

1. Принципы построения ЕСЭ РФ

ЕСЭ РФ – это сеть электросвязи, состоящая из расположенных на территории РФ сетей связи следующих категорий:

- Сетей общего пользования – сеть, открытая для пользования всем физическим и юридическим лицам. Эти сети отличаются широкой разветвленностью и охватывают всю территорию страны и обслуживают основной контингент населения (телеграф, телефон)
- Сетей ограниченного (частного) пользования – доступ к таким сетям возможен только для определенного контингента абонентов (вневедомственные сети)

Архитектура включает в себя три уровня:

- 1) Комплекс средств, обеспечивающий предоставление пользователям услуг электросвязи
- 2) Вторичные сети связи, обеспечивающие транспортировку, коммутацию, распределение сигналов в службах электросвязи
- 3) Первичные сети, снабжающие вторичные сети каналами передачи и физическими цепями

<i>Первичные сети</i>	<i>Вторичные сети</i>
<u>Это</u> совокупность линий передачи, сетевых узлов и сетевых станций, образующих сеть типовых каналов передачи и сетевых трактов	<u>Это</u> сети, для которых основой построения служат первичные сети
<u>Сетевые узлы</u> организуются на пересечении нескольких линий передачи, в них устанавливается каналообразующая аппаратура систем передачи и осуществляется переключение каналов или их групп, принадлежащих разным системам <u>Сетевые станции</u> являются оконечными устройствами первичной сети и предназначены для подключения потребителей к этой сети <u>По территориальному принципу подразделяется:</u> • магистральная (соединяет все областные и республиканские центры, протяженность 12500) • внутризоновая (соединяет районные сети данной области друг с другом и с областным центром, протяженность 600 км) • местные (ограничены территорией города, протяженность 100 км) На первичной сети широко используются системы ЧРК, ВРК и цифровые системы передачи на основе PDH (плезиохронные системы иерархии), SDH (синхронные системы иерархии) <u>Основной тип каналов</u> – канал тональной частоты; для передачи сигналов с широким спектром частот создаются широкополосные каналы передачи: первичные (12 каналов ТЧ) и вторичные (60 каналов)	<u>Различают по виду передаваемых сообщений</u> (телефонную, телеграфную, передачи данных, звуковое вещание и т.д.) Если на узлах первичной сети установить кроссовые соединения (долговременные соединения, устройства ввода/вывода), то на базе первичной сети будет создана вторичная некоммутируемая сеть (связь постоянно). На базе некоммутируемой вторичной сети образуются вторичные коммутируемые сети (соединение по вызову). <u>Вторичные сети имеют различную структуру:</u> • радиальные («звезда», используются на небольших территориях) • «каждый с каждым» (несколько путей соединения) • комбинированные

Общим признаком сетей ЕСЭ РФ является охват их общим централизованным управлением.

Базируется на:

- Проведение единой технической политики
- Применение единого комплекса максимально унифицированных технических средств
- Единая номенклатура типовых каналов и сетевых трактов
- Единые системы технической эксплуатации

2. Логарифмические единицы передачи

Используют для упрощения расчетов и простоты сравнения. Вместо величин мощности, напряжения и тока, выраженных в ваттах, вольтах и ампера, используют логарифмы отношений этих к условным величинам, принятым за отсчетные. Относительные единицы, выраженные в логарифмической форме, называются уровнями передачи (если десятичный логарифм, то [дБ]; если натуральный логарифм, то [Нп]; связь $1\text{Нп}=8.69\text{дБ}$, $1\text{дБ}=0.115\text{Нп}$)

Уровень по мощности	Уровень по напряжению	Уровень по току	$P_x = P_0 \cdot 10^{0,1 P_M}$ $U_x = U_0 \cdot 10^{0,05 P_H}$ $I_x = I_0 \cdot 10^{0,05 P_T}$
$P_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0}, \text{дБм}$	$P_H = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}, \text{дБн}$	$P_T = 20 \lg \frac{I_x}{I_0}, \text{дБт}$	

- абсолютные уровни** – если за исходные данные приняты следующие значения:

$P_0=1\text{мВт}$ ($\text{мВ} \cdot \text{А}$), $U_0=0.775\text{В}$, $I_0=1.29\text{мА}$, $R_0=600\text{Ом}$ (тогда $P_M = P_H = P_T$)

$$P_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \left[\frac{U_x^2}{|Z_x|} \cdot \frac{|Z_0|}{U_0^2} \right] = 20 \lg \frac{U_x}{U_0} + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right| = P_H + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right|, \text{дБм}$$

$$P_M = 10 \lg \frac{P_x}{P_0} = 10 \lg \left[\frac{I_x^2}{|Z_x|} \cdot \frac{|Z_0|}{I_0^2} \right] = 20 \lg \frac{I_x}{I_0} + 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right| = P_T - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right|, \text{дБм}$$

$$P_H = P_T - 20 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_x} \right|, \text{дБн}$$

- относительные уровни** – разность абсолютных уровней в точке x и опорной точке y (в качестве нее используют начальную точку входа канала) $P_H = P_x - P_{\text{вх}}$
- измерительные уровни** – абсолютный уровень в точке x, при условии, что подключаем генератор гармонических колебаний с ЭДС=1.55В с рекомендованными параметрами (для телефонного сигнала 0дБ, с частотой 1020Гц или 800Гц)

Положительные уровни (соответствует усилению)	$P_x, U_x, I_x > P_0, U_0, I_0$	$A_{M_p} = 10 \lg \frac{P_{\text{вх}}}{P_{\text{вых}}} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}$
Отрицательные уровни (соответствует затуханию)	$P_x, U_x, I_x < P_0, U_0, I_0$	$S_{M_p} = 10 \lg \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}$
Нулевые уровни	$P_x, U_x, I_x = P_0, U_0, I_0$	

Соотношения между уровнями сигнала на входе и выходе канала определяет его остаточное затухание, которое представляет собой рабочее затухание, определяемое при условии замыкания входа и выхода канала на активные сопротивления нагрузки:

$$A_{\text{ост}} = A_r = \sum_i A_{p_i} - \sum_k S_{p_k}$$

Защищенность сигнала от помехи - характеристика качества связи, чем больше ее значение, тем лучше:

$$A_3 = 10 \lg \frac{P_{\text{сигнала}}}{P_{\text{помехи}}} = P_{\text{сигнала}} - P_{\text{помехи}}$$

3. Диаграмма уровней

Это график, показывающий распределение измерительных уровней по мощности вдоль линии. Нужна для того, чтобы при проектировании знать об изменении энергии сигнала при его передачи

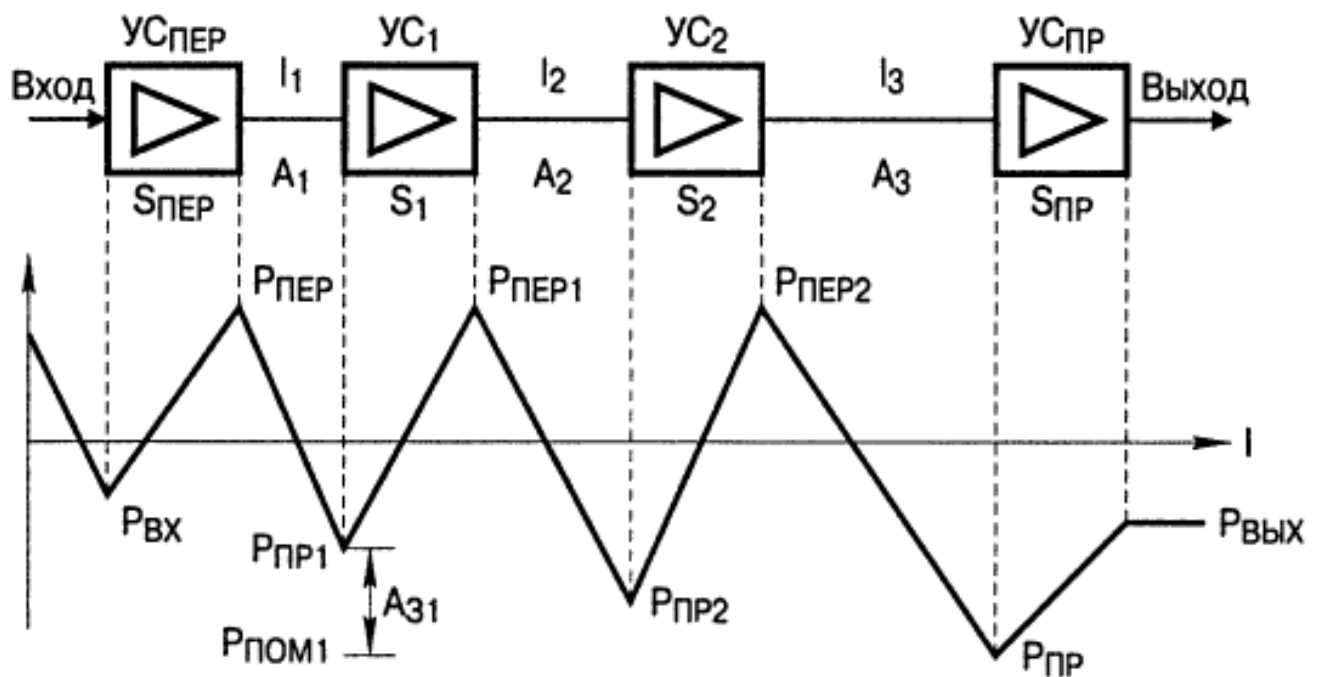
- Внешняя (распределение вдоль линии канала)
- Внутренняя (распределение внутри аппаратуры)

По диаграмме можно судить следующее:

