

**Разработване на лабораторно упражнение за изследване на система за автоматично регулиране на усилването на сигнали в линейния тракт**

***ДИПЛОМНА РАБОТА***

# Съдържание

|  |           |
|--|-----------|
| УВОД .....   | 4         |
| ГЛАВА I .....  | 6         |
| <b>Особености на преносните среди .....</b>  | <b>6</b>  |
| <b>1.1. Преносни среди използвани в аналоговите линейни трактове и в цифровите линейни трактове .....</b>                    | <b>7</b>  |
| 1.1.1. Видове кабели в съществуващата съобщителна мрежа .....  | 8         |
| 1.1.2. Параметри на съобщителните кабели .....   | 16        |
| ГЛАВА II .....   | 24        |
| <b>Методи за уплътняване на линейните трактове.....</b>  | <b>24</b> |
| <b>2.1 Принцип на уплътняването с честотно разделяне на каналите (ЧРК)</b>   | <b>25</b> |
| 2.1.1 Реализация на 12-канален първичен блок .....   | 26        |
| 2.1.2 Блокова схема на уплътнителна телефонна система.....   | 28        |
| <b>2.2 Принцип на уплътняването с разделяне на каналите по време (РКВ)</b>   | <b>29</b> |
| 2.2.1 Импулсно - кодова модулация .....  | 30        |
| 2.2.2. Структура на цикъла на УТС с ИКМ тип 30/32.....   | 32        |
| <b>2.3. Високоскоростни методи за цифров пренос. ....</b>  | <b>33</b> |
| 2.3.1. HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line) .....  | 33        |
| 2.3.2. ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) .....   | 38        |
| 2.3.3. SDSL (Symmetrical Digital Subscriber Line) .....  | 39        |
| 2.3.4. RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line) .....   | 39        |
| 2.3.5. VDSL ( Very High Rate Adaptive Digital Subscriber Line) .....   | 39        |
| ГЛАВА III .....  | 41        |
| <b>Автоматично регулиране на усилването в аналогова уплътнителна система. ....</b>   | <b>41</b> |
| <b>3.1. Електрически характеристики на телефонния канал .....</b>  | <b>42</b> |
| 3.1.1. Остатъчно затихване на телефонния канал. ....   | 42        |
| 3.1.2. Широчина на честотната лента на телефонния канал.....   | 43        |
| 3.1.3. Амплитудно-честотна характеристика на телефонния канал. ....  | 44        |
| 3.1.4. Фазово-честотна характеристика на телефонния канал.....   | 45        |
| 3.1.5. Амплитудна характеристика на телефонния канал.....  | 45        |
| 3.1.6. Коефициент на нелинейни изкривявания. Затихване от нелинейност.....   | 46        |
| <b>3.2. принцип на действие на УАРУ. ....</b>  | <b>47</b> |
| 3.2.1 устройство и действие на контролния канал за УАРУ .....  | 49        |
| <b>3.3. Реализация на АРУ в уплътнителна телефонна система К-12-В .....</b>  | <b>51</b> |
| 3.3.1. Общи сведения и параметри на УТС К-12-В.....  | 51        |
| 3.3.2. Платка за автоматично регулиране на усилването на основна първична група Regul .....                                  | 53        |
| ГЛАВА IV .....   | 59        |
| <b>Разработване на лабораторно упражнение за система за автоматично регулиране на усилването на линейните трактове .....</b> | <b>59</b> |
| <b>4.1. Описание на макета за лабораторно упражнение .....</b>   | <b>59</b> |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....   | 67        |
| ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА .....  | 68        |
| ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....   | 69        |

## УВОД

Всяка уплътнителна съобщителна система се състои от две основни функционални части: крайни станции и линиен тракт. В крайните станции се извършва преобразуване на изходните сигнали, с цел да се формира групов съобщителен сигнал, който се подава към входа на преносвателната линия. Линийният тракт от своя страна осигурява пренасянето на определено разстояние на груповите сигнали и на други спомагателни сигнали, изпълняващи разнообразни служебни функции, като при това е необходимо да се изпълняват зададените изисквания, относно качеството на пренасяне.

В зависимост от типа на уплътнителната система и преди всичко от типа на модулацията за получаване на многоканалния групов съобщителен сигнал, линийните трактове могат да бъдат класифицирани най-общо като:

- линийни съобщителни трактове предназначени за уплътнителни системи с честотно деление на каналите;
- линийни съобщителни трактове предназначени за уплътнителни системи с временно деление на каналите;

Многоканалните аналогови уплътнителни телефонни системи все още намират широко приложение в националните съобщителни мрежи. Те се използват за пренасяне на всякакъв вид информация, сигнали за данни, телеграфни сигнали и др.

За нуждите на нашата страна и за износ е закупен лиценз за производство на уплътнителни телефонни системи (УТС) от френската фирма SAT/LTT.

Тези системи са известни като системи тип УТС – 100, УТС – 72, FBC – 72. Те са от модулен тип и са съобразени с нормите на МККТТ, което позволява съвместното им действие с други системи в селищен и международен мащаб.

Целта на дипломната работа е анализиране на системата за автоматично регулиране на усилването (АРУ) на сигналите в линиен тракт

на аналогова уплътнителна система и разработване на лабораторно упражнение за нейното изследване.

## ГЛАВА I

### Особености на преносните среди

Преносна среда е физическата среда, в която се разпространява сигналът в процеса на неговото предаване. Преносните среди биват от непрекъснат и прекъснат тип.

Непрекъснати преносни среди се наричат такива непрекъснати конструкции като кабели, вълноводи и други, които осигуряват хомогенна среда за разпространение на сигнала. Прекъснати среди са тези, които включват в себе си и ефира. Такива са например космическите и радиорелейните линейни трактове.

При далечни връзки преносната среда рядко остава в чист вид (например непрекъснат кабел). На известни разстояния в нея се включват усилватели, регенератори на импулси и други и така тя се превръща в сложно съоръжение наричано линейен тракт или преносна система.

Кабелната преносвателна среда подлага линейния сигнал на значително затихване и на сериозни амплитудно-честотни и отчасти на фазово-честотни изкривявания. Поради това в аналоговите линейни трактове се поставят междинни групови усилватели, а в цифровите линейни трактове се слагат цифрови регенератори. Междинните групови усилватели в линейния тракт трябва да компенсират затихването на линията в предхождания ги линейен участък. В зависимост от затихването на линията и честотната лента на груповия сигнал броят на междинните групови усилватели по въздушни линии, симетрични на коаксиални кабелни линии е различен. Така например при въздушните линии затихването е по-малко, броят на високочестотните телефонни канали, които могат да се устроят, е малък, т.е. честотната лента е тясна, необходимия брой междинни

усилватели е малък. Това позволява те да бъдат поставени в населени места, където може да им се осигури нормално токозахранване и обслужване технически персонал. Затихването на телефонните канали, които могат да се устроят от тях, е по-голям, т.е. използваната честотна лента е по-широка затова се необходими по-голям брой междинни усилватели по съобщителната магистрала. По коаксиалните кабелни линии честотната лента на УТС е много широка, затихването нараства, затова броя на междинните усилватели е голям.

При разпространението си, цифровия импулсен сигнал се деформира, както под влияние на параметрите на линията (затихване, фазови и честотни изкривявания), така и под влияние на различни други смущения. В резултат импулсите променят своята форма и се разместват по време. Това налага възстановяване на импулсите или още междинно регенериране на затихналите и изкривени предавани цифрови сигнали по дължината на линията, посредством цифрови регенератори.

Основна задача на всеки регенератор е да възстанови формата, амплитудата и продължителността на импулсите, както и времеинтервала между тях. Регенераторите изчистват от изкривявания и смущаващи сигнали предаваните импулси през предхождащия участък от цифровия тракт. Използваната линия се разделя на участъци, в края на които се поставят регенераторите. На изхода на всеки регенератор отношението сигнал/шум е такова, каквото е в началото на линията, докато при аналоговите системи, шумовете от всички усилвателни участъци се сумират и съотношението сигнал/шум спада.

### **1.1. Преносни среди използвани в аналоговите линейни трактове и в цифровите линейни трактове**

В аналоговите и цифровите линейни трактове се използват разнообразни по вид и тип преносни среди – симетрични, коаксиални и оптични кабели, вълноводи, и радиорелейни линии. Повечето от тези преносни среди и по-специално симетричните и коаксиални кабели са създадени за пренасяне преди всичко на аналогова информация от уплътнителни системи с честотно деление на каналите. Разработването и внедряването

на цифровите уплътнителни съобщителни системи (ЦУСС) се осъществява в етап, когато е изградена съществуващата вече аналогова съобщителна мрежа, т.е. когато са положени голям брой селищни и междуселищни кабели, параметрите на които са съобразени само с параметрите на аналоговите УСС използващи по-ниски честотни обхвати. При 8 разряден код необходимата честотна лента за един телефонен канал е  $\Delta f_k = 64 \text{ kHz}$ , а за N-канална ЦУСС е  $\Delta f_n = N \cdot 64 \text{ kHz}$ .

### 1.1.1. Видове кабели в съществуващата съобщителна мрежа

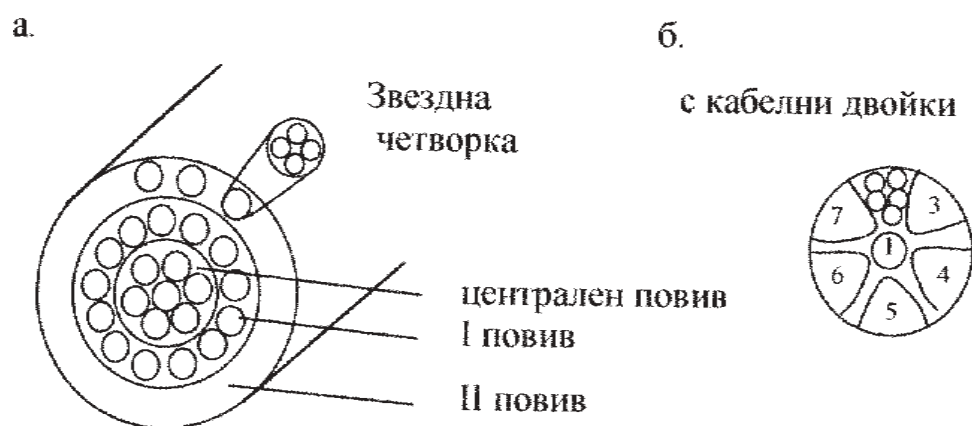
#### 1.1.1.1. Симетрични кабели. Свойства на симетричните кабели при предаване на цифрови сигнали от ЦУСС. Конструкция.

Симетричните кабели най-общо се разделят на ниско-честотни и високочестотни симетрични кабели за аналогова информация и специално конструирани симетрични кабели за предаване на цифрова информация.

1) Нискочестотните симетрични кабели в зависимост от тяхното предназначение и конструкция се разделят на:

- селищни нискочестотни симетрични кабели. Използват се за създаване на връзки между абонатите и АТЦ, както и между самите АТЦ. Селищните нискочестотни симетрични кабели (тип ТГ, ТБ) се конструират с кабелни медни проводници с диаметър  $d = 0,5 - 0,7 \text{ mm}$  усукани в двойки или четворки, с различна стъпка на усукване с цел да се намалят преходните влияния между тях, и изолирани с хартиена или пластмасова изолация. Икономическа ефективност е постигната с използването на алуминиеви проводници и заменянето на оловната защитна обвивка с пластмасова. Освен това се използват проводници с  $d = 0,3 \text{ mm}$ , защото съвременната съобщителна апаратура повиши значително своите технически параметри и позволява използването на кабелни вериги с по-голямо затихване.

Както беше споменато, конструктивно селищните н.ч. кабели се оформят като се обединят усуканите двойки и четворки проводници в концентрични повиви (Фиг.№ 1.1.а) или снопово усукване (фиг.№1.1.б).



Фиг. 1.1

Сноповото усукване и кабелите с усукани двойки намират по-голямо приложение, но защитеността от взаимни влияния при тях е по-малка, отколкото при повивното усукване.

- междуселищни нискочестотни симетрични кабели. Разделят се на две основни групи: еднородни н.ч. кабели, на които кабелните жила са усукани в еднородни елементарни групи; комбинирани н.ч. кабели, кабелния сноп на които се състои от разнородни елементарни групи. Комбинираните кабели имат екранирани и неекранирани кабелни двойки и четворки и при предаване на аналогова информация, неекранираните се използват за телефонни предавания, а екранираните за телеграфни, музикални и др. предавания.

Проводниците на междуселищните нискочестотни кабели обикновено са с  $d = 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4$  mm. Изолират се с корделно-хартиена изолация – за кабели тип ТЗГ, ТЗБ (еднородни кабели), тип ТДСГ, ТДСБ (комбинирани кабели). През последните години се използват повече кабели с пластмасова изолация тип ТЗПВ, ТЗПВ(Б) от полиетилен, поливинилхлорид или ТЗПП, ТЗПП(Б) с пореста полиетиленова обвивка.

2) Високочестотните симетрични кабели са предназначени за изграждане на междуселищни връзки с използване на 60-канални (до 252 kHz) или 120-канални (до 552kHz) аналогови уплътнителни системи. Високочестотните кабели тип МКГ, МКБ, МКСБ и др., се конструират от проводници с  $d = 1,2$  mm обикновено разположени в симетрични двойки,



групирани в звездни чет-ворки. Изолацията на кабелните жила е корделнохартиена или корделно-стирофлексна. Тъй като основните проблеми при прена-сяне на аналогова информация от 60 или 120 канални системи, се състоят в намаляване на преходните влияния при честоти до 552 kHz и постигане на по-малко затихване, то основните усилия на конструкторите при създаване на в.ч. симетрични кабели се свеждат до осигуряване на малък капацитет (до 24-27nF/km) чрез използване на подходяща изолация (корделно-стирофлексна) и използване на проводници с относително голям диаметър ( $d = 1,2 \text{ mm}$ ). Тези конструктивни и електрически особености на в.ч. симетрични кабели обаче, от гледна точка на предаването на циф-рова информация не довеждат до никакви особени предимства, т.е. при този тип кабели на практика е възможно да се предават сигнали само от първичните 30/32 канални ЦУСС с ИКМ, при които се реализират регенераторни участъци с икономически обосновани дължини. Предаването на цифрови сигнали от 120 канални системи с ИКМ с  $f_T = 8,448 \text{ MHz}$  ще изисква използването на регенераторни участъци с твърде малки дължини, което икономически и технически е неприемливо в практиката, тъй като линейния цифров тракт би се усложнил и оскъпил твърде много.

3) Симетрични кабели специално пригодени за използване от цифрови съобщителни системи.

Този нов тип симетрични кабели е произведен след 1975 г. специално за използване с ЦУСС. Масовото внедряване на ЦУСС в съобщителните мрежи налага да се вземат мерки за подобряване конструкциите на новите видове кабели, които се съобразяват с параметрите на цифровите съобщителни сигнали и по-специално с тяхната импулсна форма и значително по-високи честоти от порядък десетки и стотици MHz. Основните изисквания към новите видове кабели се свеждат до намаляване на преходните влияния включително и преходното затихване в близкия край между различните кабелни двойки в максимално широк диапазон от честоти. Други изисквания са намаляване на километричното затихване на кабелните линии и намаляване стойността на цифровия линейен тракт на подобен кабел. Тези основни изисквания на практика се удовлетворяват

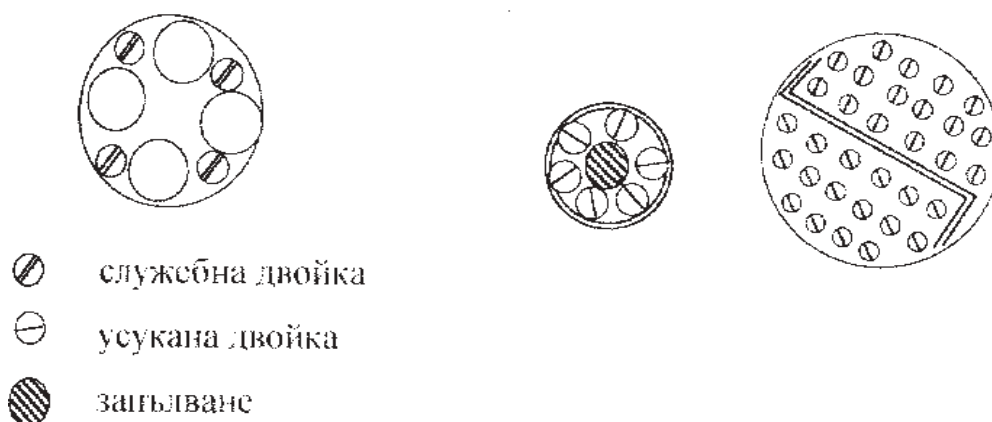
от:

- използване електростатично екраниране на двойките за различни посоки на предаване или използване различни стъпки на усукване за да се намали преходното влияние в близкия край.
- използване на качествен изолиращ материал (полие-тилен) и създаването на кабели с твърде еднородни двойки (малка асиметрия), без да се използва допълнително симетриране. Намалява се електрическият капацитет.
- чрез използване на еднокабелен режим на работа вместо двукабелен.
- намаляване собственото затихване на кабелните двойки, посредством използване на кабелни проводници със сравнително голям диаметър.

