи од аголот θ и се менува по синусен закон. Интензитетот на полето е максимален во екваторијалната рамнина на диполот ($\theta = \pi/2$), додека во правецот на оската на диполот ($\theta = 0$) е еднаков на нула.

Дијаграмот на зрачење покажува колкупати енергијата на зрачење во кој било правец е помала од енергијата што диполот ја зрачи во правец на максималното зрачење. Полубрановите диполи имаат радијален (кружен) дијаграм на зрачење, просторно гледано, додека дијаграмот на зрачење по оската на антената (гледано по x-оската) има облик на осумка, дадено на сл. 6-13.



Сл. 6-13. Дипол-антена (а), дијаграм на зрачење на диполот (б)

Ако со E_0 се означи интензитетот на електричното поле во екваторијалната рамнина, тогаш односот $\frac{E}{E_0} = \sin \theta$ не зависи од растојанието и се нарекува **карактеристика на зрачење на диполот**.

Освен дијаграмот на зрачење, кај антените разликуваме и неколку други параметри. Најчесто користени параметри на дипол-антените се: импеданса или отпор на зрачење, насоченост на зрачење и ефикасност.

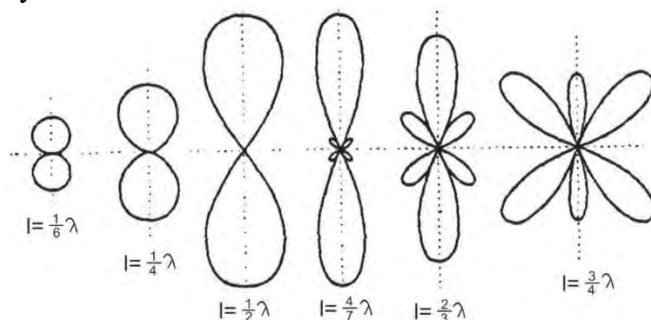
6.1.5.1 Видови дијаграми на зрачење

Дијаграмот на зрачење кај диполите можеме да го менуваме со промена на должината на краците на диполот, со промена на положбата и висината на поставување на диполот во однос на Земјата.

Промената на дијаграмот на зрачење на дипол-антена со различна **должина на краците** има различни облици кои може да се менуваат со промената на брановата должина.

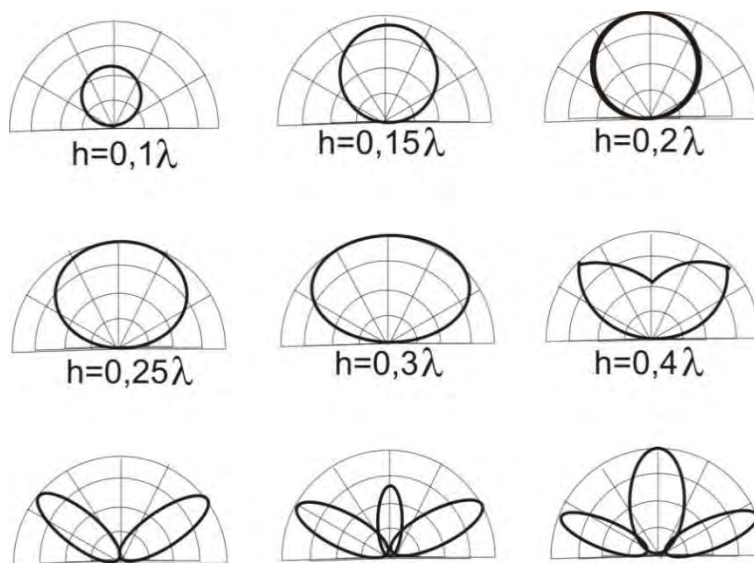
На сл. 6-14, дадени се дијаграми на зрачење на симетрична дипол-антена. Во поларен координатен систем се прикажани дијаграми на зрачење на симетрични диполи со **различни должини** на краците l . За должина на краците $l \leq \lambda/2$, дијаграмот на карактеристиката на зрачење има само еден главен лист со максимуми во екваторијалната рамнина, односно во рамнината која поминува низ центарот на диполот и е нормална на неговата оска.

Со зголемување на краците на диполот ($l > \lambda/2$), дијаграмот на карактеристиката на зрачење се дели во поголем број листови, при што главниот лист се намалува додека страничните се зголемуваат.



Сл. 6-14. Дијаграми на зрачење на симетрични диполи со различни должини на краците l

Промената на дијаграмот на зрачење зависи и од **положбата и висината** на антената во однос на Земјата. Антената може да биде поставена хоризонтално и вертикално во однос на Земјата. Точното одредување на влијанието на Земјата врз карактеристиката на зрачење на антената е многу тешко, затоа што коефициентот на рефлексија зависи од електричните својства на површината, брановата должина, упадниот агол и поларизацијата на брановите. Меѓутоа, со доволна точност, влијанието на Земјата може да се одреди ако таа се претстави како идеална спроводна рамнина, што речиси одговара на реалноста, особено при пониски радиофреквенции. Во тој случај, коефициентот на рефлексија е еднаков на единица, а одбивањето на електромагнетните бранови е според оптичките закони. Површината на идеално спроводната рамнина има улога на огледало од каде што се одбиваат брановите; тоа е Земјата, таа го зрачи ликот на реалната антена. Интензитетот на полето во некоја точка во просторот е резултатно поле добиено од реалната антена и нејзиниот лик. Полето постои само над идеално спроводната рамнина, во просторот каде што се наоѓа реалната антена.



Сл. 6-15. Поле на зрачење на антената со промена на висината на која е поставена

Поларните дијаграми на зрачење на хоризонталниот симетричен дипол за различни висини над Земјата, во вертикална рамнина нормална на оската на диполот, се прикажани на сл. 6-15. Полето на зрачење се менува со промената на висината на која е поставена антената.

Полето има еден лист, кога антената е поставена на висина до $0,3 \lambda$. Кога висината на која се поставува се зголемува, полето на зрачење се дели на два листа, односно повеќе листови за висини поголеми од $0,5 \lambda$. Полето на зрачење за иста бранова должина се менува со промената на висината на која е поставена антената.

6.1.6 Моќност на зрачење на антената

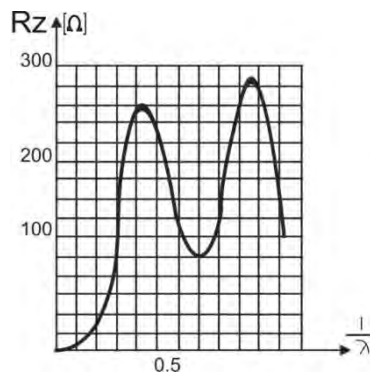
Моќноста на зрачење на симетричната дипол-антена, кога има синусен извор на напојување, може да се одреди со изразот:

$$P_z = \frac{1}{2} R_z I_m^2 \quad \dots\dots\dots (6-5)$$

каде што I_m е амплитуда на струјата во диполот, на местото со максимум на струјниот бран.

Графиконот на зависноста на отпорноста на зрачење на симетричниот дипол во слободен простор од односот меѓу должината на краците и брановата должина (l/λ), е прикажана на

сл. 6-26. За полубранов дипол ($2 \cdot l = \frac{\lambda}{2}$), отпорноста на зрачење (која се бележи со R_s или R_z) изнесува $R_z = 73,1 \Omega$, а за бранов дипол ($2 \cdot l = \lambda$) е $R_z = 200 \Omega$



Сл. 6-16. Промена на отпорноста на антената со промена на l/λ

Моќноста на зрачењето на вертикална антена со должина l , која се напојува во подножјето над идеално спроводна рамнина, ќе биде за половина помала од моќноста на зрачење на симетричен дипол во слободен простор, при иста струја на напојување. Според тоа, и отпорноста на зрачењето на вертикалната антена ќе биде за половина помала од отпорноста на зрачењето на симетричниот дипол. Од дијаграмот на сл. 6. 16, за да се добијат вредностите за отпорноста на зрачење на вертикалната униполарна антена, ординатите треба да се поделат со два.

Моќноста што се донесува на антената P_a е еднаква на збирот од моќноста на зрачење P_z и моќноста на термичките загуби P_j :

$$P_a = P_z + P_j \quad \text{односот } \eta = \frac{P_z}{P_a} \quad \dots\dots\dots (6-6)$$

го дефинира степенот на корисно дејство на антената – ефикасност.

Ако отпорноста R_j на термичките загуби за иста референтна струја на која е и отпорноста на зрачење, тогаш степенот на корисно дејство е поголем ако е поголема и отпорноста на зрачењето.

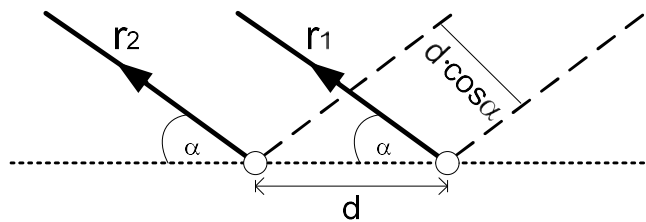
Во радиоврските се настојува со што помала моќност да се добие посилно поле на местото на приемот. За таа цел се користат антенски системи со кои зрачењето може да се насочува во одреден правец.

Засилувањето на антената во некој одреден правец се дефинира како однос меѓу моќноста на зрачењето на фиктивна изотропна антена, која зрачи подеднакво во сите правци, и моќноста на зрачење на разгледуваната антена, под услов двете антени да создаваат поле со ист интензитет во некоја точка од дадениот правец:

$$G = \frac{P_{iz}}{P_z} \text{ ако } E = E_{iz} \dots\dots\dots (6-7)$$

6.1.7 Сложени антенски системи

Сложени антенски системи ги нарекуваме оние системи кои имаат два или повеќе диполи кои зрачат. Ако два паралелни идентични симетрични диполи се поставени во слободен простор, на одредено растојание еден од друг, тие прават едноставен сложен антенски систем. Распределбата на струјата по должината на овие диполи се менува по синусен закон и во еден момент е иста и во двата дипола. Сложен антенски систем составен од два дипола е даден на сл. 6-17.



Сл. 6-17. Сложен антенски систем

Карактеристиката на зрачење на секој од овие диполи, особено во хоризонталната рамнина има облик на круг, а во вертикалната рамнина зависи од распределбата на струјата по должината на диполот и од должината на краците.

За точки доволно оддалечени од сложениот антенски систем во хоризонталната рамнина важи дека е:

$$\frac{1}{r_1} = \frac{1}{r_2} \quad r_2 = r_1 - d \cdot \cos \alpha \dots\dots\dots (6-8)$$

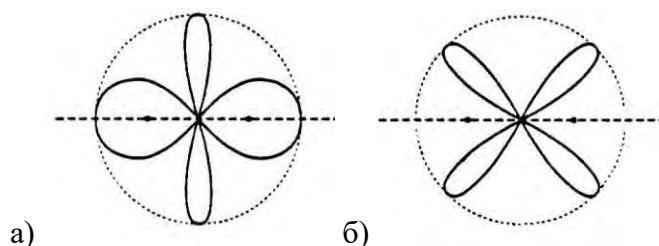
каде што α е аголот меѓу правата што ја спојува оддалечената точка со системот и правата што ги спојува оските на диполот. Интензитетот на полињата на секој од диполите во овие точки ќе биде еднаков, но фазната разлика меѓу полињата во различни точки ќе биде различна. Полето E_1 поминува подолг пат од E_2 и тоа за $d \cos \alpha$, па фазната разлика меѓу полињата E_1 и E_2 ќе биде $bd \cos \alpha$. Интензитетот на резултантното поле има максимална вредност кога:

$$d \cdot \cos \alpha = 2n\pi \quad n = 0,1,2,3\dots \dots\dots (6-9)$$

а минимална за

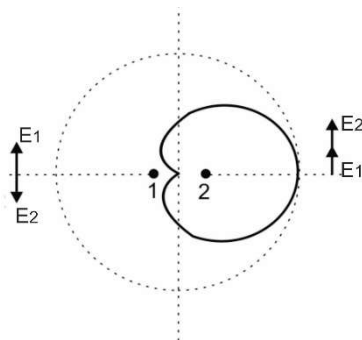
$$d \cdot \cos \alpha = (2n+1)\pi \quad n = 0,1,2,3\dots \dots\dots (6-10)$$

На сл. 6-18 се прикажани карактеристиките на зрачење во екваторијалната рамнина на сложен антенски систем од два симетрични дипола на растојание, и тоа: на сл. 6-18 (а) за синфазно и на сл. 6-18 (б) за противфазно напојување. За различни струи на напојување и различно растојание помеѓу диполите се добиваат и различни карактеристики на зрачење.



Сл. 6-18. Карактеристиките на зрачење во екваторијалната рамнина на сложен антенски систем

Од посебен интерес е карактеристиката на зрачење на антенскиот систем кога диполите се на растојание $\lambda/4$, а фазната разлика меѓу струите на напојување изнесува $\pi/2$. Во тој случај, системот зрачи само во една половина од просторот. На сл. 6-19 дадена е карактеристиката на зрачење на антенски систем составен од два дипола поставени на растојание $\lambda/4$.



Сл. 6-19. Карактеристиката на зрачење на антенскиот систем

Во правецот на оската на системот, десно од диполот 2, интензитетот на резултантното поле ќе биде еднаков на збирот од интензитетите на полињата E_1 и E_2 , полињата се во фаза.

Во спротивна насока, лево од диполот точка 1, интензитетот на резултантното поле ќе биде нула, бидејќи полињата се во противфаза. Антената 1 во однос на антената 2 се нарекува активен рефлектор. Антената 2 во однос на антената 1 се нарекува активен директор.

6.2 САТЕЛИТСКИ АНТЕНИ

Кога пренесуваме информации со помош на класичните антенски системи, тогаш има ограничен досег на простирање и користење на информациите. Тоа е затоа што електромагнетните бранови се простираат праволиниски, а поради закривеноста на Земјата, досегот на пренос е ограничен. За да се зголеми крајното растојание на предавателните антени, вообичаено тие се поставуваат на високи места. За да се зголеми крајното растојание на класичните системи од вообичаените 60–250 km се користат и сателитските системи. Со појавата на вештачките сателити се јавува нова можност за зголемување на растојанието на пренос. Предавателните антени се ставаат на многу голема висина на вештачкиот сателит, со што нивното поле на зрачење многу се зголемува.

6.2.1 Сателитски пренос

Сателитскиот пренос е предвиден во 1945 година, од Артур Кларк. Тој забележал дека со помош на вештачките Земјини сателити, кои се поставени на одредено растојание над Екваторот, тој ќе се движи со иста брзина со Земјата и ќе биде постојано на иста точка над Земјата. За таков сателит се вели дека има геостационарна орбита. Геостационарната орбита се наоѓа на приближно 36 000 km над површината на Земјата.

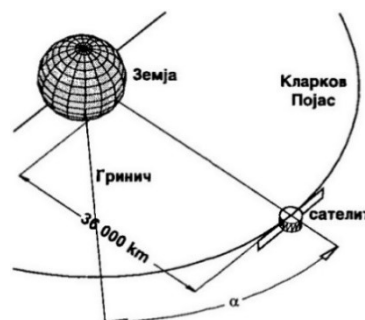


Сл. 6-20. Принцип на сателитскиот радиодифузен пренос

Практично, со три вештачки сателити над Земјата директно над Екваторот, може да се покрие целата Земјина топка, а секој таков сателит покрива 40 % од Земјината површина. Овој појас се нарекува Кларков појас. Врската помеѓу станицата која емитува сигнал кон сателитот и сателитот се нарекува појдовна врска (uplink), а емитувањето на сигналот спрема корисниците се нарекува дојдовна врска (downlink). Емисијата кон сателитот се одвива со помош на носители со фреквенции, во подрачје од 14 GHz, а емисијата на сигналот спрема корисниците се одвива во подрачје од 12 GHz (важи за Q-банд). На сл. 6-20 е даден принципот на сателитскиот радиодифузен пренос.

Основни елементи на еден телевизиски сателит се: **приемна антена, предавателна антена, соларни крила, батерии, мали ракетни мотори.**

Приемната антена ги прима сигналите од земската ТВ-станица која емитува сигнал до сателитот и преку неа се воспоставува појдовна врска (uplink). Предавателните антени покриваат одделни делови од Земјината површина. Притоа, моќноста на зрачењето не е подеднаква во сите правци кон Земјата, т. е. се работи за насочени антени. Соларните крила се панели на кои се наредени полупроводнички фотогенератори на електрична енергија. Овие генератори ја напојуваат целата електроника на ТВ-сателитот. Бидејќи сателитот е геостационарен, тој се движи заедно со Земјата, па затоа половина од деноноќието се наоѓа во темно. Заради тоа, покрај соларните ќелии постојат и батерии кои се полнат кога сателитот е во ден, а се главни извори на енергија кога сателитот е во темно. Малите ракетни мотори служат за корекција на положбата на сателитот. Неговата положба е контролирана од станица на Земјата, која го следи неговото движење и по потреба ги пали малите ракетни мотори за корекција на положбата. Положбата на еден радиодифузен сателит во однос на Земјата е прикажана на сл. 6-21.



Сл. 6-21. Сателит во однос на Земјата

Основна комуникациска единица на еден сателит е транспондерот. Тој претставува примо-предавател кој врши прием на сигнали од земска станица, прави конверзија на фреквенцијата и го проследува до предавателните антени, од каде што се зрачи кон Земјата. Местото на сателитскиот транспондер е дадено на сл. 6-22.

Вообичаено, на еден сателит се сместени по 16 транспондери. Во рамките на еден транспондер може да се емитува еден аналоген сигнал или, пак, повеќе дигитални сигнали.



Сл. 6-22. Блок-шема на транспондер во сателитот

Уште една битна карактеристика на транспондерот е неговата моќност на зрачење, која вообичаено се искажува преку параметарот *EIRP* (Effective Isotropic Radiated Power). Ова е бројка изразена во децибели, која покажува колку децибели поголема моќност зрачи еден транспондер во однос на една теоретска антена, која зрачи во сите правци подеднакво и има моќност од 1 W.

Тоа значи дека *EIRP* истовремено е показател за моќноста на транспондерот и за насоченоста на самата предавателна антена на сателитот. *EIRP* е даден со следниот израз:

$$EIRP[dB] = P_T + G_A \dots\dots\dots (6-11)$$

каде што P_T е моќноста на предавателот на транспондерот, а G_A е засилувањето на антената (карактеристиката на насоченоста на антената во даден правец).

Според *EIRP*, сателитите се делат на:

- сателити со мала моќност ($EIRP \leq 50$ dBW)
- сателити со средна моќност ($EIRP = 50-70$ dBW)
- сателити со оптимална моќност ($EIRP = 70-100$ dBW)
- сателити со голема моќност ($EIRP > 100$ dBW)

6.2.2 Параболични (сателитски) антени

Сателитската антена се состои од рефлектор и од нискошумен конвертор LNC (Low Noise Converter) или, како што уште се нарекува, LNB (Low Noise Block Converter). Улогата на рефлекторот е да ги фокусира радиобрановите кои упаѓаат на неговата површина во една точка.



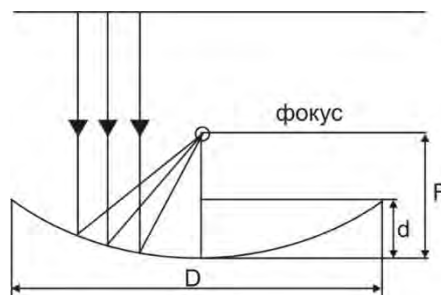
Сл. 6-23. Сателитска антена

Начинот на простирање на радиобрановите е идентичен со начинот на простирање на светлинските бранови. Значи, како што сферното огледало ги фокусира светлинските зраци кои упаѓаат на неговата површина, така и металниот рефлектор ќе ги фокусира радиобрановите во една точка. Така, одбиените радиобранови од металната површина на рефлекторот векторски се собираат во една точка. Кај оваа рефлексија не е доволно само брановите од периферијата на рефлекторот да се насочат кон фокусот на огледалото, туку тие треба да бидат исти и по фаза во точката на упаѓање. Значи, рефлекторот треба да го исполни условот за синфазно рефлектирање. Рефлекторот има облик на математичката површина параболоид. Параболичен рефлектор кај сателитските антени со држач за конверторот е даден на Сл. 623.

Параболоидот можеме да го замислиме како една површина добиена со ротација на парабола околу нејзиното теме. Со посебни држачи во фокусот на параболоидот се поставува конверторот, кој ги прима сигналите рефлектирани од неговата површина.

Основни параметри на една парабола се: нејзиниот отвор или дијаметар, кој е означен со D ; длабочината на рефлекторот, која е означена со d , и фокусното растојание кое се мери од темето на параболата до фокусот на самата парабола, означено со F . Сите зраци кои доаѓаат во правецот паралелен со правата што ги поврзува темето на параболата и нејзиниот фокус ќе бидат рефлектирани од огледалото точно во фокусот на параболата.

Односот F/D е битна карактеристика на параболичниот рефлектор. Тој дава информација за длабочината на рефлекторот. Рефлекторите со однос F/D од 0,33 до 0,4 се сметаат за плитки рефлектори, додека рефлекторите со однос F/D од 0,25 до 0,33 се сметаат за длабоки рефлектори. Плиткиот и длабокиот рефлектор имаат свои предности и недостатоци. Параметрите на параболичниот рефлектор се дадени на сл. 6-24.



Сл. 6-24. Параметри на параболичниот рефлектор

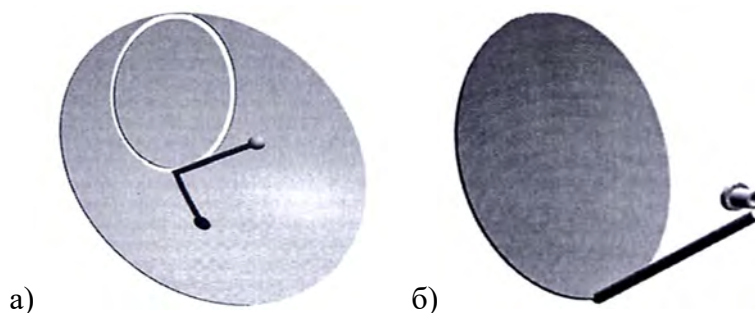
Плитките рефлектори имаат предност во однос на искористувањето на ефектната површина на рефлекторот и во однос на т. н. рабни ефекти кај рефлексијата. Рефлекторот не е идеално огледало по целата негова површина. Околу рабовите на рефлекторот настанува расејување на радиобрановите. Тоа расејување е поизразено кај подлабоките рефлектори. Но, кај длабокиот рефлектор, фокусната точка се наоѓа на помало растојание од темето на параболата. Со тоа, конверторот кој се наоѓа во фокусот на параболата е позаштитен од радијацијата што доаѓа од површината на Земјата, па од овој аспект подлабокиот рефлектор е подобар. Значи, при конструирањето на рефлекторот имаме две контрадикторни барања кои треба едновремено да бидат задоволени, па затоа се применуваат оптимални односи F/D . Фокусното растојание кај параболата е дадено со следниов израз:

$$F = D^2 / 16d \quad \dots\dots\dots (6-12)$$

каде што:

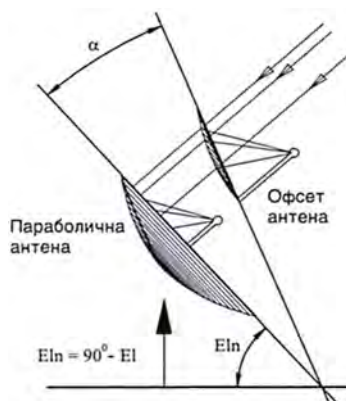
- D – дијаметар на рефлекторот
- d – длабочина на рефлекторот

По својата конструкција постојат повеќе видови рефлектори, но само два од нив се во широка употреба: **обична парабола** и **офсет-антена**, кои се прикажани на сл. 6-25.