- если пойдет переусиление сигнала (резко вверх), то появятся нелинейные искажения (гармоники 2,3 порядка), их источник усилитель
- если пойдет недоусиление (резко вниз), то возникает собственная помеха (внутри аппаратуры), связь может прекратиться, ее источник усилитель

Виды помех:

- Аддитивная (посторонний сигнал накладывается на полезный)
- Мультипликативная (случайное изменение коэффициента передачи $K_m = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$ во времени)
- Внутренняя (внутри узлов) и внешняя (гроза)
- Непрерывная (аналоговый сигнал)
- Импульсная (цифровой сигнал)



4. Основные характеристики первичных сигналов

Электрический сигнал, получаемый на выходе преобразователя сообщения, называется первичным сигналом электросвязи

Длительность	Определяет интервал времени, в пределах которого сигнал существует
Средняя мощность	$W_{cp} = \frac{1}{TR} \int_0^T U^2(t) dt = W_{max} - W_{min}$ Где Т – период усреднения, R – сопротивление нагрузки, на которой определяется средняя мощность сигнала Где W_{max}, W_{min} - эквивалентные мощности сигнала (максимальная мощность – вероятность превышения которой близка к 1; минимальная мощность – вероятность превышения которой близка к 0)
Эффективная энергетическая ширина спектра	$\Delta F = F_{max} - F_{min}$
Динамический диапазон сигнала	$D = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_{min}} = P_{max} - P_{min}$
Пик-фактор сигнала, дБ	$Q = 10 \lg \frac{P_{max}}{P_{cp}} = P_{max} - P_{cp}$
Объем первичного сигнала	$V_c = T \Delta F$
Количество информации переданной за единицу времени, бит/с	$I_c = 3.32 \eta \Delta F \lg(1 + W_{cp} / W_{помехи})$ где η – коэффициент активности (отношение влияния активности источника на общее влияние разговора); ΔF – эффективно передаваемая полоса частот
Защищенность сигнала	$A_z = 10 \lg(P_{сигн} / P_{помех}) = P_{сигн} - P_{помех}$

- **аналоговый (непрерывный) сигнал**, у которого величины могут принимать непрерывное множество состояний
- **дискретный сигнал**, у которого величины одного из представляющих параметров квантуется, т.е. имеет счетное множество состояний
- **цифровой сигнал**, которого счетное множество величин одного из представляющих параметров описывается ограниченным набором кодовых комбинаций. Классификация по виду передаваемых сообщений: телефонные сигналы, сигналы звукового вещания, сигналы передачи данных и телеграфии, телевизионные сигналы и др.

$$\frac{F_{max}}{F_{min}} \leq 2 \text{ — сигнал узкополостный}$$

$$\frac{F_{max}}{F_{min}} \gg 2 \text{ — сигнал широкополостный}$$

5. Основные характеристики телефонного (речевого) сигнала

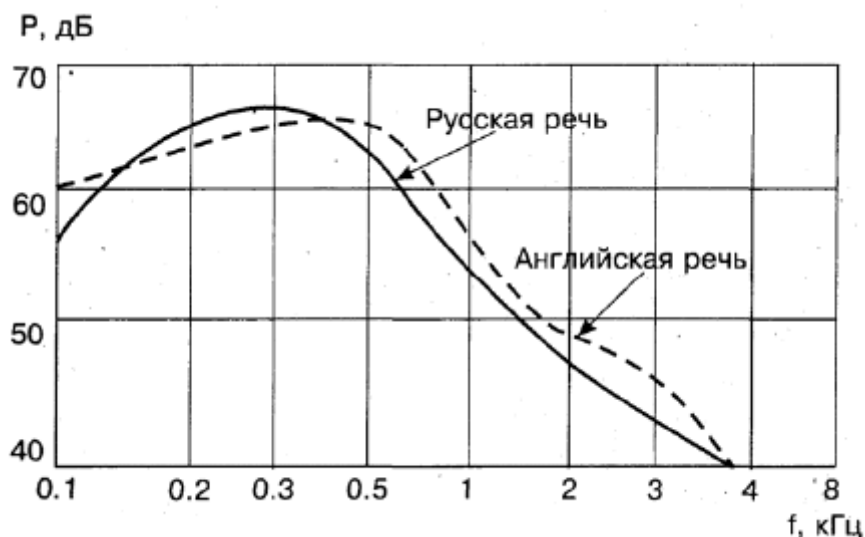
Речевой сигнал представляет собой последовательность звуковых импульсов и пауз

- вокализованные (гласные, звонкие согласные (длительные и мощные))
- невокализованные (фрикативные (шум) и взрывные (скачок давления))

Частота основного тона лежит в пределах от 50...80 Гц (очень низкий голос) до 200...250 Гц (женские и детские голоса)

Эффективная полоса частот для телефонного сигнала	$\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$ (0.3-3.4 кГц)
Энергетический спектр	Область частот, где содержится максимальная энергия (300...3400 Гц)
Средняя мощность телефонного сигнала (зависит от затухания абонентской линии, от манеры говорить, от отдачи микрофона)	$W_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt = W_{\max} - W_{\min}$ (88 мкВт)
Динамический диапазон телефонного сигнала	$D = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = P_{\max} - P_{\min}$ (25-45 дБ)
Пик-фактор телефонного сигнала	$Q = 10 \lg \frac{P_{\max}}{P_{\text{ср}}} = P_{\max} - P_{\text{ср}}$ (14-17 дБ)
Количество информации переданной за единицу времени	$I_{\text{с}} = 3.32 \eta \Delta F \lg(1 + W_{\text{ср}} / W_{\text{помехи}})$ где η – коэффициент активности (отношение влияния активности источника на общее влияние телефонного разговора, 0.25-0.36)

Частота основного тона	50 – 80 Гц
Импульс основного тона	≈ 40 гармоник
Амплитуда	Убывает со скоростью 12 дБ/октаву $\Delta F = 3400 - 300 = 3,1$ кГц



6. Основные характеристики нетелефонных сигналов

Звуковое вещание – представляет собой чередование сигналов: речевой, музыкальное сопровождение, художественное чтение. Источником являются высокочастотные микрофоны	
Эффективная ширина спектра 15Гц-20кГц	сильно зависит от жанра (ширина полосы пропускания, установленный стандарт:30Гц-15кГц)
Значение средней мощности При усреднении за час 923 мкВт	сильно зависит от интервала усреднения
Динамический диапазон (самый большой у симфонического оркестра 60-65 дБ)	широк, т.к. должны быть переданы сигналы разной мощности
Пик фактор до 28дБ	максимальный у симфонического оркестра, такой сигнал сложно записать и передать
Количество информации 140-200 кбит/с	зависит от ширины спектра

Телевизионный (видео) сигнал – сигнал подвижного изображения, основан на последовательной передаче информации по яркости и цвету элементов изображения, также входит сигнал синхронизации. Считывается с фотолинки в процессе развертки (в одном кадре четные строки, в другом нечетные)	
Эффективная ширина спектра $f=1/2T$, T – длительность одного элемента (6 Гц - 6.5 МГц)	достаточно первой гармоники для передачи такого сигнала
Защищенность сигналов	48 дБ
Число градаций яркости	100
Динамический диапазон	40 дБ
Пик-фактор	до 4,8 дБ
Количество информации	80 Мбит/с

Факсимильный сигнал – обеспечивает передачу неподвижных изображений (фотографии, чертежи, газеты и т.д.). Получают при помощи процесса электрооптической развертки неподвижного изображения (преобразование светового потока, отражаемого элементами изображения, в электрический сигнал)	
Эффективная ширина спектра от 0 до f_c $f_c = \frac{\pi DN}{120d}$	f_c определяется характером передаваемого изображения, скоростью развертки (вращения барабана) и размером анализирующего светового пятна
Динамический диапазон	для передачи полутоновых изображений 25 дБ
Пик-фактор	до 4,8 дБ
Защищенность	для передачи полутоновых изображений 35 дБ
Количество информации	(для газетной полосы): 360 кбит/с

7. Принципы построения канала двустороннего действия

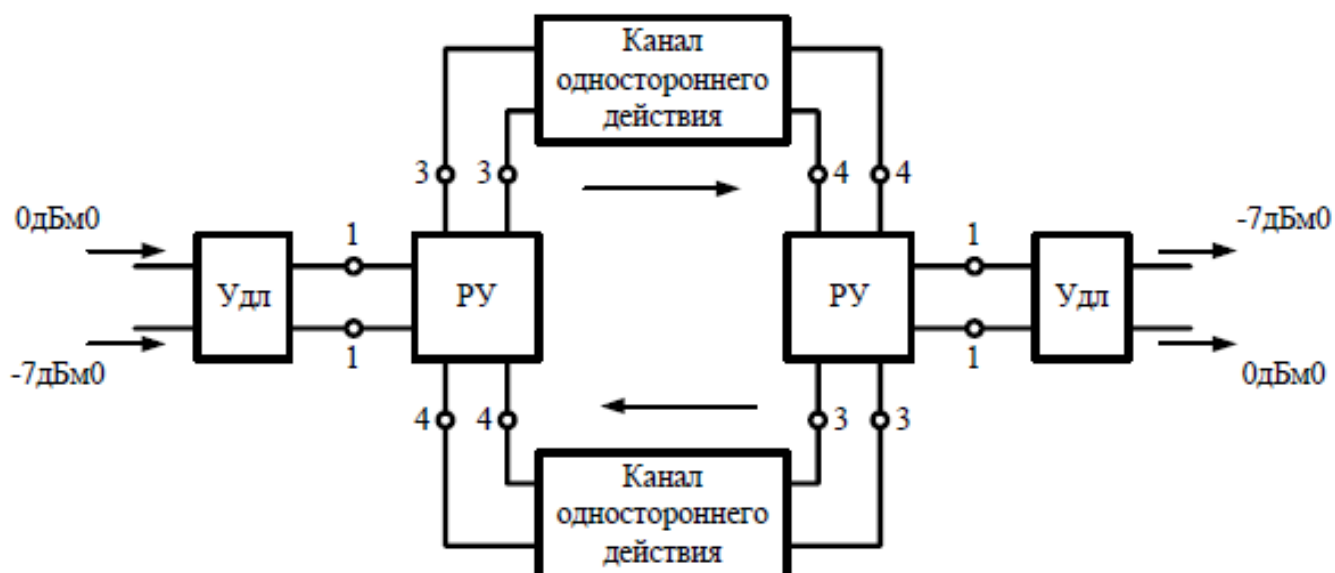
В качестве основного типового аналогового канала принят канал тональной частоты (ТЧ) с полосой пропускания $0,3 \dots 3,4$ кГц соответствующий ширине спектра телефонного сигнала