Най-често симетричните кабели специално предназначени за използване в цифровите линейни трактове се използват за пренасяне на информация от вторични 120 канални цифрови системи (при дължина на регенераторния участък от порядъка на 3-4 км) и по-рядко при 480 канални системи ( $f_T = 34,368 \text{ MHz}$ ). В конструктивно отношение този тип кабели се реализират като кабели със снопова (групова) конструкция от по 5 или 6 двойки проводници с диаметър  $d = 0,8 - 0,9 \text{ mm}$ , изолирани с полиетилен или пропилен и подходящо екранирани, обикновено с алуминиеви ленти. Това осигурява капацитет между кабелните проводници от порядъка на  $24 \div 28 \text{ nF/km}$ . Освен това двойките проводници в отделните групи са усукани с различна стъпка. Всичко това спомага за получаване на твърде малки взаимни влияния. Така например една 120 канална система с ИКМ, ако се приеме, че максимума на енергетичния спектър на предаваните сигнали е съсредоточен около  $4 \text{ MHz}$ , то за подобна честота преходното затихване в близкия край достига до 120-130 dB между кабелните двойки от различните снопове (групи) на кабела. Различни конструкции на кабели за ЦУСС са показани на фиг.1.2.

Група от шест двойки

Екранирана група от 6 двойки



Фиг.1.2

### 1.1.1.2. Коаксиални съобщителни кабели. Видове. Конструкции.

Когато броят на цифровите канали нарастне значително необходимата честотна лента стане много широка, тогава се налага да се използват коаксиални кабелни линии. Коаксиалните кабели намират широко приложение за изграждане на магистрални междуселищни връзки. Това се дължи на съвременната тенденция за изграждане на голям брой съобщителни канали по една верига чрез разширение на честотните обхвати на пренасяните съобщения в обсега на високите честоти (25÷100 MHz), при които коаксиалните кабели имат подчертано предимство пред симетричните кабели. Освен широкия честотен спектър сигналите имат малко затихване. Този тип кабели са много добре защитени от влиянието на съседни вериги и външни шумове, което осигурява наличието на твърде малък шум в каналите (1pW/km). Коаксиалните кабели също са и достатъчно икономически конкурентоспособни.

Възможността коаксиалните кабели да работят при много високи честоти със сравнително малки загуби и голямо преходно затихване се дължи на особената им конструкция (концентрично разполовен проводник спрямо външния тръбен проводник) и на висококачествените изолационни материали (полиетилен), с които се реализира.

В зависимост от предназначението си коаксиалните кабели биват:

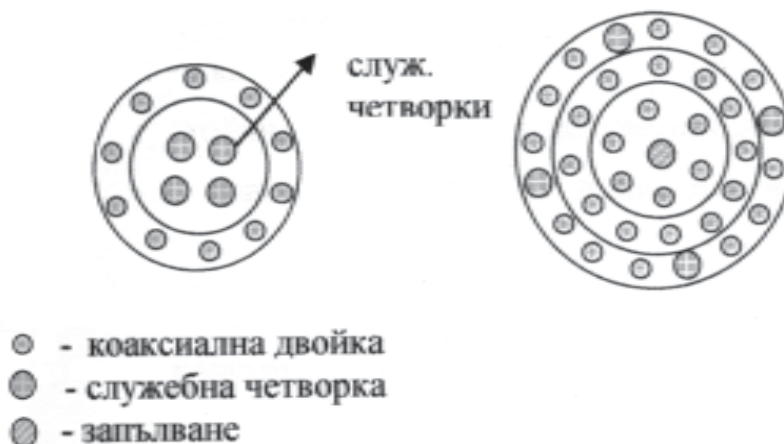
магистрални, малобааритни и микрокоаксиални.

- Магистралните коаксиални кабели (тип КБМ-4, КБМ-8/6) са предназначени за организиране на съобщителни връзки на големи разстояния по основните направления на националните съобщителни мрежи. Те се използват за линейни съобщителни трактове с честотно уплътняване в честотния обхват до 60 МКz, т.е. с 10800 канала по всяка една коаксиална двойка. Съотношението между диаметрите на проводниците на коаксиалните двойки при този тип кабели е 2,6/9,4 mm изолирани помежду си обикновено с полиетиленови шайби с дебелина 2,2 mm поставени на разстояние 25 mm.

- Малогабаритните коаксиални кабели (напр. тип МКТП-4) са предназначени за организиране на кабелни линейни съобщителни трактове на сравнително къси разстояния. Те се използват за честотно уплътняване в честотен обхват до 12 MHz, т.е. с по 1800 канала на коаксиална двойка. Съотношението между диаметрите на проводниците на коаксиалните двойки е 1,2/4,4 mm; 1,2/5,3 mm; 1,5/5,4 mm. Те са по-икономични по конструкция и технология на производството. Могат да се използват за магистрални връзки с 2700 канала на коаксиална двойка. Предимството им пред симетричните кабели е, че не изискват сложна дейност по симетриране на отделните кабелни дължини. Изолацията, която се използва при тях е въздушно полиетиленова от балонен тип. Произвеждат се в кабелен сноп съвместно със симетрични групи (двойки и четворки) използвани за местни връзки в междинни станции по кабелното трасе или за сигнализационни и служебни връзки.

Един комбиниран коаксиален кабел съдържа пет симетрични звездни групи и четири стандартни вериги.

- Микрокоаксиалните кабели са предназначени за предаване на сигнали от 480 канални цифрови системи (третични системи с  $f = 34,368$  MHz). Този тип коаксиални кабели е възприет от ССИТ през 1967 г. с препоръка G.621 и се отличава с проста конструкция и ниска себестойност. Съотношението между диаметрите на проводниците му е 0,7/2,9 mm. В конструктивно отношение микрокоаксиалните кабели са реализирани чрез 10 или 32 микрокоаксиални двойки.



Фиг.1.3

Цифровите съобщителни системи от следващата йерархична група, т.е. четвъртични, 1920 канални ЦУСС с  $f_T = 139,264$  MHz използват съществуващите конструкции малогабаритни коаксиални кабели с  $d = 1,2/4,4$  mm, а петичните групи от 7680 канала с  $f_T \approx 560$  MHz използват магистралните коаксиални кабели  $d = 2,6/9,5$  mm. Това се прави, защото не е нужно да се транслират толкова голям брой канали по микрокоаксиалните кабели, които са за по-къси разстояния.

#### 1.1.1.3. Оптични кабели. Видове и особености.

По структура изграждането на влакнесто-оптичните съобщителни системи (ВОСС) е напълно аналогично на проводниковите. Специфичното се състои в използването на оптичните кабели (ОК), и на източници и приемници на светлинно излъчване. Предимството на влакнесто-оптичните съобщителни линии е:

1) Ниска себестойност. Оптичните кабели се изготвят от ултрачисти стъкла и пластмаси, а не от скъпо струващите дефицитни цветни метали мед, олово, алуминий използвани при електрическите кабели. Суровината за получаване на чисто кварцово стъкло – кварцов пясък, се намира в неизчерпаеми количества. Засега обаче технологията на производството на оптични влакна и кабели е по-скъпа.

2) Голяма пропускана честотна лента. При одномодово влакно и дължина на вълната  $1,3 \div 1,6$   $\mu\text{m}$  се разпространяват сигнали с честоти от порядъка на GHz, което позволява изграждането на съобщителни

трактове с много голям брой цифрови канали.

3) Висока шумоустойчивост. ВОСЛ са нечувствителни към външни електромагнитни полета, практически липсват взаимните влияния между оптичните влакна.

4) Малка маса и размери.

Разнообразието в конструкциите и приложението на ОК е голямо. Към тях могат да се поставят следните общи изисквания: широка пропускана честотна лента, минимално затихване, висока якост на опън и натиск, голяма гъвкавост без нарушаване оптичните свойства на влакната, влагопроницаемост, термо-устойчивост и др.

Оптичните кабели биват няколко основни вида:

- междуселищни ОК. Пренасят информационни сигнали на големи разстояния. Използват се 4, 8, 10 и 12 кварцови, одномодови, многомодови или градиентни оптични влакна 50/120  $\mu\text{m}$  за дължини на влакната 1,3 ÷ 1,6  $\mu\text{m}$  със затихване 0,5 ÷ 3 dB/km, за работа с апаратура ИКМ-480, ИКМ-7680. Опто-излъчвателят е полупроводников лазерен диод, а оптоприемникът – лавинен фотодиод или pin-фотодиод. Дължината на регене-раторните участъци е от 15 ÷ 36 km.

- селищни ОК. Използват се за съединителни линии между селищни АТЦ за къси разстояния - 2 ÷ 10 km и голям брой канали. Работят без генератори. Изграждат се от ОК с 4,8 или 10 кварцови градиенти или стъпални оптични влакна 50/125  $\mu\text{m}$  със затихване 0,8/3 dB/km и с дължина на влакната 0,85 или 1.3  $\mu\text{m}$ . Използват се апаратури ИКМ-30 или ИКМ-120 с предавател – светоизлъчващ диод или лазерен диод и приемник – pin-фотодиод или лавинен фотодиод.

- ОК за местни (локални) връзки. По тях се пренасят всички видове информационни сигнали – телефонни, цифрови данни, видеотелефонни и др. Използват се в заводи, учреждения, кораби и т.н. Изграждат се с 2,4 или 6 стъпалнимномодови ОВ от силикатно стъкло 50/125 или 200/400  $\mu\text{m}$  със затихване 5 ÷ 10 dB/km и дължини до няколко километра. За предавател се използва светоизлъчващ светодиод с дължина на вълната 0,85  $\mu\text{m}$ , а за приемник pin-фотодиод или лавинен фотодиод.

- подводни ОК. Предназначени за полагане във водни басейни те

са междуселищни и международни кабели, които имат най-малки затихвания, големи дължини на регенерационните участъци и специално усилен с механични укрепвания.

## 1.1.2. Параметри на съобщителните кабели

### 1.1.2.1. Основни параметри на симетрични и коаксиални кабели използвани в аналоговите линейни трактове.

Обикновено в един кабел се разположени няколко кабелни двойки, електромагнитните полета, на които в една или друга степен са взаимно свързани. В резултат на това енергията от една двойка се прехвърля в останалите кабелни двойки. Това явление наречено линейно преслушване, зависи от иметичността на проводниците на кабела, стъпката на тяхното усукване и честотата на предаваните сигнали.

Симетричните кабели могат да бъдат уплътнени до около 4MHz със системи за 900 канала при двукабелен режим на работа или със системи за 300 канала при еднокабелен режим на работа. В този случай обаче ЛСТ се организират така, че в един кабел работи само една система, с което се избягва влиянието на линейното преслуждане.

Един от най-важните параметри на симетричните кабели представлява неговото километрично затихване  $\alpha$  и зависимостта му от честотата  $f$ , като за определяне на  $\alpha / f$  се използва приблизителна формула.

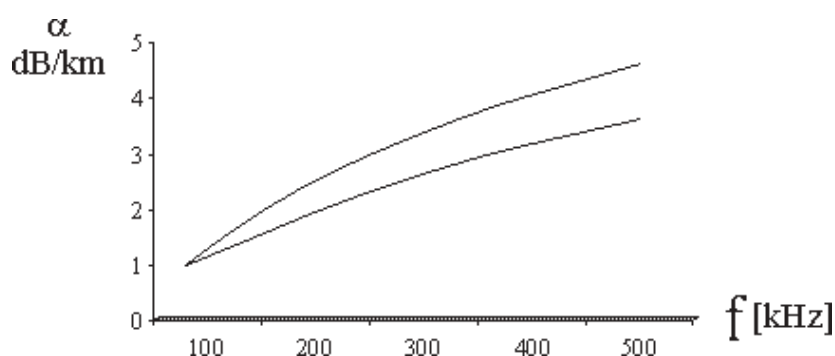
$$\alpha / f = k \cdot c^n, \quad (1.1)$$

където  $k$  е коефициент, който зависи от конструкцията и типа на кабела, зададени в [dB/km];

$n = 1/2 \div 3/4$  в зависимост от типа на кабела;

$f$  – честота, [MHz].

На фиг. 1.4. са дадени честотните характеристики на затихването на два вида симетрични кабели от типа МКС – с хартиена изолация и тип МКБ – със стирофлексна изолация, с параметри  $d = 1,2 \text{ mm}$ ,  $C_{\text{МКС}} = 2,35 \text{ nF/km}$ ,  $C_{\text{МКБ}} = 26,5 \text{ nF/km}$  при  $t = 20^\circ\text{C}$ .



Фиг.1.4

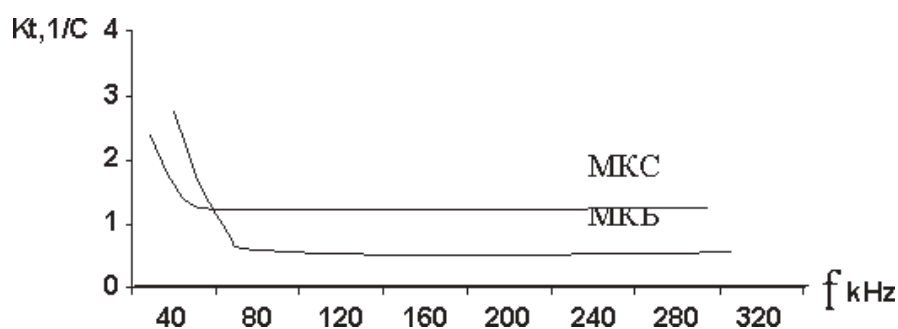
Затихването  $\alpha$  на всички кабели зависи от температурата. Километричното затихване на кабела  $\alpha_t$  при  $t$  се определя от израза

$$\alpha_t = \alpha_T [1 + K_t / t - T] \quad [\text{dB/km}] \quad (1.2)$$

където  $\alpha_t$  е километрично затихване на кабела при температура  $T^\circ\text{C}$ ;  
 $T = 20^\circ\text{C}$

$K_t$  е температурен коефициент на затихването на кабела,  $1/^\circ\text{C}$ .

На фиг.1.5 е дадена честотната зависимост на температурния коефициент  $K_t$  за кабелите тип МКС и МКБ.



Фиг. 1.5

Както се вижда от фигурата кабелите тип МКС за честоти над 60 kHz имат постоянен температурен коефициент, равен на  $K_t = 2 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ . Кабелите от тип МКБ поради влиянието на диелектрика имат честотнозависим температурен коефициент, изменящ се в границите  $K_t = (3,76 \div 1,15) \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .

За симетричните кабели е необходимо да се осигури в целия работен честотен диапазон защитеност на далечния край за всеки един усилвателен участък  $A_{31} = 73,8 \text{ dB} / 8,5 \text{ Nr}$  или преходно затихване на далечния край



$A_l$  , изчислено по формулата

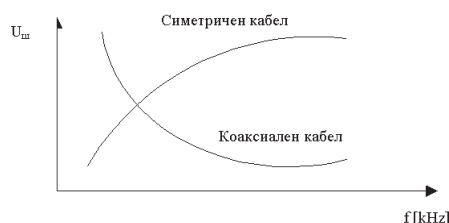
$$A_l = 73.8 + \alpha l \quad [\text{dB}] \quad (1.3)$$

където  $\alpha$  е километричното затихване на кабела [dB/km]

$l$  – дължината на усилвателния участък, [km]

Преходното затихване на близкия край за двукабелни системи трябва да бъде по-голямо от  $A_0 \geq 60,8 \text{ dB} / 7 N_p$

При коаксиалните кабели най-характерна особеност, е че в тях преслушването намалява с повишение на честотата. За разлика от симетричните кабели в коаксиалните кабелни вериги с увеличаване на честотата взаимното влияние се намалява и се подобрява защитеността от външни смущаващи сигнали (Фиг.1.6)



Фиг.1.6

От 60 kHz нагоре преходното затихване между коаксиалните двойки вече е достатъчно голямо, поради което проводниците на еднолентовата четирипроводна система могат да бъдат в един и същ кабел.