Сл. 6-25. Рефлектирачки антени: (а) параболична антена; (б) офсет-рефлектор

Офсет-антената математички претставува отсечена површина од параболоид. Помалата површина формира офсет-рефлектор. Двата рефлектора фокусираат во иста точка, само што кај офсет-рефлекторот фокусот не е централно-симетрично поставен како кај обичната парабола, па држачот на конверторот помалку ја засенува рефлектирачката површина на антената. Ова значи дека овој тип рефлектори имаат поголем степен на искористеност на површината во однос на параболата. Исто така, се гледа дека офсет-рефлекторот стои поисправено во однос на Земјата (нема проблеми со снегот), но исто така е и поплиток од параболата, што го чини механички поосетлив. Токму од оваа причина, офсет-антените не се изработуваат со дијаметар поголем од 150 cm (се мисли на поголемиот дијаметар од елипсата).



Сл. 6-26. Положбата на офсет-антената

За офсет-рефлекторот е карактеристичен офсет-аголот. Офсет-аголот е агол помеѓу рамнината во којашто лежи отворот на офсет-чинијата и рамнината во којашто лежи отворот на обичната параболична чинија кога тие две се насочени кон ист сателит.

Ова е важен податок и треба да се има предвид при поставувањето на чинијата. Овој агол обично изнесува околу 20°. На пример, кај антените произведени од компанијата „Искра“ овој агол е 22°. Положбата на офсет-антената во однос на параболичната антена е прикажана на сл. 6. 26. Поставувањето на поголем број сателитски антени во еден систем и нивна координација се нарекува **интелигентен антенски систем**. Ваков систем е поставен во Пуста Брезница, во околината на Скопје.

6.2.2.1 Параметри на сателитски антени

Најбитни параметри или карактеристики на една сателитска антена се **засилувањето на антената** и **аголот на прием**. Покрај овие, како битен параметар го спомнавме и односот F/D , кој ни укажува на длабочината на рефлекторот. Засилувањето и аголот на прием зависат од големината на рефлекторот, односно од дијаметарот на антената.

Засилувањето на антената е дадено со следниов израз:

$$G = \eta \cdot (\pi \cdot D / \lambda)^2 \quad \dots\dots\dots (6-13)$$

каде што

G – засилување на антената

D – дијаметар на антената (m)

η – ефикасност на антената

λ – бранова должина на сателитскиот сигнал (m)

Се гледа дека засилувањето на антената зависи од квадратот на дијаметарот на антената, односно е пропорционален на површината на отворот на параболичниот рефлектор. Засилувањето на антената се изразува во децибели (dB):

$$G[dB] = 10 \log[\eta(\pi \cdot D / \lambda)^2] \quad \dots\dots\dots (6-14)$$

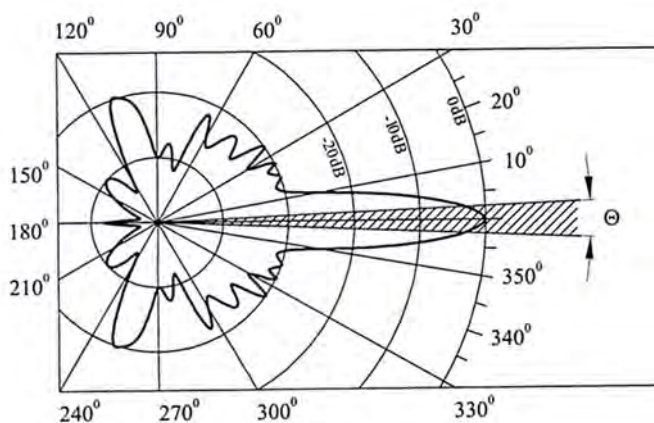
Аголот на прием е другиот важен параметар на антената. Секоја антена има своја карактеристика на насоченост. Карактеристиката на насоченост е график цртан во поларни координати кој покажува колкава ЕМС се јавува на излезот од антената, кога од сите правци постои еднакво електромагнетно поле. Насочените антени имаат најголема чувствителност (ЕМС) ако бранот доаѓа од предната страна. Како што се менува аголот од челниот правец, чувствителноста опаѓа. Аголот на прием кај параболичната антена може да се пресмета со апроксимативната формула:

$$\Theta = 70 \cdot \lambda / D = 21 / f \cdot D [^\circ] \quad \dots\dots\dots (6-15)$$

каде што: Θ – агол на прием ($^\circ$)

D – дијаметар на антената (m)

f – фреквенција (GHz)



Сл. 6-27. Карактеристика на насочена сателитска антена

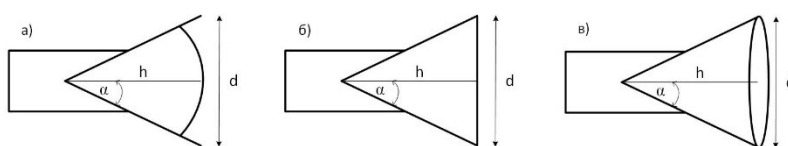
Карактеристика на насочена сателитска антена е дадена на Сл. 627. Често се случува (иако некој транспондер од одреден сателит е силен и, според пресметките, може да прима сигнал од помала антена), квалитетот на сигналот добиен од помалата антена да не е задоволувачки затоа што поради големиот приемен агол на антената на корисникот, сигналот се меша со сигнал од близок, соседен сателит, кој му пречи на корисниот сигнал.

6.2.3 Рог-антени (horn antenna)

Извор на електромагнетно зрачење може да биде и еден отворен брановод. На отворениот крај ќе се појави наизменично електромагнетно поле, чија бранова должина е пропорционална со димензиите на отворот, така што отворениот брановод ќе претставува антена. Отворениот брановод има свои недостатоци: не е приспособен (директниот бран ќе се рефлектира од краевите на отворот), при што ќе дојде до загуби на енергија, а дијаграмот на зрачење е многу широк бидејќи димензиите на отворот се многу мали во однос на брановата должина.

За да се стесни аголот од дијаграмот на зрачење, треба да се зголемат димензиите на отворот на зрачење. Ова се постигнува така што на отворот на брановодот се поставува антена со облик на инка којашто ги има следниве видови:

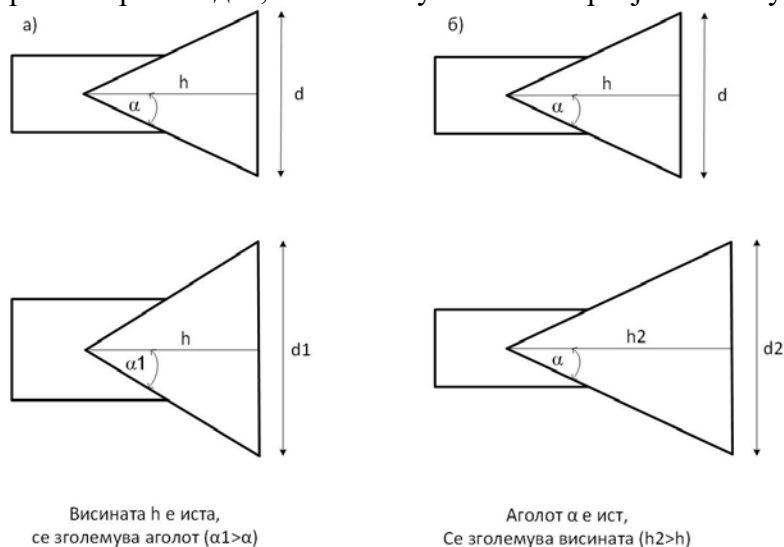
- Секторска, сл. 6-28 (а)
- Пирамидална (овој облик се врзува со изразот **рог-антена**), сл. 6-28 (б)
- Конусна, сл. 6-28 (в)



Сл. 6-28. Видови на рог-антени според обликот на инката:

секторска (а), пирамидална (б), конусна (в)

Додатокот во облик на инка обезбедува континуиран премин на електромагнетните бранови од брановодот во слободниот простор. Нема да постои одбивање на брановите од рабовите на отворот на брановодот, со што загубите на енергија се многу намалени.



Сл. 6-29. Промена на дијаграм на зрачење кај рог-антени, со промена на аголот или со промена на висината

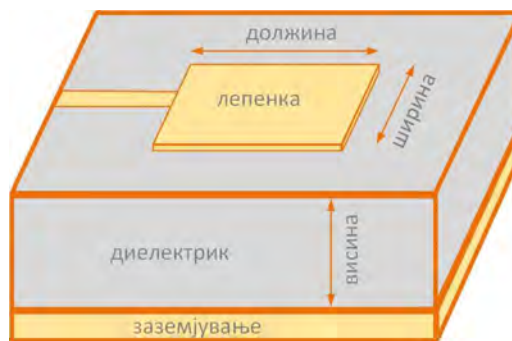
Дијаграмот на зрачење на овие антени зависи од димензиите на инката, односно кај рог-антените од димензиите на пирамидата, нејзината основа d , висина h и агол α при врвот на пирамидата. Дијаграмот на зрачење е тесен ако димензиите на отворот се големи во споредба со брановата должина на електромагнетниот бран. Ова се постигнува на два начина: ако се зголемува аголот на пирамидата (таа се шири), а нејзината висина остане иста (сл. 6-29 (а)), при што аголот на зрачење се намалува до одредена големина. Вториот начин е ако аголот на пирамидата е константен, а се зголемува висината на пирамидата (таа се шири), при што се добиваат долги рог-антени (сл. 6-29 (б)).

Недостаток на овие антени е нивниот габарит (гломазни се), за тесен агол на зрачење. Ова може да се намали со сериско поврзување на неколку рог-антени, во **сложен антенски систем**.

Позитивна страна на рог-антените се нивната едноставна конструкција и голема широчина на пропусниот опсег (што е последица од тоа што ваквиот тип на антена нема резонантна фреквенција и врши зрачење на секоја фреквенција помала од некоја гранична фреквенција).

6.2.4 Микросплеснати антени (microstrip antenna)

Микросплеснатата антена, позната и како печатена антена, претставува многу тенка метална фолија – потсетува на лепенка која има различни форми (квадратни, кружни и правоаголни) – нанесена на изолаторска плоча (диелектрик) и на тој начин одвоена електрично од другиот спроводен дел кој е заземјен (прикажано на сл. 6-30). Се среќава и под името лепенка-антена. Таа најчесто е изведена на печатена плочка.



Сл. 6-30. Микросплеснатата антена

Должината на лепенката е со димензија од $\lambda/2$, поради што и употребата е за микробранови подрачја. Најчесто се користи во авионската и ракетната индустрија, така што се изведува со поголем број на лепенки поставени во низа. Поради многу малата дебелина на лепенката, таа може да се приспособува на различни облици и се поставува, на пример, на површината на автомобилот, авионот или на некој мобилен уред за комуникација.

Специфична микросплесната антена е превртената F-антена (PIFA – Planer Inverted F Antenna), позната под кратенката PIFA. Името го добила поради својот физички изглед на латинската буква F. Се користи кај безжичната комуникација, односно во мобилната телефонија. Напојувањето кај овие антени е на средината, поради што антената е пократка, покомпактна и со импеданса која е еднаква на импедансата на колото за побуда, со што нејзината ефикасност се зголемува.

Дијаграмот на зрачење кај микросплеснатите антени е широк, тие имаат мала маса и димензии, едноставни се за изведба и честопати со нив се додаваат интегрирани кола за засилување на сигналот, но исто така имаат и големи загуби, како и тесен фреквенциски опсег на работа.

РЕЗИМЕ:

- Антени се електрични уреди кои електромагнетните бранови ги претвораат во електричен сигнал и обратно, електричниот сигнал го претвораат во електромагнетен бран. Можат да бидат предавателни и приемни антени.
- Електромагнетните бранови се простираат низ воздухот како површински бранови и просторни бранови.
- Просторните бранови ја користат јоносферата при своето простирање. Јоносферата е дел од атмосферата во која концентрацијата на електрони се менува во зависност од надворешните услови. Јоносферата се користи за сите видови на пренос, а особено за сателитскиот пренос.
- Максималната фреквенција на вертикално емитираниот бран кој сè уште се рефлектира во јоносферата се нарекува критична фреквенција на јоносферата. Критичната фреквенција зависи од бројот на слободни електрони во единица волумен.
- Мртва зона се нарекува просторот помеѓу областа во којашто завршува приемот на површинските бранови и областа во која почнува приемот на просторните бранови. За бранови должини поголеми од 50 метри не постои мртва зона.
- Фединг е краткотрајно слабеење на сигналот предизвикано од интерференцијата на брановите кои во точката на прием стигнуваат по различни патишта.
- Херцовата дипол-антена е најстарата практична изведба на антена. Уште се нарекува полубранов дипол.
- Херцовиот дипол работи на принципот на редно-осцилаторно коло со чие отворање околу диполот се јавуваат електромагнетни бранови.
- Електричното и магнетното поле околу дипол-антените во секоја точка се поставени нормално едно на друго.
- Карактеристиката на полето на зрачење на антената се нарекува дијаграм на зрачење на антената. Карактеристиката на зрачење во екваторијалната рамнина има форма на круг.
- Дијаграмот на зрачење на дипол-антените се менува со промената на: должината на краците на диполот, местоположбата на диполот и висината на која се поставува.
- Отпорноста на зрачење на дипол-антената е чисто омска величина и е 73Ω .
- Антените може да се користат како приемни и предавателни антени. Во конструкцијата на двете се наоѓаат еден или повеќе диполи кои се изведуваат на различни начини.
- Сателитски антени се користат за ултракратко браново подрачје. Врската помеѓу станицата која емитира сигнал кон сателитот се нарекува појдовен линк (uplink), а сигналот кој доаѓа кон корисниците се нарекува дојдовен линк (downlink).
- Емисијата кон сателитите се одвива со помош на фреквенција од 14 GHz, а преносот од сателитот кон корисникот е во опсегот од 12 GHz.
- Во сателитскиот пренос се користат параболични антени. Рефлекторите на параболичните антени кои имаат широка употреба се: обична парабола и офсет антена.
- За да се добие потесно и понасочено зрачење кај рог-антените се менува аголот на пирамидата или нејзината широчина.
- Јаги-антени се сложени антенски системи со изразено насочено дејство, кои се користат за пренос на ултракратки бранови, особено во телевизијата.
- Посебен вид на микросплеснати антени се PIFA антените, кои имаат облик на буквата F и се применливи во мобилната телефонија.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ:

1. Дали постојат електромагнетни бранови со фреквенција од 2 MHz со бранова должина од 200 m?
2. Дали електромагнетниот бран со фреквенција од 1 MHz и бранова должина од 200 m може да се пренесува низ воздух?
3. Колкава е должината на дипол-антена за прием на радиодифузна програма на УКБ?
4. Дали може изолирана жица да се користи како антена?
5. Како треба да биде поставена дипол-антената за напонот на нејзините краеве да биде максимален?
6. Кога нема мртва зона при преносот на сигналите?
7. Ако радиодифузната станица користи предавателна антена чија висина е $h = \lambda/2$, колкава е висината на антената на Радио Скопје?

Заокружи го точниот одговор на дадените прашања:

8. Која е најмалата должина на диполот со која може да се добие резонанција на антена?
а. $\lambda/2$; б. λ ; в. $\lambda/4$; г. 2λ
9. Како се вика антената со должина од $\lambda/2$?
а. Теслина антена
б. Херцов дипол
в. Стап-антена
г. Симетрична антена
10. Како се нарекува праволиниски симетричен спроводник со должина $2l$, кој во средината се напојува со високофреквенциски извор?
а. симетричен дипол
б. јаги-антена
в. дипол-антена
г. сложена антена
11. На кое растојание се наоѓа геостационарната орбита над површината на Земјата?
а. 3 600km
б. 50 000 km
в. 36 000 km
г. 360 000 m
12. Какви се линиите на силите на електричното поле во која и да било рамнина што поминува низ оската на Херцовата дипол-антена?
а. идентични
б. паралелни
в. симетрични
г. нормални
13. Колава е отпорноста на зрачење на полубрановиот дипол?
а. 300Ω
б. 73Ω
в. 730Ω
г. 79Ω
14. Колкава е отпорноста на зрачење на симетричниот дипол во слободен простор?
а. $R_z = 200 \Omega$
б. $R_z = 75 \Omega$
в. $R_z = 300 \Omega$
г. $R_z = 20 \Omega$

Модуларна единица 7: Модулација и демодулација

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Амплитудна модулација
2. Модулатори на амплитудно модулирани сигнали
3. Демодулатори на амплитудно модулирани сигнали
4. Аголна модулација
5. Модулатори на аголно модулирани сигнали
6. Демодулатори на аголно модулирани сигнали

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Интерпретираат основен концепт за амплитудна модулација
2. Разликуваат типови на амплитудна модулација и ги разликуваат нивните спектри
3. Читаат шеми и објаснуваат принцип на работа на различни видови модулатори на амплитудно модулирани сигнали
4. Читаат шеми и објаснуваат принцип на работа на различни видови демодулатори на амплитудно модулирани сигнали
5. Интерпретираат основен концепт за аголна модулација
6. Разликуваат типови на аголна модулација и ги разликуваат нивните спектри
7. Читаат шеми и објаснуваат принцип на работа на различни видови модулатори на аголно модулирани сигнали
8. Читаат шеми и објаснуваат принцип на работа на различни видови демодулатори на аголно модулирани сигнали

7 МОДУЛАЦИЈА И ДЕМОДУЛАЦИЈА

На излезот од претворувачот на пораки се појавува сигнал во својот изворен облик, односно тој се наоѓа во својот природен, основен опсег на фреквенции. Овие сигнали не секогаш се соодветни за директен пренос. Поради ова се врши обработка на сигналот, така што тој да влијае (да се втисне) во некој од параметрите на помошниот периодичен високофреквенциски сигнал и притоа тој станува носител на пренесуваниот сигнал. Постапката на менување, втиснување на сигналот во помошниот сигнал се нарекува **модулација**. [1]

Носителот е синусен високофреквенциски сигнал, а еден од неговите параметри: амплитуда, фреквенција или фаза пропорционално се менува како сигналот во основниот фреквенциски облик. Според тоа, имаме три типа на модулација:

- АМ – амплитудна модулација
- FM – фреквенциска модулација
- ФМ – фазна модулација

Оригиналниот сигнал во својот изворен облик се нарекува **модулационен сигнал**, помошниот периодичен сигнал се нарекува **носител**, а модифицираниот сигнал добиен од овие два сигнала се нарекува **модулиран сигнал**. Модулацијата се извршува во предавателот, а вака добиениот сигнал кај приемникот мора да се **демодулира**, односно да се изврши реверзибилна постапка и од модулираниот сигнал да се извади модулациониот сигнал, односно корисната порака која сме ја пренесувале.

7.1 АМПЛИТУДНА МОДУЛАЦИЈА

Носителот кај амплитудната модулација е простопериодичен сигнал, прикажан на сл. 7-1 (б), со облик:

$$u_0(t) = U_0 \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi) \quad \dots\dots\dots (7-1)$$

U_0 – амплитуда на носителот
 ω_0 – кружна фреквенција на носителот
 φ – почетна фаза на носителот

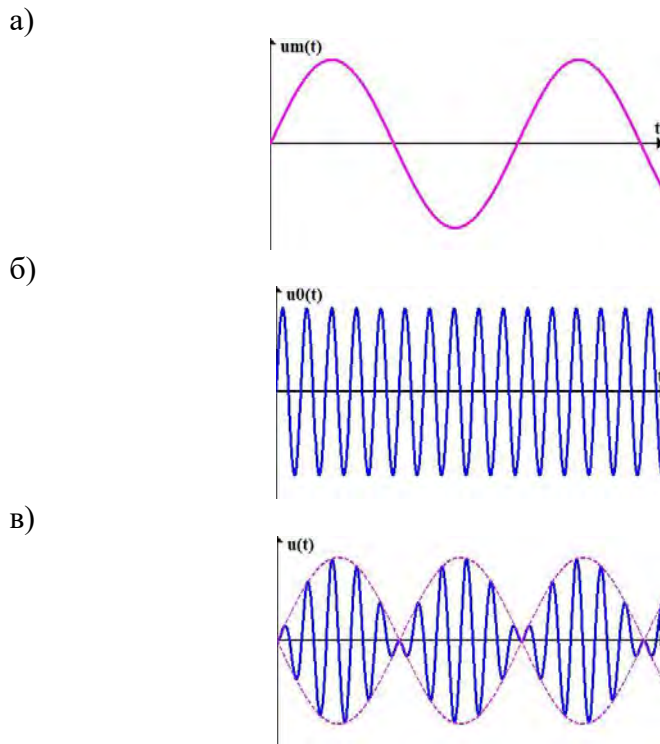
Пораката која се пренесува, прикажана на сл. 7-1 (а), се запишува во општ облик $u_m(t)$.

Со втиснување на пораката во амплитудата на носителот, неговата амплитуда се менува пропорционално со модулациониот сигнал и се добива амплитудно модулиран сигнал, прикажан на сл. 7-1 (в), чиј математички запис е:

$$u(t) = k \cdot u_m(t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi) \quad \dots\dots\dots (7-2)$$

k – константа на пропорционалност

Замислената линија која ги поврзува точките на максимум, односно линијата (границата) во која се менува носителот се нарекува **анвелопа**, прикажана на сл. 7-1 (в), со розова испрекинатата линија. Анвелопата е пропорционална со пренесуваната порака, модулациониот сигнал. Амплитудно модулираниот сигнал претставува производ на пренесуваната порака и носителот, поради што се нарекува продуктна модулација.



Сл. 7-1. Амплитудно модулиран сигнал, временски облик

(а) модулационен сигнал; (б) помошен периодичен сигнал-носител; (в) модулиран сигнал

За поедноставно прикажување, за пренесувана порака ќе земеме еден прстопериодичен сигнал, а носителот ќе нема почетна фаза ($\varphi = 0$). Модулациониот сигнал и амплитудно модулираниот сигнал сега ќе го имаат следниот математички запис:

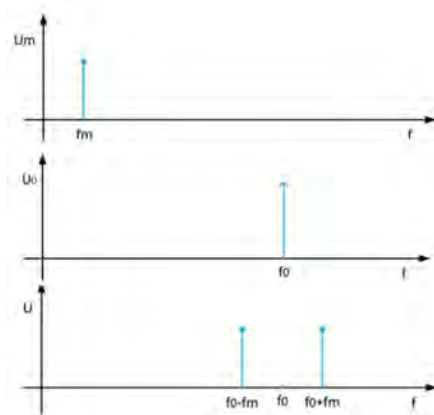
$$u_m(t) = U_m \cdot \sin(\omega_m \cdot t)$$

$$u(t) = k \cdot U_m \cdot \sin(\omega_m \cdot t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) =$$

$$= \frac{k \cdot U_m}{2} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t - \omega_m \cdot t) - \frac{k \cdot U_m}{2} \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \omega_m \cdot t) =$$

$$= \frac{k \cdot U_m}{2} \cdot \cos(\omega_0 - \omega_m) \cdot t - \frac{k \cdot U_m}{2} \cdot \cos(\omega_0 + \omega_m) \cdot t \dots\dots\dots (7-3)$$

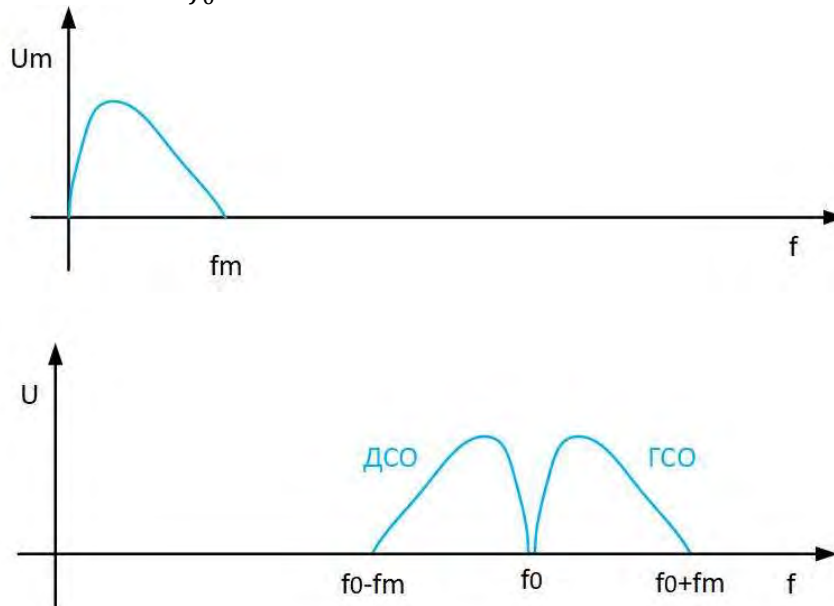
Соодветниот фреквенциски спектар на пренесуваната порака, носителот и амплитудно модулираниот сигнал е прикажан на сл.7-2.