Отдельно взятый канал ТЧ является односторонним или симплексным, так как содержит устройства одностороннего действия, например усилители. Для обеспечения двухсторонней связи объединяют два встречных симплексных канала, они образуют один дуплексный канал, называемый каналом ТЧ с четырехпроводным окончанием

Основным элементом двухпроводного канала ТЧ помимо симплексных элементов являются:

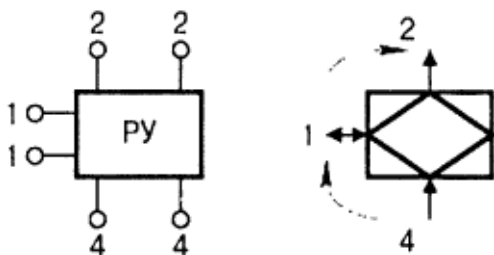
- Оконченная диф. система (ДС), обеспечивающая переход от двухпроводного окончания к четырехпроводному окончанию. Основным требованием к ДС – не допустить проникновение сигнала из одного направления передачи в другое. В противном случае в дуплексном канале возможно возникновения генерации или самовозбуждения. Если диф. система сбалансирована будет вносить затухания между направлением приема и передачи, тем самым ослабляя паразитную обратную связь
- Удлинитель, четырехполюсники, вносящие затухания. Особое значение имеет транзитный удлинитель ТУ с затуханием 3,5 дБ каждый. (ТУ улучшает балансировку дифференциальной системы, имеет затухание 3,5 дБ и препятствует возникновению таких чрезвычайных ситуаций, как ХХ и КЗ, ослабляет отраженный сигнал, который возникает из-за не полного согласования линии с абонентскими устройствами)

Для двухпроводного канала измерительные уровни на входе и выходе канала равны $R_{вх}=0\text{дБм0}$, $R_{вых}=-7\text{дБм}$, тогда остаточное затухание $A_{ост} = R_{вх} - R_{вых} = 7\text{дБ}$. Если включить последовательно два канала, то остаточное затухание такого канала окажется равным 14дБ, а это не допустимо. Сохранить остаточное затухание равным 7дБ можно при помощи транзитного удлинителя (его основное назначение – отключение при транзите). О линейных искажениях судят по АЧХ (зависимость остаточного затухания от частоты), ФЧХ, чтобы их не было надо устранять зависимость от частоты, добиться линейности ФЧХ



8. Дифференциальная система

Развязывающее устройство, построенное на принципах уравновешенных сбалансированных мостовых схем, называются дифференциальными системами



представляет собой многополюсник (6-ти)

Идеальным развязывающим устройством называется устройство, у которого:

- Отсутствуют затухания в направлении передачи $A_{1-2} = A_{4-1} = 0$
- Обладает бесконечно большим затуханием в направлении развязки $A_{4-2} = A_{2-4} = \infty$
- Входные сопротивления со стороны зажимов 1-1, 2-2, 4-4 должны обеспечивать согласованное напряжение нагрузки
- Отсутствие различного рода искажений при передаче сигнала

Развязывающее устройство обратимое, если $A_{1-2} = A_{2-1}$ и $A_{4-1} = A_{1-4}$

- Равноплечая ДС ($m=1$) обеспечивает переход из двухпроводного тракта в четырехпроводному, организация усилителя однонаправленного действия
- Неравноплечая ДС ($m \neq 1$) применяется при параллельной работе фильтров в приемнике тонального вызова (разделение разговорного тракта от приемного), при подачи в тракт контрольных и измерительных частот

$$n = \frac{W_c + W_d}{W_a}; m = \frac{W_d}{W_c}$$

Основные параметры ДС:

- Входное сопротивление со стороны зажимов (чтобы согласовывалось направление)
- затухание, вносимое ДС в разные направления

ДС может использоваться в качестве развязывающего устройства:

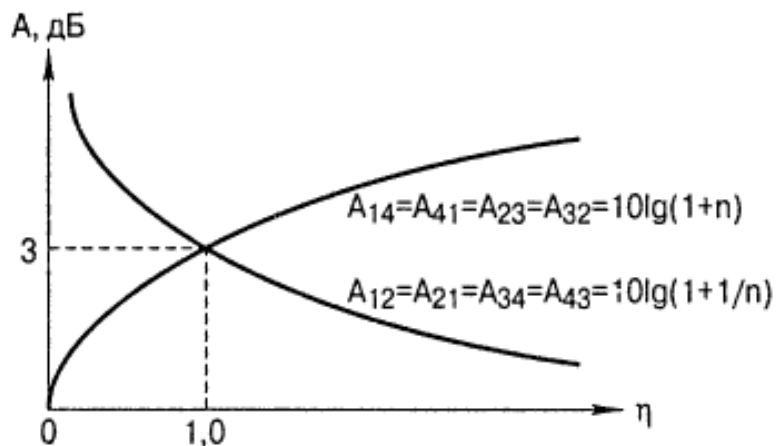
- **линейные**
- **построенные на пассивных элементах** (параметры не будут зависеть от времени и от уровня передачи)
- **линейные, построенные на активных элементах** (параметры не будут зависеть от времени и от уровня передачи)
- **параметрические** (параметры элементов зависят от времени и меняются по уровню)

	Трансформаторная ДС	Резисторная ДС
схема		
+	- Небольшое затухание в направлении пропускания (приема передачи) - Отсутствие гальванических связей между полюсами подключаемых нагрузок - Возможность согласованного подключения до 4-х различных сопротивлений	- Простота изготовления, малые габариты и низкая стоимость - Отсутствие нелинейных искажений - Равномерная частотная характеристика затухания во всех направлениях затухания - Наличие трех направлений пропускания при советующей конфигурации
–	- Наличие амплитудных искажений, вносимых трансформатором - Для получения характеристического (частотного) затухания необходимо увеличить число обмоток индуктивности, следовательно, большие размеры и габариты	- Сравнительное большое затухание в направлении пропускания - Наличие гальванических связей между сопротивлениями

Определение входных сопротивлений ТДС:

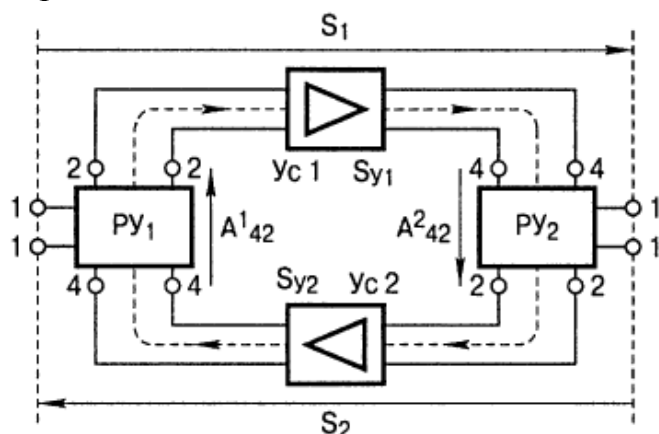
Определение затуханий ТДС:

1-1	$z_{11} = z_2 \frac{\eta \cdot n^2}{1 + \eta}$
2-2	$z_{22} = z_1 \frac{1 + \eta}{\eta \cdot n^2}$
3-3	$z_{33} = \frac{z_1}{\eta}$
4-4	$z_{44} = z_1 \frac{1}{1 + \eta}$



9. Одиночная замкнутая система

При построении двухсторонних каналов неизбежно возникновение замкнутых электрических систем. Их появление обусловлено использованием развязывающих устройств



из-за конечной величины переходного затухания РУ возникает петля обратной связи. Это влияние, при некоторых условиях, может привести к самовозбуждению ОЗС (один из усилителей становится генератором, и в этом случае передача становится невозможной)

S_{y1}, S_{y2} - усиление между полюсами 22-44

S_1, S_2 – рабочее усиление усилителей, соответствующего направления передачи между полюсами 11 R_{y1}, R_{y2}

Определим условия устойчивости ОЗС, воспользовавшись условием критерий Найквиста: система с ОС самовозбудится, если одновременно будут выполнены два условия для разомкнутой петли обратной связи:

- Условие амплитуд, т.е. сумма усиления в разомкнутой цепи обратной связи больше или равна сумме затуханий по этой же петле $\sum_{i=1}^k S_i = \sum_{j=1}^l A_j$
- Условие фаз, т.е. сумма фазовых сдвигов, вносимых устройством, образующих петлю обратной связи $\sum_{i=1}^n 2\pi n, n=0, 1, 2, \dots$