Измерванията обаче показват, че при много високи честоти защитеността от линейно преслушване намалява поради неравномерната плътност на външния проводник. Съвременната технология на производство на коаксиални кабели позволява уплътняването им до 60 MHz със системи за 10 800 канала.

За коаксиални кабели тип 2,6/9,5 mm е необходимо да се осигури в целия работен честотен диапазон защитеност на далечния край  $A_{z1} \geq 110 \text{ dB}$  (12,7 Np), за всеки усилвателен участък или преходно затихване на далечния край  $A_l$ , изчислено по формулата

$$A_l \geq 110 + \alpha l, \quad [\text{dB}] \quad (1.4)$$

където  $\alpha$  е километричното затихване на кабела, [dB/km]

$l$  – дължина на усилвателния участък, [km]

Преходното затихване на близкия край  $A_0$  се изчислява по аналогичната формула

$$A_0 \geq 110 + \alpha l, \quad [\text{dB}] \quad (1.5)$$

Километричното затихване на коаксиалните кабели, а в зависимост от честотата  $f$  се изменя пропорционално на  $\sqrt{f}$  и се определя от израза

$$\alpha(f) = k \cdot \sqrt{f}, \quad [\text{dB/km}]$$

Температурния коефициент на затихването на коаксиалните кабели  $K_T$ , практически е независим от честотата и е равен на  $2 \cdot 10^{-3}$  на  $1^\circ\text{C}$ .

### 1.1.2.2. Първични и вторични параметри на симетричните кабели използвани от цифровите преносни системи.

Електрическите свойства и особености на нискочестотните симетрични кабели за честотния обхват използван при предаването на цифрови сигнали от ЦУСС (това са 30/32 канални ЦУСС и ИКМ с  $f_T = 2,048 \text{ MHz}$ ) се характеризират главно с наличието на силна честотна зависимост на първичните и вторичните параметри на кабелите.

- активно километрично съпротивление  $R$  – в областта на високите честоти е равно на

$$R = R_0 + \Delta R, \quad [\Omega/\text{km}] \quad (1.6)$$

където

$$R_0 = \frac{8 \cdot \rho \cdot 10^3}{\pi d^2} \quad [\Omega/\text{km}] \quad (1.7)$$

е съпротивлението на кабелния проводник при постоянен ток. В (1.7)  $\rho$  представлява специфичното съпротивление на материала, от който са направени проводниците на кабела, а  $d$  е диаметъра им в mm.

Изменението на  $R$  или по-точно увеличението му в областта на високите честоти е изразено с  $\Delta R$  в (1.6) е в резултат на проявяването на повърхностния ефект и ефекта на близост между кабелните проводници. Стойността на  $\Delta R$  се определя посредством израза:

$$\Delta R = \lambda \cdot R_0 \cdot \left[ 1 + F(z) + q \cdot \frac{G(z) \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{a}\right)^2 \cdot H(z)} \right], \quad [\Omega/\text{km}]$$

където:

$d$  - диаметър на кабелните проводници;

$\lambda$  - коефициент на спиралност на усукване на проводниците в кабела;

$a$  - разстояние между центровете на кабелните проводници;

$z$  - помощна променлива.

В зависимост от материала на проводника  $z$  се изчислява по формулите:

$$z = 0,0105d\sqrt{f} \text{ за медни проводници}$$

$$z = 0,0850d\sqrt{f} \text{ за алуминиеви проводници}$$

$R_0 F(z)$  е допълнително съпротивление вследствие повърхностния ефект

$$\text{При } z > 2 \quad F(z) \approx 0,35z - 0,75$$

$$R_0 = \frac{G(z) \cdot (d/a)^2}{1 - (d/a)^2 H(z)} \text{ е допълнително съпротивление}$$

предизвикано от ефекта на близостта.

$$\text{При } z > 2 \quad G(z) \approx 0,18z - 0,1$$

$$2 < z < 6 \quad H(z) \approx 0,12z - 0,12$$

$$z > 6 \quad H(z) \approx 0,6$$

$q$  – константа зависеща от начина на образуване на четворките в кабела. При звездни четворки  $q=5$ , а при Дизелхорст-Мартенови  $q=17$ .

При прецизно определяне на  $R$  освен това е необходимо да се отчете и влиянието на съседните двойки и обвивката на кабела.

- в областта на по-високите честоти освен активното съпротивление на кабелните проводници се изменя тяхната индуктивност и проводимост ( $L$  и  $G$ )

$$L = \lambda \left[ 4 \ln \frac{2a - d}{d} + Q(z) \right], \quad [\text{H/km}] \quad (1.8)$$

където:

$Q(z)$  е помощна функция, която при  $2 < z < 3$  е единица.

При  $z > 3$   $Q(z) = z/3$

$$G = G_0 + \omega C \text{tg} \delta \quad [\text{S/km}] \quad (1.9)$$

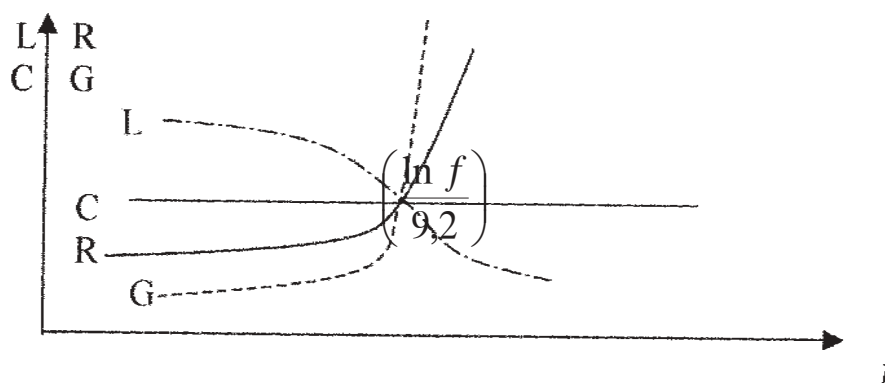
където:

$\operatorname{tg}\delta$  са загубите в изолационния материал. При кабел с хартиена изолация ( $\epsilon = 2,1 \div 2,5$ ),  $\operatorname{tg}\delta$  се определя по формулата:

$$\operatorname{tg}\delta = 0,08 \quad \text{при } 1 \cdot 10^4 \text{ Hz} < f < 2 \cdot 10^6 \text{ Hz}$$

$G_0$  е проводимостта при постоянен ток, обикновено от порядък  $1 \cdot 10^{-10}$  до  $1 \cdot 10^{-8}$  S/km.

При кабелните вериги проводимостта на изолационния им материал, който ограничава областта на уплътняването им. В последно време се използват пластмасови изолационни материали, които имат високи електрически качества. На Фиг.1.7 са качествените зависимости между първичните параметри на кабела и честотата.



Фиг. 1.7

Вторичните параметри на кабелите зависят също твърде много от честотата. На практика тяхната зависимост обикновено се дава посредством подходящи апроксимационни формули.

- километрично затихване  $\alpha(f)$  – апроксимира се чрез израза:

$$\alpha(f) = k_1 \cdot \sqrt{f} + k_2 \cdot f, \quad [\text{dB/km}]$$

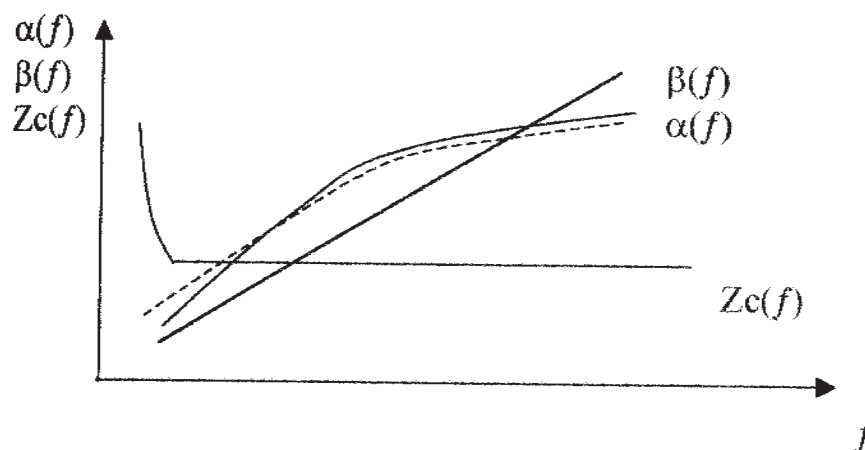
Където: честотата  $f$  е в МHz, а  $k_1$  и  $k_2$  са константи, които зависят от диаметъра на проводника, материала използван за изолация, конструкцията и типа на кабела.

- километрична фазова константа  $\beta(f)$  е почти линейна функция на честотата. При  $f > 10^4$  Hz тя е приблизително:

$$\beta(f) \approx \beta_0 + k_3 \cdot f$$

- характеристичен импеданс  $Z_c$ . Практически не зависи от честотата. Неговата стойност обикновено е от 120  $\Omega$  до 150  $\Omega$ .

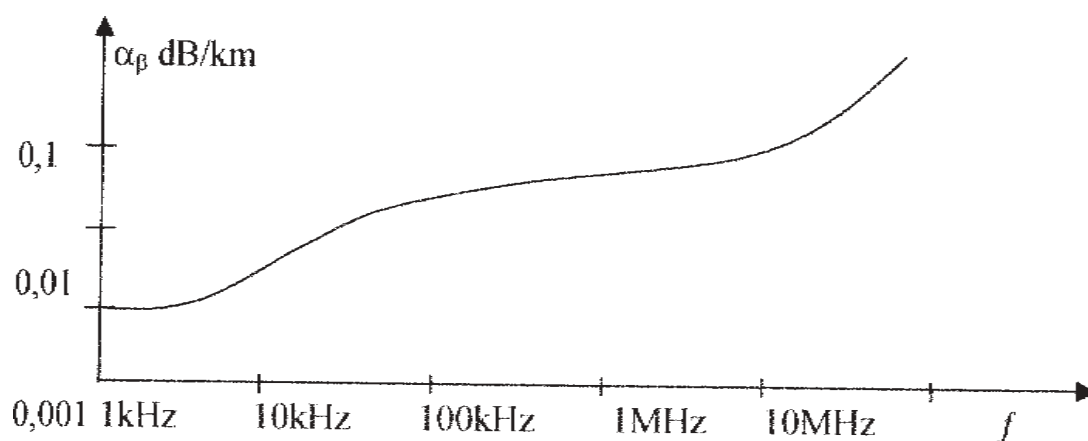
Честотните зависимости на вторичните параметри са показани на Фиг.1.8



Фиг. 1.8

С плътни линии са показани зависимостите, изчислени с помощта на точните им изрази, а с пунктирани линии – с помощта на апроксимирани изрази показани по-горе.

- изменението на околната температура също оказва влияние върху параметрите на симетричните кабели и по-специално върху техния температурен коефициент на затихване  $\alpha_\beta$ . За болшинството от симетричните кабели  $\alpha_\beta(f)$  има вида показан на Фиг. 1.9 както се вижда с увеличаване на честотата  $\alpha_\beta$  нараства, като при честоти по-високи от 1 MHz, нарастването е значително.



Фиг. 1.9

- скоростта на разпространение на сигнала  $V$  по съответен съобщителен кабел се определя от израза:

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{LC}}, [\text{km/s}]$$

Ако  $LC = \mu\epsilon$ , то  $V = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}}$  зависи само от електромагнитната проницателност  $\mu$  и диелектричната константа  $\epsilon$  на материала с чиято помощ е изработен кабелът.

## ГЛАВА II

# Методи за уплътняване на линейните трактове

Уплътняване се нарича едновременното предаване на сигнали от повече от един източник в една и съща преносна среда .

В съвременните комуникационни системи се прилагат два основни метода за уплътняване – уплътняване с честотно разделяне на каналите и уплътняване с разделяне на каналите по време.

Уплътняването с честотно разделяне на каналите (ЧРК) представлява разполагане на спектрите на множество теснолентови сигнали (телефонни, телеграфни, телевизионни и др.) в широката честотна лента на преносната среда. Тъй като обработките, на които се подлагат сигналите при това уплътняване (модуляции, филтрации, демодуляции и др.) са аналогови и във всяка точка от тракта сигналите също са аналогови, уплътнителните системи с честотно разделяне се наричат аналогови уплътнителни системи. Те често се наричат и многоканални уплътнителни системи, тъй като разполагането на множество сигнали в честотната лента на канала представлява всъщност организиране на голям брой теснолентови канали в честотната лента на преносната среда.

Уплътняването с разделяне на каналите по време (РКВ) представлява предоставянето на преносната среда за къси интервали от време на множество източници. Ако това се прави достатъчно често (през много къси интервали от време) сигналите от отделните източници, според теоремата на Котелников, могат да се възстановят еднозначно в приемната страна. Тъй като същността на това уплътняване предполага работа само с дискретни и цифрови сигнали (предаваните сигнали се подлагат на дискретизация още на входа на системата), уплътнителните системи с РКВ се наричат цифрови уплътнителни системи.

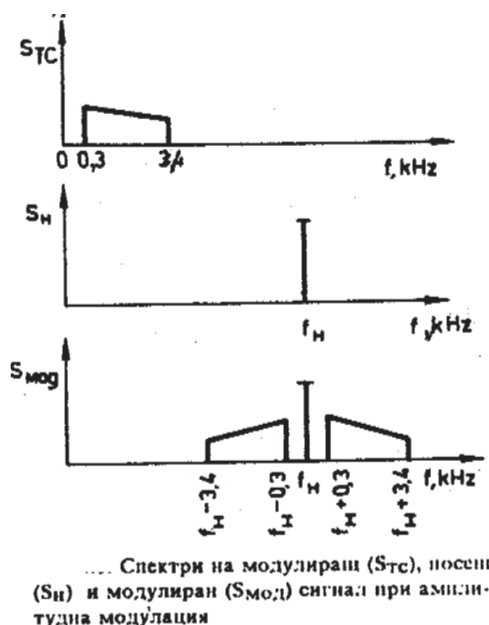
Изучават се и други методи на уплътняване, като разделяне на сигналите по форма, фазово разделяне на сигналите, корелационно разделяне, разделяне по ниво, диференциално разделяне и други, но те

нямат такова масово приложение както ЧРК и РКВ.

## 2.1 Принцип на уплътняването с честотно разделяне на каналите (ЧРК)

При модулация на даден носещ сигнал с един модулиращ сигнал спектърът на модулиращия сигнал (променен в различна степен в зависимост от вида на модулацията) се разполага около честотата на носещия. Възможността да се премества спектърът на модулиращия сигнал при модулация лежи в основата на уплътняването по честота. Известно е, че от трите основни аналогови модулации (амплитудна, честотна и фазова) най-тесен спектър се получава при амплитудната модулация (АМ), затова тя е най-често използваната особено при уплътнителни телефонни системи (УТС).

На Фиг.2.1 са показани спектрите  $S_{TC}(f)$  и  $S_H(f)$  на един телефонен сигнал  $S_{TC}(f)$  (индексът ТС може да се разбира и като тонален сигнал) и на един едночестотен сигнал  $S_H(t)$  с честота  $f_H$ .