Сл. 7-2. Фреквенциски спектар на амплитудно модулиран сигнал, кога пораката е прстопериодичен сигнал

Амплитудно модулираниот сигнал има две фреквенциски компоненти, и тоа на фреквенции $(f_0 - f_m)$ и $(f_0 + f_m)$.

Пораката, модулациониот сигнал, во практиката е сложен случаен сигнал кој има континуиран, ограничен спектар (со гранична фреквенција f_m). Во тој случај, **спектарот на АМ-сигналот** ќе биде претставен како на сл. 7-3 и ќе содржи две компоненти околу фреквенцијата на носителот f_0 .



Сл. 7-3. Фреквенциски спектар на амплитудно модулиран сигнал кога пораката е сложен сигнал

Горниот (ГСО) и долниот (ДСО) страничен опсег ја содржат пренесуваната порака, што доведува до заклучокот дека за пренос на модулациониот сигнал, потребно е да се пренесе само еден од опсезите. Ваквата постапка на избивање само на едниот опсег многу ја усложнува постапката, но ги намалува потребниот фреквенциски спектар и енергијата потрошена за тој да се пренесе. Во зависност од потребите и условите, според фреквенцискиот спектар на модулираниот сигнал се разликуваат четири видови на амплитудна модулација:

- АМ – 2СО (амплитудна модулација со 2 странични опсега)
- АМ – 1СО (амплитудна модулација со 1 страничен опсег)
- КАМ (конвенционална амплитудна модулација)
- АМ – НСО (амплитудна модулација со несиметричен страничен опсег)

7.1.1 АМ – 2СО

Оваа модулација е основната амплитудна модулација и се добива со обично множење на модулациониот сигнал и носителот (равенка 7-2). Спектарот на ваквиот сигнал е даден на сл. 7-3, додека широчината на фреквенцискиот опсег изнесува:

$$B = (f_0 + f_m) - (f_0 - f_m) = f_0 + f_m - f_0 + f_m = 2 \cdot f_m \dots (7-4)$$

За сигналот да биде пренесен, потребна е двапати поголема енергија, отколку за пренос само на еден страничен опсег и двапати поголем фреквенциски опсег. Демодулацијата е сложена и затоа овој тип на модулација е преодна фаза за добивање на други модулации.

7.1.2 AM – 1CO

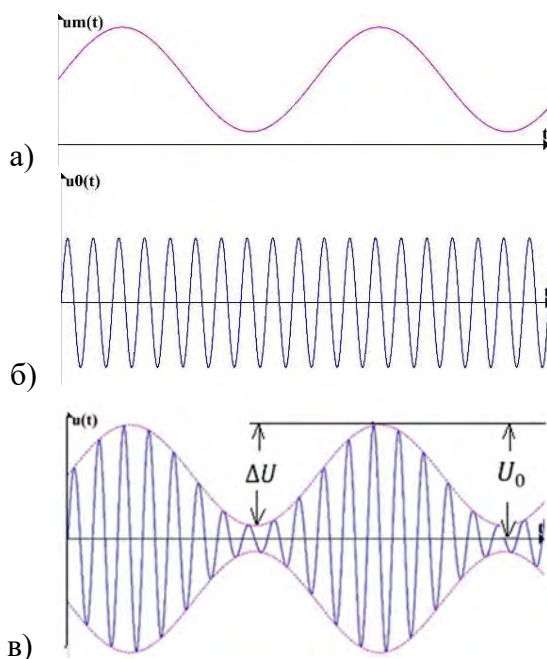
Пренесуваната порака се содржи и во ГСО и во ДСО. Тоа значи дека не мора да се пренесуваат и двата опсега, туку е доволно да се пренесе само едниот опсег и на тој начин се избегнува непотребно трошење на енергија, фреквенциски опсег и останати ресурси. Ваквиот пренос претставува амплитудна модулација со еден страничен опсег (AM - 1CO). Оваа модулација има сложен модулатор и демодулатор. Се користи повеќестепенена модулација и специфични филтри, поради што е скапа и помалку применлива.

7.1.3 КАМ

КАМ-сигнал е најстариот начин на амплитудна модулација. Поради тоа, кога станува збор за амплитудната модулација, а не е поинаку напоменето, се мисли на КАМ. Овој сигнал математички е даден со следниот израз:

$$u(t) = [U_0 + k \cdot u_m(t)] \cdot \sin(\omega_0 \cdot t) \quad \dots\dots\dots (7-5)$$

Од математичкиот запис се гледа дека амплитудата на сигналот се состои од еднонасочна компонента со големина U_0 и компонента која пропорционално зависи од пренесуваната порака $k \cdot u_m(t)$. Еднонасочната компонента е таа што во математичкиот запис го разликува КАМ-сигналот од AM-2CO. Временски облик на КАМ-сигнал е дадена на сл. 7-4:



Сл. 7-4. Временски облик на КАМ-сигнал

Пренесуваната порака (модулациониот сигнал) има максимална амплитуда U_m . Количникот m_0 се нарекува **степен на модулација**.

$$m_0 = \frac{\Delta U}{U_0} \quad \dots\dots\dots (7-6)$$

каде што $\Delta U = k \cdot U_m$.

Степенот на модулација m_0 најчесто се изразува во проценти ($m_0[\%] = m_0 \cdot 100$). Во практиката, вредноста на степенот на модулација се движи од 30 % до 80 %. Ако вредноста на m_0 е поголема од 100 %, настанува **премодулација**, односно се појавува изобличување при модулацијата.

Поради еднонасочната компонента во модулираниот сигнал, фреквенцискиот спектар содржи два странични опсега (ГСО и ДСО) и носител. Фреквенцискиот спектар на КАМ-сигналот е прикажан на сл. 7-5:

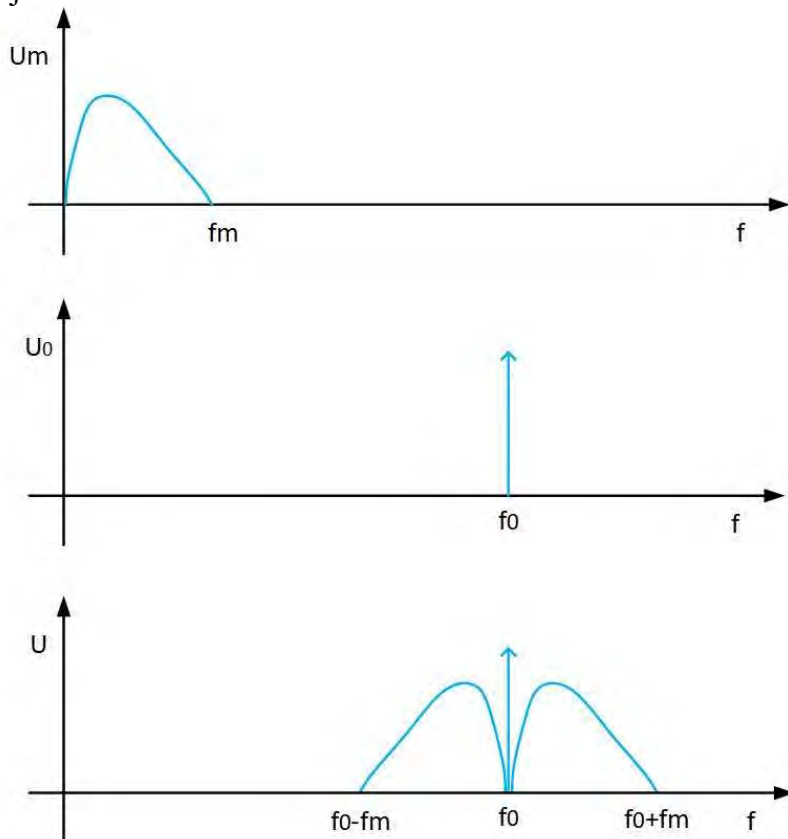
За да може да се пренесе сигналот, потребно е да биде исполнет условот:

$$f_0 - f_m \geq 0, \text{ односно } f_0 \geq f_m \quad \dots\dots\dots (7-7)$$

Широчината на фреквенцискиот опсег е:

$$B = (f_0 + f_m) - (f_0 - f_m) = f_0 + f_m - f_0 + f_m = 2 \cdot f_m \quad \dots\dots\dots (7-8)$$

Широчината на фреквенцискиот опсег кај КАМ-сигналот е иста со онаа кај АМ-2СО. Потребната енергија за пренос е поголема од енергијата потребна за пренос на АМ-2СО, бидејќи КАМ-сигналот ги содржи двата странични опсега и плус носителот на сигналот. Оваа негативна карактеристика е занемарлива поради едноставната изведба на модулаторот и демодулаторот за овој вид на амплитудна модулација. Примената на КАМ модулацијата е во радиодифузијата.



Сл. 7-5. Фреквенциски спектар на КАМ

Моќноста потребна за да се пренесе еден КАМ-сигнал е:

$$P = P_0 \cdot \left(1 + \frac{m_0^2}{2}\right) \quad \dots\dots\dots (7-9)$$

каде што P_0 е моќноста на носителот на сигналот, а моќноста на пренесуваната порака (модулациониот сигнал) е:

$$P_m = P_0 \cdot \frac{m_0^2}{4} \quad \dots\dots\dots (7-10)$$

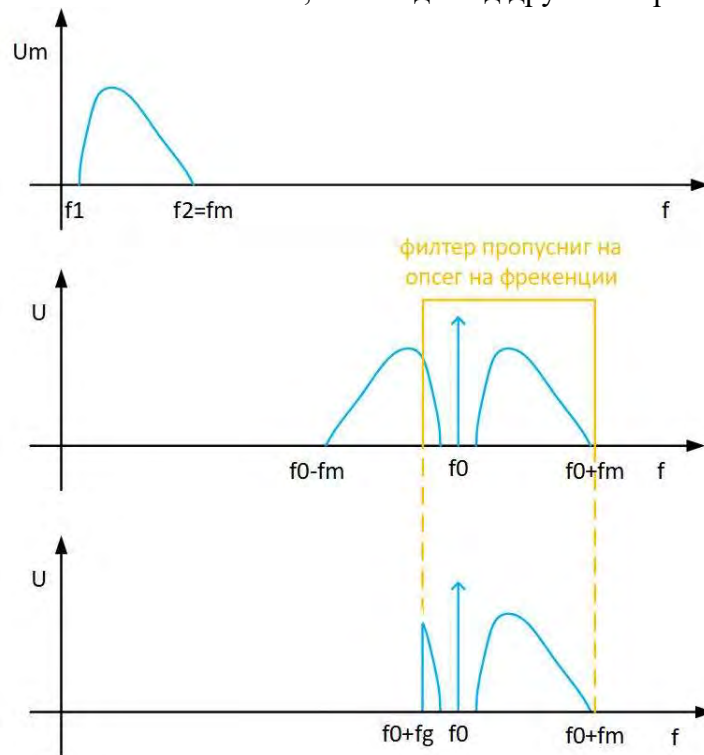
Степенот на искористување е:

$$\eta = \frac{P_m}{P_0} = \frac{P_0 \cdot \frac{m_0^2}{4}}{P_0 \cdot \left(1 + \frac{m_0^2}{2}\right)} = \frac{\frac{m_0^2}{4}}{1 + \frac{m_0^2}{2}} = \frac{m_0^2}{2 \cdot (2 + m_0^2)} \quad \dots\dots\dots (7-11)$$

За да се почувствува големината на искористеноста, наједноставно е да се земе дека степенот на модулација е 1 (100 %), при што за степенот на искористеност се добива вредност 1/6. Оваа вредност кажува дека предавателот искористува само 1/6 од употребената енергија за пренос на модулациониот сигнал, додека останатите 5/6 се употребени како некорисна енергија за пренос на носителот. Сепак, ваквата мала искористеност е практично употреблива, затоа што во радиодифузијата има еден предавател и многу приемници, кои ќе бидат едноставни уреди со евтини демодулаторни кола во себе.

7.1.4 AM-HCO

Со цел да се избегне непотребното пренесување на двата странични опсега, КАМ-сигналот се пропушта низ филтер пропусник на опсег на фреквенции, кој ќе го пропусти само едниот страничен опсег и носителот, како и дел од другиот страничен опсег (сл. 7-6).



Сл. 7-6. Фреквенциски спектар на AM-HCO

AM-HCO содржи цел еден од страничните опсези во кој се содржи пренесуваната порака. Овој пренос се нарекува хибриден.

Широчината на фреквенцискиот опсег е:

$$B = (f_0 + f_m) - (f_0 - f_g) = f_0 + f_m - f_0 + f_g = f_m + f_g \quad \dots\dots\dots (7-12)$$

Вообичаено е:

$$f_g = \frac{1}{4} \cdot f_m \quad \dots\dots\dots (7-13)$$

При што за широчината на фреквенцискиот опсег се добива:

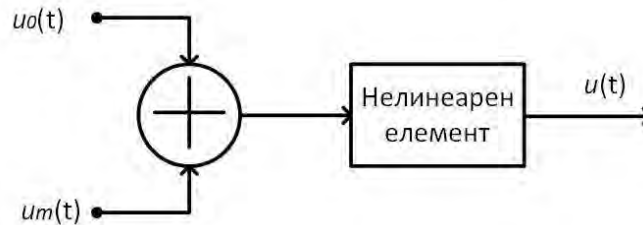
$$B = f_m + f_g = f_m + \frac{1}{4} \cdot f_m = \frac{5}{4} \cdot f_m = 1,25 \cdot f_m \quad \dots\dots\dots (7-14)$$

Оваа широчина на фреквенциски опсег е помала од онаа кај КАМ-сигналот. Употребата е во радиодифузијата, кај преносот на аналогните телевизиски сигнали (на видеосигналот).

7.2 МОДУЛАТОРИ НА АМ-СИГНАЛИ

7.2.1 Модулятор со нелинеарен елемент

Принципот на работа на модулятор со нелинеарен елемент е прикажан со блок-шемата на сл. 7-7.



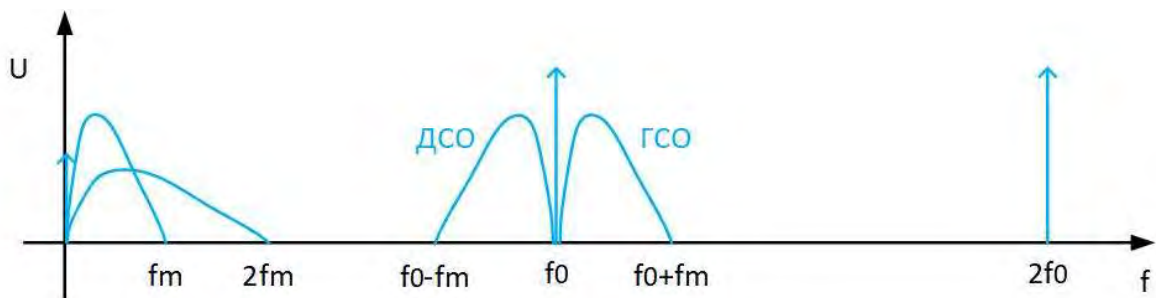
Сл. 7-7. Амплитуден модулятор со нелинеарен елемент

Носителот $u_0(t)$ и модулациониот сигнал $u_m(t)$ се собираат во собирачки елемент и потоа се носат на влез на нелинеарниот елемент. Сигналот на излез од нелинеарниот елемент е претставен со формулата 7-15.

$$u(t) = a + b \cdot [u_0(t) + u_m(t)] + c \cdot [u_0(t) + u_m(t)]^2 \dots\dots\dots (7-15)$$

Излезниот сигнал содржи еднонасочна компонента a , влезниот сигнал $[u_0(t) + u_m(t)]$, како и квадратот на влезниот сигнал $[u_0(t) + u_m(t)]^2$. Последната компонента, која е продукт од нелинеарноста на елементот, го содржи амплитудно модулираниот сигнал.

Поради нелинеарноста, во спектарот на вака модулираниот сигнал се јавуваат компоненти кои се со двапати поголема фреквенција, што може да се види на слика 7-8, каде што е претставен спектарот на $u(t)$:



Сл. 7-8. Спектар на сигналот $u(t)$

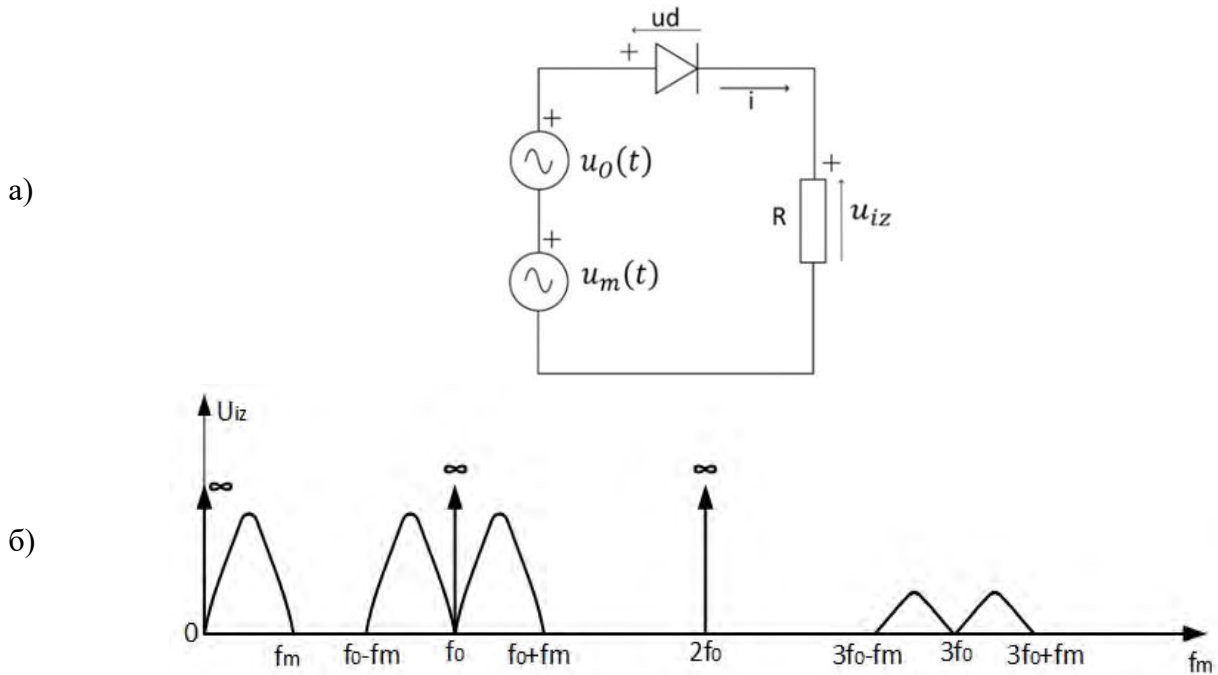
Од спектарот може да се воочи дека излезниот сигнал содржи еднонасочна компонента, нискофреквенциски дел со фреквенција f_m и $2f_m$ и високофреквенциски компоненти околу фреквенцијата f_0 и $2f_0$. Корисниот продукт е оној на фреквенцијата f_0 , како и неговите два странични опсега, што го претставува посакуваниот КАМ-сигнал. За да се издвои корисниот (КАМ) сигнал, се пропушта вака добиениот сигнал $u(t)$, низ филтер пропусник на фреквенции, чиј опсег е од $f_0 - f_m$ до $f_0 + f_m$. На излезот од филтерот се добива КАМ-сигнал. За да може ова да се оствари, не смее да дојде до преклопување на спектрите, односно мора да важи:

$$f_0 - f_m \geq 2f_m \rightarrow f_0 \geq 3f_m \dots\dots\dots (7-16)$$

Квадратниот член во карактеристиката на нелинеарниот елемент е тој што ја обезбедува продуктната модулација, односно се добива КАМ-сигнал.

7.2.2 Диоден модулатор

Амплитудната модулација може да се реализира и со линеарен прекинувачки елемент, најчесто диода или транзистор. Кога диодата се разгледува како идеален елемент, има карактеристика таква што при директна поларизација (дп) спроведува струја која е пропорционална со нејзиниот напон ($i = u_d/R_d$), а во инверзна поларизација (ип) таа не спроведува струја низ неа ($i = 0A$), односно го прекинува колото. На слика 7-9 а) е даден шематски приказ на наједноставниот амплитуден модулатор реализиран со диода.



Сл. 7-9. Амплитуден модулатор со диода:
(а) електрична шема; (б) фреквенциски спектар

Кога диодата е директно поларизирана, ако свртиме контура според II Кирхофов закон се добива следното равенство:

$$u_d + R \cdot i - u_o(t) - u_m(t) = 0$$

$$i = u_d / R_d$$

$$i \cdot R_d + R \cdot i - u_o(t) - u_m(t) = 0$$

$$i \cdot R_d + R \cdot i = u_o(t) + u_m(t)$$

$$i \cdot (R_d + R) = u_o(t) + u_m(t)$$

$$i = \frac{1}{R_d + R} \cdot [u_o(t) + u_m(t)]$$

$$u_{iz} = R \cdot i = R \cdot \frac{1}{R_d + R} \cdot [u_o(t) + u_m(t)]$$

$$a = R \cdot \frac{1}{R_d + R}$$

$$u_{iz} = a \cdot [u_o(t) + u_m(t)]$$

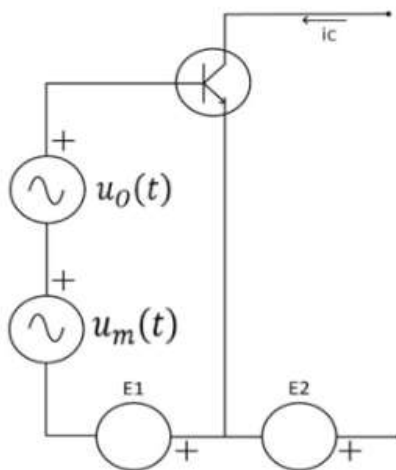
$$u_{iz} = \begin{cases} 0, & \text{диодата е ип} \\ a \cdot [u_o(t) + u_m(t)], & \text{диодата е дп} \end{cases} \dots\dots\dots (7-17)$$

Бидејќи напонот на носителот е многу поголем од напонот на модулациониот сигнал, произлегува дека диодата е директно управувана од носителот на сигнал. Односно, сигнал на излезот ќе има само во позитивниот дел од збирот на сигналите $u_o(t)+u_m(t)$.