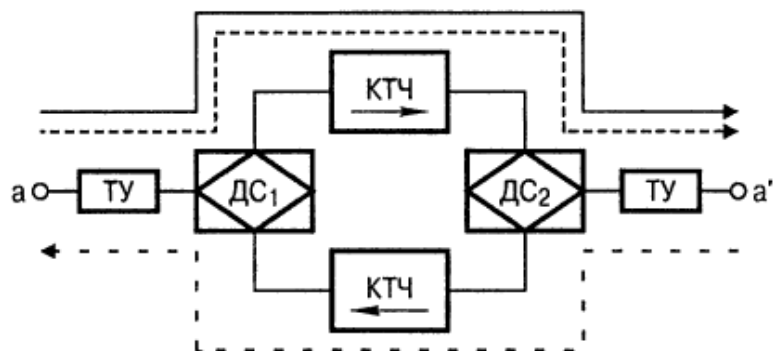
Система устойчива, если $\sum_{j=1}^l A_j > \sum_{i=1}^k S_i$

Запас устойчивости – величина, показывающая, на сколько сумма затухания больше суммы усиления $\chi = (A_{42}^1 + A_{42}^2) - (S_{y1} + S_{y2})$

Устойчивость – величина, показывающая, на сколько можно увеличить усиление усилителей S_{y1} и S_{y2} , чтобы одиночная замкнутая система самовозбудилась

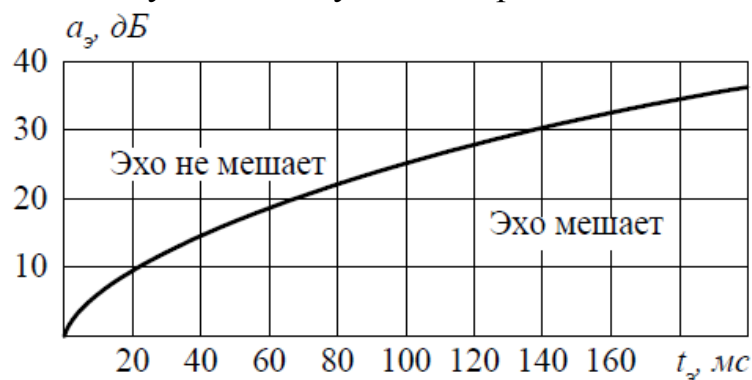
(предположение, что система фаз выполняется) $\sigma = \frac{A_{42}^1 + A_{42}^2}{2} + \frac{S_{y1} + S_{y2}}{2} = \frac{\chi}{2}$

10. Электрическое эхо в телефонных каналах



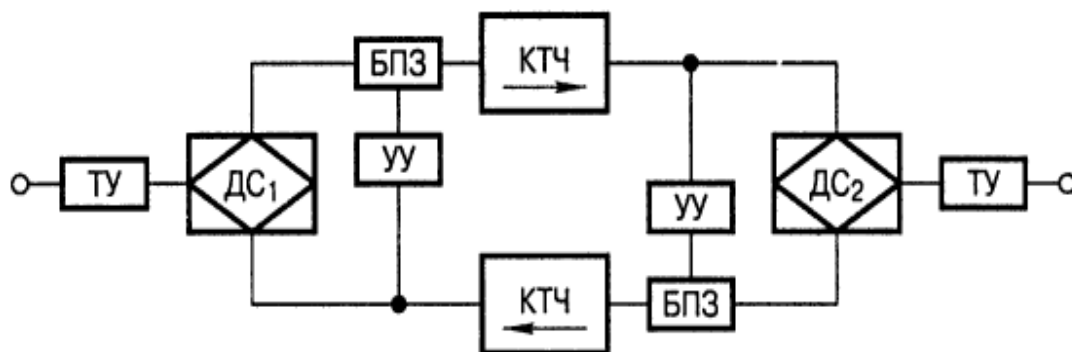
Параметры помех:

- Промежуток времени между поступлением звука и поступлением эха сигнала (ГВП – групповое время прохождения определяется конечной скоростью распространения сигналов по физической среде передачи, и оборудованию каналов тракта)
- Затухание на пути эха определяет мощность эхо-сигнала $A_{\text{эхо}} = 2A_r + A_l = 19\text{дБ}$



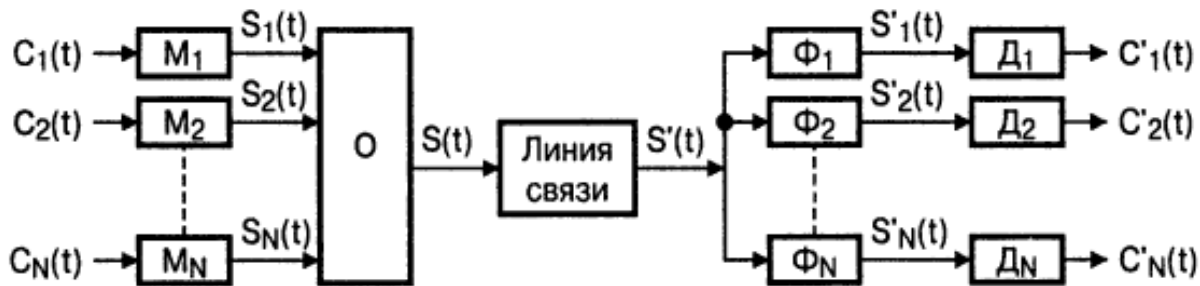
Если мешающее затухание ощутимо, используют эхоподавляющие устройства:

- Самобалансирующие (адаптивные) дифсистемы – предполагает увеличение затухания на пути токов эха. С помощью автоматической регулировки сопротивления балансного контура. Но, невозможность компенсации эхосигналов из-за отражения в абонентском тракте
- Эхокомпенсаторы – имеют высокое качество связи
- Эхозагородители – не подавляют слабые токи эха (из-за наличия в каналах шумов нет возможности применять эхозагородители с высокой чувствительностью); при включении эхозагородителей ухудшается качество связи



11.Обобщенная структура МСП

Многоканальной системой передачи (МСП) называют совокупность технических средств, обеспечивающих одновременную и независимую передачу однотипных или разнотипных сообщений от N источников к N получателям по одной линии связи

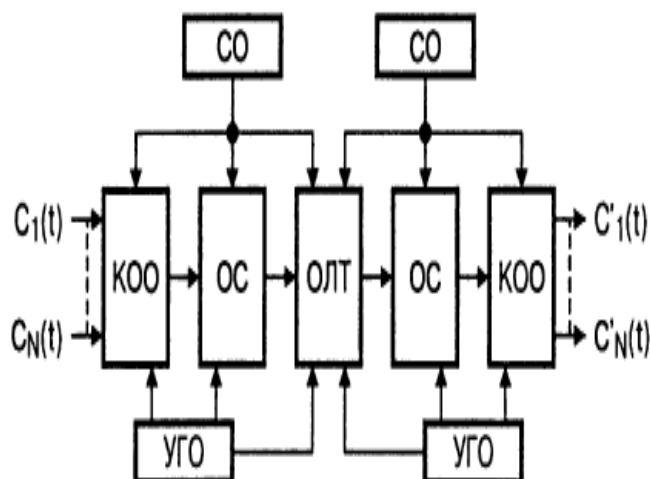


Первичные сигналы $C_i(t)$, спектры частот которых частично или полностью перекрываются, поступают в передающую часть систем передачи, где с помощью модуляторов преобразуются в каналные сигналы $S_i(t)$

- Каждый каналный сигнал $S_i(t)$ определяется совокупностью физических признаков, отличающих его от остальных каналных сигналов. Эти признаки или параметры называются *разделительными*
- Их необходимо сформировать так, чтобы они содержали сведения о форме первичных сигналов, поступающих на входы каналов

Многоканальный (групповой) сигнал $C(t)$ получается объединением каналных сигналов в устройстве объединения O

- Аддитивные – системы передачи, где групповой сигнал представляет собой сумму каналных сигналов
- Комбинационные – системы передачи, в которых групповой сигнал формируется другими операциями



СО	Обеспечивает автоматизацию процессов технического обслуживания каналов и трактов систем передачи
Сервисное оборудование	
ОС	Является специфическим для каждой системы передачи и обеспечивает сопряжение КОО с ОЛТ
Оборудование сопряжения	
КОО	Является унифицированным для конкретного типа систем передачи, и предназначен для создания типовых каналов
Каналообразующее оборудование	
ОЛТ	Включает в себя устройства, устанавливаемые на конечных станциях, линию связи и оборудование промежуточных станций
Оборудование линейного тракта	
УГО	Вырабатывает электрические сигналы, необходимые для формирования каналных сигналов и вспомогательные сигналы
Унифицированные генератор оборудования	

12. Амплитудная модуляция (АМ)

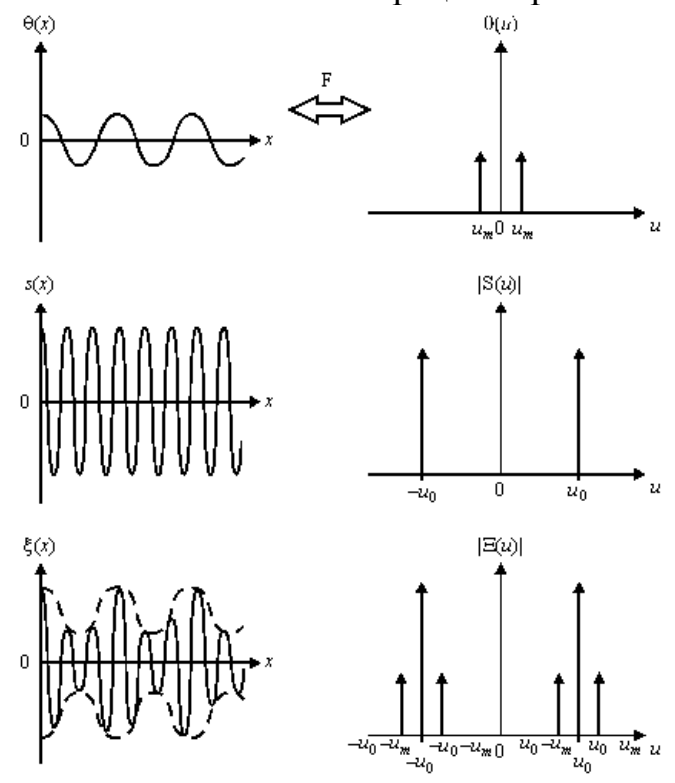
Перенос спектра каждого канала в линейный спектр осуществляется с помощью амплитудной модуляции (изменения амплитуды несущего колебания под воздействием сигнала). АМ позволяет в узкой полосе частот разместить большое количество каналов, отсюда следует что экономично используется линейный спектр