Фиг.2.1

Ако  $S_{TC}(f)$  модулира амплитудно носещия сигнал  $S_H(f)$ , спектърът  $S_{MOD}(F)$  на модулирания сигнал ще се разположи, както е показано на



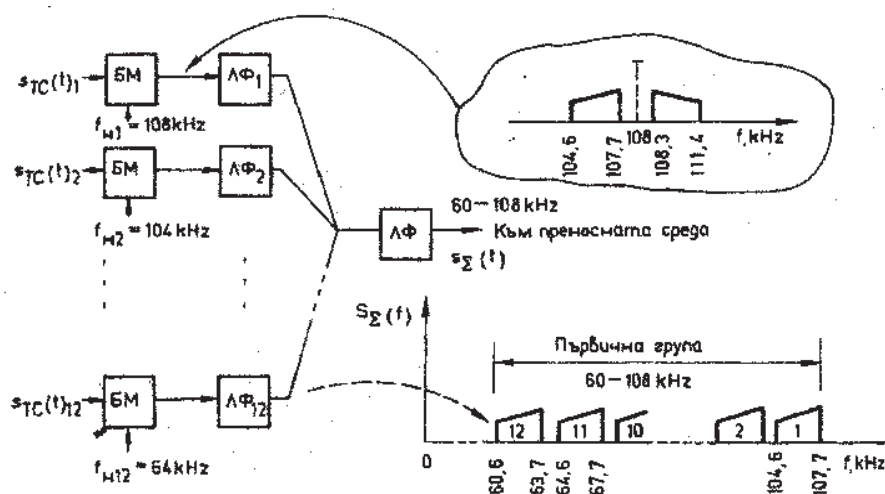
фигурата. При АМ той може да се разглежда като получен по следния начин: спектърът  $S_{TC}$  е пренесен и разположен до спектралната линия на  $S_H$  така, както е бил разположен спрямо ординатната ос. При това се получава т.нар. *горна странична лента*. Огледалното изображение на тази лента спрямо спектралната линия на  $S_H$  се нарича *долна странична лента*. Формата на двете странични ленти съвпада с формата на  $S_{TC}$ . Ако множество телефонни сигнали модулират съответния брой носещи сигнали, разположени по подходящ начин в честотната лента на преносната среда, ще се осъществи уплътнение с ЧРК. От друга страна телефонният (модулиращият) сигнал може да бъде възстановен в приемната страна (след демодулацията) дори ако се предава само едната странична лента, тъй като двете ленти носят една и съща информация. Това позволява в уплътнителната система да се предава само едната странична лента (в телефонните системи винаги се предава долната странична лента). Носещият сигнал не съдържа никаква информация, свързана с  $S_{TC}(f)$ , следователно може също да не се предава. Докато горната странична лента може да се потисне чрез лентов филтър, който пропуска само долната странична лента, сигналът с носещата честота трудно може да се елиминира с този филтър, защото честотата му е твърде близо до пропусканата честота  $f_H - 0,3 \text{ kHz}$ . За тази цел се слагат балансни модулатори. Носещият сигнал  $S_H(t)$  дори и да не носи полезна информация е необходим в приемната страна, тъй като без него не може да се осъществи обратния нелинеен процес (демодулация).

Освен АМ за уплътняване на ЧРК се използват честотна (ЧМ) и фазова (ФМ) модулация, които са по-шумоустойчиви. Спектърът на модулирания сигнал при тях е много по-широк, схемите, с които се реализират, са по-сложни, затова ЧМ и ФМ се прилагат много по-рядко, главно когато се използва по-високата им шумоустойчивост.

### 2.1.1 Реализация на 12-канален първичен блок

В УТС основният групов сигнал след уплътняването съдържа 12 телефонни сигнала и той се използва като първична единица за реализиране на УТС с по-голям брой канали. На Фиг 2.2 е показана блоковата

схема на апаратурата, осъществяваща такова уплътняване.



Дванадесетканален първичен блок -  
блокова схема и спектри в различни точки

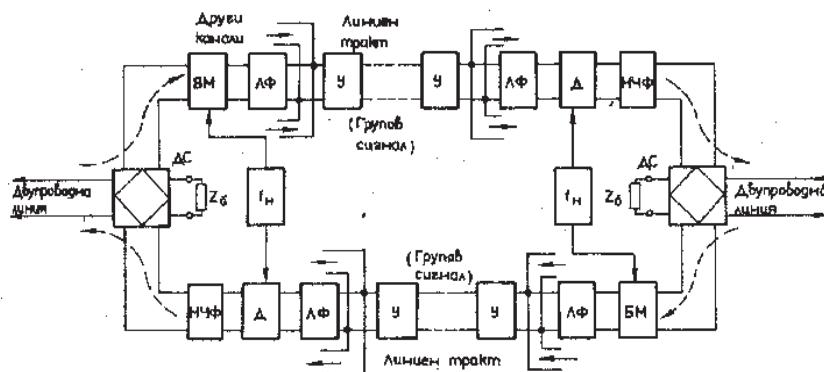
Фиг 2.2

Използваните носещи честоти – от 64 kHz до 108 kHz (през 4 kHz), образуват 12 – канална първична група, разположена в спектъра от 60 до 108 kHz (по-точно от 60,6 kHz до 107,7 kHz). Лентовият филтър (ЛФ – Фиг 2.2), включен след обединяването на сигналите на отделни канали, оформя окончателно спектъра на 12 – каналната група.

За да се организира уплътнителна система с ЧРК, апаратурата трябва да съдържа по един балансен модулатор (БМ), по един лентов филтър (ЛФ) за всеки уплътняван телефонен сигнал и по един генератор на носещ сигнал.

## 2.1.2 Блокова схема на уплътнителна телефонна система

На Фиг 2.3 е показана блоковата схема на високочестотен канал, която всъщност дава идеята и за цялата уплътнителна система.



Блокова схема на четирипроводен високочестотен канал в аналогова уплътнителна система

Фиг 2.3

Говорният сигнал от двупроводната линия през диференциалната система ДС постъпва на входа на балансия модулатор БМ, на другия вход на който се подава сигнал с носеща честота. С лентов филтър ЛФ се отделя долната гранична лента и тя се подава към усилвател У, на чийто вход се подават долните странични ленти, получени от останалите 11 модулатора, ако разглежданата схема е част от 12 – канален блок. Усиления групов сигнал се подава в линейния тракт, в който през определени разстояния са поставени усилватели, компенсирани затихването на преносната среда. Преносната среда заедно с усилвателите и другите съоръжения по нея се наричат линейен тракт. На изхода на линейния тракт също има усилвател У, който възстановява приетия групов сигнал, след което с подходящи лентови филтри ЛФ се отделят честотните ленти на всеки от говорните сигнали. Те се подават на единия вход на демодулатор Д, на другия вход на който се подава сигнал с носеща честота. Сигналят на изхода на демодулатора има сложен спектър, затова се налага с нискочестотен филтър НЧФ да се отдели говорният сигнал. През ДС този сигнал се подава към двупроводната линия.

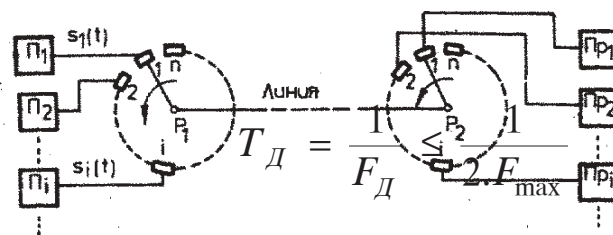
Цялата система на Фиг 2.3 е обхваната и от верига за автоматично регулиране на усилването (АРУ), включваща всички усилватели по тракта,

която осигурява желаното ниво на груповия сигнал, като компенсира даже промените в затихването на кабела, дължащи с ена сезоните.

Подобни системи се използват само в УС с честотно разделяне на каналите, където намират широко приложение.

## 2.2 Принцип на уплътняването с разделяне на каналите по време (РКВ)

Уплътняването с РКВ представлява последователното предоставяне на преносната среда за къси интервали от време на множество източници на сигнали. Този принцип е илюстриран на Фиг 2.4, където сигналите  $S_1(t), S_2(t) \dots S_n(t)$  от изходите на  $n$  предавателя  $\Pi_1, \Pi_2 \dots \Pi_n$  се подават към  $n$ -те сектора на едно циклично комутиращо устройство (разпределител  $P_1$ ). Точно такъв разпределител  $P_2$ , въртящ се синхронно и синфазно с  $P_1$ , е разположен в приемната страна (на другия край на преносната среда).



Принцип на уплътняване чрез разделяне на каналите по време (РКВ)

Фиг 2.4

Ако разпределителите  $P_1$  и  $P_2$  правят един пълен оборот за време  $T_{д}$ , като обхождат всички сектори и по този начин стробират всеки от  $n$ -те сигнала  $S_i(t)$ , то във всеки от приемниците  $\Pi_{P_i}$  се получава дискретизираният сигнал  $S_{ид}(t)$ , отделните "проби" от който са през интервали  $T_{д}$  (времетраенето на един цикъл на въртене). Съответната на  $T_{д}$  честота на дискретизация е:

$$F_{д} = 1/T_{д}, \text{ Hz}$$

Ако максималната честота в спектъра на всеки от предаваните сигнали не надвишава  $F_{max}$ , при спазване на неравенството

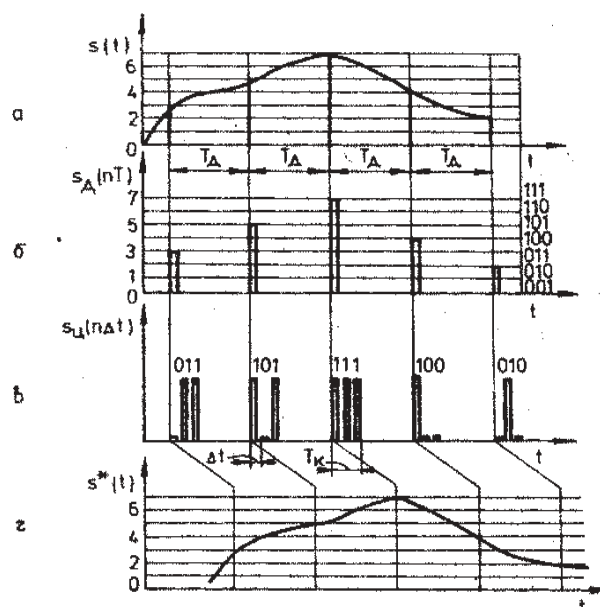
, [s]

т.е. при достатъчно висока честота на дискретизация  $F_d$  всеки от сигналите  $S_i(t)$  в съответствие с теоремата на Котелников, може да бъде възстановен от неговия дискретизиран образ  $S_{ид}(t)$ . Ако сигналите  $S_i(t)$  са например телефонни сигнали ( $F_{max} = 3,4$  kHz), при  $F_d = 8000$  Hz всеки от тези сигнали ще бъде получен в приемната страна без изкривявания. На  $F_d = 8$  kHz съответства продължителност на един цикъл  $T_d = 1/F_d = 125$   $\mu$ s, т.е. аналоговият телефонен сигнал трябва да се стробира на всеки 125  $\mu$ s.

### 2.2.1 Импулсно - кодова модулация

Примерът от Фиг 2.4 предполага предаване на сигнали дискретни във времето, но с аналогово изменяща се амплитуда. Така се запазват всички недостатъци на аналоговото приемане и най-вече ниската шумоустойчивост, водеща до невъзможност да се възстановят сигналите. Тези недостатъци могат лесно да се подложат на още една дискретизация – по амплитуда. Така се получава известната импулсно - кодова модулация (ИКМ).

На Фиг 2.5 са показани основните стъпки на ИКМ.



Основни стъпки при импулсно-кодовата модулация:  
 а - аналогов сигнал  $s(t)$ , дискретизиран през интервали  $T_d$ ;  
 б - дискретизиран и квантуван сигнал; в - цифров (кодиран) сигнал; г - възстановен аналогов сигнал  $s^*(t)$

Фиг 2.5

ИКМ включва следните три операции (Фиг 2.5):

1. Дискретизация (Фиг 2.5а), описана в т. 2.2
2. Квантуване (Фиг 2.5б).

Квантуването представлява дискретизация на аналоговите амплитуди, т.е. приравняването им до най-близките разрешени амплитуди (нива на квантуване). На Фиг 2.5б е даден пример за квантуване с осем възможни нива на квантуване, които се номерират от 0 до 7. Приравняването на аналоговата амплитуда с най-близкото ниво на квантуване е свързано с възникване на грешка на квантуване. Тази грешка често се оценява като шум от квантуване.

### 3. Кодирание.

След като нивата на квантуване са краен брой и могат да се номерират, на всяко от тях може да се съпостави двоична кодова комбинация, представляваща например двоичния запис на номера на съответното ниво (Фиг 2.5в). Ако броят на възможните нива е  $N$ , броят на разредите (дължината на кодовата комбинация) е

$$n = \log_2 N \quad (2.2)$$

В последната стъпка се крие и голямото предимство на ИКМ – кодиранияте нива се предават чрез “единици” и “нули” (като цифрови сигнали), които лесно могат да бъдат разпознавани дори при големи изкривявания на формата на импулсите и тази форма може да бъде възстановена във всяка точка от линейния тракт.

Накрая на Фиг 2.5г е показан възстановеният в приемната страна аналогов сигнал  $S^*(t)$ . Той се различава малко от  $S(t)$  и тези разлики се дължат на шума от квантуване и на грешки в някой от кодовите комбинации (преход от 0 в 1 или обратно) поради силни смущения.

Ако всеки импулс от кодовите комбинации заедно с паузата има продължителност  $\Delta t$  (Фиг 2.5в), времетраенето на всяка кодова комбинация е  $T_k = \Delta t$ . Така се постига уплътняване по време на сигналите с ИКМ.

## 2.2.2. Структура на цикъла на УТС с ИКМ тип 30/32

Интервалите от време, полагащи се на всеки от уплътняваните 32 сигнала в рамките на един цикъл, често се наричат канални интервали. Тези интервали се номерират от 0 до 31 и тук трябва да се каже че не всичките 32 интервала са достъпни за предаване на телефонни сигнали. На фиг.2.6 е показана структурата на един цикъл.



Фиг. 2.6.

Фиг. 2.6. структура на един цикъл в 32-канала система с импулсно-кодова модулация

От фигурата се вижда, че интервали № 0 и № 16 се използват за предаване на служебна информация, а останалите 30 интервала (от № 1 до № 15 и от № 17 до № 31) – за предаване на телефонни сигнали (в кодиран вид).

В интервал № 0 във всеки нечетен цикъл се предава комбинация 00 11 011, необходима за синхронизация по цикли. Синхронизиращата комбинация е седем разредна и първият разред в този интервал (означен с x на фиг.2.6) се използва при международни връзки.

Разредите в интервал № 0 в четни цикли се използват за предаване на алармени сигнали (разредни P и D) и при връзки в рамките на страната

(разреди Y).

Разредите в интервал № 16 се използват за предаване на информация за сигнализация. В рамките на един свръхцикъл (16 цикъла) на всичките 30 телефонни канала се предоставят по 4 разреда за сигнализация. Оставащите две четворки разреди се използват за синхронизация на свръхцикли и за други цели. Шестнадесетте цикъла в един свръхцикъл се намират от 0 до 15 и в цикъл № 0 в канален интервал № 16 първите 4 разреда са 0000, което е комбинация за синхронизация по свръхцикли.

### 2.3. Високоскоростни методи за цифров пренос.

В абонатните мрежи под високоскоростен пренос се разбира преносът със скорост от 2 Mbps нагоре. Високоскоростният достъп зависи силно от пропускателните възможности на пре-носната среда.

Технологиите x DSL – за мрежов достъп от типа точка-точка дават възможност за пренос на различен тип трафик: данни, глас и видео по обикновен меден телефонен чифт.

С x DSL се означават различни DSL – технологии (Digital Subscriber Line), включващи ADSL, RADSL, HDSL, SDSL и VDSL. Основните разлики между тях са разстоянието, скоростта и симетрията в предаването на информацията, които определят значението им и приложенията, в които се използват.

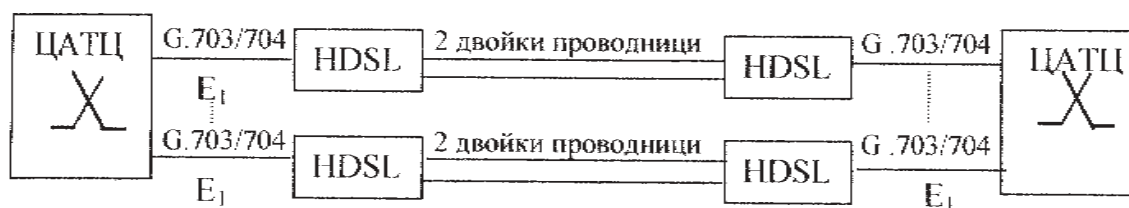
#### 2.3.1. HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line)

HDSL технологията е симетрична, осигуряваща еднаква скорост на предаване от и към мрежата. HDSL е най-използваната досега технология от телекомуникационните оператори. HDSL устройствата са един нов тип линейни цифрови устройства. С този тип линейни устройства значително може да се увеличи дължината на регенераторните участъци в линейния тракт на почти всички телекомуникационни устройства и мултиплексни системи, генериращи цифрови потоци (интерфейсен код HDB-3, съгласно G.703 на CCITT) със скорост до 2,048 Mbit/s по съобщителните кабели с медни проводници  $d = 0,5$  до 1,2 mm. Такива



телекомуникационни устройства могат да бъдат класическите цифрови мултиплексни системи ИКМ 30; цифрови мулти-плексни системи абонатен тип; 60 канални цифрови мултиплексни системи на базата на две ИКМ-30; цифрови телефонни централи и др. използването на HDSL устройствата позволява дължината на регенераторния участък да достигне 10-12 km при използване на кабел с медни проводници с  $d = 0,8 \text{ mm}$ . Значителната икономическа ефективност и целесъобразност от използването на HDSL устройства допълнително нараства, ако се вземе предвид факта, че в масово срещаните случаи на практика, разстоянието между два пункта, които обменят помежду си 2,048 Mbit/s потоци от информация не превишават 8-10 km.