Поради прекинувачката карактеристика на диодата, излезниот сигнал претставува збир од: модулациониот сигнал, **носителот, производ од модулациониот сигнал и носителот**, производ од модулациониот сигнал и носителот со 3 пати поголема фреквенција итн. (слика 7-9 б)). Вториот и третиот член во овој збир го претставуваат посакуваниот КАМ-сигнал.

7.2.3 Амплитуден модулатор со транзистор

Модулаторот реализиран со транзистор како прекинувачки елемент е прикажан на слика 7-10 во својата наједноставна изведба, која е сепак нешто посложена изведба од онаа на диодниот модулатор.

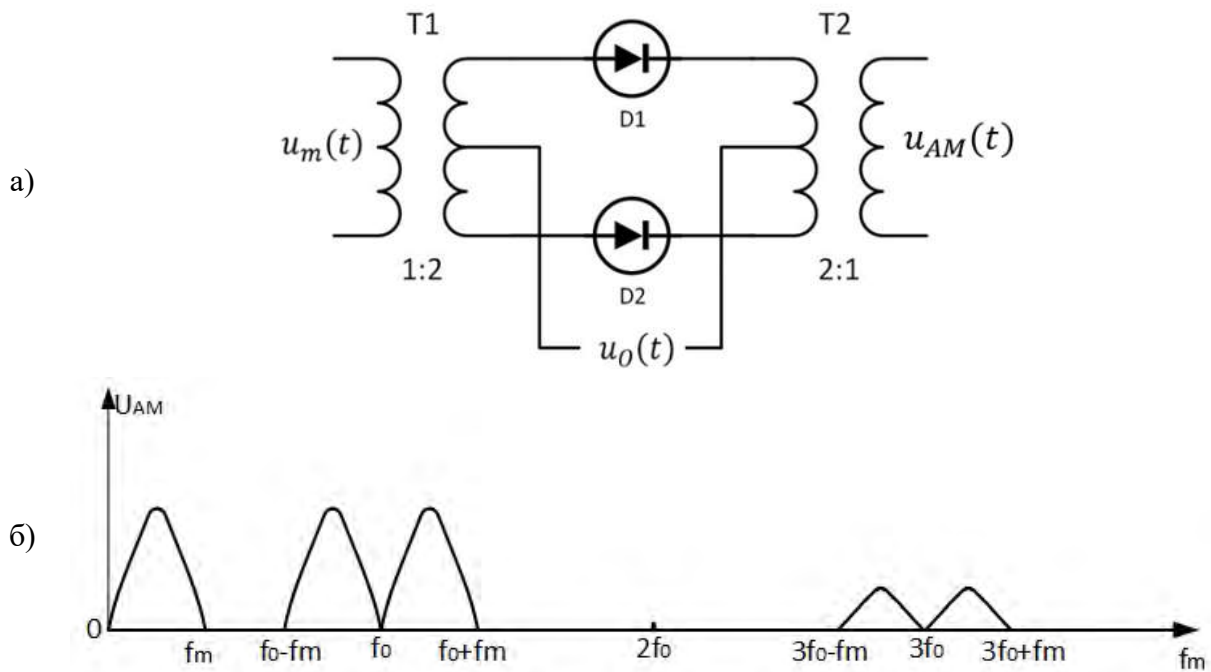


Сл. 7-10. Амплитуден модулатор со транзистор

Изворот за напојување $E_2 > E_1$, при што низ транзисторот не тече струја (тој е исклучен). Транзисторот ќе се вклучи, ќе почне да спроведува електрична струја низ себе, кога неговата база В ќе биде позитивна (односно $u_o(t)+u_m(t)-E_1 > 0$). Тогаш протекува струја низ колекторот С, i_c која се менува пропорционално како модулациониот сигнал $u_m(t)$. На излезот се добива КАМ-сигнал.

7.2.4 Балансен модулатор

Балансниот модулатор прикажан на слика 7-11 се изведува со две диоди, чиешто карактеристики се идентични и во анализата се сметаат за идеални елементи (во инверзна поларизација претставуваат прекин во колото, а во директна поларизација куса врска). Трансформаторите со средните изводи се симетрични.



Сл. 7-11. Балансен модулатор
(а) електрична шема; (б) фреквенциски спектар

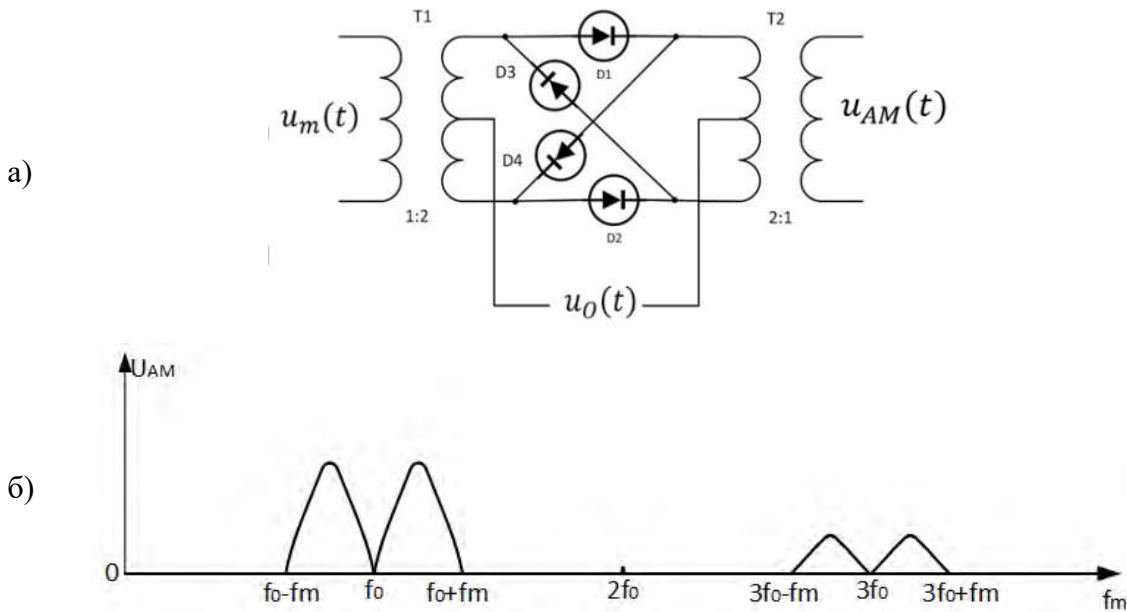
Трансформаторот Т1 има преносен однос 1:2, што значи дека на секундарната страна се појавува двапати поголем сигнал од оној на примарната страна, а таму се донесува модулациониот сигнал $u_m(t)$, бидејќи секундарната страна е поделена на половина, во горниот дел се појавува $u_m(t)$, како и на долниот дел. Кога носителот $u_o(t)$ е во својата позитивна полупериода, спроведуваат диодите D1 и D2, кои се директно поларизирани и на примарот од трансформаторот Т2 се добива сигнал $2u_m(t)$. За негативната полупериода на носителот, пак, диодите се инверзно поларизирани и го прекинуваат колото и на примарот од Т2 се добива сигнал нула. Поради односот на трансформаторот Т2 од 2:1, излезниот напон е со двапати помала вредност од онаа на неговиот влез. Поради тоа, за $u_{AM}(t)$ се добива:

$$u_{AM}(t) = \begin{cases} u_m(t), & \text{кога } u_o(t) > 0 \\ 0, & \text{кога } u_o(t) \leq 0 \end{cases} \dots\dots\dots (7-18)$$

Поради прекинувачката функција (позитивната полупериода има сигнал, за негативната нема сигнал), која се запишува како $C(1,0)$, во излезниот сигнал се јавува збир од: модулациониот сигнал, **производ на модулациониот сигнал и носителот**, производ на модулациониот сигнал и носителот со трипати поголема фреквенција итн. (слика 7-11 б)). Производот на модулациониот сигнал и носителот (вториот член во овој збир) всушност го претставува посакуваниот AM-2CO.

7.2.5 Кружен модулатор

Кружниот модулатор прикажан на слика 7-12 е посложена изведба на балансниот модулатор. Тој содржи 4 диоди, чии карактеристики се идентични и се сметаат за идеални елементи, како и два трансформатора со исти карактеристики како кај балансниот модулатор.



Сл. 7-12. Кружен модулатор
(а) електрична шема; (б) фреквенциски спектар

Кога носителот $u_o(t)$ е во својата позитивна полупериода, спроведуваат диодите D1 и D2. Тие се директно се поларизирани и на примарот од трансформаторот T2 се добива сигнал $2u_m(t)$. Кај балансниот модулатор, за негативната полупериода на носителот се појавуваше напон нула, кај кружниот модулатор во овој полупериод ќе спроведуваат диодите D3 и D4, а на примарот од T2 се добива сигнал $-2u_m(t)$. Поради односот на трансформаторот T2 од 2:1, излезниот напон е со двапати помала вредност од онаа на неговиот влез. Поради тоа за $u_{AM}(t)$ се добива:

$$u_{AM}(t) = \begin{cases} u_m(t), & \text{кога } u_o(t) > 0 \\ -u_m(t), & \text{кога } u_o(t) \leq 0 \end{cases} \dots\dots\dots (7-19)$$

Поради прекинувачката функција, која се запишува $C(1,-1)$, во излезниот сигнал се јавува збир од: **производ на модулациониот сигнал и носителот**, производ на модулациониот сигнал и носителот со трипати поголема фреквенција итн. (слика 7-12 б)). Производот на модулациониот сигнал и носителот (првиот член во овој збир) всушност го претставува посакуваниот AM-2CO.

7.2.6 Модулатор за AM-1CO

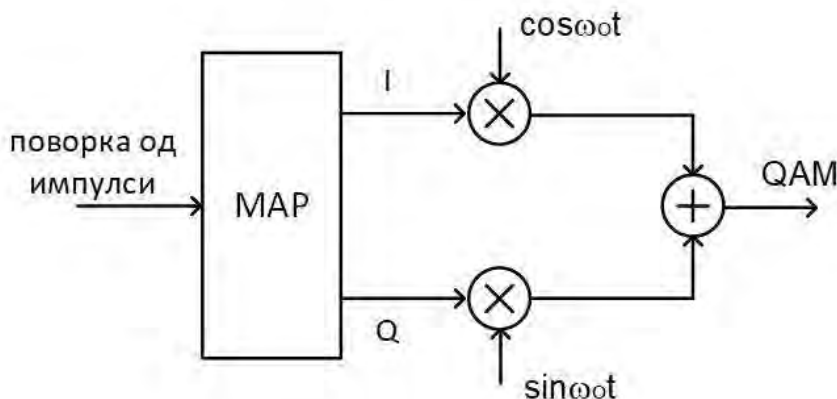
Нема посебна реализација на ваков модулатор, туку се користи филтер пропусник на опсег на фреквенции, кој се поставува на излезот на некој модулатор кој на својот излез дава AM-2CO. Филтерот е најчесто поставен по кружниот модулатор, но со едно ограничување, за фреквенции кои се помали од 30 kHz. За повисоки фреквенции се користат повеќестепени модулатори или посебни модулатори, како модулатор со фазно поместување.

Модулаторот со фазно поместување содржи два балансни модулатора во себе, од кои едниот врши модулација помеѓу $u_o(t)$ и $u_m(t)$, а другиот од истиве овие сигнали, но двата фазно поместени за 90° . Ако се изврши собирање на овие два продукта на излезот од овој склоп, се добива долниот страничен опсег, а ако се изврши одземање, се добива горниот страничен опсег. На излезот не се користи филтер. Ваквата изведба е секогаш посложена и поскапа, поради што е и помалку применлива.

7.2.7 Квадратен модулатор (QAM)

Квадратната амплитудна модулација се изведува со мешање на амплитудна и фазна модулација (која понатаму ќе ја изучуваме). Се користи како примарна модулација во преносот на дигиталната телевизија (односно при преносот на дигитална кабелска телевизија). Овозможува поголем степен на пренос на податоци во даден преносен опсег. Недостатоци на овој тип на модулација се чувствителноста на надворешни влијанија и фазниот шум.

Поедноставена блок-шема на QAM модулатор е дадена на слика 7-13.



Сл. 7-13. QAM модулатор

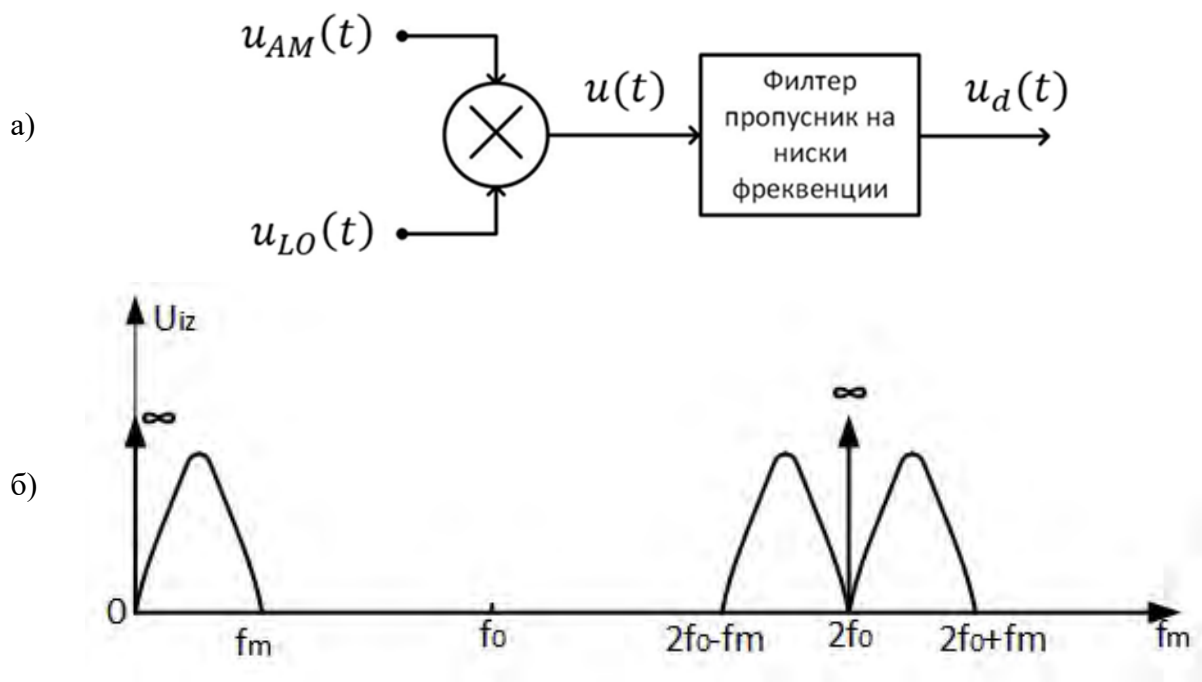
QAM модулаторот претставува начин на кодирање, на телевизиската слика, при пренос на кабелска дигитална телевизија. Поворката на импулси на влезот во секој од каналите се модулира со носител кој е фазно поместен, за 90° , односно едниот модулира со \cos функција т. н. I сигнал, а другиот со \sin функција тн Q сигнал. Овој тип на модулација може поради ова да се сретне и под името IQ модулација. Овие два сигнали се собираат и се добива сигнал со амплитудна и фазна модулација.

7.3 АМ-ДЕТЕКТОРИ

7.3.1 Демодулација на АМ-сигнали

Демодулацијата, како што кажува и самото име, е инверзна операција од модулација. Постапката претставува извлекување на модулациониот сигнал (оригиналниот сигнал, односно пренесуваната порака) од модулираниот сигнал.

Демодулацијата наједноставно се изведува со множење на амплитудно модулираниот сигнал $u_{AM}(t)$ со сигнал од локален осцилатор $u_{LO}(t)$, при што се добива продукт $u(t)$. Демодулаторот, прикажан на слика 7-14 а), се нарекува продуктен демодулатор.



Сл. 7-14. Продуктен демодулатор

(а) електрична шема; (б) фреквенциски спектар

Локалниот осцилатор кој го генерира сигналот $u_{LO}(t)$ мора да има иста фреквенција со носителот $u_o(t)$ со кој е извршена модулацијата.

Излезниот сигнал $u(t)$ претставува збир од еднонасочна компонента (прв член), втор член кој го содржи **модулираниот сигнал**, трет член со двапати поголема фреквенција од онаа на носителот и четврти член кој е производ на модулациониот сигнал и сигнал со двапати поголема фреквенција (слика 7-14 б)). Корисниот сигнал е вториот член на овој збир и тој се издвојува со филтер пропусник на ниски фреквенции, при што се добива демодулираниот сигнал $u_d(t)$ кој е пропорционален на модулациониот сигнал $u_m(t)$.

Продуктната демодулација се користи за демодулирање на: КАМ, АМ-2СО, АМ-1СО и АМ-НСО. Се користи за мултиплексен пренос на говор и телеграфски сигнали. [3]

7.3.2 Демодулација со квадратен демодулатор

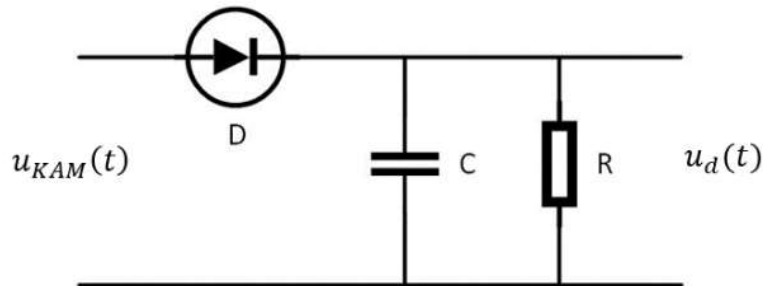
Нелинеарните елементи, всушност нивната нелинеарна карактеристика која се користи во постапката на модулација, се искористува и во постапката на демодулација на КАМ-сигнали. Нелинеарноста, односно квадратниот член во математичкиот израз зададен во записот (7-15) го дал и името на овој диоден детектор, познат и како **квадратен демодулатор**.

Негативна особина на овој демодулатор е тоа што излезниот, демодулиран сигнал има изобличување, познато како изобличување од втор ред (името доаѓа од тоа што во излезниот сигнал се наоѓа и корисен сигнал кој е на квадрат, односно е на втор степен).

Излезниот сигнал, по нелинеарниот елемент претставува збир од еднонасочна компонента, членови кои имаат фреквенции двапати поголеми од онаа на носителот, корисниот сигнал, како и член кој го содржи квадратот од корисниот сигнал. Поради изобличувањето, овој детектор се користи само за модулирани сигнали чиј степен на модулација m_0 е многу мал, а се користи на места каде што ваквите изобличувања можат да бидат толерирани.

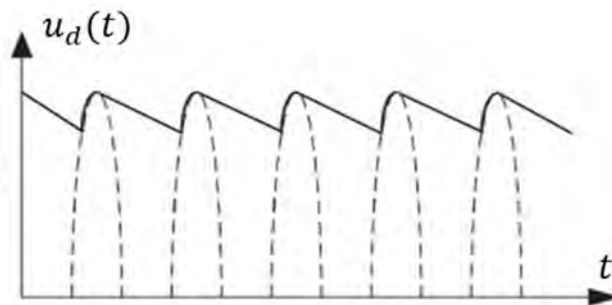
7.3.3 Линеарен диоден детектор

Линеарниот диоден детектор, познат под името детектор на анVELOпа е многу едноставен уред кој дава излезен сигнал кој го следи обликот на анVELOпата на влезниот сигнал. Поради тоа, тој и се употребува како детектор само за КАМ-сигнал. Детекторот на анVELOпа е прикажан на слика 7-15. Диодата има идеални карактеристики. Кога е директно поларизирана претставува куса врска, а во инверзна поларизација е прекин во колото.



Сл. 7-15. Детектор на анVELOпа

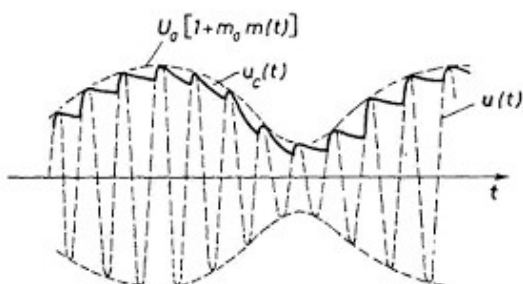
За да се објасни принципот на работа на овој детектор, наједноставно е ако се разгледува дека место КАМ-сигнал, на влезот имаме обичен синусен сигнал. За позитивниот дел од синусниот сигнал, диодата ќе претставува куса врска, додека за негативниот дел од полупериодата, диодата ќе биде прекин во колото. Временскиот облик на излезниот сигнал $u_d(t)$ е прикажан на слика 7-16:



Сл. 7-16. Временски облик на $u_d(t)$, кога влезниот сигнал има синусен облик

При побуда со позитивната полупериода, диодата D спроведува и кондензаторот C се полни (следејќи го обликот на влезниот синусен сигнал) на вредност еднаква на неговата максималната вредност. Кога влезниот синусен сигнал почнува да опаѓа од својата максимална вредност, диодата станува инверзно поларизирана и таа престанува да спроведува, тогаш кондензаторот почнува да се празни преку отпорот R, на сликата $u_d(t)$ (црвена линија). Обликот на $u_d(t)$ зависи од временската константа RC, која треба да има поголема вредност. Колку временската константа е поголема, толку сигналот $u_d(t)$ е поблиску до максималните вредности на влезниот сигнал $u_{KAM}(t)$ и на тој начин е поблиску до обликот на самата анVELOпа. Кога влезниот сигнал ќе ја достигне вредноста на $u_d(t)$, тогаш диодата повторно почнува да спроведува и кондензаторот почнува да се полни, повторно следејќи го обликот на влезниот сигнал, сè до моментот кога тој ја постигнува својата максимална вредност, при што процесот почнува одново, односно се повторува.

Ако на влезот на детекторот на анvelope се донесе КАМ-сигнал, временскиот облик на $u_d(t)$ изгледа како на слика 7-17. Сега разликата е во тоа што место константна амплитуда на влезот, ќе имаме променлива, и сега максималната вредност до која кондензаторот C ќе се полни и од каде што ќе започне неговото празнење постојано ќе има различна вредност.



Сл. 7-17. Временски облик на $u_d(t)$, кога влезниот сигнал е КАМ

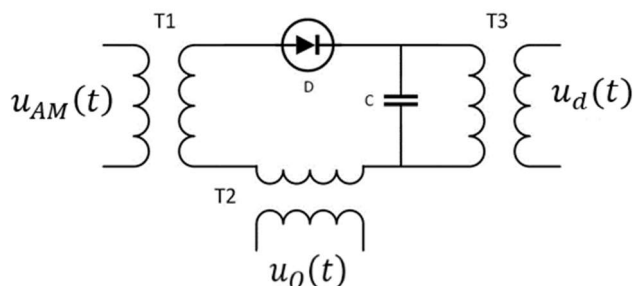
Ако на излезот на детекторот на анvelope се постави RC филтер пропусник на ниски фреквенции, на неговиот излез ќе се добие сигнал кој ќе има помала брановитост од онаа што ја има сигналот $u_d(t)$. Мора да се запази условот фреквенцијата на носителот да биде многу поголема од максималната фреквенција на модулациониот сигнал ($f_0 \gg f_m$).

Временската константа RC треба да има колку што е можно поголема вредност, за отстапувањето од анvelopeата да биде што помало, но ако оваа вредност е премногу голема при појава на помали вредности на анvelopeата, празнењето на кондензаторот не би ја следело анvelopeата и би дошло до појава на т. н. дијагонално отсекување.

Детекторот на анvelope се користи во ТВ-приемниците за издвојување на видеосигналот, а неговата едноставност, а со тоа и ниска цена на чинење го прави прифатлив и распространет за употреба.