Недостатки АМ: невысокая помехоустойчивость, поэтому ее используют при формировании групповых сигналов, которые несут информацию нескольких каналов в кабельных системах передачи, в которых влияние помех находится на приемлемом уровне. В основном при передаче несущую частоту подавляют, т.к. она потребляет много энергии и полезной информации не несет

	+	—
Две боковые + несущая $U_{AM}(t) = U_0[1 + m \cdot S(t)] \cdot \cos \omega_0 t$	Простота передачи и приема	Низкая помехоустойчивость
Две боковые $U_{БМ}(t) = S(t) \cdot \cos \omega_0 t$	Нет больших затрат мощности (нет несущей)	Необходимость точного восстановления несущей
Одна боковая	Узкая ширина спектра; высокая помехоустойчивость	Сложность ПФ, как выделителя боковых
Одна боковая + несущая		Низкая помехоустойчивость
Одна боковая + вторая боковая частично подавленная	Часть второй боковой составляет 10-20%, используют этот способ, т.к. выделить одну боковую полосу сложно. Применяется для ТВ сигналов	

При АМ в линейном спектре частот каждый канал занимает более узкий диапазон, чем при ЧМ или ФМ

В основе АМ лежит операция перемножения несущей

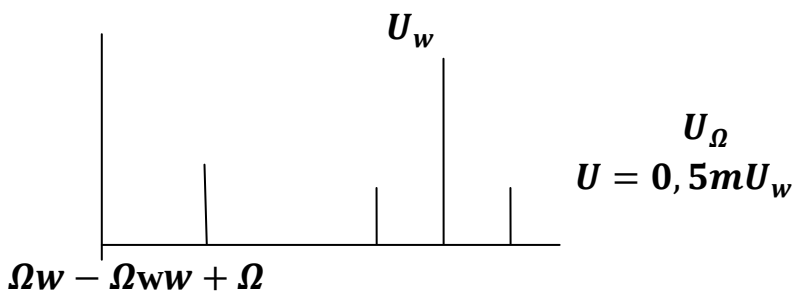


13. Методы формирования канальных сигналов при АМ

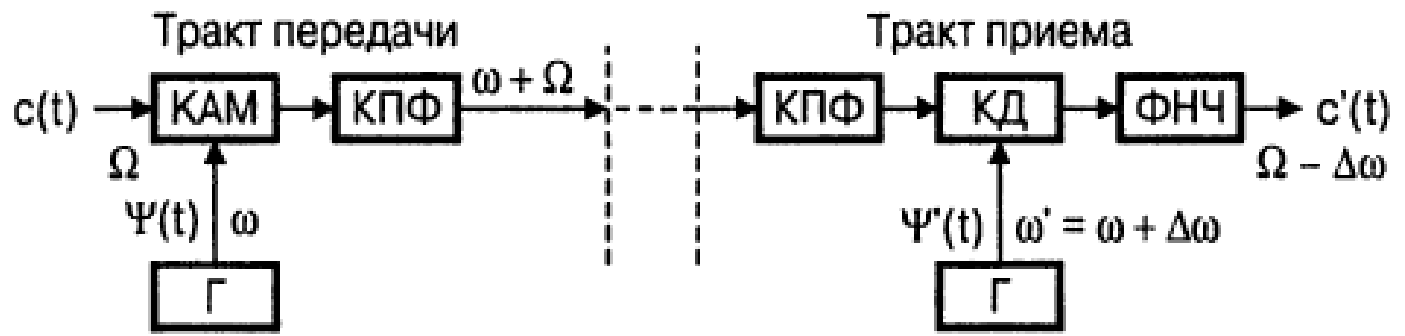
В системах передачи с ЧРК в качестве основного метода формирования канальных сигналов используется метод амплитудной модуляции гармонического колебания – несущей частоты, позволяющей наиболее эффективно использовать спектр частот линии связи

Несущее колебание представлено в виде: $\psi(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi_w) = U_w \cos(2\pi f t + \varphi_w)$

	+	–
Две боковые + несущая $U_{AM}(t) = U_0[1 + m \cdot S(t)] \cdot \cos \omega_0 t$	Простота модуляции и демодуляции	Расширение полосы частот; большие затраты мощности; низкая помехоустойчивость, обусловленная малой мощностью
Две боковые $U_{БМ}(t) = S(t) \cdot \cos \omega_0 t$	Нет больших затрат мощности (нет несущей)	Необходимость точного восстановления несущей
Одна боковая	Узкая ширина спектра; высокая помехоустойчивость	Сложность ПФ, как выделителя боковых
Одна боковая + несущая		Низкая помехоустойчивость
Одна боковая + вторая боковая частично подавленная	Часть второй боковой составляет 10-20%, используют этот способ, т.к. выделить одну боковую полосу сложно. Применяется для ТВ сигналов	

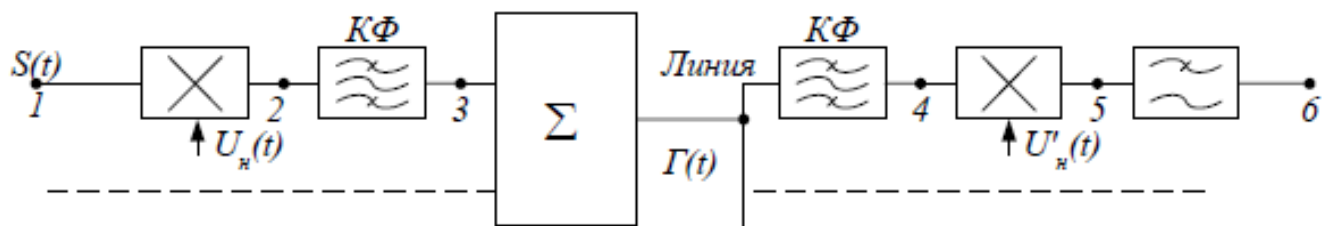


14. Методы формирования ОБП



При реализации передачи одной боковой полосы необходимо подавить несущее колебание и одну боковую полосу частот. Несущая частота подавляется при выборе соответствующей схемы преобразователя частоты: балансная и двойная балансная схемы канального амплитудного модулятора. Подавление ненужной боковой полосы осуществляется фильтровым, фазоразностным или фазофильтровым методами

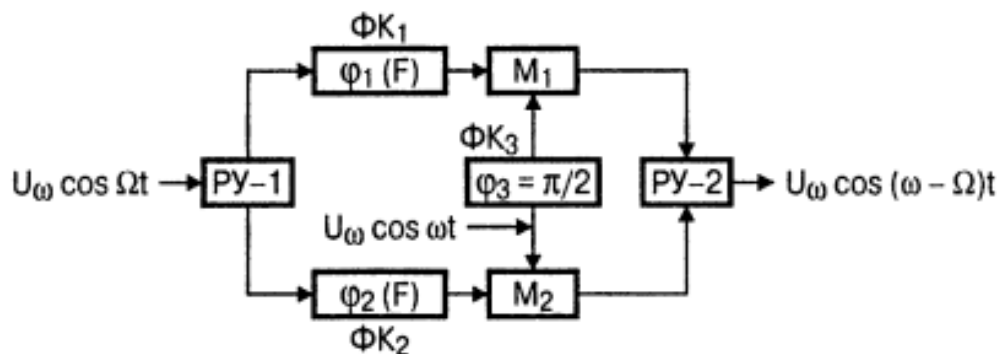
Фильтровый метод формирования ОБП:



Первичный сигнал $S(t)$ сполоса частот: $\Delta F_c = F_2 - F_1$ поступает на балансный канальный амплитудной модулятор КМ, на выходе которого имеем амплитудно-модулированный сигнал $S_{am}(t)$, содержащий нижнюю и верхнюю боковые полосы частот $(f - F_2) \dots (f - F_1)$ и $(f + F_1) \dots (f + F_2)$. Полезная боковая полоса частот (верхняя) выделяется КПФ (канальный полосовой фильтр)