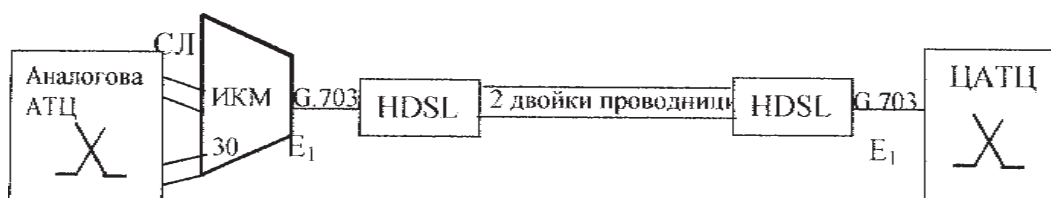
Приложенията на HDSL устройствата самостоятелно или в комбинация с други телекомуникационни системи или оборудване са следните:



Междустанционна връзка между цифрови АТЦ

фиг.2.7а

- при организиране на междустанционна връзка между цифрова АТЦ (фиг.2.7а)
- при организиране на междустанционна връзка между аналогова (съвместно с 30 канална цифрова мултиплексна система ИКМ 30) и цифрова АТЦ (фиг.2.7б)

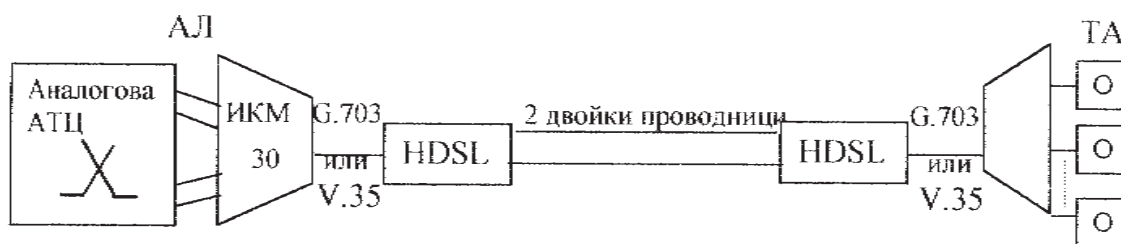


Междустанционна връзка между аналогова и ЦАТЦ

фиг.2.7б

- при уплътняване на абонатни линии и организиране на изнесени

абонатни постове чрез 30 канални цифрови мултиплексни системи с ИКМ (фиг.2.7в)



фиг.2.7в

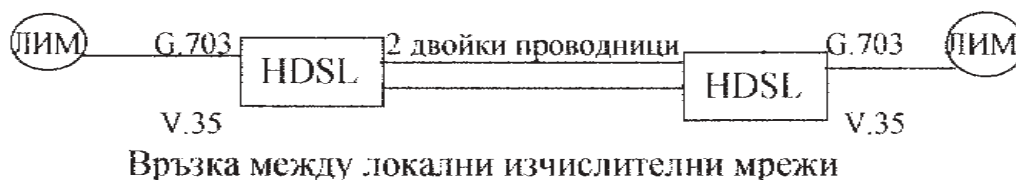
- за замяна на сложни за обслужване и изискващи множество междинни необслужваеми цифрови регенератори, линейни трактове на цифрови мултиплексни системи;

- за организиране на достъп до високоскоростни влак-неστο-оптични линейни трактове при PDH и SDH цифровите йерархии на цифровите преносни системи (фиг.2.7г)



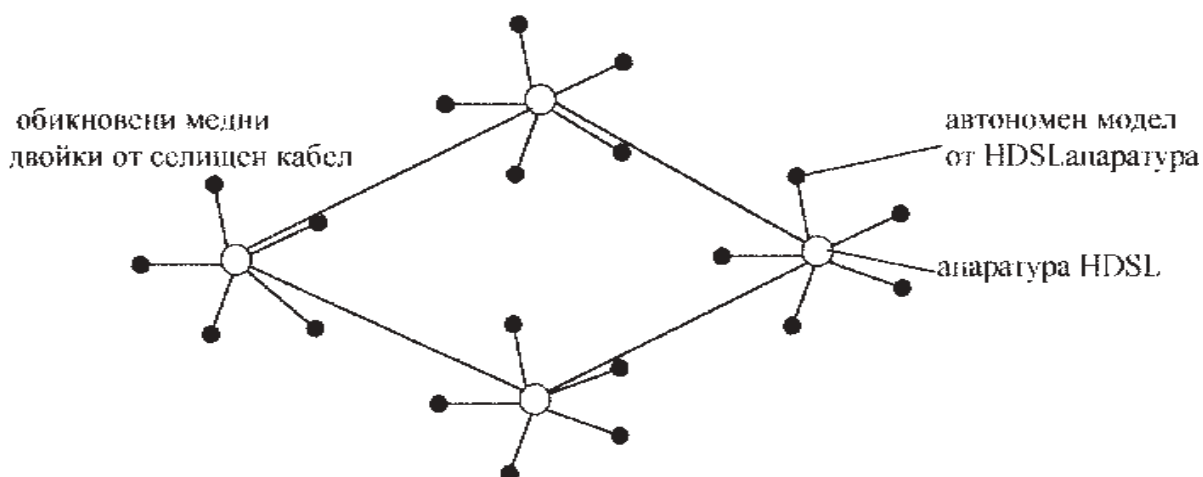
фиг.2.7г

- за организация на връзки между локални изчислителни мрежи (Фиг. № 2.7 д)



фиг.2.7д

- за свързване на възлите на комутация с базовите радиостанции в клетъчните съобщителни мрежи (фиг. 2.7 е)



фиг.2.7г

Изграждането на HDSL устройствата се основава на използването на две технологии на линейно кодиране, а именно: блочни линейни кодове 2B1Q и амплитудно-фазовата модулация без предаване на носещ сигнал – CAP.

Технологията на линейно кодиране, чрез използване на четиринивови блочни кодове 2B1Q се основава на основните свойства на този тип кодове. По-специално значителното концентриране на енергията на предаваните цифрови сигнали в областта на ниските честоти явно ще доведе до сериозни увеличаване дължината на даден регенераторен участък.

Технологията на кодиране на CAP осигурява предаване във всеки момент от време или седем бита информация срещу два при използване на кода 2B1Q и един при HDB-3. Това позволява още повече да се ограничи честотния спектър на предавания по линията сигнал.

Други важни предимства, които представя CAP техно-логията са:

- нечувствителност към в.ч. импулсни шумове, а също така и към н.ч. изкривявания, например при пускане на мощни електрически съоръжения;
- минимално ниво на прехвърляне на преходни сигнали в съседни кабелни двойки, обусловено от отсъствието на честотни съставни повисоки от 50 kHz в честотния спектър на HDSL устройството;
- отсъствие на интерференционни явления (взаимни влияния) и шумове в честотната лента на обикновения телефонен канал, поради

отсъствие в спектъра на линейния сигнал на HDSL устройствата на честотни съставни по-ниски от 6 kHz;

- относително нечувствителност спрямо качествата на използвания съобщителен кабел;

#### 2.3.1.1. Наблюдение на качеството на пренасяне.

Качеството на пренасяне на една връзка с HDSL може да се наблюдава по два различни начина. Качеството на сигнала се взема обикновено за анализиране на връзката, изградена с HDSL при инсталирането и поддържането, докато анализирането на грешката според G.821 за дългосрочна оценка е подходящо за връзка изградена с HDSL, която е включена в експлоатация.

##### 1) Качество на сигнала

Качеството на сигнала (SQ) служи за качествена оценка на определена линия и е ефективно средство за определяне на неподходящите или лоши кабелни двойки. Факторът за качеството на сигнала се определя като измереното отношение сигнал/шум в приемника на HDSL канал:

$$SQ = 10 \lg \frac{\text{мощност на приетия сигнал}}{\text{мощност на шума}}$$

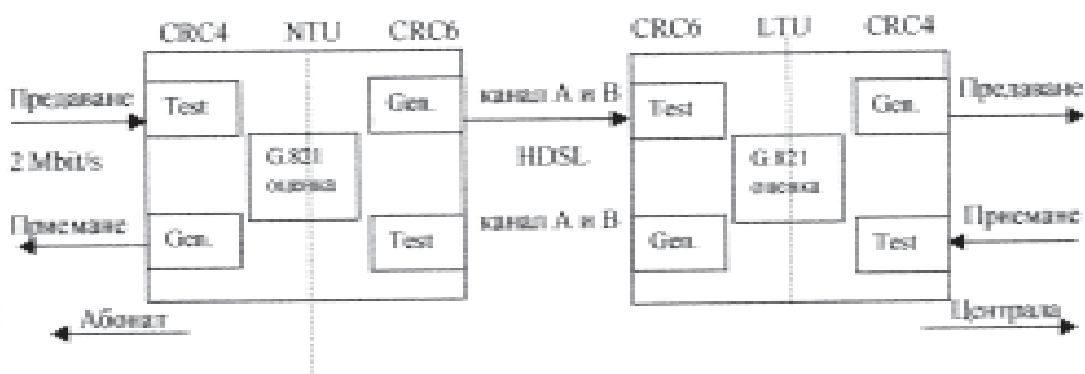
В зависимост от шумовото обкръжение, от фактора за качеството на сигнала може да се изведе очакваната цифрова грешка. В приложенията на HDSL прислушването в близкия край се разглежда като най-важният смущаващ фактор. Компютърното симулиране и лабораторните измервания показват, че при прислушване в близкия край като единствен смущаващ фактор, SQ със стойност 23,7 dB допуска да се очаква цифрова грешка  $10^{-7}$ .

Тъй като отношението между качеството на сигнала и цифровата грешка, която се очаква, зависи от вида, силата и продължителността на смущението (смущенията) при реални условия на експлоатация качеството на сигнала не отразява непременно ефективната цифрова грешка на определен HDSL канал. За дългосрочна оценка на съобщителната връзка се препоръчва друг начин.

##### 2) G.821

Анализирането на грешката, съгласно G.821 дава количествено показание за качеството на определена линия и е предвидено за дългосрочна оценка на съобщителна връзка с HDSL, която е включена в експлоатация.

Анализирането на връзката според G.821 се базира върху CRC (Cyclic Redundancy Check) метод за детектиране на грешката (фиг. 2.8)



фиг. 2.8

CRC – генерирането и детектирането се извършват поотделно за страната на 2,048 Mbit/s и за страната на HDSL. От страната на HDSL се генерират 6 CRC-бита за всеки HDSL цикъл и за всеки канал. Три брояча на грешки се използват, за да се запамят детектираните CRC-грешки, един за грешките CRC 4 и два за грешките CRC 6 (отделно за HDSL-каналите А и В).

Грешките CRC служат за база на софтуера, за да се преценят цифровите грешки на съответния канал и да могат да се изчислят техните параметри, съгласно G.821.

### 2.3.2. ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line)

ADSL – технологията е асиметрична и осигурява по-висока скорост на предаване на информация от мрежата към потребителя в сравнение със скоростта от потребителя към мрежата.

Скоростта на предаване към абоната, първоначално проектирана за 2 Mbps, в момента достига 6-8 Mbps от мрежата и скорост от 160 до 640 kbps към мрежата. ADSL може да осигури скорост на предаване 1,54 Mbps на разстояние до 5,5 km по един меден чифт. Пренасяне със скорости от 6 до 8 Mbps може да се постигне на разстояние от 3 до 3,5 km при диаметър на провод-ниците 0,4 mm.

ADSL системите могат да се използват за:

- интерактивни услуги (обучени от разстояние, меди-цински услуги, домашно пазаруване и др.)
- видео и музика по поръчка
- Интернет достъп и други

### **2.3.3. SDSL (Symmetrical Digital Subscriber Line)**

SDSL- технологията подобна на HDSL осигурява симетричен E1/G703 пренос, но с две основни разлики: използва се само един телефонен чифт и покривното разстояние на връзката е до три километра.

Докато HDSL-системите са проектирани за по-специални приложения, SDSL и ADSL са насочени към широк кръг абонати. SDSL-системите осигуряват предаване на данни и с автоматичен избор на скоростта, в зависимост от затихването на абонатния чифт. При това по същия чифт може да се поддържа един аналогов телефонен канал.

### **2.3.4. RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line)**

RADSL работи със същите скорости като ADSL, но динамично ги изменя в зависимост от дължината и качеството на телефонния чифт. С RADSL е възможно изграждането на връзки с променящи се скорости на обмен на информация. Скоростта се определя след автоматично тестване на линията от включените устройства или в резултат на управляващ сигнал от централния офис.

### **2.3.5. VDSL ( Very High Rate Adaptive Digital Subscriber Line)**

VDSL е най-бързата технология, поддържаща скорости на потоци от мрежата от 1,5 до 2,3 Mbps и поток към мрежата от 1,5 до 2,3 Mbps по

един меден чифт. Максималното разстояние е ограничено от 150 до 1350m. Предполага се, че VDSL устройствата ще се използват в къси участъци на абонатните мрежи изградени с медни кабели. Това могат да бъдат, например отклонения от високоскоростни влакнесто-оптични магистрали, преминаващи в близост до абоната. VDSL поддържа приложенията, подобни на тези за ADSL технологията плюс HDTV (High Definition TV).

## ГЛАВА III

### Автоматично регулиране на усилването в аналогова уплътнителна система.

Качеството на телефониране по УТС зависи главно от нивото на приеманите сигнали. Върху тях обаче оказват влияние различни фактори. Изменението на нивото в приемната станция се обуславя главно от изменението на параметрите на преносвателната система и на апаратурата на УТС в крайните и междинните станции.

Затихването на телефонните линии зависи от характеристикните параметри  $R$ ,  $L$ ,  $G$ ,  $C$ . В една или друга степен те се изменят под действието на различни атмосферни условия, в резултат на което се изменя затихването на линията, а следователно и нивото на сигнала в приемната страна.

Възможно е нивото на сигнала в приемната страна да се изменя в широки граници, т.е. ниводиаграмата да се изменя съгласно показана на фиг. 3 от определена  $\min$  до определена  $\max$  граница.



фиг. 3

Когато сигналът е с по-високо ниво ( $p_{\max}$ ), тогава може:

- а) да се претоварят някои елементи от апаратурата, да преминат в нелинеен режим;
- б) да причинят самовъзбуждане на канала и излизането му от строя;
- в) да се намали защитеността от преходни влияния между каналите или линиите.

Когато сигналът се получава с по-ниско ниво ( $p_{\min}$ ), тогава се влошава разбираемостта по канала поради намалената шумо-устойчивост. Средно квадратичното отклонение на остатъчното затихване на канала (гарантиращо нормално ниво на приемания сигнал  $p_{\text{норм}}$ ) с дължина 2 500 km трябва да е по-малко от около 1,5 dB.



За намаляване на измененията на нивото на приемния сигнал се налага в УТС да се използват специални устройства за регулиране на усилването. Чрез тях се регулира главно изменението на нивото на приемния сигнал, дължащо се на изменението на затихването на линията. В многоканалните телефонни системи се използват устройства за автоматично регулиране на усилването (УАРУ).

Основното изискване на УАРУ е те да извършват съответното регулиране на усилването и отгук на нивото на приемания сигнал, но без да влошават други параметри на телефонните канали. Устройствата за автоматично регулиране на усилването се подчиняват на някои електрически характеристики на телефонния канал.

### 3.1. Електрически характеристики на телефонния канал

#### 3.1.1. Остатъчно затихване на телефонния канал.

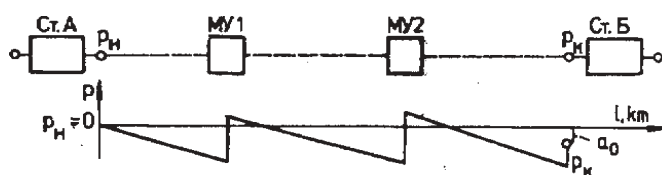
Остатъчното затихване на телефонния канал, представлява некомпенсираното от усилвателите по канала затихване на телефонния канал. В същност остатъчното затихване на телефонния канал  $a_0$  представлява работното му затихване при натоварване на канала с товар  $RT = 600 \Omega$ . Тогава при съгласувано натоварване на канала може да се напише

$$a_0 = a_p(f_i) = \Sigma a(f_i) - \Sigma s(f_i) \quad (3.1)$$

Телефонните канали работят при съгласувано натоварване както двата края, така и между отделните четириполусници по канала, което позволява остатъчното затихване на канала да се определя и от разликата между нивата на сигнала в началото ( $p_n$ ) и в края ( $p_k$ ) на канала, или

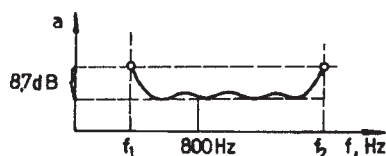
$$a_0 = p_n - p_k$$

Ако се приеме, че  $p_n = 0$ , тогава  $a_0 = -p_k$ , както е показано на фиг. 3.1.