7.3.4 Демодулација на АМ-2СО

Демодулаторот кој претставува комбинација помеѓу детекторот на анvelopeа и детектор кој се базира на инверзна работа на кружниот модулатор е претставен на сл. 7-18. Инверзна работа на амплитуден модулатор значи на влезот од балансен или квадратен модулатор да се донесе амплитудно модулиран сигнал (место модулациониот сигнал) и на излезот од модулаторот се добива модулациониот сигнал, со што принципот на работата на модулаторот сега е работа како демодулатор. [3]



Сл. 7-18. Демодулатор на АМ, кој работи на принцип на избивање на фреквенција

Сигналот се демодулира на тој начин што се додава сигнал преку T_2 , со фреквенција иста како носителот на сигнали, а преку T_1 се донесува амплитудно модулираниот сигнал, а на излезот од T_3 се добива корисниот сигнал $u_d(t)$. Поради начинот на работа, ова се нарекува процес на избивање.

Овој демодулатор има примена кај приемниците, како мешач на фреквенции.

7.3.5 Демодулација на АМ-1СО

Ако на влезот на кружниот модулатор (на примарната страна на Т1), сл. 7-12 се донесе АМ-1СО, а на местото на $u_o(t)$ се генерира помошен сигнал од локален осцилатор кој има иста фреквенција со фреквенцијата на носителот, тогаш овој кружен модулатор ќе работи како демодулатор и претставува синхрон демодулатор. На излезот од демодулаторот мора да се постави филтер пропусник на ниски фреквенции, кој ќе ги пропушта оние сигнали чиј спектар на фреквенции е од 0 до f_m , што го претставува корисниот сигнал, односно модулациониот сигнал.

Овој демодулатор се применува во високофреквенциските (VF) уреди за мултиплексирање на говор и телеграфија, поради својата едноставност и сигурен начин на работа.

7.4 АГОЛНА МОДУЛАЦИЈА

Аголната модулација спаѓа во групата на континуирани модуляции. Добиениот модулиран сигнал е континуиран сигнал.

Носителот кај аголната модулација е простопериодичен сигнал со косинусен бранов облик:

$$u_o(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) = U_0 \cdot \cos \Phi_0(t) \quad \dots\dots\dots (7-19)$$

Во формулата (7-19) U_0 е амплитудата на носителот, а

$$\Phi_0(t) = (\omega_0 t + \varphi) \quad \dots\dots\dots (7-20)$$

е фазниот агол на носителот. Кружната фреквенција на носителот ω_0 е со константна вредност ($\omega_0 = const.$), а исто така и почетната фаза $\varphi = const.$ Најчесто $\varphi = 0$ и во таков случај $\Phi_0(t) = \omega_0 t$.

Модулациониот сигнал, кој е носител на пораката, е случаен сигнал кој има ограничен спектар ω_m и го претставуваме со функцијата $u_m(t)$.

Добиениот **аголно модулиран сигнал** ќе биде континуиран. Амплитудата на овој сигнал е со константна вредност $U = U_0 = const.$

$$u(t) = U \cos \Phi(t) = U_0 \cos \Phi(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + \varphi(t)] \quad \dots\dots\dots (7-21)$$

Фазниот агол на аголно модулираниот сигнал се менува, сразмерно со промената на модулациониот сигнал. Фазниот агол станува карактеристичен параметар во кој се содржи пренесуваната порака и оттука потекнува името аголна модулација.

$$u(t) = U_0 \cos\{\omega_0 t + \gamma[u_m(t)]\} \quad \dots\dots\dots (7-22)$$

Релацијата (7-22) е општ облик за аголно модулиран сигнал. Аголот

$$\Phi(t) = \omega_0 t + \varphi(t) = \Phi_0 + \gamma[u_m(t)] \quad \dots\dots\dots (7-23)$$

се нарекува **моментна фаза на модулираниот сигнал**.

Величината

$$\delta\Phi = \Phi - \Phi_0 = \gamma[u_m(t)] \quad \dots\dots\dots (7-24)$$

претставува отстапување на моментната фаза Φ од фазата на носителот Φ_0 и се нарекува **моментна девијација на фазата**.

Моментната кружна фреквенција на модулираниот сигнал е временски променлива големина $\omega = \omega(t)$. Величината

$$\delta\omega = \omega - \omega_0 \quad \dots\dots\dots (7-25)$$

претставува отстапување на моментната кружна фреквенција ω од фреквенцијата на носителот ω_0 и се нарекува **моментна девијација на кружната фреквенција**.

7.4.1 Фазна модулација

Нека $u_m(t)$ е модулациониот сигнал, носител на пораката. Во случај кога при аголна модулација, моментната девијација на фазата $\delta\Phi$ е пропорционална со модулациониот сигнал, тогаш станува збор за **фазна модулација**, односно сме добиле **фазно модулиран сигнал**.

$$\delta\Phi = \varphi(t) = \gamma[u_m(t)] = k_\varphi \cdot u_m(t) \quad \dots\dots\dots (7-26)$$

Аналитичкиот израз на фазно модулираниот сигнал ќе биде:

$$u_{\Phi M}(t) = U_0 \cdot \cos \Phi(t) = U_0 \cdot \cos[\omega_0 t + k_\varphi \cdot u_m(t)] \quad \dots\dots\dots (7-27)$$

Моментната фаза на фазно модулираниот сигнал е:

$$\Phi(t) = \omega_0 t + k_\varphi \cdot u_m(t) \quad \dots\dots\dots (7-28)$$

k_φ е константа на пропорционалност чија вредност зависи од конструкцијата на модулаторот. При теоретска анализа понекогаш произволно се зема дека $k_\varphi=1$, а со тоа не се влијае на општиот карактер на анализата. Моментната фаза отстапува од линеарниот тек и е пропорционална со моментната вредност на $u_m(t)$. Ако модулациониот сигнал е прстопериодичен тест-сигнал:

$$u_m(t) = U_m \cdot \cos \omega_m t \quad \dots\dots\dots (7-29)$$

тогаш моментната девијација на фазата ќе се менува во ритам со промените на модулациониот сигнал:

$$\delta\Phi = \varphi(t) = k_\varphi \cdot u_m(t) = k_\varphi \cdot U_m \cdot \cos \omega_m t \quad \dots\dots\dots (7-30)$$

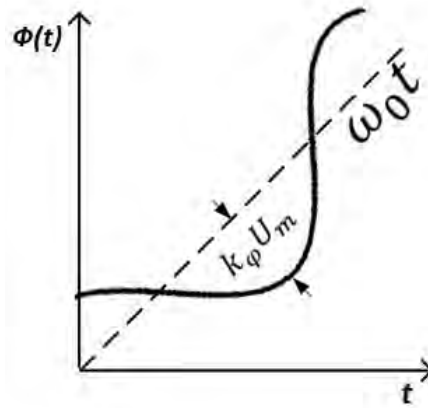
Максималното отстапување на фазата е пропорционално со амплитудата на модулациониот сигнал и се нарекува максимална девијација на фазата $\Delta\Phi$:

$$\Delta\Phi = k_\varphi U_m \quad \dots\dots\dots (7-31)$$

Моменталната фаза на фазно модулираниот сигнал ќе биде:

$$\Phi(t) = \omega_0 t + k_\varphi u_m(t) = \omega_0 t + k_\varphi \cdot U_m \cdot \cos \omega_m t = \omega_0 t + \Delta\Phi \cos \omega_m t \quad \dots (7-32)$$

Моменталната фаза на фазно модулираниот сигнал не е линеарна функција од времето туку се менува околу вредноста на фазата на носителот (сл. 7-19).



Сл. 7-19. Временски дијаграм на моменталната фаза кај фазно модулиран сигнал

Максималната девијација на фазата кај фазно модулираниот сигнал често се нарекува и **индекс на модулација** m_ϕ така што во случај на фазна модулација важи:

$$m_\phi = \Delta\Phi = k_\phi U_m \quad \dots\dots\dots (7-33)$$

Изразот за фазно модулираниот сигнал сега може да се напише и во следниот облик:

$$u_{\phi M}(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \Delta\Phi \cos \omega_m t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + m_\phi \cdot \cos \omega_m t) \quad \dots\dots\dots (7-34)$$

7.4.2 Фреквенциска модулација

При фреквенциска модулација, моментната девијација на фреквенцијата е модулирана во ритам со модулациониот сигнал. Моментната девијација на кружната фреквенција кај фреквенциски модулиран сигнал е:

$$\delta\omega = \kappa_\omega \cdot u_m(t) \quad \dots\dots\dots (7-35)$$

Аналогно на ова, знаејќи ја врската меѓу кружната фреквенција ω и фреквенцијата f , $f(t) = f = \frac{\omega}{2\pi}$, моментната девијација на фреквенцијата на фреквенциско модулираниот сигнал ќе биде:

$$\delta f = \kappa_f \cdot u_m(t) \quad \dots\dots\dots (7-36)$$

Во релациите (7-34) и (7-35), κ_ω и κ_f се константи на пропорционалност и за нив важи:

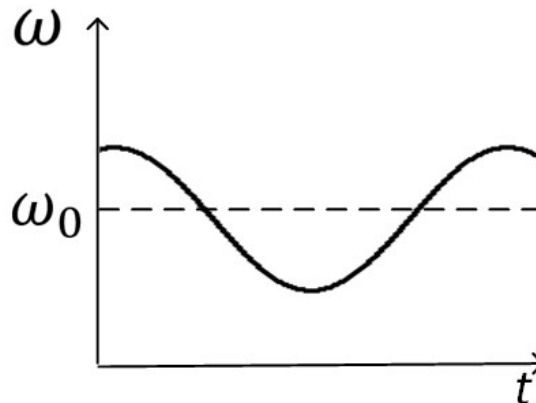
$$\kappa_f = \frac{\kappa_\omega}{2\pi} \quad \dots\dots\dots (7-37)$$

Моментната фреквенција на фреквенциски модулиран сигнал е дадена со следните изрази:

$$\omega = \omega_0 + \delta\omega = \omega_0 + \kappa_\omega \cdot u_m(t) \quad \dots\dots\dots (7-38)$$

$$f = f_0 + \delta f = f_0 + \kappa_f \cdot u_m(t) \quad \dots\dots\dots (7-39)$$

Од изразите (7-38) и (7-39) може да се заклучи дека моментната фреквенција кај фреквенциски модулиран сигнал не е константна како фреквенцијата на носителот, туку се менува околу вредноста на фреквенцијата на носителот.



Сл. 7-20. Временски дијаграм на моменталната фреквенција кај фреквенциски модулиран сигнал

Ако модулациониот сигнал е прстопериодичен тест-сигнал $u_m(t) = U_m \cdot \cos \omega_m t$, тогаш моментната девијација на фреквенцијата ќе се менува во ритам со промените на модулациониот сигнал:

$$\delta\omega = k_\omega \cdot u_m(t) = k_\omega \cdot U_m \cdot \cos \omega_m t = \Delta\omega_0 \cdot \cos \omega_m t \quad \dots\dots\dots (7-40)$$

Величината

$$\Delta\omega_0 = k_\omega \cdot U_m \quad \dots\dots\dots (7-41)$$

се нарекува **максимална девијација на кружната фреквенција** или само девијација на кружната фреквенција.

Степенот на модулација при фреквенциска модулација се дефинира како однос на фреквенциската девијација и модулационата фреквенција:

$$m_f = \frac{\Delta\omega}{\omega_m} = \frac{\Delta f}{f_m} \quad \dots\dots\dots (7-42)$$

Ако ги споредиме изразите за (7-33) и (7-42), ќе видиме дека во случај на фазна модулација индексот на модулација не зависи од модулационата фреквенција, додека во случај на фреквенциска модулација индексот на модулација е обратнопропорционален со модулационата фреквенција.

Изразот за фреквенциски модулиран сигнал гласи:

$$\begin{aligned} u_{FM}(t) &= U_0 \cdot \cos \Phi(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{k_\omega U_m}{\omega_m} \sin \omega_m t\right) = \\ &= U_0 \cos\left[\omega_0 t + \frac{\Delta\omega_0}{\omega_m} \cos\left(\omega_m t - \frac{\pi}{2}\right)\right] = U_0 \cos\left[\omega_0 t + m_f \cos\left(\omega_m t - \frac{\pi}{2}\right)\right] \quad \dots\dots (7-43) \end{aligned}$$

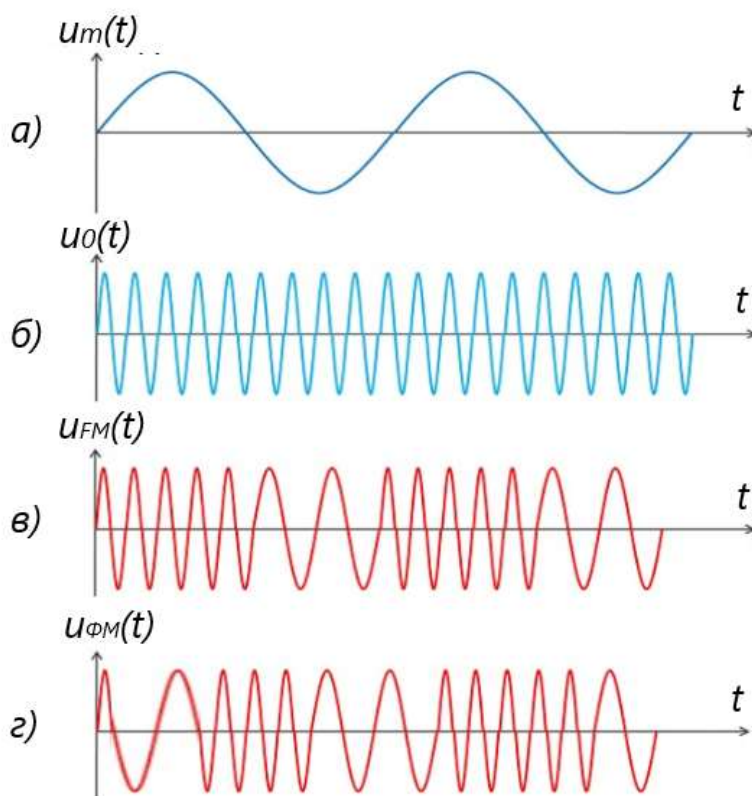
7.4.3 Поврзаност меѓу фреквенциската и фазната модулација

Ако ги анализираме изразите на фазно модулиран сигнал и фреквенциско модулиран сигнал,

$$u_{\Phi M}(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + m_\phi \cdot \cos \omega_m t)$$
$$u_{FM}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + m_f \cos(\omega_m t - \frac{\pi}{2})]$$

можеме да заклучиме дека фазно модулираниот сигнал и фреквенциско модулираниот сигнал имаат ист облик и се само фазно поместени за $\pi/2$ еден во однос на друг.

За да знаеме дали еден аголно модулиран сигнал е модулиран фазно или фреквенциско, мора да ја знаеме точната врска меѓу моменталната девијација на фазата $\varphi(t)$ и модулациониот сигнал $u_m(t)$.



Сл. 7-21. Временски дијаграми: а) модулационен сигнал; б) носител; в) фреквенциско модулиран сигнал; г) фазно модулиран сигнал

Може да се каже дека фазната и фреквенциската модулација секогаш се појавуваат заедно. Не може еден сигнал да се модулира фазно, а притоа да не дојде до промена на фреквенцијата и обратно.

Сличноста меѓу фазната и фреквенциската модулација може да се види и од временските дијаграми на сл. 7-21, каде што се прикажани брановите облици на носителот, модулациониот сигнал, како и фазно и фреквенциско модулираните сигнали.

Фреквенциската модулација се користи за радиодифузните системи кои работат во подрачјето на ултракратки бранови. Во телевизијата, со помош на FM-сигнал се пренесува звукот. Оваа модулација наоѓа примена и во ВФ телефонијата. Исто така, фазната и фреквенциската модулација се користат во сложените постапки при пренос на дигитални сигнали. [4]

7.4.4 Спектар на аголно модулирани сигнали

Одредувањето на спектарот на аголно модулираните сигнали е многу сложена постапка. Една компонента од спектарот на модулациониот сигнал генерира бесконечно многу компоненти со различни фреквенции во спектарот на аголно модулираниот сигнал. Притоа, законот за суперпозиција при анализа на спектарот не важи за аголно модулирани сигнали. Дури и во наједноставен случај, кога модулациониот сигнал е простопериодичен тест-сигнал, спектарот на модулираниот сигнал е неограничен. Ако пак имаме сложен модулационен сигнал, во таков случај компонентите од спектарот на модулираниот сигнал се многу сложено врзани за компонентите на модулациониот сигнал и ако се разгледува една компонента на некоја одредена фреквенција во спектарот на аголно модулираниот сигнал, не може да се каже од која компонента на модулациониот сигнал настанала, затоа што таа компонента всушност зависи од сите компоненти на модулациониот сигнал.

Во продолжение ќе разгледуваме наједноставен случај на спектар на аголно модулирани сигнали кога модулациониот сигнал е простопериодичен тест-сигнал:

$$u_m(t) = U_m \cdot \cos \omega_m t$$

Изразите за фазно и фреквенциско модулиран сигнал се:

$$u_{\Phi M}(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + m_\phi \cdot \cos \omega_m t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + k_\phi U_m \cos \omega_m t)$$

$$u_{FM}(t) = U_0 \cos\left[\omega_0 t + m_f \cos(\omega_m t - \frac{\pi}{2})\right] = U_0 \cos\left(\omega_0 t + k_\omega \frac{U_m}{\omega_m} \sin \omega_m t\right)$$

Знаејќи дека $m_f = \frac{k_\omega U_m}{\omega_m}$ е степенот на модулација на фреквенциски модулиран сигнал и $m_\phi = k_\phi U_m$ е степенот на модулација на фазно модулиран сигнал, тоа значи дека анализата може да се воопшти и во продолжение ќе го разгледуваме воопштениот случај кој се однесува на аголно модулиран сигнал:

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 t + m \cdot \cos \omega_m t)$$

Последната релација математички може да се разложи до облик:

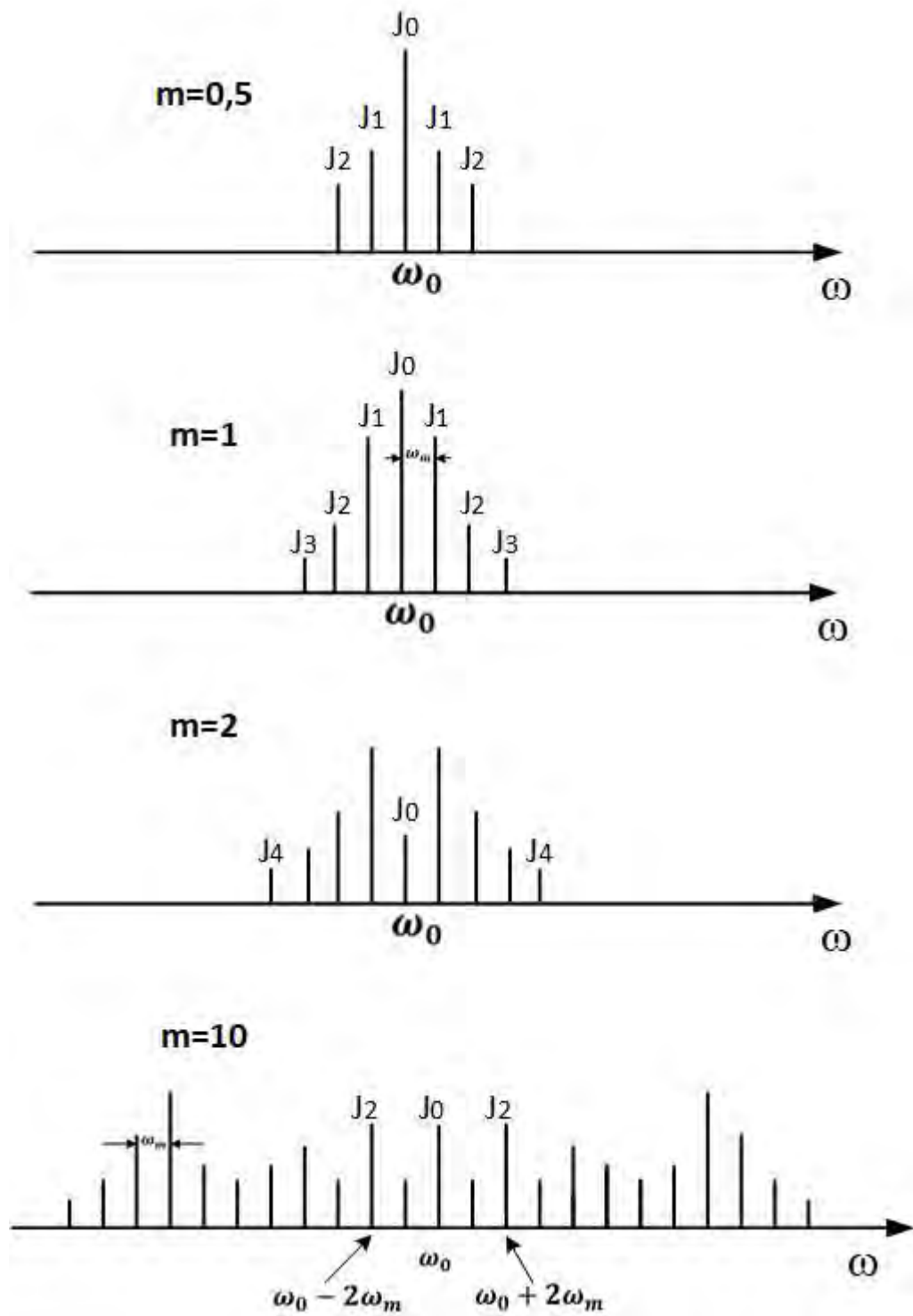
$$u(t) = U_0 J_0 \cos \omega_0 t + U_0 \sum_{n=1}^{\infty} J_n(m) \left\{ \cos[(\omega_0 - n\omega_m)t + \frac{n\pi}{2}] + \cos[(\omega_0 + n\omega_m)t + \frac{n\pi}{2}] \right\} \quad ..(7.44)$$

Во овој израз кој го претставува аголно модулираниот сигнал разликуваме три дела:

1. Носител со амплитуда $U_0 J_0(m)$ и фреквенција ω_0
2. Бесконечно многу компоненти со облик $U_0 J_n(m) \cdot \cos(\omega_0 - n\omega_m)t$
3. Бесконечно многу компоненти со облик $U_0 J_n(m) \cdot \cos(\omega_0 + n\omega_m)t$

Спектарот на овој сигнал е неограничен и дискретен, компонентите се наоѓаат лево и десно од носителот, а растојанието помеѓу две соседни компоненти во спектарот е ω_m . Функцијата $J_n(m)$, за даден степен на модулација m и за која било вредност на n претставува константа.

Во општ случај, повисокиот бочен опсег не е симетричен со понискиот. Ова значи дека пренесуваната порака не се содржи во секој од бочните опсеги, па не може, како кај амплитудно модулираните сигнали, да се пренесува само еден од бочните опсеги, туку мора да се пренесуваат и двата бочни опсега.



Сл. 7-22. Амплитуден спектар на аголно модулиран сигнал со простопериодичен тест-сигнал за различни степени на модулација

7.4.4.1 ШИРИНА НА ФРЕКВЕНЦИСКИОТ ОПСЕГ ПОТРЕБЕН ЗА ПРЕНОС НА АГОЛНО МОДУЛИРАНИ СИГНАЛИ

Спектарот на аголно модулираниот сигнал е неограничено широк и дискретен. Носителот со фреквенција ω_0 е во средината на амплитудниот спектар, а компонентите се наоѓаат лево и десно од носителот. Растојанието помеѓу две соседни компоненти во спектарот е ω_m . Амплитудите на компонентите зависат од функцијата $J_n(m)$.