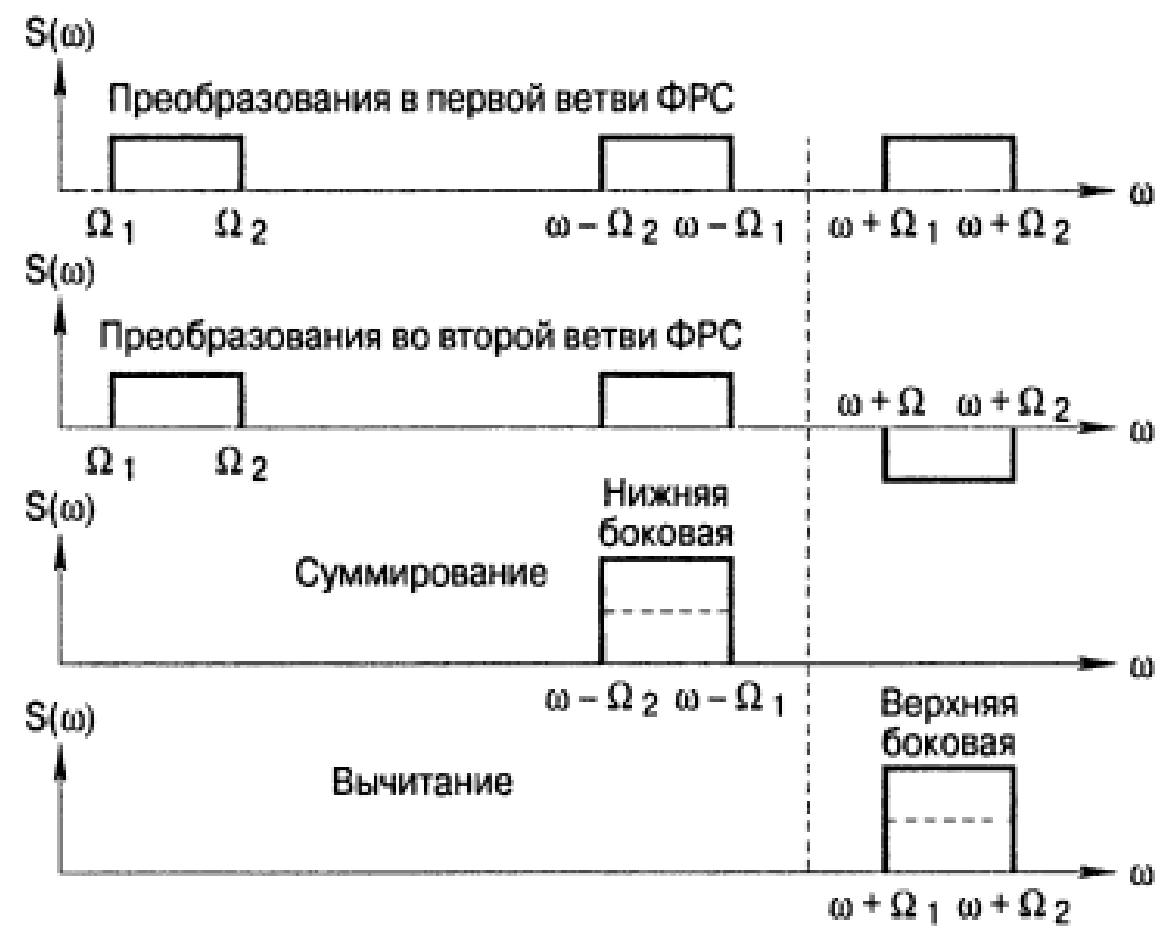
Недостаток фильтрового способа – разнотипность КПФ, число которых равно канальности системы передачи с частотным разделением канала. При большом числе каналов это удорожает и усложняет производство и эксплуатацию каналообразующего оборудования

Фазоразностный способ формирования ОБП:



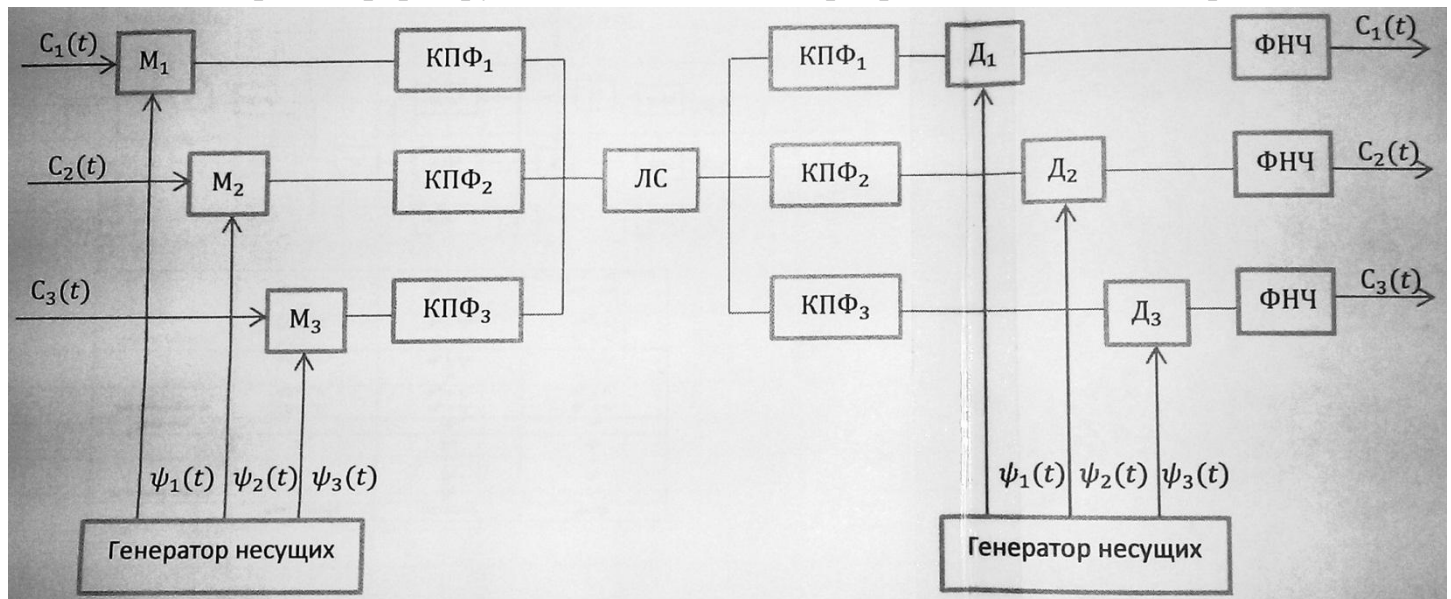
Формирование однополосного сигнала может быть выполнено на основе изменения фазовых соотношений между различными составляющими амплитудно-модулированного сигнала. Способ формирования: перемножить колебание несущей частоты и модулированного сигнала; перемножить колебание несущей частоты, сдвинутого по фазе на $\pi/2$ и модулированного сигнала, также сдвинутого на $\pi/2$, относительно исходного сигнала; сложить сигналы

Степень подавления неиспользованной боковой полосы частот 26-40дБ



15. Структурная схема МСП с ЧРК

Сущность ЧРК заключается в том, что спектр каждого первичного сигнала $C(t)$ с помощью несущей $\psi(t)$ переносится в отведенную для него полосу частот линии связи, таким образом формируются сигналы с неперекрывающимися спектрами



КПФ (канальный полосовой фильтр) на передачи формируют каналные однополосные сигналы. ПФ на приеме – разделяет групповой сигнал на каналные

ФНЧ (фильтр нижних частот) на приеме – демодулируют однополосный сигнал

Принципы ЧРК:

- Каждому передаваемому сигналу выделяется определенная полоса частот
- Перенос спектра сигнала в эту полосу частот осуществляется с помощью модуляции любого вида (чаще АМ, как наиболее узкополосную)
- В качестве переносчиков используют гармонические колебания с разными частотами (несущие)
- Групповой сигнал формируется, как сумма канальных сигналов. Его разделение на приемной стороне осуществляется при помощи ПФ
- Несущие частоты соответствующих каналов на передаче и приеме должны быть одинаковые (при использовании однополосной модуляции, когда передается одна боковая полоса)

$$\Delta f_{\text{чрк}} = \Delta f_k \cdot N, \text{ где } \Delta f_k = \Delta f + \Delta f_3 \text{ (N – число каналов, } f_3 \text{ – защищенный канал)}$$

$$\Delta f_k = \Delta f_{\text{кс}} + \Delta f_3, (\Delta f_{\text{кс}} \text{ – ширина спектра канального сигнала, } f_3 \text{ – запас на расфилтровку)}$$

В иерархии ЧРК все групповые сигналы кратны 12 каналам тональной частоты

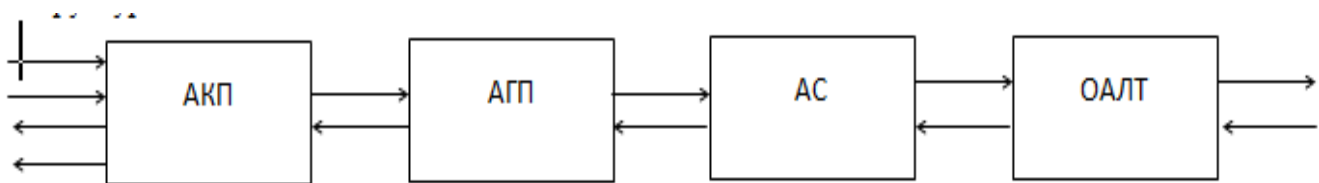
16. Иерархические принципы построения АСП. Формирование стандартных групп каналов в АСП

В образовании АСП (аналоговые системы передачи) с ЧРК как правило применяют многократные преобразователи спектра- это означает, что спектры первичных несколько раз перемещаются по шкале частот прежде чем занимают свое место в линейном спектре

При этом формируются стандартные частотные группы каналов:

Предгруппа	ПрГ	3 канала ТЧ	
Первичная группа	ПГ	12 каналов ТЧ	60...108 Гц
Вторичная группа	ВГ	60 каналов ТЧ	312...552 Гц
Третичная группа	ТГ	300 каналов ТЧ	812...2044 Гц
Четвертичная группа	ЧГ	900 каналов ТЧ	8516...12388 Гц

Структурная схема оконечной станции:

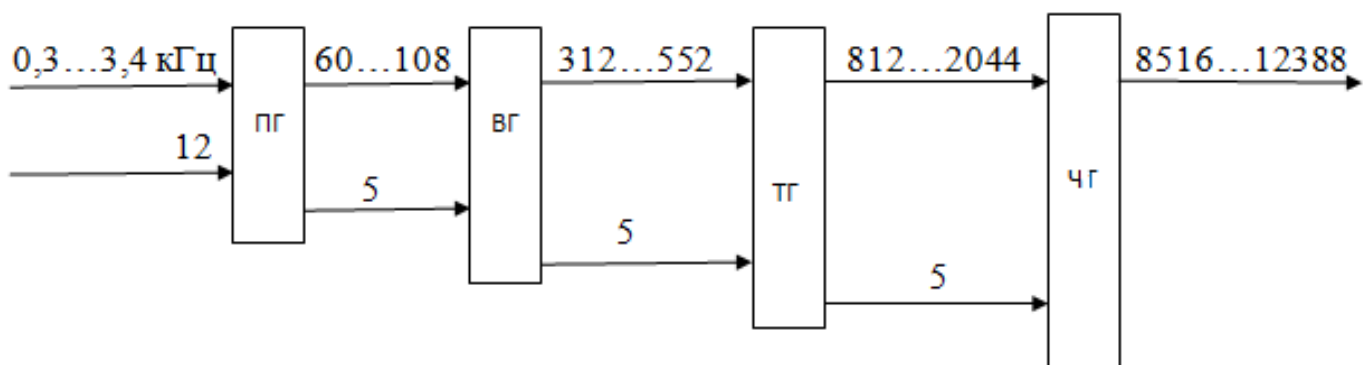


АКП – аппаратура канального преобразования (обеспечивает формирование первичной группы и обратное преобразование)

АГП – аппаратура группового преобразования (формирует вторичную, третичную и четвертичную группу)

АС – аппаратура сопряжения (обеспечивает перенос спектра стандартной группы с линейный спектр и обратно)

ОАЛТ – оконечная аппаратура линейного тракта (согласует характеристики линейного сигнала с линией)



18. Принципы организации двусторонних линейных трактов

Типы кабельных линий:

- Симметричный кабель, основой которого является симметричная пара (ветвь) и четверка экранированная или неэкранированная
- Коаксиальный кабель, содержит коаксиальные пары и трубки
- Оптический кабель, в котором в качестве физической среды передачи используются оптические волокна

Системы двусторонней связи:

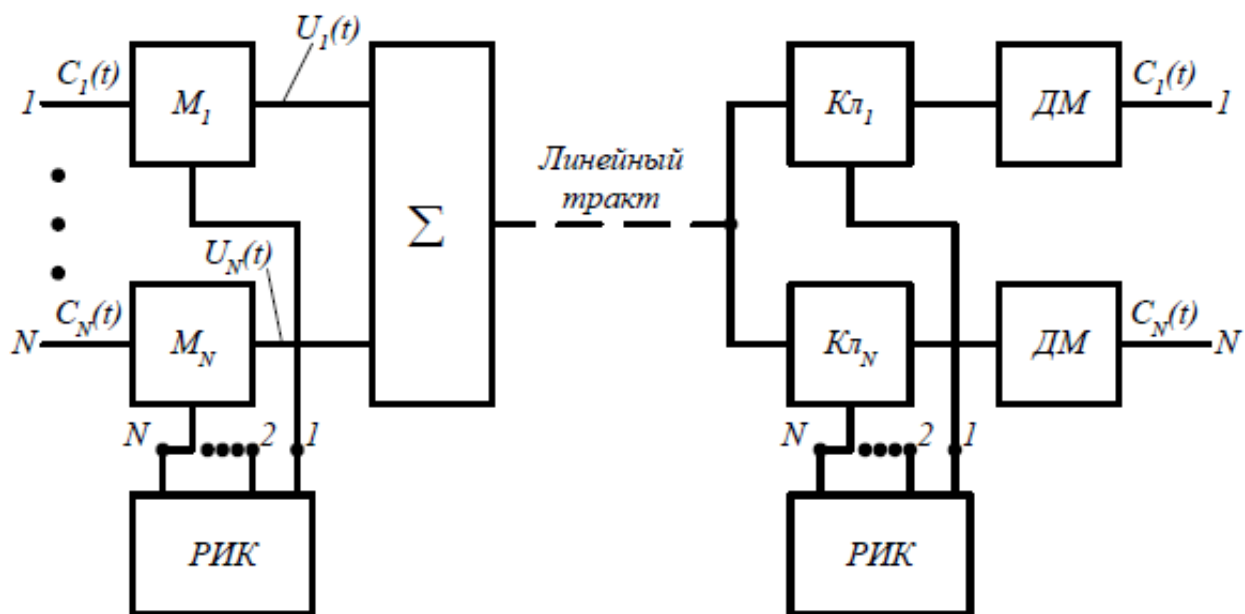
- **Однополосная четырехпроводная**, является основной при передаче по кабелю, используется в аналоговых и цифровых сетях. Задействованы две цепи: передача многоканальных сигналов осуществляется в обоих направлениях в одном и том же диапазоне. Достоинства: минимальная ширина полосы. Недостаток: требуется две цепи; в системе симметричного кабеля наблюдаются значительные переходные влияния между цепями, из-за сокращают расстояния между станциями
- **Двухполосная двухпроводная**. Редко используют в цифровых системах передачи и аналоговых. Передачу ведут в обоих направлениях по одной и той же цепи, но в разных частотных полосах. Достоинства: используется только одна цепь. Недостаток: расширение полосы частот в более, чем в 2 раза, из-за этого сокращают усилительные участки; могут быть искажения, генерация
- **Однополосная двухпроводная (дуплексный усилитель)**. Разделение направлений осуществляется при помощи дифференциальной системы, а не фильтров. Редко используют, иногда для связи на небольшие расстояния и в тональном диапазоне. Достоинства: простота. Недостатки: склонность к генерации из-за невозможности полной балансировки ДС
- **Пинг-понговая передача**. Двусторонняя передача цифровых сигналов по двухпроводной линии, с использованием технологии разделения времени
- Использование **компенсационного принципа** позволяет вести одновременную двустороннюю передачу без разделения времени в одной и той же полосе частот по двухпроводной линии

19. Структурная схема МСП с ВРК

Принцип ВРК (временное разделение каналов):

- Каждому передовому сигналу отводят определенную временную позицию
 - В качестве переносчиков используют периодическую последовательность импульсов с одной и той же частотой следования, равной частоте дискретизации, но сдвинутой относительно друг друга
 - Групповой сигнал формируют, как сумма канальных, но его разделение осуществляется с помощью канальных ключей
 - Частота дискретизации выбирается в соответствии с **теоремой Котельникова**: *всякий непрерывный во времени сигнал со спектром, ограниченным f_B , может быть представлен последовательностью его мгновенных значений, взятых через интервал времени $T_d \leq \frac{1}{2f_B}$ или с частотой $f_d > 2f_B$*
- ✓ Амплитуда, длительность импульса $= \frac{T_d}{N}$
- ✓ Сквасженность $q = \frac{T_d}{\tau}$
- ✓ Частота следования f_d (выбираем всегда больше $2f_B$, т.к. если будет ей равна или меньше, то не будет полосы для расфилтровки, произойдет наложение сигналов друг на друга)

Переходные помехи в ВРК, их причина: линейные искажения группового сигнала (частотные фазовые), ограничение спектра сигнала, ограничение полосы частот. АИМ сигнал для передачи на линии не используют, т.к. помехоустойчивость его очень низкая



- РКИ – распределитель канальных импульсов
- М – модулятор - ограничение спектра
- первый электронный ключ – модулятор; второй электронный ключ – распределитель по каналам (замыкается, когда на вход поступает импульс соответствующего канала)
- ДМ – демодулятор

20. Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)

АИМ (амплитудно-импульсная модуляция), меняется амплитуда

- АИМ1 (первого рода), когда отсчеты повторяют форму модулирующего сигнала
- АИМ2 (второго рода), когда отсчеты не повторяют форму модулирующего сигнала

Когда $q > 10$ АИМ1 и АИМ2 не различаются (узкие импульсы)

Спектр сигнала АИМ теоретически бесконечен, но будет убывать с ростом номера гармоники. Т.к. спектр АИМ сигнала имеет в своем составе спектр сигнала $s(t)$, то выделить его и таким образом демодулировать можно с помощью ФНЧ

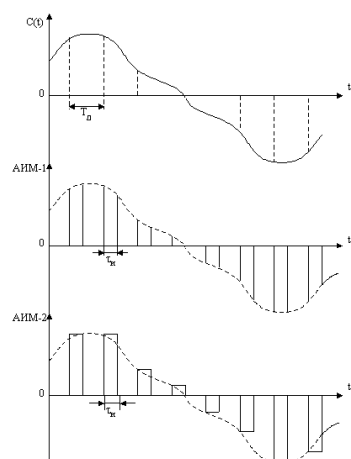
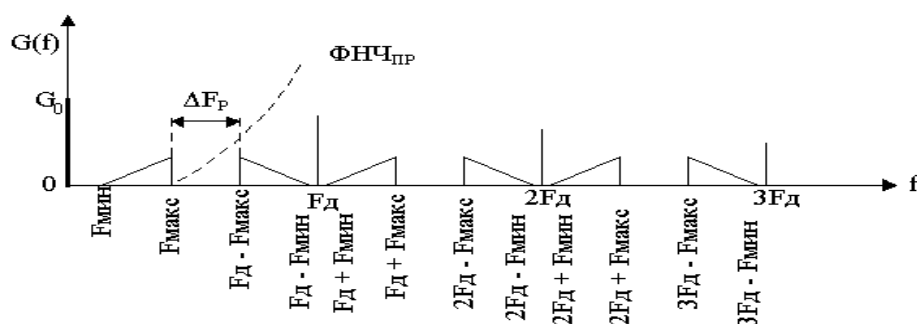
f_d выбираем всегда больше $2F_B$, т.к. если будет ей равна или меньше, то не будет полосы для расфильтровки, произойдет наложение сигналов друг на друга, появятся искажения