фиг. 3.1

Остатъчното затихване на канала  $a_0$  се измерва за сигнал с честота 800 Hz при  $p_H = 0$  dB. По препоръка на МККТТ  $a_0 = (6,95 \pm 1,73)$  dB. В случая отклонението на  $a_0$  се определя от неточността на работа на УАРУ по канала. Остатъчното затихване  $a_0$  зависи от честотата. На фиг. 3.2 е показана четотната характеристика на  $a_0 = \varphi(f_i)$ .



фиг. 3.2

С прекъснатата линия е посочена идеалната, а с плътна линия – реалната характеристика на  $a_0 = \varphi(f_i)$ .

Реалната характеристика е нелинейна в двата края на честотния обхват за телефонния канал с тенденция към нарастване, обусловено от неравномерности на затихванията на филтрите за тези честоти.

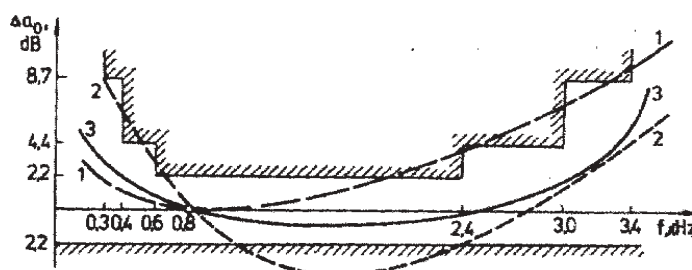
### 3.1.2. Широчина на честотната лента на телефонния канал

От телефонната акустика е известно, че при говор се получава трептения с честоти от 16 до 20 000 Hz. Формантите честотни ленти, от които зависи правилността и разбираемостта на отделните звукове, възприемани от човека се намират между 150 и 7000 Hz. Ако трябва да се осигури качествено възпроизвеждане на човешкия глас в приемната станция, трябва да се използват и пренасят сигнали с честотна лента от 30 до 15 000 Hz. В каналите има елементи, които ограничават пропусканата честотна лента на сигналите и причиняват изкривяване на пренасяната информация даже ако затихването на канала е равно на нула. За да се прецени влошаването на качеството на телефонната връзка поради стесняване на честотната лента на канала се въвежда понятието понижаване на качеството на предаване. То представлява допълнително затихване в децибели, което трябва да се внесе в еталонен телефонен канал с честотна лента от 100 до 10 000 Hz, за да се получи разбираемост. Съгласно препоръките на МККТТ честотната лента на телефонния канал трябва да е от 300 до 3 400 Hz. Разширяването на честотната лента до 3 400 Hz намалява затихването на еталонния канал с не повече от 1,5 до 2

децибела, а по-нататъшното разширяване на честотната лента не води до чувствителното повишаване на разбираемостта на говора. При честотна лента под 3 000 Hz започват да се изкривяват съгласните звуци. При честотна лента от 300 до 1 500 Hz не могат да се водят разбираеми разговори.

### 3.1.3. Амплитудно-честотна характеристика на телефонния канал.

Амплитудно-честотните изкривявания в телефонния канал се определят въз основа на честотната характеристика на остатъчното му затихване. Честотната характеристика на остатъчното затихване на телефонния канал се определя в областта на ефективно пропусканата честотна лента на канала. За да се гарантира качествено телефониране, МККТТ е определил граници, до които може да се изменя честотната характеристика на остатъчното затихване. На фиг. 3.3 е показана препоръчаната от МККТТ честотната характеристика на  $a_0$  за съвременни телефонни канали.



фиг. 3.3

$\Delta a_0$  е разликата между остатъчното затихване за сигнала с коя и да е честота  $a_{of}$  и остатъчното затихване на сигнала с честота равна на 800 Hz или  $\Delta a_0 = a_{of} - a_{0800}$ . Всички характеристики преминават през точката за честота 800 Hz.

От показаните три характеристики кривите 1 и 2 пресичат ограничителните линии, следователно не отговарят на препоръките на МККТТ. Кривата 3 не пресича ограничителната линия, следователно тази характеристика отговаря на препоръките на МККТТ.

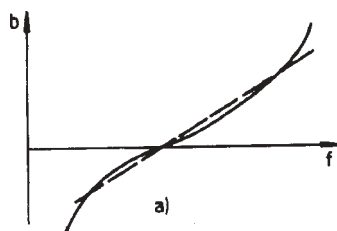
Осигуряването на препоръчаната амплитудно-честотна

характеристика на каналите се постига с помощта на а-дно-честотните коригиращи четириполусници и съответните изравнители, а препоръчаната стабилност във времето се постига с помощта на УАРУ.

### 3.1.4. Фазово-честотна характеристика на телефонния канал

Фазово-честотната характеристика на телефонния канал представлява зависимостта между фазовата му константа на разпространение на честотата. Когато по телефонния канал се пренася само телефонна информация, изискванията към фазово-честотната характеристика не са много строги. Когато фазово-честотните изкривявания са много големи, тогава се получават изменения на спектралните съставки на отделните звуци. Съвременните телефонни канали се използват и за пренасяне на импулсни сигнали, върху които фазово-честотните изкривявания на канала оказват значителни смущаващи влияния. Това налага изискванията към фазово-честотните характеристики на телефонния канал да се повишат.

На фиг. 3.4 са показани идеалната (с прекъсната линия) и реалната (с плътна линия) фазово-честотната характеристика на телефонния канал.



фиг. 3.4

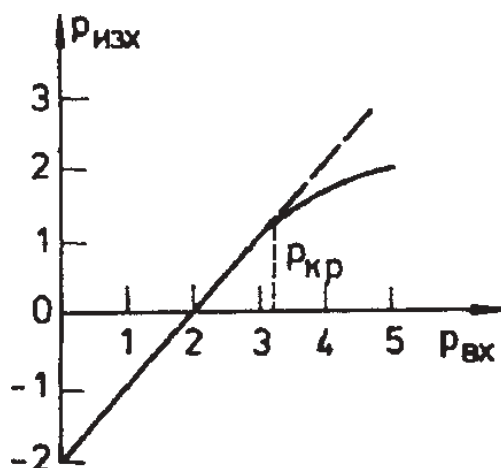
По-чувствителното изкривяване на характеристиката в областта на ниските и високите честоти се дължи на фазово-честотните изкривявания на електрическите филтри на канала.

### 3.1.5. Амплитудна характеристика на телефонния канал

В телефонните канали се използват различни четири-полусници и елементи, които при определени условия на претоварване могат да преминат в режим на работа в нелинейна част от характеристиката си, т.е. в канала да се получат нелинейни изкривявания, които могат да се

установят с амплитудната характеристика на телефонния канал.

Под амплитудна характеристика на телефонния канал се разбира зависимостта между изходния и входния сигнал на канала. На фиг. 3.5 е показана амплитудна характеристика на канал без нелинейни изкривявания (с прекъсната линия) и с нелинейни изкривявания (с пълтна линия), когато сигналите са измервани в нива.



фиг. 3.5

До определено критично ниво  $p_{кр}$  съществува прав пропорционалност между  $p_{изх}$  и  $p_{вх}$  т.е. няма нелинейни изкривявания. При входно ниво на сигнала  $p_{вх} > p_{кр}$  характеристиката започва да се изкривява, което е признак, че се появяват нелинейни продукти. Опитно е установено, че е допустимо изкривяването на характеристиката да започва от входно ниво 0 dB, но понеже повиквателния сигнал е с по-високо ниво от 6 до 7 dB, като правило е прието изискването амплитудната характеристика да започва да се изкривява при входно ниво 6 до 7 dB.

### 3.1.6. Коефициент на нелинейни изкривявания. Затихване от нелинейност.

Когато се налага да се определят по-точно получените нелинейни изкривявания по канала, се използва коефициентът на нелинейни изкривявания (клирфактор), който се дефинира с израза

$$k = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2}} \quad \text{или} \quad k' = \frac{\sqrt{A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1},$$

където  $A_1$  е амплитудата (ток или напрежение) на трептението с основната честота (честотата на сигнала),  $A_2, A_3, \dots, A_n$  са амплитудите на втората, третата и т.н. хармонични съставки, появили се в следствие на нелинейността на канала. Когато нелинейните изкривявания са под 10 % може да се приеме, че  $k \approx k'$ , като връзката между двата коефициента е

$$\text{или} \quad k' = \frac{k}{\sqrt{1 + k^2}}$$

Допустимият коефициент на нелинейни изкривявания на едни участък от телефонен канал е от 1,5 до 2 %.

В съобщителната техника нелинейните изкривявания се определят често пъти с логаритмичната величина наречена затихване от нелинейност, която се определя от формулата:

$$a_n = 20 \lg \frac{1}{k} \quad [\text{dB}] \quad k = \frac{k'}{\sqrt{1 + (k')^2}}$$

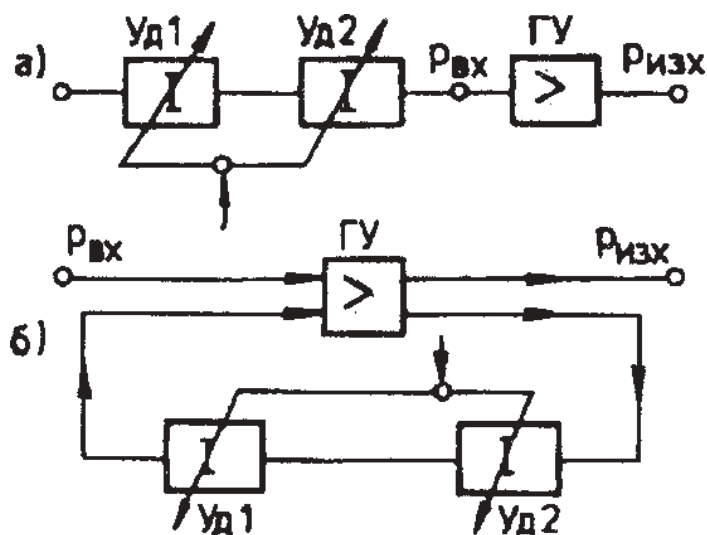
При допустимите на  $k$  от 1,5 до 2 % за канал за затихването от нелинейност се получава  $a_n > 33$  dB.

### 3.2. Принцип на действие на УАРУ.

Принципът на действие на УАРУ е следният. В зависимост от изменението на затихването на съобщителната магистрала преди мястото на УАРУ се извършва подходящо регулиране на усилването, за да се компенсира измененото затихване. При това всяка изменение на нивото на сигнала на изхода на дадения усилвателен пункт ще бъде равно на изменението на затихването по линията преди този пункт. Предимството на този начин на регулиране се състои в това, че грешката от регулирането на нивото на сигнала на края на магистралата не зависи от грешката на регулиране на предхождащите УАРУ, а само от грешката на крайното УАРУ.

Регулирането на изходното ниво на усилвателя може да се осъществи

по два начина, както е показано на фиг. 3.6. И при двата начина регулирането на усилвателя се осъществява чрез регулиране на затихването на двата регулираеми удължителя Уд1 и Уд2.



фиг. 3.6

При първия начин (фиг. 3.6а) се приема, че усилвателя работи с максималното си усилване, а входното ниво се регулира от Уд1 и Уд2, в зависимост от изменението на затихването на линията преди УАРУ. Това означава, че разликата между нивото на полезния сигнал на входа на усилвателя  $P_{вх}$  и нивото на шумовия сигнал от входните устройства на усилвателя ще бъде винаги максимална даже и тогава, когато затихването по линията е малко.

Основни недостатъци на този начин на регулирането са:

- 1) работа при минимална защитеност спрямо шумови сигнали;
- 2) увеличаване на затихването на линията поради включването на удължителя пред усилвателите;
- 3) увеличаване на шумовия сигнал на входа на усилвателите, дължащ се допълнително включените удължители.

Основното предимство на този начин се състои във възможността да се регулира затихването на линията, респ. нивото на изходния сигнал в широки граници.

При втория начин на регулиране (фиг. 3.6б) Уд1 и Уд2 са включени във верига на дълбока обратна връзка на усилвателя. В случая се разчита

на това, че усиляването на усилвателя зависи от коефициента на обратна връзка, който се определя от параметрите на елементите във веригата на обратната връзка. За разлика от първия начин в случая разликата между нивата на полезния и шумовия сигнал на входа на усилвателя зависи от зативането на линията.

Основни предимства на този начин са:

- 1) УАРУ работи при по-голяма шумоустойчивост;
- 2) не се внасят шумови сигнали от  $U_{d1}$  и  $U_{d2}$  в общия тракт на съобщителната система, тъй като последните са включени във веригата на обратна връзка на усилвателя.

Недостатък на този начин на регулиране е малкият обхват за регулиране на усиляването, обусловен от малкото допустимо изменение на затихването във веригата на обратна връзка (за да не се стига до самовъзбуждане на усилвателя и да не се внасят нелинейни продукти от увеличаване на нелинейността на характеристиката на усилвателя). Този начин на регулиране се използва главно от УТС за кабелни линии при които е необходим малък обхват за регулиране, а имат и ниско ниво на шумови сигнали.

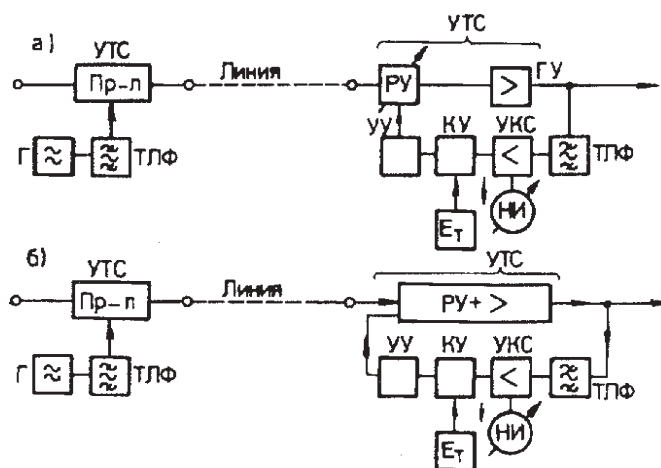
### 3.2.1 Устройство и действие на контролния канал за УАРУ

Правилното регулиране на усиляването на усилвателите в съответствие с изменението на затихването на линията може да се постигне, ако командите за регулиране са съгласувани с конкретното изменение на нивото на сигнала по линията. За тази цел не могат да се използват сигнали от отделните канали, защото те се различават по честота, а затихването на линията е честотно зависима. Не може да се използва и общия групов сигнал, защото неговата средна мощност зависи от много фактори. Това налага командите за управление на УАРУ да се получават от специален контролен (пилотен) сигнал с постоянно входно ниво и определена честота от областта на общата пропускана честотна лента на УТС.

За правилна работа на УАРУ се устройват специални контролни канали, които обхващат определени елементи, следователно в



предавателна и приемна част. На фиг. 3.7 са показани елементите от два контролни канала отговарящи на двата начина за автоматично регулиране на усилването описани в т. 3.2.



фиг. 3.7

В предавателната станция за контролния канал са необходими генератор (Г) за т. нар. контролен сигнал и теснолентов филтър (ТЛФ) за включване на контролния сигнал в тракта на информационните сигнали. В междинните и крайната станции за контролния сигнал са необходими ТЛФ (за отделяне на контролния сигнал от информационните сигнали), усилвател за контролния сигнал (УКС) с нивоизмерител (НИ) за измерване нивото на приемания контролен сигнал, контролно устройство (КУ) е източник на еталонен сигнал (Ет), с което се сравнява нивото на приемания контролен сигнал, управляващо устройство (УУ), в което се оформят съответни команди според показанията на КУ и регулиращо устройство (РУ), което съобразно получаваните от УУ команди извършва определено регулиране на затихването на Уд. Според теорията за автоматичното регулиране тези УАРУ работят като устройства за автоматично стабилизиране.