Со зголемувањето на n компонентите се наоѓаат сè подалеку од носечката фреквенција ω_0 , а исто така, за вредности на $n > m$, вредностите на функцијата $J_n(m)$ почнуваат нагло да опаѓаат, односно амплитудите на компонентите се намалуваат. Тоа овозможува да се занемарат компонентите со занемарливо мали амплитуди, со што системот за пренос може да се димензионира така што да има ограничен пропусен опсег.

Со занемарувањето на одредени спектрални компоненти може да дојде до изобличување на сигналот и намалување на квалитетот на пренос. За да се избегне ова, мора да се избере оптимален однос меѓу ширината на пропусниот опсег на системот за пренос и квалитетот на преносот. Испитувањата покажале дека важни компоненти кои мора да се пренесуваат се сите оние спектрални компоненти кои носат повеќе од $p\%$ од моќноста на немодулираниот носител, а најчесто се зема $p = 1\%$. Моќноста на компонентите зависи од нивните амплитуди, односно од функцијата $J_n(m)$, па затоа бројот на компоненти кои ќе се пренесуваат зависи од степенот на модулацијата.

Потребната широчина на преносниот опсег за аголно модулирани сигнали е дефинирана со Карсоновиот образец:

$$B = 2f_m(m + 1)$$

каде што f_m е највисоката фреквенција од спектарот на модулациониот сигнал.

За многу мали степени на модулација ($m \ll 1$), изразот добива облик

$$B \approx 2f_m$$

што ни кажува дека за пренос на пораката доволно е да се земат носителот и првите бочни компоненти, а за големи вредности на степенот на модулација ($m \gg 1$), изразот ќе добие облик

$$B = 2f_m m$$

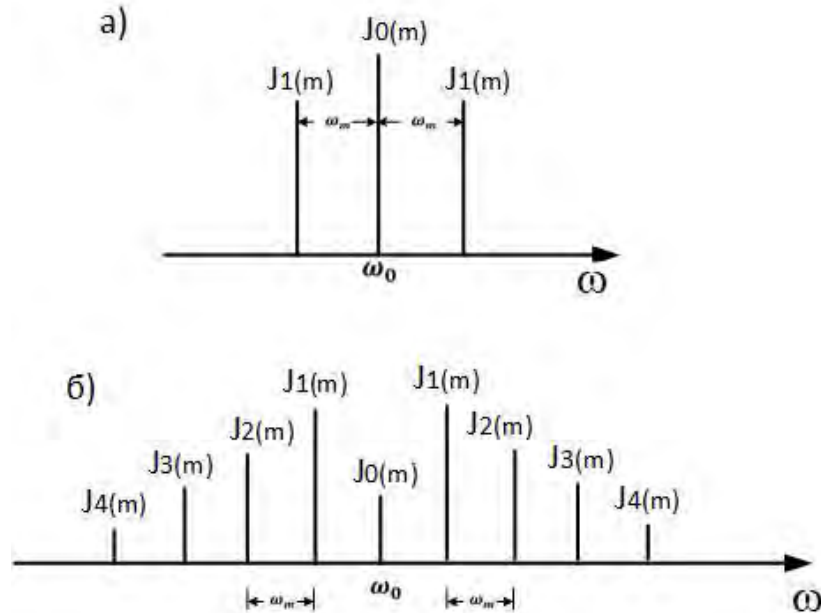
Од изнесеното, може да се заклучи дека потребната ширина на фреквенцискиот опсег за пренос на аголно модулирани сигнали не е строго дефинирана. Причина за тоа е самата природа на спектарот, како и различните барања за квалитет на преносот.

7.4.4.2 Карактеристики на спектарот на фазно модулирани сигнали

Амплитудниот спектар на фазно модулиран сигнал зависи од фреквенцијата на модулациониот сигнал (ω_m) која го одредува растојанието помеѓу спектралните компоненти и од степенот на модулација $m = \Delta\Phi_0 = k_\varphi U_m$, односно од амплитудата на модулациониот сигнал. Затоа ќе анализираме како промените на овие две величини влијаат на промените на спектарот на модулираниот сигнал.

1. Фреквенцијата на модулациониот сигнал е константна ($f_m = const$), а се менува амплитудата U_m . За многу мали вредности на амплитудата на модулациониот сигнал U_m , индексот на модулација е исто така многу мал. Спектарот практично се состои од три компоненти како на сл. 7-23(a). Со зголемување на U_m , се зголемува индексот на модулација, во спектарот се појавуваат нови значајни компоненти кои се на меѓусебно константно растојание, што значи дека спектарот ќе се шири, а амплитудите на компонентите ќе се намалуваат.

2. Ако претпоставиме дека $U_m = const$, а се менува фреквенцијата на модулациониот сигнал f_m , во таков случај степенот на модулација е константен, а тоа значи дека амплитудите на компонентите не се менуваат, а се менува меѓусебното растојание на компонентите. Ако фреквенцијата се зголемува, спектарот на модулираниот сигнал се шири, при што не се менува бројот на компоненти и амплитудата на компонентите.



Сл. 7-23. Дел од амплитудниот спектар на фазно модулиран сигнал со простопериодичен тест-сигнал со фреквенција $f_m = const$ а) амплитудата на модулациониот сигнал U_m е со многу мала вредност; б) при значително поголема амплитуда U_m на модулациониот сигнал

7.4.4.3 Карактеристики на спектарот на фреквенциско модулирани сигнали

Степенот на модулација кај фреквенциски модулиран сигнал е даден со изразот $m = \frac{k_f U_m}{f_m}$. Тоа значи дека амплитудниот спектар на фреквенциски модулиран сигнал зависи од амплитудата U_m и од фреквенцијата на модулациониот сигнал (f_m). Затоа ќе анализираме како промените на овие две величини влијаат на промените на спектарот на модулираниот сигнал.

1. Фреквенцијата на модулациониот сигнал е константна ($f_m = const$), а се менува амплитудата U_m . За многу мали вредности на амплитудата на модулациониот сигнал U_m , индексот на модулација ќе биде исто така мал. Спектарот ќе се состои од три компоненти. Со зголемување на U_m , расте индексот на модулација, во спектарот се појавуваат нови значајни компоненти кои се на меѓусебно константно растојание, што значи дека спектарот ќе се шири.

2. Сега да го разгледаме случајот кога $U_m = const$, а се менува фреквенцијата на модулациониот сигнал f_m . Девијацијата на фреквенцијата $\Delta f_0 = k_f U_m$ останува константна. Во овој случај и двете величини кои го одредуваат спектарот (степенот на модулација m кој влијае на амплитудите, односно бројот на компонентите и f_m од кое зависи меѓусебното растојание на компонентите) се променливи. Ако f_m е многу мало, степенот на модулација е многу голем, бројот на значајни компоненти е многу голем, но тие се густо збиени една до друга. Со зголемување на f_m индексот на модулација

опаѓа, бројот на значајни компоненти се намалува, но нивното меѓусебно растојание расте, па затоа нема големи промени во ширината на спектарот на сигналот.

Може да се заклучи дека кај фреквенциска модулација, промената на фреквенцијата не влијае значително на промената на фреквенцискиот опсег на системот за пренос, за разлика од влијанието кое го има промената на фреквенцијата кај фазна модулација.

Потребната ширина на фреквенцискиот опсег при фреквенциска модулација се определува со следната формула:

$$B = 2f_m(m + 1) = 2f_m \left(\frac{\Delta f_0}{f_m} + 1 \right) = 2(\Delta f_0 + f_m)$$

При мали индекси на модулација, $\frac{\Delta f_0}{f_m} = m \ll 1, \Delta f_0 \ll f_m$, ширината на фреквенцискиот опсег изнесува:

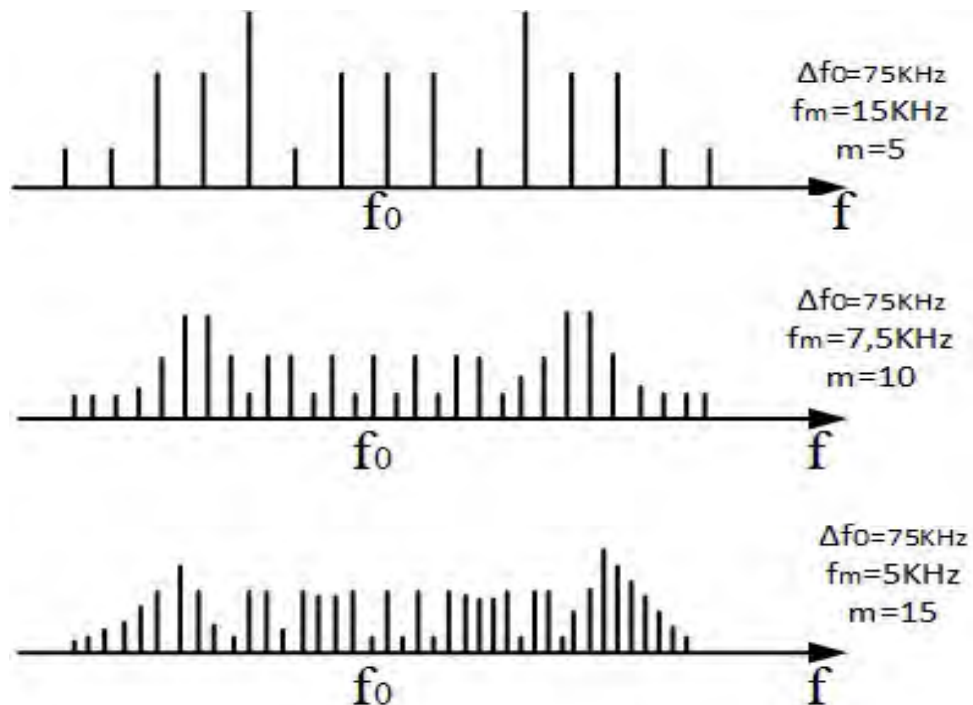
$$B \approx 2f_m$$

при што се пренесува носителот и првите бочни компоненти.

Кога индексот на модулација е многу голем $\frac{\Delta f_0}{f_m} = m \gg 1, \Delta f_0 \gg f_m$, ширината на фреквенцискиот опсег изнесува:

$$B \approx 2f_0$$

При многу голем индекс на модулација, ширината на фреквенцискиот опсег зависи од максималната девијација на фреквенцијата, а не од самата фреквенција на модулациониот сигнал.



Сл. 7-24. Амплитудни спектри на фреквенциски модулирани сигнал, со голем индекс на модулација

7.5 АГОЛНИ МОДУЛАТОРИ И ДЕМОДУЛАТОРИ

Поради врската која постои меѓу фреквенциската и фазната модулација, нема потреба да се раздвојат модулаторите (како и демодулаторите) на посебни групи и затоа тие со едно име се нарекуваат аголни модулатори и демодулатори.

7.5.1 Аголни модулатори

Аголните модулатори се делат на две групи (методи со кои се изведува модулацијата), и тоа според генерирањето на сигналот на индиректен и директен метод.

7.5.1.1 Индиректен метод – Армстронгов модулатор

Ако фазно модулиран сигнал се доведе на влезот на интегратор, на неговиот излез ќе се добие фреквенциско модулиран сигнал. Важи и спротивното, ако фреквенциско модулиран сигнал се доведе на влезот на диференцијатор, на неговиот излез се добива фазно модулиран сигнал. Ова е основа на индиректниот метод, при што колата за интегрирање и диференцирање се изведуваат како многу едноставни RC кола.

Модулаторот изведен со индиректен метод, прикажан како блок-дијаграм на слика 7-25, е познат под името Армстронгов модулатор.



Сл. 7-25. Армстронгов модулатор

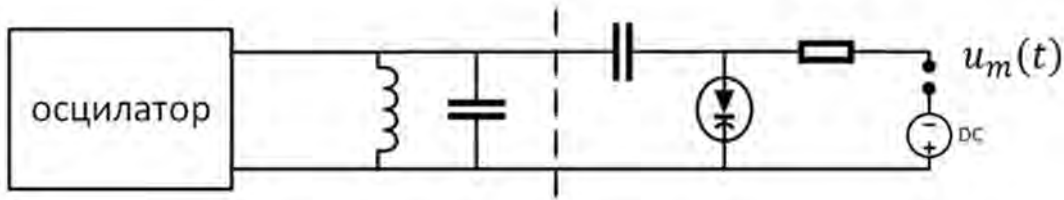
На влезот од модулаторот се носи корисната порака, модулациониот сигнал $u_m(t)$, која се обработува во интеграторот и се носи на едниот влез од балансниот модулатор. На вториот влез се носи сигнал од кристалниот осцилатор кој има карактеристика да даде сигнал со многу стабилна фреквенција. Вака добиениот сигнал се филтрира и се издвојува само делот кој го содржи амплитудно модулираниот сигнал $u_{AM}(t)$. Од локалниот осцилатор, дел од сигналот се носи на влез од балансниот модулатор, а дел се носи во колото за фазно поместување (врши поместување од -90°). Овие два сигнала се собираат и на излезот се добива фреквенциски модулиран сигнал $u_{FM}(t)$. Кристалниот осцилатор не може да произведе доволно високи фреквенции кои се користат во практичната примена на фреквенциската модулација и затоа се носи на мултипликатор на фреквенции, кој овозможува повеќекратно зголемување на фреквенцијата на влезниот сигнал. На излезот од Армстронговиот модулатор се поставува филтер, кој е нагоден да го пропушти само сигналот со посакуваната фреквенција.

Предност на Армстронговиот модулатор е стабилната фреквенција (која ја обезбедува кварцниот кристал), поради што има примена во радиодифузијата, каде што не смее да дојде до промени во фреквенцијата на носителот.

Лоша особина на овој модулатор е колото за мултиплицирање на фреквенции, кое се изведува како каскадна врска, но овие кола внесуваат и шум, кој исто така се зголемува со мултиплицирањето на сигналот.

7.5.1.2 Директен метод со варикап диода

Директните модулатори се изведуваат на тој начин што некоја директно зависна електрична величина се менува под влијание на модулациониот сигнал. Една таква изведба е прикажана на слика 7-26 и со неа се остварува директна фреквенциска модулација.



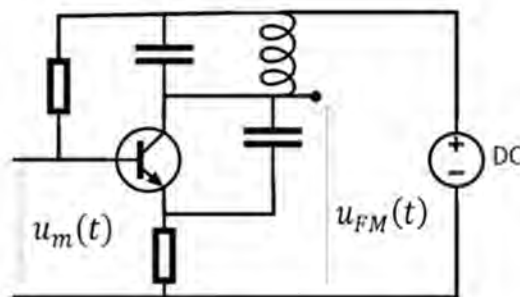
Сл. 7-26. Директен FM-модулатор со варикап диода

Левата половина на шемата е осцилатор кој се остварува со позитивна повратна врска. На излез од осцилаторното коло, паралелно е поставена варикап диодата. Таа секогаш работи во инверзна поларизација, при што го менува својот капацитет во зависност од големината на нејзиниот инверзен напон. За да се обезбеди варикап диодата да работи само во инверзна поларизација, преку отпорник се носи константен еднонасочен напон DC, кој секогаш мора да е поголем од модулациониот сигнал $u_m(t)$. Модулациониот сигнал директно влијае на варикап диодата и таа го менува својот капацитет пропорционално со промените на модулациониот сигнал.

Овој модулатор се применува во радиодифузијата, телеграфија, телефонијата, особено во насочени радиорелејни врски. Предноста е што може да се постигнат и многу високи фреквенции и од редот на GHz. Лоша особина е што фреквенцијата на носителот не е доволно стабилна како што е случај со Армстронговиот модулатор.

7.5.1.3 Директен метод со транзистор

На истиот принцип се врши модулација со транзистор. Модулациониот сигнал $u_m(t)$ се носи на влезот на транзисторот, а работата на варикап диодата сега ја презема транзисторот и неговата капацитивност помеѓу базата и колекторот. Оваа капацитивност се менува во зависност од промената на влезната струја на базата, која е пропорционална со $u_m(t)$. Односно на излезот од транзисторот ќе добиеме фреквенциско модулиран сигнал. Една ваква изведба е дадена на слика 7-27. [5]



Сл. 7-27. Директен FM-модулатор со транзистор

Предноста на ваквиот модулатор се неговите мали димензии, како и фактот дека работата на транзисторот ќе внесе и засилување на сигналот, односно ова коло го прави активен FM-модулатор.

7.5.2 Детекција на аголно модулиран сигнал

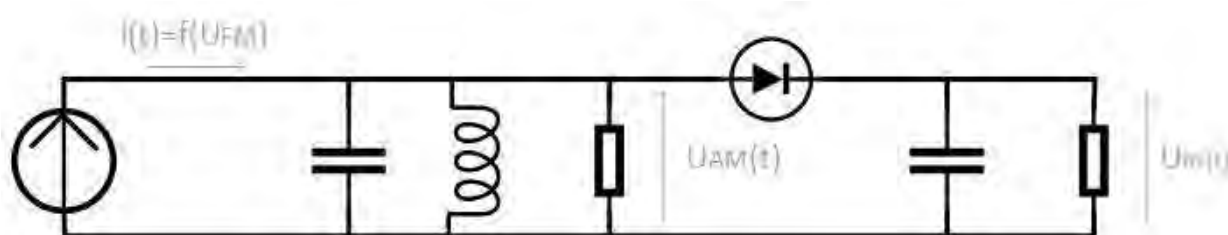
Уредот кој врши детекција на фреквенциско модулираниот сигнал (за фазно модулиран е истиот склоп, плус интегратор) се нарекува дискриминатор. Идеален дискриминатор е оној склоп чиј излезен сигнал линеарно зависи од моменталната вредност на фреквенциско модулираниот сигнал, под услов амплитудата да е константна. Дискриминаторот како уред е чувствителен на промена на амплитудата, затоа пред секое вакво коло има поставено и лимитер на амплитудата, со што се овозможува непречено работење на дискриминаторот. [3]

Фреквенциско модулираните сигнали, во секој дискриминатор, прво се трансформираат во амплитудно модулирани сигнали и потоа тие се детектираат со детектор на анVELOпа.

Најголем проблем во детекцијата на аголно модулираните сигнали претставува нивната конверзија од FM во AM сигнал. Конверзијата честопати се изведува со паралелно LC-коло. Кај ова осцилаторно коло, излезниот напон зависи од влезната струја, која е во функција од FM-сигналот. Оваа зависност содржи и линеарен и нелинеарен дел. Понатаму, ова е основа за практична изведба на овие дискриминатори.

7.5.2.1 Дискриминатор со ненагодено осцилаторно коло

Како што е претходно кажано, дискриминаторот содржи паралелно LC-коло кое врши конверзија од FM во AM-сигнал, а потоа тој AM-сигнал се носи на едноставен детектор на анVELOпа, претставен на слика 7-28.



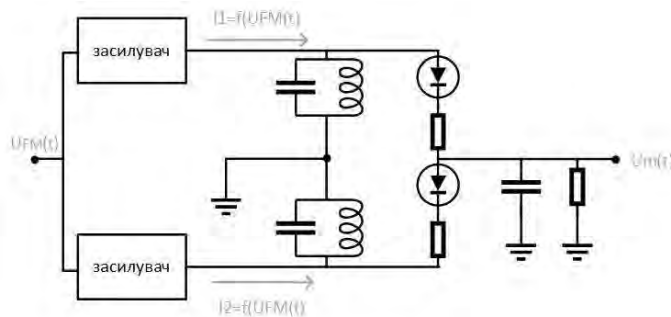
Сл. 7-28. Дискриминатор со ненагодено осцилаторно коло

Влезниот сигнал се носи со струен генератор чија вредност на електричната струја е во функција од FM-сигналот $i(t) = f(u_{FM}(t))$. На излезот од осцилаторот (реално осцилаторно RLC-коло), се добива напон кој сега е конвертиран во AM-сигнал, односно се добива $u_{AM}(t)$. Потоа, овој AM-сигнал се пропушта низ детектор на анVELOпа кој го детектира сигналот и на својот излез го дава корисниот, модулационен сигнал $u_m(t)$.

Лоши особини на овие кола се што на излезот се појавува голема еднонасочна компонента и што излезниот сигнал е многу чувствителен на промена на амплитудата на влезниот $u_{FM}(t)$, што предизвикува изобличувања во излезниот сигнал.

7.5.2.2 Балансен фреквенциски дискриминатор

Балансниот фреквенциски дискриминатор има подобрени карактеристики и е претставен на слика 7-29.



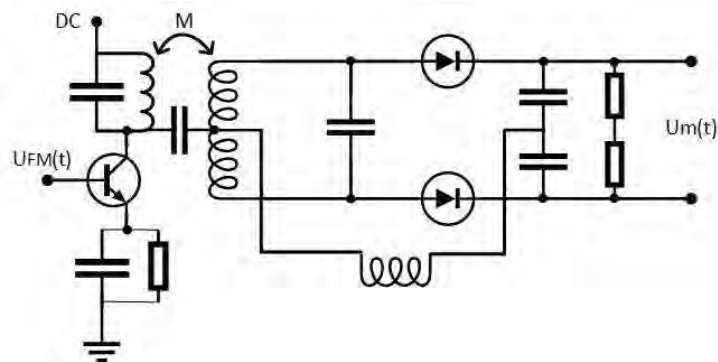
Сл. 7-29. Балансен фреквенциски дискриминатор

Ова коло содржи два засилувачи, кои потоа ја имаат улогата на струјни извори, како кај дискриминаторот со ненагодено осцилаторно коло. Секој засилувач го носи сигналот на своето осцилаторно коло, а секое осцилаторно коло е нагодено на различна работна фреквенција, со што се постигнува овој дискриминатор да има поширок фреквенциски опсег на работа.

Овој дискриминатор е познат и под името Трависов дискриминатор. Практичната примена му е во радиорелејниот пренос, во приемниот дел, поради широкиот опсег на работа.

7.5.2.3 Дискриминатор кој користи разлика на фази

Овој дискриминатор е познат и под името Фостер-Шелиев дискриминатор, или практично фазен дискриминатор. Името фазен дискриминатор и не е точно, поради тоа што сепак, ова е уред кој врши детекција на FM-сигнал. Шемата на овој дискриминатор е прикажана на слика 7-30.



Сл. 7-30. Дискриминатор кој користи разлика на фази

Магнетно спрегнатите кола имаат сигнали на своите краеве кои се фазно поместени за 90° . Потоа, во колото, овие сигнали се собираат и се одземаат, што доведува до разлика во фазите, од каде што е добиено и името на овој дискриминатор. Сигналот на крајот се носи на детектор на анVELOпа.

Овој дискриминатор се применува во радиодифузијата (FM-приемници).

РЕЗИМЕ:

- Со менување на еден од параметрите (амплитуда, фреквенција или фаза) на синусниот високофреквенциски сигнал пропорционално како пораката, имаме три типа на модулација: АМ (амплитудна модулација, ФМ (фреквенциска модулација) и ФМ (фазна модулација).
- Според фреквенцискиот спектар на модулираниот сигнал се разликуваат четири видови на амплитудни модулации: АМ – 2СО (амплитудна модулација со 2 странични опсега), АМ – 1СО (амплитудна модулација со 1 страничен опсег), КАМ (конвенционална амплитудна модулација) и АМ – НСО (амплитудна модулација со несиметричен страничен опсег).
- КАМ-сигнал е најстариот начин на амплитудна модулација. Поради тоа, кога станува збор за амплитудната модулација, а не е поинаку напоменето, се мисли на КАМ. Овој сигнал математички е даден со следниот израз:
$$u(t) = [U_0 + k \cdot u_m(t)] \cdot \sin(\omega_0 \cdot t)$$
- АМ – 2СО е модулација која се применува како преодна фаза за добивање на други модулации.
- АМ - 1СО е скапа и помалку применлива модулација.
- АМ-НСО се употребува во радиодифузијата, кај преносот на аналогните телевизиски сигнали (на видеосигналот).
- Модулаторот со нелинеарен елемент е тој што ја обезбедува продуктната модулација, односно се добива КАМ-сигнал.
- Диодниот модулатор како и амплитудниот модулатор со транзистор на својот излез даваат КАМ сигнал.
- Балансниот модулатор и кружниот модулатор на својот излез даваат АМ-2СО.
- QAM модулаторот претставува начин на кодирање, на телевизиската слика, при пренос на кабелска дигитална телевизија.
- Продуктната демодулација се користи за демодулирање на: КАМ, АМ-2СО, АМ-1СО и АМ-НСО. Се користи за мултиплексен пренос на говор и телеграфски сигнали
- Линеарниот диоден детектор, познат под името детектор на анVELOпа е многу едноставен уред кој дава излезен сигнал кој го следи обликот на анVELOпата на влезниот сигнал. Поради тоа, тој и се употребува како детектор само за КАМ-сигнал.
- Детекторот на анVELOпа се користи во ТВ-приемниците за издвојување на видеосигналот, а неговата едноставност, а со тоа и ниска цена на чинење го прави прифатлив и распространет за употреба.
- Кога при аголна модулација, моментната девијација на фазата $\delta\Phi$ е пропорционална со модулациониот сигнал, тогаш станува збор за фазна модулација, односно сме добиле фазно модулиран сигнал.
- При фреквенциска модулација, моментната девијација на фреквенцијата е модулирана во ритам со модулациониот сигнал.
- Армстронговиот модулатор е стабилната фреквенција (која ја обезбедува кварцниот кристал), поради што има примена во радиодифузијата, каде што не смее да дојде до промени во фреквенцијата на носителот. Лоша особина на овој модулатор е колото за мултиплицирање на фреквенции, кое се изведува како каскадна врска, но овие кола внесуваат и шум, кој исто така се зголемува со мултиплицирањето на сигналот.
- Директен ФМ-модулатор со варикап диода се применува во радиодифузијата, телеграфија, телефонијата, особено во насочени радиорелејни врски. Предноста е што може да се постигнат и многу високи фреквенции и од редот на GHz. Лоша особина е што фреквенцијата на носителот не е доволно стабилна како што е случај со Армстронговиот модулатор.

- Директен FM-модулятор со транзистор има предност со своите мали димензии, како и фактот дека работата на транзисторот ќе внесе и засилување на сигналот, односно ова коло го прави активен FM-модулятор.
- Дискриминатор со ненагодено осцилаторно коло има лоша особина што на излезот се појавува голема еднонасочна компонента и што излезниот сигнал е многу чувствителен на промена на амплитудата на влезниот $u_{FM}(t)$, што предизвикува изобличувања во излезниот сигнал.
- Балансен фреквенциски дискриминатор е познат и под името Трависов дискриминатор. Практичната примена му е во радиорелејниот пренос, во приемниот дел, поради широкиот опсег на работа.
- Дискриминатор кој користи разлика на фази се применува во радиодифузијата (FM-приемници).

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ:

1. Кои параметри од носителот, кој е синусен високофреквенциски сигнал може да се менуваат пропорционално како пренесуваната порака?
2. Наброј ги типовите на модулација?
3. Како се нарекува оригиналниот сигнал во својот изворен облик, а како помошниот периодичен сигнал и како модифицираниот сигнал добиен од овие два сигнали?
4. Кои се четирите видови на амплитуда модулација кои се разликуваат според фреквенцискиот спектар на модулираниот сигнал?
5. Степен на модулација се дефинира со кој израз и во кој ред на големина се движи неговата вредност?
6. Наброј ги модулаторите на АМ сигнал и каков тип на амплитудно модулирани сигнали обезбедуваат на своите излези?
7. Нацртај детектор на анVELOпа и опиши како работи истиот.

Заокружи го точниот одговор на дадените прашања:

8. Постапката на менување, втиснување на пораката во помошниот сигнал се нарекува?
 - а. демодулација
 - б. мултиплексирање
 - в. модулација
 - г. демодулација
9. Кога пренесуваната порака влијае на амплитудата на високофреквенцискиот сигнал, таа модулација се нарекува?
 - а. амплитудна модулација
 - б. фреквенциска модулација
 - в. фазна модулација
 - г. демодулација
10. Фреквенцискиот спектар на КАМ сигнал содржи?
 - а. долен страничен опсег
 - б. долен и горен страничен опсег и носител
 - в. горен страничен опсег
 - г. долен и горен страничен опсег
11. Премодулација кај КАМ сигнал настанува кога степенот на модулација m_0 има вредност?
 - а. до 20%
 - б. до 30%
 - в. од 30% до 80%
 - г. поголема вредност од 100%

12. Кружниот модулатор на својот излез обезбедува каков сигнал?
- а. КАМ
 - б. АМ-2СО
 - в. FM
 - г. ФМ
13. Потребна широчина на преносниот опсег за аголно модулиран сигнал е дефиниран со Карсоновиот образец?
- а. $B = 2f_m(m + 1)$
 - б. $B = 4f_m(m + 1)$
 - в. $B = 8f_m(m + 1)$
 - г. $B = 2f_m(m + 2)$
14. Армстронгов модулатор на својот излез обезбедува?
- а. амплитудно модулиран сигнал
 - б. аголно модулиран сигнал
 - в. демодулиран сигнал
 - г. NF сигнал

Модуларна единица 8: Мултиплекс за аналоген пренос на сигнал

Во оваа модуларна единица се обработени:

1. Добивање на сложен сигнал со фреквенциско мултиплексирање
2. Примена на фреквенциски мултиплекс за аналоген пренос на сигнали

По изучување на оваа модуларна единица, учениците ќе бидат способни да:

1. Познаваат комуникациски системи во кои се применува фреквенциско мултиплексирање
2. Објаснуваат меѓународно стандардизирани планови на фреквенции за пренос
3. Објаснуваат функција на фреквенциски мултиплексер и демултиплексер

8 ПРЕНОС НА СИГНАЛИ СО МУЛТИПЛЕКС

Под поимот мултиплекс се подразбира процес на истовремено пренесување на повеќе сигнали, со помош на ист преносен медиум. Ваквиот пренос овозможува поголемо искористување на капацитетот на преносниот медиум, а со тоа намалување на цената на чинење на преносот. На почетокот и на крајот на линијата за пренос мора да постојат соодветни уреди за обработка на сигналите, за да можат да се пренесуваат независно еден од друг по истиот канал, а на приемната страна повторно да бидат успешно одделени. Преку една иста линија за пренос се остварува комуникација на повеќе корисници, а притоа секој пар корисници има впечаток како да располага со сопствена преносна линија.

На сл. 8-1 е прикажана структурна блок-шема на мултиплексен пренос, од која може да се согледаат основните составни елементи и принципот на пренос на повеќе мултиплексирани сигнали по една преносна линија.



Сл. 8-1. Структурна блок-шема на мултиплексен пренос

Мултиплексерот е уред кој комбинира повеќе сигнали што се носат на неговиот влез, во еден излезен сложен мултиплексен сигнал. Овој сигнал се пренесува преку линијата за пренос. На приемната страна, сигналот доаѓа на влез на демултиплексерот кој има спротивна функција од мултиплексерот. Тој го раздвојува влезниот сложен мултиплексен сигнал на повеќе излезни сигнали.

Мултиплексен пренос може да се реализира со помош на повеќе различни методи. Најчесто применувани се:

- Фреквенциски мултиплекс, или уште познат како мултиплекс со фреквенциска распределба на каналите (FDM-frequency division multiplexing) и
- Временски мултиплекс, или уште познат како мултиплекс со временска распределба на каналите (TDM-time division multiplexing).

Фреквенцискиот мултиплекс се применува при пренос на аналогни сигнали. Повеќе сигнали се пренесуваат истовремено со помош на ист преносен медиум, на тој начин што на секој од сигналите му се доделува различен фреквенциски опсег. Префрлање на секој од сигналите од основниот опсег во друг фреквенциски опсег се врши со постапката модулација, а потоа со помош на уред кој служи за мултиплексирање се врши комбинирање на сите сигнали. Фреквенцискиот мултиплекс се остварува така што сигналите со примена на некоја модулациона постапка се транслираат од основниот опсег во опсег на повисоки фреквенции. Притоа секој сигнал се транслира во посебен фреквенциски опсег. Тоа значи дека на линијата за врска, во еден момент се присутни сите сигнали, но сите се распоредени во различни фреквенциски опсези.

Временскиот мултиплекс се реализира во основниот опсег на фреквенции. Кај мултиплекс со временска распределба на каналите, повеќе различни (дигитални) сигнали се пренесуваат по иста линија за врска. Преносот се остварува на тој начин што периодично сукцесивно, во дадени временски интервали, според точно дефиниран редослед на линијата за врска, се испраќаат, еден по еден, одбирочи од сигналите кои се пренесуваат.

На приемната страна, со помош на преклопник, одбираните се одделуваат по истиот редослед по кој биле испраќани, се насочуваат и се праќаат по соодветните посебни преносни линии. Уредите што се користат кај временски мултиплекс се поедноставни од оние кои се применуваат кај фреквенциски мултиплекс. Исто така, предност на временскиот мултиплекс во однос на фреквенцискиот мултиплекс е тоа што нема преслушување помеѓу одделните канали.

Освен овие видови на мултиплекс, постојат и други, како што се: кодиран мултиплекс (CDM-code division multiplexing), мултиплекс по бранови должини (WDM-wavelength division multiplexing), просторен мултиплекс SDM (Space Division Multiplexing). Многу често во практиката се применува и комбинација од фреквенциски и временски мултиплекс.

Кодираниот мултиплекс наоѓа примена кај безжичниот пренос, на пример кај некои системи за мобилна телефонија од третата генерација (UMTS/HSPA) и кај стандардите за безжични локални мрежи IEEE 802.11b и IEEE 802.11g. Во случај на кодиран мултиплекс, сите предаватели емитуваат сигнали со ист фреквенциски опсег кој можат го користат континуирано цело време. Секој емитиран сигнал има сопствен код. Од мноштвото сигнали со ист фреквенциски опсег, секој приемник ќе го препознае сигналот кој треба да го прими врз основа на кодот. Добра карактеристика на кодираниот мултиплекс е тоа што е отпорен на интерференција и пречки.

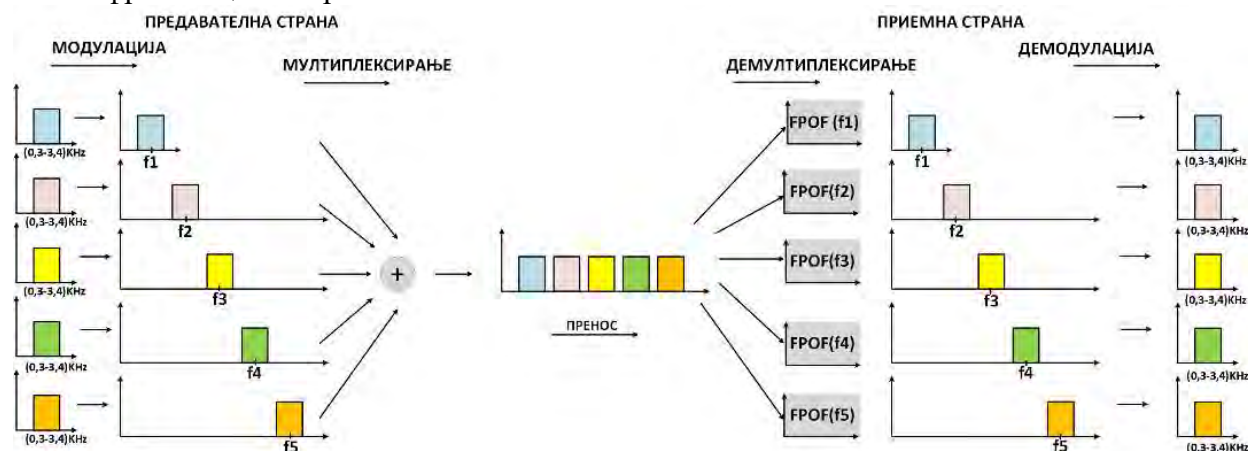
Мултиплекс по бранови должини се применува за пренос со оптички кабел како преносен медиум. Секоја бранова должина на светлината пренесува податоци со брзина од 10 Gbs. Со оваа техника на мултиплекс, по една линија за пренос можат истовремено да се пренесат до 120 000 различни канали.

Просторниот мултиплекс, како техника за пренос на податоци, се применува во безжичните комуникации.

Во продолжение, подетално ќе се задржиме на мултиплексот со фреквенциска распределба на каналите за пренос на аналогни сигнали.

8.1 ДОБИВАЊЕ СЛОЖЕН СИГНАЛ СО ФРЕКВЕНЦИСКО МУЛТИПЛЕКСИРАЊЕ

Под поимот фреквенциски мултиплекс, или мултиплекс со фреквенциска распределба на каналите се подразбира добивање на привидно хомоген сигнал кој е составен од повеќе меѓусебно независни компоненти, кои се пренесуваат истовремено, но во различен фреквенциски опсег. Фреквенцискиот мултиплекс се реализира како високофреквенциски пренос.



Сл. 8-2. Фреквенциски мултиплекс

Спектарот на секој од сигналите се поместува (се транслира) од нивниот природен фреквенциски опсег во одредена положба на фреквенциската оска, така што поместените спектри во нивната нова положба да се наоѓаат еден до друг, но никако да не се преклопуваат. Вака поместените сигнали можат да се пренесуваат истовремено, независно еден од друг, низ ист преносен медиум.

Поместувањето на спектарот на сигналите се врши така што секој канал се модулира со носител со различна фреквенција. На тој начин, спектарот на сигналот од основниот фреквенциски опсег се поместува во друг, повисок опсег на фреквенции.

На приемната страна, секој канал се издвојува со помош на соодветен филтер пропусник на опсег на фреквенции и потоа така издвоениот сигнал се носи на демодулатор.

8.2 ПРИМЕНА НА ФРЕКВЕНЦИСКИ МУЛТИПЛЕКС ЗА АНАЛОГЕН ПРЕНОС НА СИГНАЛИ

Начинот на формирање на мултиплексен сигнал со фреквенциска распределба на каналите најдобро може да се разбере на примерот на аналоген пренос со фреквенциски мултиплекс, кај класичната фиксна телефонија.

Усвоено е дека стандардниот опсег на говорен канал за телефонија е во границите од 0,3 КHz до 3,4 КHz. Реалниот спектар на говорните сигнали е поширок од наведените граници на стандарден опсег. Имено, реално, спектарот на говорните сигнали е во границите од 100 Hz до околу 9 КHz меѓутоа од причина што цената на преносот на сигналите расте со зголемувањето на пропусниот опсег, направен е компромис меѓу цената и квалитетот на преносот и усвоено е дека опсегот од 0,3 КHz до 3,4 КHz обезбедува реално прифатлив квалитет на репродукција. При модулацијата на секој канал се доделува фреквенциски опсег од 4 КHz широчина, за која се смета дека е номинална широчина на опсегот. Делот од опсегот (од 0 до 0,3 КHz и од 3,4 до 4 КHz) е намерно оставен како слободен за меѓусебно одвојување на одделните канали со помош на филтри (имајќи предвид дека филтрите не се идеални и дека нивната амплитудно-фреквенциска карактеристика на граничната фреквенција не е права вертикална линија, туку реално има одредена стрмина).

Високофреквенциските системи во меѓународниот телефонски сообраќај кои се со многу голем капацитет за да можат меѓусебно да се поврзуваат мора да работат усогласено. Еден од основните услови кои треба да ги исполнат високофреквенциските системи од различно потекло, особено во меѓународниот телефонски сообраќај, за да можат меѓусебно да се поврзат е нивните фреквенциски распореди на каналите и на групите канали заедно да се усогласени. За таа цел, американската телекомуникациска компанија АТ&Т за САД и Меѓународната унија за телекомуникации (ITU-T) за останатите земји, во врска со фреквенциските распореди на каналите имаат дадено хиерархиски шеми за фреквенциски мултиплекс. Хиерархиските шеми се правила кои се однесуваат на опсегот на фреквенции на секој канал одделно и правила за групите канали (број на канали во група, фреквенција на која групата започнува и фреквенција на која групата завршува). Хиерархиските шеми дадени од АТ&Т и Меѓународната унија за телекомуникации (ITU-T) се слични, но не се идентични и може да се видат од табела 8-1.

- Ширината на VF телефонскиот канал е 3,1 КHz, што одговара на нискофреквенцискиот говорен опсег 0,3 – 3,4 КHz;
- Растојанието помеѓу носителите на соседните канали е 4 КHz;
- Најмалата нормирана група на телефонски канали се состои од 12 канали и се нарекува основна (примарна) група В. Ова група зафаќа фреквенциски опсег од $12 \cdot 4 = 48$ КHz и претставува прво ниво во хиерархиската шема.

- Примарната група В е сместена во фреквенцискиот опсег од 60 до 108 КHz, со канали наредени во обратен (инвертиран) редослед; Носителите се на фреквенции од 64 до 108 КHz, со меѓусебно растојание од 4 КHz.
- Сите поголеми стандардизирани групи на телефонски канали од повисоко ниво во хиерархиската шема се формираат на тој начин што прво мора да поминат низ фазата на примарна група В.
- Секундарната, или „супер“ групата ја сочинуваат пет примарни групи, така што таа содржи 60 телефонски канали. Секоја група се разгледува како посебен сигнал со спектар со широчина од 48 КHz. Композитниот сигнал ќе биде во опсегот од 312 до 552 КHz.
- Пет супер групи формираат мастер група која содржи 300 канали со композитен сигнал во опсегот од 812 до 2044 КHz

Табела 8-1. Стандардизирани планови за фреквенциски мултиплекс

Број на говорни канали	Опсег	Спектар	АТ&Т	ITU-T
12	48 КHz	60-108 КHz	Група	Група
60	240 КHz	312-552 КHz	Супер група	Супер група
300	1,232 МHz	812-2044 КHz	-	Мастер група
600	2,52 МHz	564-3084 КHz	Мастер група	-
900	3,872 МHz	8,516-12,388 МHz	-	Супермастер група
N*600	-	-	Мултиплекс мастер група	-
3600	16,984 МHz	0,564-17,548 МHz	Џамбо група	-
10800	57,422 МHz	3,124-60,566 МHz	Мултиплекс мастер група	-

Останатите нивоа во хиерархиската шема се формираат на сличен начин.

На приемната страна се врши демултиплексирање по обратен редослед од мултиплексирањето.

РЕЗИМЕ:

- Под поимот мултиплекс се подразбира процес на истовремено пренесување на повеќе сигнали, со помош на ист преносен медиум. Ваквиот пренос овозможува поголемо искористување на капацитетот на преносниот медиум, а со тоа намалување на цената на чинење на преносот.
- Мултиплексерот е уред кој комбинира повеќе сигнали кои се носат на неговиот влез во еден излезен мултиплексен сигнал. Демултиплексерот има спротивна функција од мултиплексерот, тој го раздвојува влезниот сложен мултиплексен сигнал на повеќе излезни сигнали.
- Фреквенцискиот мултиплекс се применува при пренос на аналогни сигнали. Тој се реализира на тој начин што повеќе сигнали се пренесуваат истовремено со помош на ист преносен медиум, така што на секој од сигналите му се доделува различен фреквенциски опсег. Префрлање на секој од сигналите од основниот опсег во друг фреквенциски опсег се врши со постапката модулација, а потоа со помош на уред кој служи за мултиплексирање се врши комбинирање на сите сигнали.

ПРАШАЊА И ЗАДАЧИ

1. Што е мултиплекс?
2. Што е мултиплексер?
3. За што служи демултиплексерот?
4. Каков мултиплекс се користи за пренос на аналогни сигнали?
5. Објасни го начинот на добивање на мултиплексен сигнал со фреквенциски мултиплекс!

9 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

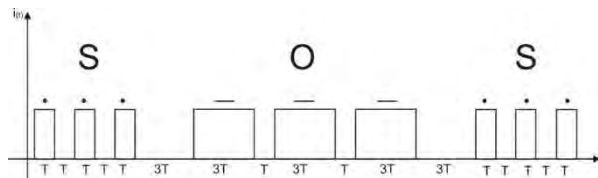
1. *Современи дигитални и аналогни комутациски системи*, Б. П. Латхи, Арс Ламина, 2009 год.
2. *Телекомуникации*, Искра Јовановска и Јасна Домазетовска., МОН, 2010 год
3. *Основи телекомуникација*, д-р Илија С. Стојановиќ, Научна књига Београд, 1990 година
4. *Комуникациона техника*, Емилија Цундева, Просветно дело, Скопје, 1996 година
5. *Електронски склопови и уреди*, Искра Јовановска и Јасна Домазетовска, МОН, 2020 година
6. *Основе технике дигиталног преноса*, Вела. Г. Чоја, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд 2003 год.
7. *Теорија телекомуникација*, Драгутин Лопичи и Миомир Филиповиќ, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд 2003 година.
8. *Телекомуникациски водови*, Катарина Милановиќ и Горан Стојковиќ, Завод за уџбенике, Београд, 2006 година
9. *Комуникациона техника*, Емилија Цундева, Просветно дело, 2001 год.
10. *Telekomunikations Engineering*, Freeman R.L., New York, 1998
11. *Fundamentals of Telekomunikation*, Freeman R.L. New York, 1999
12. *Основи телекомуникационе технике*, Филип Петровиќ, Завод за уџбенике, Београд, 1986 година.
13. *Радиотехника*, Миодраг Ристиќ, Завод за уџбенике Београд 1986 год.
14. *Дигитални телекомуникации* - Георгие Лукатела, Душан Драјиќ, Београд, 1988 год.
15. *Телекомуникациска техника*, В. Дамјановиќ, М. Стојановиќ и М. Ристиќ, Београд 1985 год.
16. *Телекомуникациски водови и пренос*, Велибор Дамјановиќ – Растко Крстиќ, завод за уџбенике, Београд, 1985 год.
17. *Телефонија*, Слободан Милосављевиќ, Београд 1990 год.
18. <http://www.logo.rs> и <http://sistemac.carnet>.

10 ВЕЖБИ

Вежба 1: ПОРАКИ И НИВНО КОДИРАЊЕ СО МОРЗЕОВА АЗБУКА

Преносот на пораки како напишан текст на далечина, по електричен пат, се реализира со телеграфија. Телеграфските пораки во својот основен облик се дискретни пораки. Основите на телеграфијата ги поставил Семјуел Морзе (Samjuel Morze). Со неа се пренесуваат пораки составени од симболи, односно букви, бројки, знаци за интерпункција и слично. Претворањето на напишаниот текст во сигнал се состои од две операции: кодирање и телеграфска манипулација, односно модулација. Значи телеграфскиот код е правилото според кое се прави претворање на пораката од нејзината основна форма, текст, во кодирана порака. Телеграфскиот код е телеграфската Морзеова азбука. Според Морзеовата азбука, кодот, на секој симбол му одговара одредена комбинација од точки и црти со паузи меѓу нив.

Во електрична смисла, точката претставува присуство на струја низ потрошувачот, кое трае одредено кратко време. Цртата значи присуство на струја што трае трипати подолго од точката. Паузата меѓу точките и цртите во една буква значи отсуство на струја во потрошувачот, кое трае колку и една точка. Паузите меѓу зборовите траат пет точки. На пример, една од најпознатите пораки за барање помош е пораката SOS, која со Морзеовата азбука има облик на: три точки – три црти – три точки. На сл. В-1(а) дадена е временската претстава на познатата порака за помош SOS.