Нивото на контролните сигнали по правило се избира с около 17 dB по-ниско от нивото на информационните сигнали, за да не се получава претоварване на груповите усилватели.

По препоръки на МККТТ за 12-каналния блок  $f_{\text{кc}} = 84,14$  или  $84,08$  kHz, за 60-каналния блок  $f_{\text{кc}} = 411,86$  или  $411,92$  kHz, за 300-каналния блок

$f_{\text{кс}} = 1552 \text{ kHz}$ , т.е. в средата на обхвата на използваните честотни ленти (обхвати).

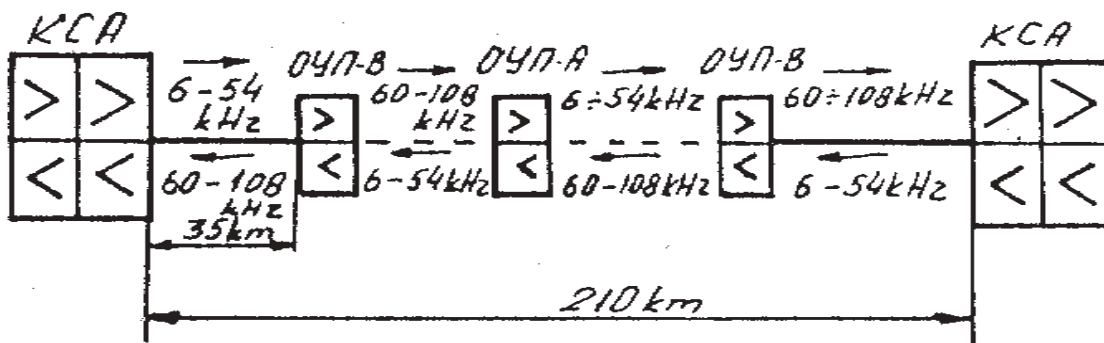
### 3.3. Реализация на АРУ в уплътнителна телефонна система К-12-В

Както вече бе споменато АРУ е необходимо в всички крайни и някои междинни станции. Чрез устройствата за автоматично регулиране на усилването се регулира главно изменението на нивото на приемания сигнал. В многоканалната уплътнителна телефонна система К-12-В също има платка за автоматично регулиране на усилването на основна първична група – Regul.

#### 3.3.1. Общи сведения и параметри на УТС К-12-В

УТС К-12-В е предназначена за работа в еднокабелен режим по кабел тип МККБ 4x4x1,2, като капацитет на кабела е 26,5 nF/km. Максималното затихване на един усилвателен участък е 65 dB, което отговаря на дължината на един усилвателен участък – 35 km. Максималният брой канали, които могат да се получат при уплътняване на кабела е 96, т.е. по дванадесет телефонни канала за всеки чифт. Честотният спектър на системата в посока на предаване от станция А към станция В е 6–54 kHz, в направление на предаване от станция В към станция А е 60–108 kHz.

Системата К-12-В се състои от две крайни станции КС тип А или тип В и обслужваеми усилвателни пунктове ОУП, показана на фиг. 3.8.



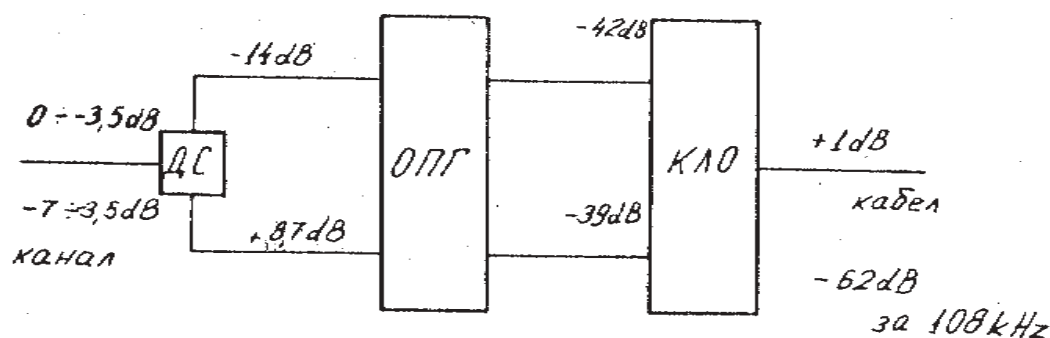
фиг. 3.8

УТС К-12-В е апаратура с честотно разделяне на каналите чрез амплитудна модулация и предаване на едната странична лента. Повикването

може да бъде извънлентово със сигнал с честота 3 825 Hz или тонално със сигнал с честота 2 100 Hz. Честотният спектър на разговорния канал е нормиран 0,3–3,4 kHz. Честотният диапазон за всеки канал е 4 kHz, като разстоянието между нулевите честоти на съседните канали е 4 kHz.

Блоковата схема на УТС К-12-В е дадена в Приложение 1. Тя съдържа каналните и груповите съоръжения, осигуряващи формирането на линейния честотен спектър.

Параметрите на една крайна станция са дадени на фиг. 3.9.



фиг. 3.9.

Крайно линейно оборудване (КЛО) формира нужните честотни ленти за работа по един кабелен чифт, осигурява необходимото ниво и съгласува крайните устройства в кабела.

### 3.3.1.1. Технически данни на УТС К-12-В

- брой канали – 12;
- ефективно предавана разговорна честотна лента –  $0,3 \div 3,4 \text{ kHz}$ ;
- номинално ниво по мощност на четирипроводния вход – минус  $14 \text{ dB}$  с възможност за регулиране от минус  $14 \text{ dB}$  до плюс  $1 \text{ dB}$ ;
- номинално ниво по мощност на четирипроводния изход – плюс  $8,7 \text{ dB}$  с възможност за регулиране от плюс  $8,7 \text{ dB}$  до плюс  $1,3 \text{ dB}$ ;
- номинално ниво по мощност на двупроводния вход – минус

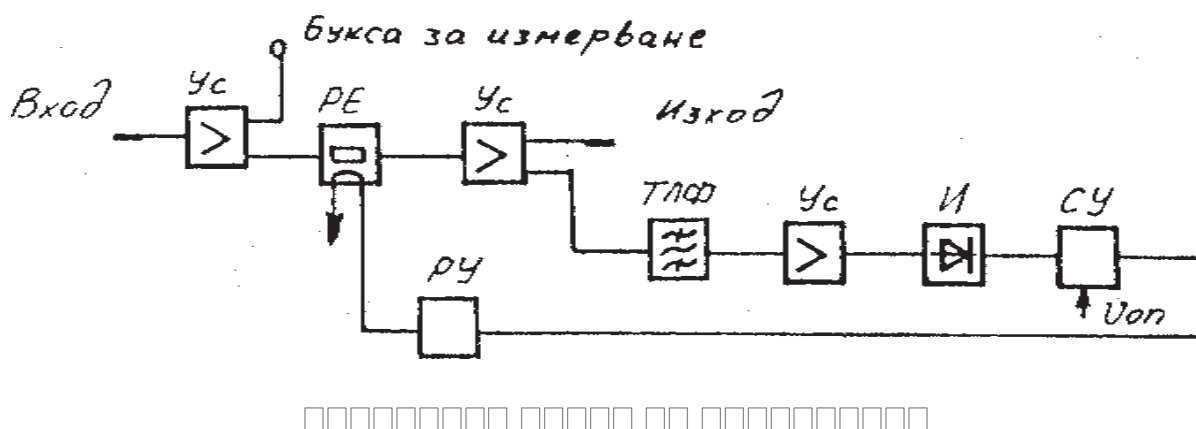
- 3,5 dB с възможност за регулиране от минус 3,5 dB до 0 dB;
- номинално ниво по мощност на двупроводния изход – минус 7 dB с възможност за регулиране от минус 7 dB до минус 3,5 dB;
- импеданс на нискочестотния вход – симетричен 600  $\Omega$
- коефициент на отражение – 10 %
- честота на сигнализация 3 825 Hz, с възможност и за тонална сигнализация с 2 100 Hz;
- ниво на сигналните честоти:
  - ниско ниво минус 20 dBm0;
  - високо ниво минус 5 dBm0;
- пилотна честота на ОПГ – 84,08 kHz;
- ниво на пилотния сигнал – минус 20 dBm0;
- диапазон на предавания сигнал от станция А към станция В – 6÷54 kHz;
- диапазон на предавания сигнал от станция В към станция А – 60÷108 kHz;
- изходно ниво по мощност на канала – плюс 7 dB при импеданс 150  $\Omega$ ;
- диапазон на автоматично регулиране  $\pm 3,5$  dB.

### **3.3.2. Платка за автоматично регулиране на усилването на основна първична група Regul**

Платка Regul е предназначена за автоматично регулиране на нивото на ОПГ – В в приемна посока. Регулирането на приемното ниво се извършва с пилотния сигнал 84,08 kHz, чието ниво се контролира и служи за автоматично регулиране на усилването (APУ) на ОПГ–В.

Границите на регулиране на регулатора са  $\pm 3,5$  dB.

Блоковата схема на регулатора е показана на фиг. 3.10.



фиг. 3.10

Пилотния сигнал 84,08kHz се отделя с помощта на тесно-лентов кварцов филтър от общия групов тракт и се изправя в изправителя. Изправения пилотен сигнал се подава на сравняващо устройство СУ, където се извършва сравняване с еталонно напрежение за определяне степента на изменение на входното ниво. Решаващото устройство РУ се управлява от СУ и определя посоката на регулиране в регулирания елемент РЕ, свързан във входната верига на усилвателя за групов сигнал. Изменението на входния сигнал в допустимите граници на регулиране на АРУ води до получаване на постоянен по ниво изходен сигнал.

Платката за АРУ съдържа верига за:

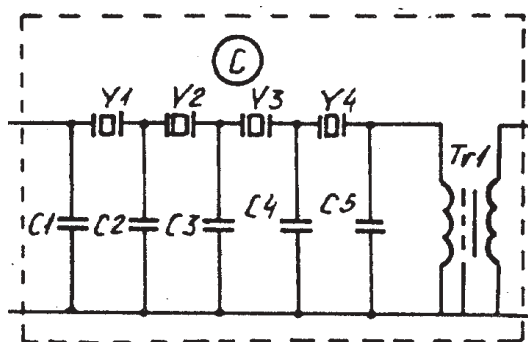
- пренасяне на регулируемо усилване;
- команда за регулирането, обединена с устройството за сигнализация при повреда;
- контрол.

Веригата за пренасяне на регулируемо усилване получава на входа си сигнал с номинално ниво минус 36dB при импеданс 150 Ω от високочестотния репартитор или КЛЮ на дванадесет каналната система. Това ниво може да се контролира на изведениите върху лицевия панел контролни TP1 – TP2 Mes Et Regul.

Сигналът, получен на изхода на първия усилвател, се подава през регулирания елемент (термистор) към усилвателя по мощност, изпълнен

от два транзистора, с трансформаторен изход, на който се подава номинално ниво с точност  $\pm 0,4$  dB при входно ниво, изменящо се с  $\pm 3,5$  dB. Съпротивлението на регули-рацията елемент зависи от тока, протичащ през отоплителната му жичка. Този ток се изменя от действието на решаващото устройство и постоянния ток, получен от стабилизираното напрежение.

Веригата за команда на регулирането отделя пилотния сигнал на ОПГ. Кварцовият теснолентов филтър (фиг. 3.11) пропуска само сигнал с честота, равна на пилотната и я подава към устройствата за усилване и изправяне.



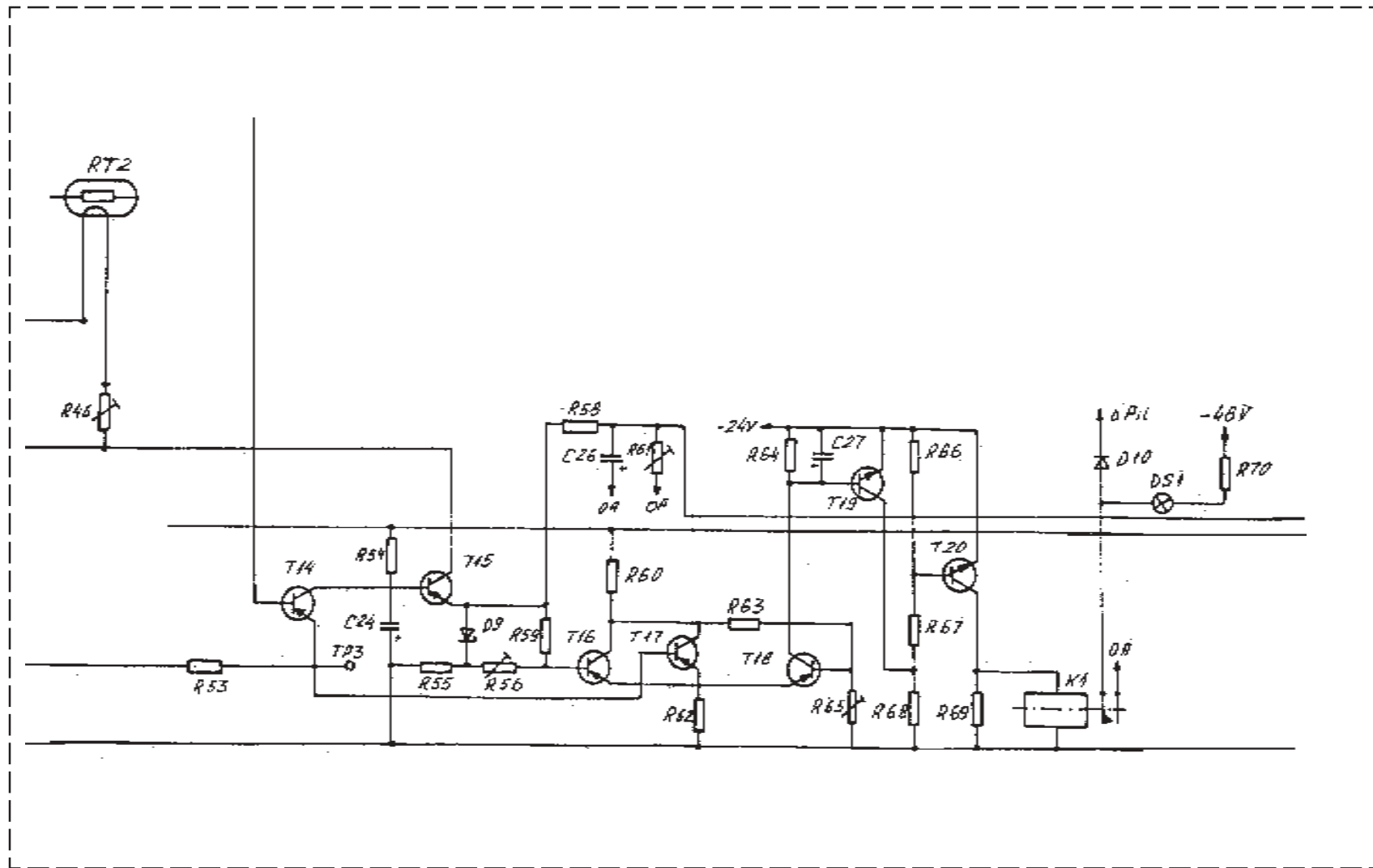
фиг. 3.11

При номинално ниво на пилотния сигнал през сравняващото устройство СУ се подава потенциал минус 4,7 V. През решаващото устройство РУ протича номинален ток 7,5 mA, който обуславя стойност 1000  $\Omega$  на съпротивлението на термистора. На усилвателя по мощност се подава средна стойност на този ток, а това води до получаване на номинално изходно ниво минус 39 dB на изхода.

При повишаване или понижаване на входното ниво с  $\pm 3,5$  dB се изменя стойността на тока, протичащ през РУ. Съпротивлението на термистора е с отрицателен температурен коефициент и се изменя обратно пропорционално на изменението на подгриващия ток, зависещ от тока през РУ. Термисторът е включен последователно във веригата за пренасяне на регули-руемото усилване и осигурява постоянно изходно ниво при изменение на входното с  $\pm 3,5$  dB.

Устройството за сигнализация при повреда е изпълнено с троен тригер, който при значително понижение или прекъсване на пилотния сигнал подава команда за пропадане на пилота Cde Mg Pil към платка за аварийна сигнализация PCI.

Устройството за контрол е предназначено за включване на панелна лампа DS1 и станочна сигнализация при изменение на входното ниво с повече от  $\pm 3,5$  dB, показано на фиг. 3.12.