Сл. В-1(а). Временски облик на пораката за помош SOS

Разликуваме телеграфски азбуки кај кои сите телеграфски знаци се претставени со ист број на основни импулси и ги викаме **рамномерни кодови** и азбуки со **нерамномерни кодови**, кај кои знаците се претставени со импулси со различна должина на траење т. е. со различен број на основни импулси.

Телеграфијата со наизменична струја, која уште се викала систем со хармониска телеграфија или телеграфија со звучни фреквенции, користи фреквенции од говорниот опсег. Со ваквиот пренос се овозможува користење на водовите за пренос на повеќе сигнали. Преносот на телеграфските сигнали бил стандардизиран на меѓународно и национално ниво.

Морзеовата азбука (код) составена од комбинации од точки и црти е дадена на слика В-1(б).

A	• -	S	• • •
B	- • • •	T	-
C	- • - •	U	• • -
D	- • •	V	• • • -
E	•	W	• - -
F	• • - •	X	- • • -
G	- - •	Y	- • - -
H	• • • •	Z	- - • •
I	• •	1	• - - - -
J	• - - -	2	• • - - -
K	- • -	3	• • • - -
L	• - • •	4	• • • • -
M	- -	5	• • • • •
N	- •	6	- • • • •
O	- - -	7	- - • • •
P	• - - •	8	- - - • •
Q	- - • -	9	- - - - •
R	• - •	0	- - - - -

Сл. В-1(б). Морзеовата азбука

Секој ученик да си го напише своето име со Морзеова азбука, користејќи го кодот од слика В-1(б). Потоа секој да го пресмета времетраењето на своето искодирано име и презиме. Дискутирајте зошто времетраењето кај секој од вас е различно.

Поделете се во групи, напишете текст и искодирајте го со Морзев код. Потоа напишаните кодови заменете ги меѓу себе и „прочитајте“ што има напишано другата група.

Дали знаете некој друг код или уред за кодирање?

Вежба 2: МЕРЕЊЕ НА ПАРАМЕТРИ НА ПРОСТОПЕРИОДИЧНИ СИГНАЛИ

Целта на вежбата е учениците да ракуваат со функциски генератор и осцилоскоп и да мерат параметри на простопериодични сигнали.

Потребна опрема за реализација на вежбата:

1. Функциски генератор
2. Осцилоскоп
3. Мерни кабли (сонди) за поврзување

Тек на вежбата

1. Поврзете ги функцискиот генератор и осцилоскопот. Излезниот сигнал од генераторот треба, преку соодветен мерен кабел, да се донесе на влезот на осцилоскопот.
2. Нагодете го функцискиот генератор на излезот да генерира сигнал со фреквенција $f = \underline{\quad} [\quad]$ и амплитуда $U = \underline{\quad} [V]$.
3. Со помош на преклопникот за избор на временска база – K_x (ширење и собирање на сигналот по хоризонтала) и преклопникот за избор на напонско подрачје – K_y (зголемување или намалување на сигналот по вертикала) нагодете го приказот на сигналот на осцилоскопот (осцилограмот). Мерењето ќе биде поточно ако преклопниците K_y и K_x се постават во позиција така што на екранот на осцилоскопот да биде прикажана најмалку 1,5 периода од сигналот, а најмногу 4 периоди. За нагудување на приказот на сигналот на екранот на осцилоскопот, можете да ја користите и опцијата за автоматско нагудување (auto) која ја имаат дигиталните осцилоскопи, но ако мерењето го вршите со аналоген осцилоскоп, тогаш оваа опција нема да ја имате на располагање и нагудувањето мора да го направите рачно.
4. Нацртајте го осцилограмот!
5. Од осцилограмот, одредете ги параметрите периода, фреквенција, максимална вредност и ефективна вредност на сигналот.
6. Повторете го мерењето за три различни сигнали
За одредување на периодата и фреквенцијата на сигналот следете ги следните чекори:
 - Одредете го бројот на поделоци по хоризонталната оска од почетокот до крајот на една периода на набљудуваниот сигнал – X [поделоци].
 - Прочитајте ја вредноста на коефициентот на временската база $K_x \left[\frac{s(ms, \mu s)}{\text{поделок}} \right]$.
 - Пресметајте ја периодата на сигналот како производ од бројот на поделоци на растојание од една периода и положбата на преклопникот за избор на временска база, односно коефициентот K_x

$$T[s] = X[\text{поделоци}] \cdot K_x \left[\frac{s(ms, \mu s)}{\text{поделок}} \right]$$

- Пресметајте ја фреквенцијата на сигналот како реципрочна вредност од периодата

$$f[Hz] = \frac{1}{T[s]}$$

За одредување на максималната и ефективната вредност на сигналот следете ги следните чекори:

- Одредете го бројот на поделоци по вертикала, почнувајќи од временската оска до максимумот на набљудуваниот сигнал- Y_m [поделоци].

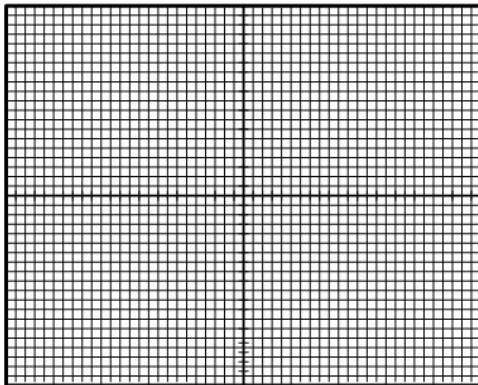
- Прочитајте ја вредноста на коефициентот за избор на напонско подрачје $K_y[\frac{V}{\text{поделок}}]$.
- Пресметајте ја максималната вредност на сигналот како производ од бројот на поделоци Y и положбата на преклопникот за избор на напонско подрачје, односно коефициентот K_y

$$U_m[V] = Y_m[\text{поделоци}] \cdot K_y[\frac{V}{\text{поделок}}]$$

- Пресметајте ја ефективната вредност на сигналот со примена на формулата

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$f = ___ [\quad], U = ___ [V]$$



Прочитани вредности од осцилограмот

$X[\text{поделоци}]$

$Y_m[\text{поделоци}]$

$K_y[\frac{V}{\text{поделок}}]$

$K_x[\frac{s(ms, \mu s)}{\text{поделок}}]$

Пресметани параметри

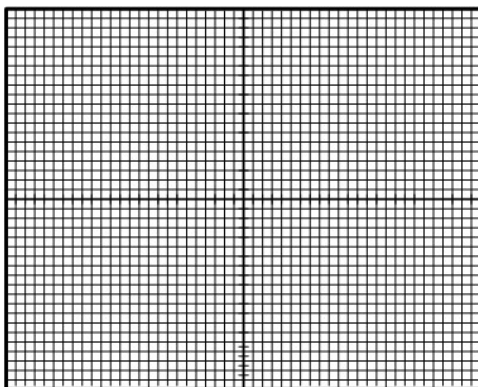
$$T = X \cdot K_x$$

$$f[Hz] = \frac{1}{T[s]}$$

$$U_m = Y_m \cdot K_y$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

$$f = ___ [\quad], U = ___ [V]$$



Прочитани вредности од осцилограмот

$X[\text{поделоци}]$

$Y_m[\text{поделоци}]$

$K_y[\frac{V}{\text{поделок}}]$

$K_x[\frac{s(ms, \mu s)}{\text{поделок}}]$

Пресметани параметри

$$T = X \cdot K_x$$

$$f[Hz] = \frac{1}{T[s]}$$

$$U_m = Y_m \cdot K_y$$

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

Вежба 3: УТП-КАБЛИ

Цел на вежбата е учениците да идентификуваат УТП-кабли, да се запознаат со конструкцијата на УТП-каблите и да изведуваат основни работни операции со УТП-кабли, монтажа на конектори.

Потребни материјали и алат за реализација на вежбата:

1. Алат за симнување на изолацијата (специјална клешта или скалпел и сечица)
2. Кримп клешта за конектори
3. Парчиња УТП-кабли
4. RJ-45 конектори

Тек на вежбата

1. Првиот чекор е отстранување на дел од надворешната изолација на кабелот. Обвивката се отстранува во должина од 20 mm. Тоа најлесно се прави со посебен вид на клешти за таа намена. Може да се употреби и скалпел и клешта сечица, но притоа треба да се внимава да не се оштети изолацијата на жилите. Во случај ако е оштетена изолацијата на некоја од жилите, тогаш треба да се исече тој дел од кабелот и да се повтори постапката за отстранување на надворешната изолација од кабелот.



2. Откако успешно е отстранета надворешната изолација на кабелот во должина од 20 mm, следен чекор е да се раздвојат париците и да се израмнат.

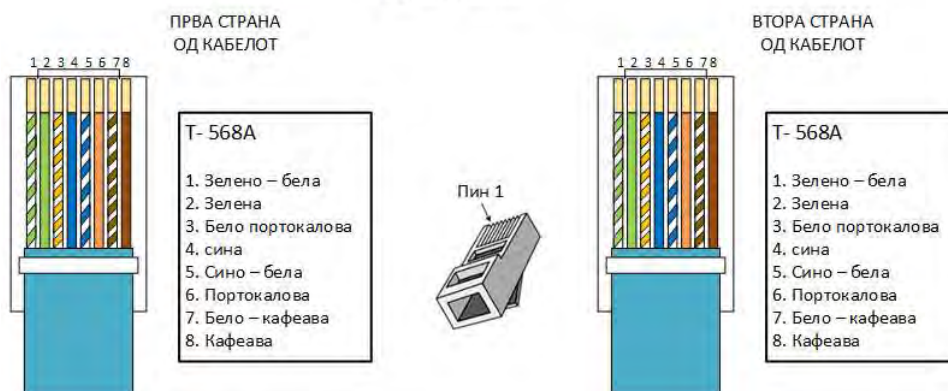


Следен чекор е распоредување на жилите во правилен редослед за монтажа на конекторот. Редоследот на распоредување на жилите е според боите на изолацијата и тоа е дефинирано со стандардите TIA/EIA 568A и TIA/EIA 568B.

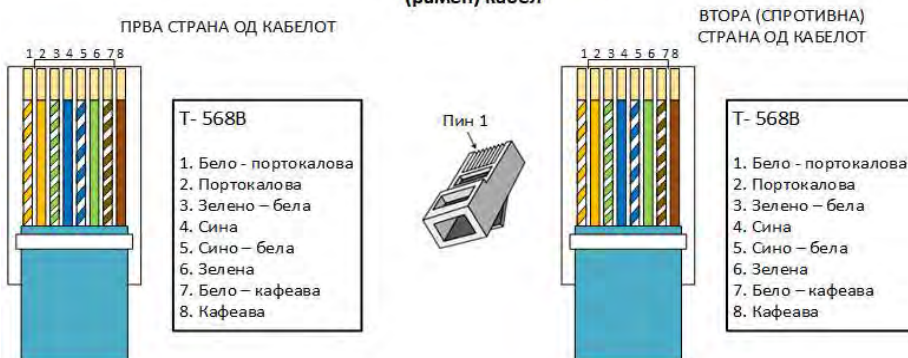
Straight through (рамен) кабел е вид на кабел со вкрстени парици, кој се применува во локалните компјутерски мрежи за поврзување на два уреда од различно ниво (на пример компјутер со рутер, Hub со Switch). Овој вид на кабел уште се нарекува и patch кабел. При поврзување на конекторот кај овој вид на кабел се применува ист стандард на двете страни (на двете страни конекторот може да биде поврзан според T568A стандардот или на двете страни конекторот да биде поврзан според T568B стандардот).

Crossover (вкрстен) кабел се применува за поврзување на два уреда од ист вид (на пример за меѓусебно поврзување на два компјутера, Hub со Hub, Switch со Switch и слично). Карактеристично за овој вид на кабел е тоа што на едната страна од кабелот, поврзувањето на конекторот е според T568A стандардот, а на спротивната страна од кабелот, поврзувањето на конекторот е според T568B стандардот.

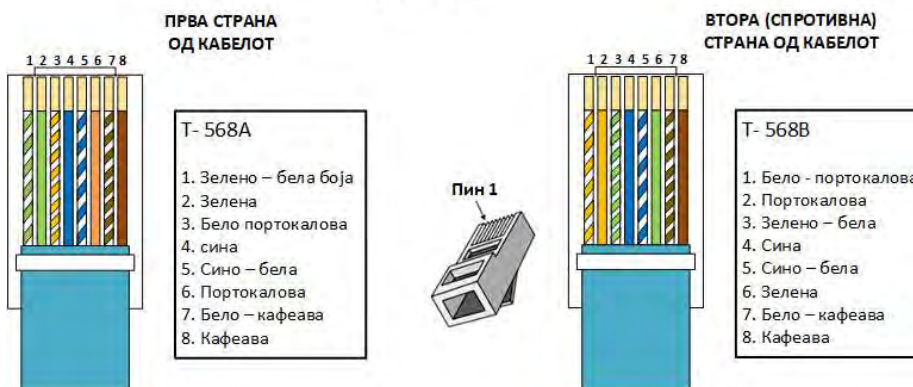
Поврзување на Straight through (рамен) кабел



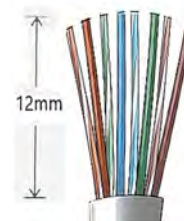
Поврзување на Straight through (рамен) кабел



Поврзување на Crossover (вкрстен) кабел



3. Откако ќе ги подредите жилите во саканиот редослед, скратете ја должината на жилите на 12 mm



4. На вака подготвениот кабел поставете го конекторот и цврсто притиснете со помош на кримп клештата за монтирање на конектори. Притоа внимавајте на распоредот на жилите; секоја жила треба да влезе во соодветниот канал од конекторот. Надворешната изолација на кабелот треба да влезе во конекторот со должина од 7 mm. Доколку кримп клештата е наменета за различни видови на конектори, изберете го отворот кој е означен со 8P. Овој отвор е наменет за 8-пински конектори, каков што е RJ-45 кој го монтирате на УТП-кабелот.



5. Тестирајте ја исправноста на монтираниот конектор со помош на тестер за УТП-кабли. Тестерите кои се наменети за проверка на исправноста на УТП-каблите се состојат од два дела: предавател и приемник. Предавателот емитува тест-импулси низ секоја од жилите. Ако конекторот е добро монтиран, тогаш треба да светат ЛЕД-диодите поставени на предавателот и на приемникот по очекуваниот редослед, во зависност од тоа дали сте направиле рамен или вкрстен кабел.



6. Тестирајте ја исправноста на монтираниот конектор со помош на универзален мултиметар, поставен на подрачје за испитување на непрекинатост на спроводниците! Објасни како се врши проверката!

7. Што можеш да заклучиш по спроведената проверка? Дали конекторот е правилно монтиран на кабелот? Коментирај ги резултатите што ги доби при проверката!

Вежба 4: КОАКСИЈАЛНИ КАБЛИ

Целта на вежбата е учениците да идентификуваат коаксијални кабли, да се запознаат со конструкцијата на коаксијалните кабли и да изведуваат основни работни операции со коаксијални кабли, монтажа на конектори.

Потребни материјали и алат за реализација на вежбата:

1. Алат за сечење на кабелот
2. Алат за симнување на изолацијата (нож за бланкирање)
3. Кримп клешта за конектори
4. Парчиња коаксијални кабли
5. Конектори



Домашна задача: Пред часот наменет за практична вежба, повторете ги изучените содржини – конструкција на коаксијални кабли и видови конектори за коаксијални кабли.

Тек на вежбата

1. Користејќи ја специјалната алатка за бланкирање на кабелот, подгответе го кабелот за монтажа на BNC-конекторот во два чекора, како што е опишано во точка 2 и точка 3.
2. Во првиот чекор треба да ги симнете сите слоеви на кабелот, сè до централниот спроводник.



3. Во вториот чекор симнете ја надворешната изолациска обвивка на кабелот, до ширмот.



4. Плетениот ширм повлечете го назад, над надворешната обвивка на кабелот. Притоа внимавајте ширмот целосно да биде повлечен. **Во случај ако и најмала жичка допира до централниот спроводник, тоа ќе предизвика куса врска.**



5. На вака подготвениот кабел поставете го конекторот и цврсто притиснете со помош на кримп клештата за монтирање на конектори.



- 6.



7. Тестирајте ја исправноста на монтираниот конектор со помош на омметар или со универзален мултиметар поставен на подрачје за испитување на непрекинатоот на спроводниците! Објасни како се врши проверката!

.....
.....
.....
.....
.....

8. Што можеш да заклучиш по спроведената проверка? Дали BNC-конекторот е добро монтиран на коаксијалниот кабел? Коментирај ги резултатите што ги доби при проверката!

.....
.....
.....
.....
.....

Вежба 5: ОПТИЧКИ КАБЛИ

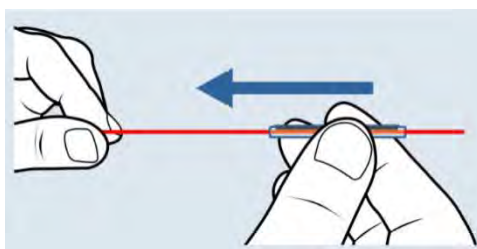
Целта на вежбата е учениците да идентификуваат оптички кабли, да се запознаат со конструкцијата на оптичките кабли, да извршуваат работни операции со оптички кабли, поврзување на оптички влакна со сплајсување и испитување на оптички влакна со оптички рефлектометар.

Потребни материјали и алат за реализација на вежбата:

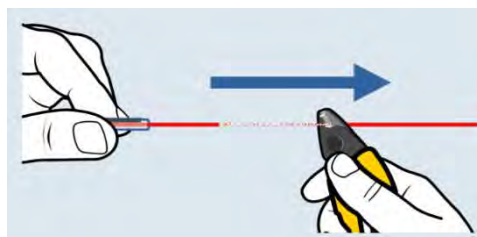
1. Алатка за симнување на изолацијата од оптичкиот кабел (кабел стрипер)
2. Специјална клешта за отстранување на изолацијата од оптичкото влакно
3. Fiber Cleaver (кливер – алатка за сечење на оптичките влакна под агол од 90°)
4. 96 % алкохол
5. Fiber Splicer (сплајсер – апарат за спојување на оптичките влакна)
6. Заштитни цевчиња

Тек на вежбата:

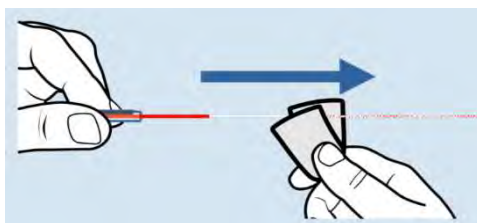
1. Првиот чекор е да ги отстраните надворешните заштитни слоеви на оптичкиот кабел во должина од триесетина сантиметри. За таа цел може да искористите посебна алатка која служи за таа намена (кабел стрипер). Доколку немате на располагање ваква алатка, тогаш можете успешно да ги отстраните заштитните слоеви со помош на скалпел и клешта сечица. Потоа издвојте едно оптичко влакно. Пред да се премине на следниот чекор, треба да го навлечете заштитното топлособирачко цевче на избраното оптичко влакно.



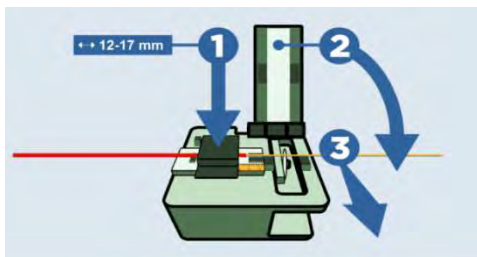
2. Во следниот чекор, со помош на соодветна клешта отстранете ја оптичката обвивка на избраното оптичко влакно во должина од 30 до 35 mm. (За да избегнете кршење на оптичкото влакно, отстранувајте ја обвивката постепено, на пример во 3 чекори по 10 mm).



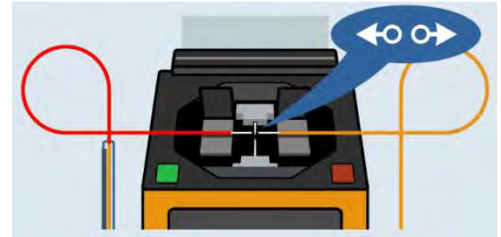
3. Потоа внимателно исчистете го оптичкото влакно со помош на алкохол и марамче. Чистењето на влакното е од исклучителна важност за добивање на добар спој без загуби.



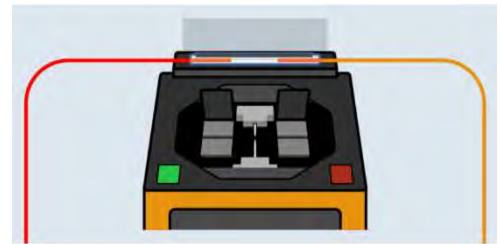
4. Со помош на специјалниот алат Fiber Cleaver (кливер) исечете ги оптичките влакна под агол од 90° . Ова е вториот многу важен момент во процесот на поврзување на оптичките влакна. Доколку влакната бидат пресечени под кос агол, тогаш на спојот ќе има расејување на светлината, што доведува до големи загуби. Затоа многу е важно влакната да бидат исечени под прав агол.



5. Пресечените влакна поставете ги и фиксирајте ги во соодветните отвори на сплајсерот. Притиснете на копчето за стартување на работата на сплајсерот. Понатаму уредот сам ги порамнува оптичките влакна, ги спојува и го проверува квалитетот на спојот. Целата постапка се гледа на екранот на сплајсерот.



6. Навлечете го заштитното топлособирачко цевче врз спојот. Поставете го цевчето во соодветниот дел од сплајсерот кој постепено го загрева заштитното цевче, со што цврсто го „лепи“ врз спојот на оптичките влакна. сплајсерот го сигнализира крајот на загревањето со звучен сигнал.



7. При поврзување на оптички кабли со повеќе влакна, истата постапка се повторува за секој спој одделно.



8. Тестирајте ја исправноста на спојот со помош на оптички рефлектометар! (Постојат повеќе различни видови на оптички рефлектометри.) Нацртај ја предната плоча на оптичкиот рефлектометар со кој го вршеше испитувањето на спојот и објасни ја функцијата на секое од копчињата на предната плоча!

9. Коментирај го текот на вежбата! Што можеш да заклучиш по спроведеното тестирање на спојот? Колкаво е слабеењето на спојот и дали спојот е со доволно добар квалитет?

Вежба 6: АМПЛИТУДНА МОДУЛАЦИЈА

Целта на вежбата е учениците да набљудуваат и да анализираат амплитудно модулирани сигнали.

Потребни мерни инструменти и други материјали за реализација на вежбата:

1. Функциски генератор кој има можност да генерира модулирани сигнали.
2. Осцилоскоп
3. Кабли за поврзување

Тек на вежбата:

Со користење генератор на сигнали, генерирајте КАМ-сигнал модулиран со простопериодичен модулационен сигнал со фреквенција 2 КHz, а фреквенцијата на носителот нека биде 20 КHz. (Следете го упатството.)

1. Најпрво изберете го носителот кој треба да биде простопериодичен (sine) сигнал.
2. Со притискање на копчето MOD, пристапете до менито за модулации, каде што треба да ги нагодите следните параметри: Mod, Sweep, Burst, Continuous
3. Притиснете го копчето Mod и изберете АМ за амплитудна модулација.
4. Нагодете го модулирачкиот сигнал да биде со простопериодичен бранов облик со притискање на копчето Shape и избор на опцијата Sine
5. Нагодете ја фреквенцијата на модулирачкиот сигнал со притискање на копчето AM frequency
6. Со притискање на копчето Depth, менувајте го степенот на модулација во проценти (изберете 10 %, потоа 50 % и на крај 100 %). Коментирајте ги добиените резултати!