фиг. 3.12



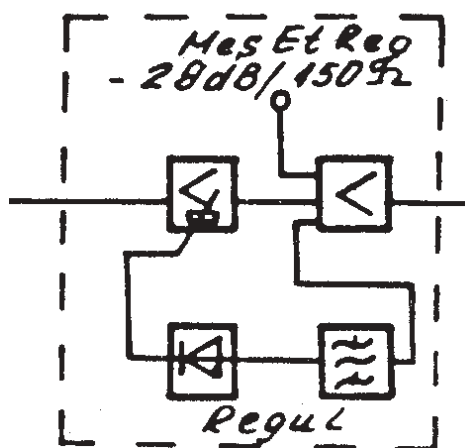
Термисторът RT2 не е в състояние да възстанови изменението на входното ниво на сигнала. Съпротивлението му се контролира чрез напрежението в контролна бунка TP3, което при номинално ниво трябва да бъде минус 1,5V спрямо масата на системата 0A. В това състояние транзисторът T20 е запушен и сигнализацията е изключена. При понижено входно ниво потенциалът в TP3 става по-висок от минус 1 V, транзистор T14 става по-малко пропускащ и отпушва транзистора T16. Транзисторите T18 и T19 се запушват и през отпушения транзистор T20 се включва сигнализацията. При повишено ниво на входния сигнал потенциалът в TP3 става по-нисък от минус 2,25 V и транзистор T17 се отпушва и запушва T18 и T19. През делителя R66, R67 и R68 се отпушва T20. Релето K1 се задейства и с контакта си включва сигнализацията за нарушено приемно ниво. Тези сигнализации се запазват, докато входното ниво е извън допустимите граници за регулиране. След възстановяване на нивото на сигнала във входа сигнализацията се прекъсва автоматично.

## ГЛАВА IV

# Разработване на лабораторно упражнение за система за автоматично регулиране на усилването на линейните трактове

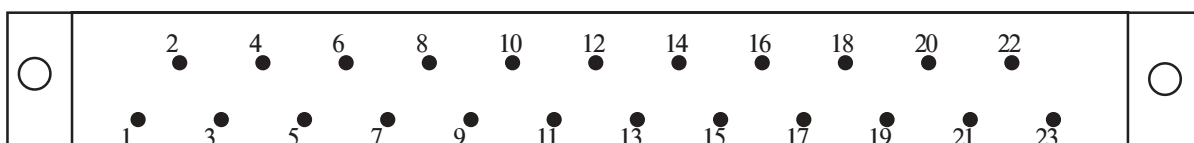
### 4.1. Описание на макета за лабораторно упражнение

Лабораторният макет представлява платка за автоматично регулиране на усилването (APY) (фиг. 4.1), която е закрепена на гетинаксова подложка чрез шини.



фиг. 4.1

От платка е изведен куплунг, който е неподвижно свързан към подложката. Куплунгът се свързва към букси, монтирани на самата подложка. Захранването с електрическа енергия на платката за APY се включва в определените за това букси, като се спазва необходимия поляритет и стойност на захранващите напрежения. Куплунгът има 23 извода, от които само 8 се използват в опитната постановка (фиг. 4.2).



фиг. 4.2

Тези 8 извода имат следното предназначение:

- изводи 10 и 12, които са свързани общо – нулата за захранващия източник на 24 V и 48 V, които са свързани с проводник към съответната буква (                    ), монтирани на гетинаксовата подложка;
- извод 11 – захранващо напрежение -48V, чрез проводник е свързан към буква с означение „-48V“;
- извод 13 – захранващо напрежение -24V, чрез проводник е свързан към буква с означение „-24V“;
- изводи 20, 21 – вход на регулатора. Свързани чрез проводник към буксите, означени с „ВХОД“;
- изводи 22, 23 – изход на регулатора. Свързани чрез проводник към буксите, означени с „ИЗХОД“.

Към двете букси, означени с „ВХОД“ се свързва генератор, от който се подава към изследваното устройство сигнал с контролна честота 84,08 kHz и ниво -56 dB, към букси „ИЗХОД“ се включва нивоизмерител. Тази опитна постановка се използва за изпълнение на трите задачи в лабораторното упражнение, което ще бъде описано по-долу.

На платката за АРУ е монтиран светодиод (панелна лампа DS1), предназначен за визуална сигнализация при повишаване или понижаване на границите на регулиране на АРУ.

## ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ №

### ***Изследване на система за автоматично регулиране на усилването***

Целта на упражнението е да се изследват основните свойства на системите за автоматично регулиране на усилването (АРУ) в многоканалните уплътнителни системи.

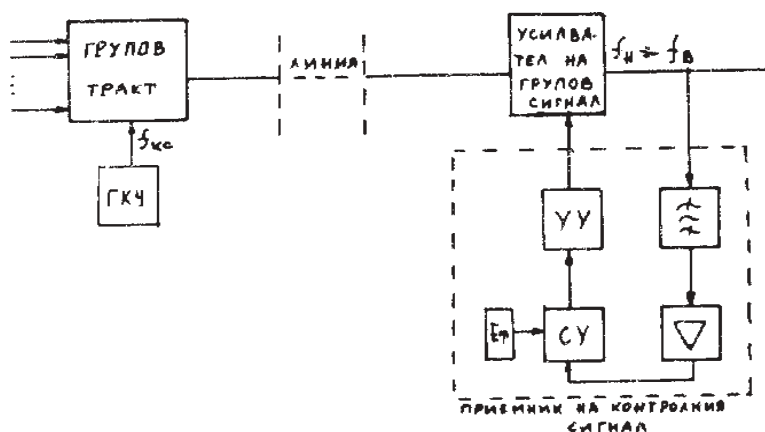
#### **I. Кратки теоретични бележки**

Системите за автоматично регулиране на усилването (АРУ) компенсират временните изменения на остаъчното затихване на предавателния тракт. Така качеството на пренасяне на сигналите се увеличава. Най-честата причина за изменение на остаъчното затихване е изменението на затихването на въздушните и кабел-ните преносни линии, поради промяна на метеорологичните условия. Например, затихването на усилвателен участък от въздушна линия от медни проводници при честота 143 kHz може да се измени с около 70-80 dB, а при кабелна линия с дължина 100 km при промяна на температурата на земята с 25 °C, ще се предизвика промяна на затихването с близо 10 dB при честота 252 kHz.

Такива промени на затихването се компенсират от системи за АРУ. Те изменят както големината, така и честотната зависимост на усилването на груповите или линейни усилватели в съответствие с изменението на затихването на съответните усилвателни участъци. Системите за АРУ се поставят в крайните и в междинните станции. В зависимост от управлението системите за АРУ биват:

- системи с управление в зависимост от температурата на околната среда (земно АРУ, използващо различни видове температурни датчици);
- системи с управление от специални контролни сигнали

На фиг. 4.2 е показана блокова схема на АРУ, използвана стандартна 12-канална първична група, управлявана от *специален контролен сигнал*.



фиг. 4.2

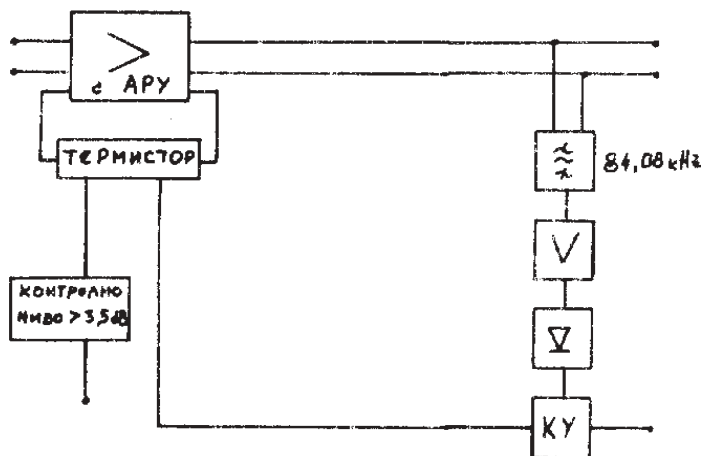
Контролният сигнал се въвежда в груповия тракт на предавателната крайна станция А от генератор на пилотен сигнал. специален приемник на този сигнал въздейства върху усилването на усилвателя , усилващ груповия сигнал, в крайната станция Б. Основните елементи на приемника на контролен сигнал са: теснолентов кварцов филтър, отделящ контролния сигнал, усилвател, сравняващо устройство СУ за сравнение на приетия контролен сигнал с еталонен сигнал Ет и управляващо устройство УУ, коригиращо усилването на усилвателя.

## II. Методически указания по изпълнение на експерименталната част

За експериментални изследвания на свойствата на системата за АРУ ще се използва системата за АРУ на 12-канална уплътнителна система с честотно деление на каналите.

Изменението на усилването на приемния групов усилвател се извършва чрез вградено в него регулиращо устройство, в случая термистор, поставен в обратната връзка на усилвателя. Това показва, че изследваната система с АРУ е от статичен тип с непрекъснато действие. Управлението на термистора се извършва посредством теснолентов кварцов филтър, определящ контролния сигнал 84,08kHz, усилвател, изправител, командно устройство (КУ), управляващо усилвателя на

сигнала за отопление на термистора и устройство за контрол на нивото на входния сигнал (фиг. 4.3).



фиг. 4.3

Описаните до тук възли се характеризират със следните по-важни особености. Термочувствителният елемент на термо-съпротивлението се нагрява индиректно. Теснолентовият кварцов филтър за отделяне на контролния сигнал и следващите след него усилвател и детекторно устройство са осъществени посредством класически схеми и не се отличават с никакви особености. Блокът КУ изработва еталонно напрежение, извършва сравнение между еталонното напрежение и изправения контролен сигнал и посредством усилвател управлява тока, погриващ термистора. Освен това, при значително намаляване на нивото на контролния сигнал в КУ се изработва команда отсъствие на контролен сигнал (Cde Mg Pil), което се подава към специално устройство за бързо откриване на прекъсване. То от своя страна включва светлинна сигнализация за отсъствие на контролен сигнал. устройството за контрол на нивото сигнализира посредством външна оптична сигнализация в случай че нивото на входа на АРУ е по-малко или по-голямо с повече от 3,5 dB от неговата номинална стойност. За изработване на по-горе описаната команда като източник на информация се използва стойността на термистора в обратна връзка на усилвателя с АРУ.

Изследванат схема за АРУ има следните по-важни технически данни:

- честота на контролния сигнал 84,08 kHz;
- граници на регулиране на нивото на входния сигнал  $\pm 3,5$  dB;
- точност на регулиране 0,4 dB;
- номинално входно ниво по напрежение на усилвателя с АРУ  
 $p_{\text{ном вх}} = -36$  dB/ 150  $\Omega$ ;
- номинално изходно ниво по напрежение на усилвателя с АРУ:  
 $-39$  dB/ 150  $\Omega$ ;
- номинално ниво по напрежение на сигнала с контролна честота  
 84,08 kHz на изхода на усилвателя с АРУ:  $-59$  dB/  
 150  $\Omega$ ;

### III. Задание по експерименталната част

1. Да се изследва точността на регулиране на изучаваната система за АРУ.
2. Да се изследва зависимостта на сигнала на изхода на системата за АРУ от изменението на честотата на контролния (пилотен) сигнал на входа на системата за АРУ.
3. Да се определи обхвата на регулиране на нивото на сигнала от системата за АРУ, както и нивото на задействане на визуалната сигнализация на системата.

### IV. Методични указания за изпълнение на заданието

По т.1 От генератора се подава към изследваното устройство в букси 1-1 сигнал с контролна честота 84,08 kHz и ниво -56dB. стойността на нивото може да се провери непосредствено с нивоизмерител, поставен в „широколентов режим“ на работа с входно съпротивление  $R_{\text{вх}} = 150 \Omega$ . След това към изхода на опитната постановка, в букси 2-2 се включва нивоизмерител, поставен „теснолентов режим на работа“ с  $R_{\text{вх}} > 5 \text{ k}\Omega$ . Захранването с електрическа енергия на системата за АРУ се включва в определените за това букси, като се спазва необходимия поляритет и стойност на захранващите напрежения.

Нивото на контролния сигнал започва да се изменя съгласно стойностите, зададени в табл.1, като с нивоизмерител се отчита

изменението на нивото на контролния сигнал (-59 dB) на изхода на УАРУ. Същевременно да се следи състоянието на светлинната сигнализация със светодиода. Получените резултати се нанасят в табл.1 и се представят в графичен вид.

Таблица 1

|                            |    |     |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|----|-----|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $p_{\text{вх.с.}}$         | dB | -56 | -55,1 | -54,25 | -53,4 | -52,5 | -51,6 | -47,1 | -56,5 | -57,4 | -58,6 | -59,5 | -60,3 | -61,2 | -65,1 |
| $\Delta p_{\text{вх.с.}}$  | dB | 0   | -0,9  | -1,7   | -2,6  | -3,5  | -4,3  | -8,2  | +0,9  | +1,7  | +2,6  | +3,5  | +4,3  | +5,2  | +9,1  |
| $p_{\text{изх.с.}}$        | dB |     |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| $\Delta p_{\text{изх.с.}}$ | dB |     |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

По т.2 При запазване на измерителната постановка с подаден на входа контролен сигнал с честота  $f=84,08$  kHz и ниво -56 dB да се изменя постепенно честотата на контролния сигнал, като се следи изменението на нивото на изходния сигнал, отчитан от нивоизмерителя и състоянието на аварийната сигнализация. Получените резултати се нанасят в табл.2

Таблица 2

|                  |     |    |    |    |    |    |     |     |
|------------------|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| $f$              | kHz | 10 | 20 | 50 | 60 | 80 | 100 | 120 |
| $p_{\text{изх}}$ | dB  |    |    |    |    |    |     |     |

По т.3 При запазване на измерителната постановка с измервания, аналогични на тези в т.1 да се определи нивото на задействане на светодиода на системата за АРУ т.е. на визуалната сигнализация за превишаване границите на регулиране на АРУ и да се определи обхвата на регулиране на системата.



## **V. Контролни въпроси**

1. Защо е необходимо да се използват системите за АРУ в многоканални уплътнителни системи?
2. Кои са основните елементи на приемане на контролния сигнал?
3. Как функционира приемникът на сигнала с контролна честота?
4. Какво е предназначението на устройството за бързо откриване на прекъснат контролен сигнал?
5. Къде се генерира контролния сигнал при системи за АРУ, управлявани от контролен сигнал?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многоканалните уплътнителни съобщителни системи позволяват по една съобщителна двупроводна линия да се организират голям брой съобщителни връзки (телефонни, телеграфни и др.), които работят едновременно и независимо една от друга, т.е. позволяват да се увеличи многократно използваемостта (ефективността) на скъпо струващите съобщителни линии. Тези съобщителни системи представляват комплекс от слони и доста разнообразни електронни технически средства, в които се осъществява специална и сложна обработка на първичните съобщителни сигнали (преобразуване по честота, филтриране, усилване и др.). Доброто познаване на тези процеси, както и електронните устройства, в които се извършват те, позволява както добрата експлоатация на многоканалните уплътнителни съобщителни системи, така и качествено им проектиране, разработване и произвеждане.

В дипломната работа са разгледани особености на преносните среди и основните им характеристики.

Анализирани са методите за уплътняване на линейните трактове, като е обърнато внимание предимно на принципа на уплътняване с честотно разделяне на каналите и принципа на уплътняването с разделяне на каналите по време. Разгледано е устройство за автоматично регулиране на усилването в аналогова уплътнителна телефонна система К-12-В. Разработено е лабораторно упражнение, което дава възможност чрез експериментални изследвания да се анализира работата на система за автоматично регулиране на усилването (АРУ) в линейен тракт на системата К-12-В.

Дипломната работа може да се използва в процеса на обучение на студентите и за запознаване с основните свойства на системите за АРУ в уплътнителни телефонни системи.

## ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Бичев, Г. Линийни съобщителни трактове, С., 1985
2. Димова, Р. Мутафов, Б. Уплътнителна съобщителна техника. Ръководство за лабораторни упражнения, Варна, 1991
3. Маринов, Мл. Уплътнителни телефонни системи тип УТС – 100, С., 1996
4. Николов, Б. Уплътнителна съобщителна техника, изд. Техника, 1993
5. Пашова, М. Съвременни системи за достъп, С., 1999
6. Пулков, Вл. Ръководство за лабораторни упражнения по мултиплексни системи, С., 1996
7. Стоянов, Г. Комуникационна техника, изд. Техника, 1990
8. Тодоров, П. Съвременни съобщителни системи изд. Техника, 1989

# **ПРИЛОЖЕНИЕ I**