- Амплитуда, длительность импульсов $= \frac{T_d}{N}$
- Сквозность $q = \frac{T_d}{\tau}$
- Период дискретизации $T = \frac{1}{f_d}$

$$S(t) = \frac{A}{q} + \frac{m_a A}{q} \cdot \sin w_c t + \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{n} \cdot \cos n\Omega_g t + \frac{m_a A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin \frac{n\pi}{q}}{n} \cdot \sin[(n\Omega_g t \pm w_c)t]$$

АИМ канальный сигнал содержит в своем составе:

- Постоянную составляющую с амплитудой $A_0 = \frac{A}{q}$
- Исходный гармонический сигнал с амплитудой $A_c = \frac{m_a A}{q} \cdot \sin w_c t$
- Гармоники частоты следования ПППИ – частоты дискретизации, амплитуды которых равны $A_{n\Gamma} = \frac{2A}{\pi n} \sin \frac{n\pi}{q} \cos n\Omega_g t$
- Боковые частоты (нижняя и верхняя) около гармоник частоты дискретизации с амплитудами, равными $A_{n\Delta} = \frac{m_a A}{\pi n} \sin \frac{n\pi}{q} \cdot \sin[(n\Omega_g t \pm w_c)t]$



21. Этапы формирования цифрового сигнала

Цифровой сигнал электросвязи – сигнал электросвязи, параметры которого характеризуются конечным множеством дискретных значений, и описывается функцией дискретного времени



1. **Дискретизация** телефонных сигналов, в результате чего формируется импульсный сигнал, промодулированный по амплитуде, т.е. АИМ сигнал на основе теоремы Котельникова (всякий непрерывный во времени сигнал со спектром, ограниченным f_B , может быть представлен последовательностью его мгновенных значений, взятых через интервал времени $T_d \leq \frac{1}{2f_B}$ или с частотой $f_d > 2f_B$)
2. **Квантование** группового сигнала по уровню – замена непрерывного множества сигналов дискретными
3. **Кодирование** отсчетов группового АИМ сигнала, в результате чего формируется групповой АИМ сигнал $n = \log_2(N)$

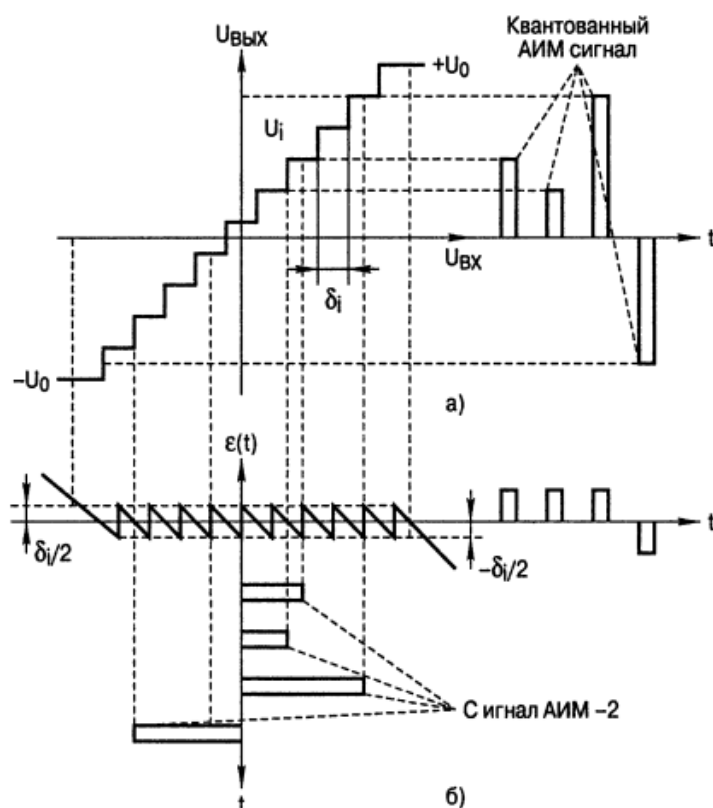


Рис. 1. Процесс квантования. Шумы квантования

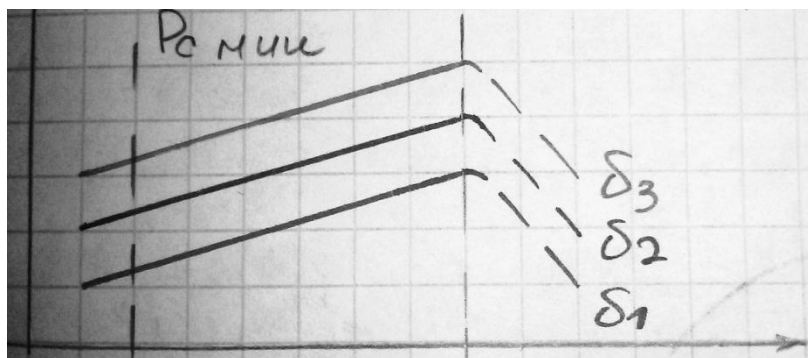
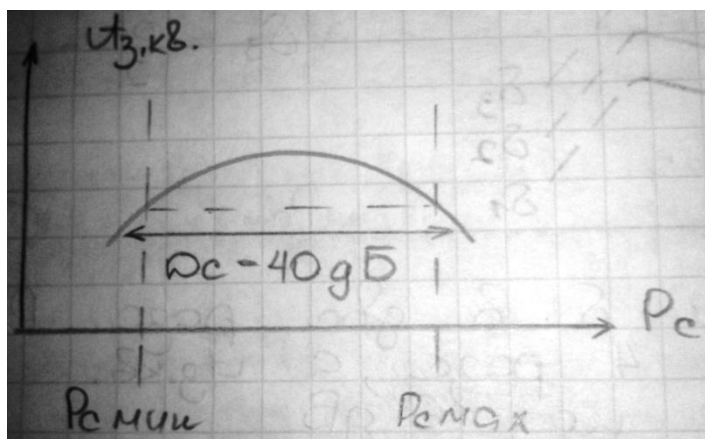
22. Квантование сигнала по уровню

Квантование – округление мгновенных значений сигнала до ближайших разрешенных, превращает аналоговый сигнал в цифровой; неизбежно сопровождается ошибкой квантования (не более половины сигнала квантования)

Диапазон допустимых значений исходного аналогового сигнала разбивается на разрешенные уровни; вместо истинного значения амплитуды передается ближайший разрешенный уровень

- Шаг квантования – расстояние между уровнями (если шаг одинаковый, то равномерное квантование; чем больше шаг, тем больше шум)
- Ошибка квантования – разница между истинным и квантованным значением, которая приводит к шумам
- Мощность шума квантования $P_{\text{кв}} = \frac{\delta^2}{12}$
- Защищенность сигнала от шума квантования $A_3 = 10 \lg \frac{P_{\text{сигн}}}{P_{\text{помех}}} = P_{\text{сигн}} - P_{\text{помех}}$
- Число уровней квантования $N_{\text{кв}} = \frac{U_{\text{огр}}}{\delta}$

Чтобы **уменьшить шумы квантования и увеличить помехозащищенность**, нужно увеличивать число уровней и уменьшать шаг квантования, это сложно. Поэтому переходят к неравномерному квантованию (слабый сигнал квантуется маленьким уровнем квантования, сильный сигнал – большим). Равномерное квантование используется при симметричном и натуральном коде, неравномерное квантование используется только при симметричном (отличие симметричного кода от натурального – наличие знакового символа)



23. Принципы двоичного кодирования

Результатом этого кодирования является двоичная кодовая комбинация, представляющая собой номер уровня квантования в двоичной системе счисления. С помощью m -разрядного двоичного кода можно закодировать число уровней квантования равного: $M=2^m$

- Натуральный код $M = \sum_{i=1}^m a_{m-i+1} 2^{i-1}$, где a - разрядная цифра принимающая значения 1 или 0, m —число разрядов кода
- Рефлексный код или код Грея – его отличительной особенностью является то, что любые две соседние кодовые комбинации отличаются друг от друга лишь в одном разряде, позволяет уменьшить ошибки кодирования
- Симметричный код – используется для кодирования, например телефонного сигнала, где его значения могут меняться выше и ниже своего нулевого уровня, т.е. важна полярность

24. Иерархические принципы построения ЦСП

Цифровой сигнал электросвязи – сигнал электросвязи, параметры которого характеризуются конечным множеством дискретных значений, и описывается функцией дискретного времени

1. Плезиохронная система иерархии (ПЦИ, PDH)

- *первый стандарт* (североамериканский)
- *второй стандарт* (японский)
- *третий стандарт* (европейский) со скоростью ПЦП 2048 кбит/с (32=30 ОЦК+2 служебных)

Скорость: $C = f_d \cdot m \cdot N$ (f_d – частота дискретизации, m – количество разрядов, N – число каналов)

Европейский стандарт:

ОЦК – основной цифровой канал			64 кбит/с
ПЦП – первичный цифровой поток	ИКМ-30 (30 каналов ОЦК)	2 служебных	2048 кбит/с
ВЦП – вторичный цифровой поток	ИКМ-120 (4 ИКМ-30)	4 служебных	8448 кбит/с
ТЦП – третичный цифровой поток	ИКМ-480 (4 ИКМ-120)	9 служебных	34368 кбит/с
ЧЦП – четверичный цифровой поток	ИКМ-1920 (4 ИКМ-480)		139264 кбит/с

ИКМ-30 используют городские телефонные сети, плохие характеристики, большие переходные влияния

ИКМ-120 кабели многоканальной связи, высокочастотные, основной вариант передачи по оптическим кабелям

Для североамериканских и японских стандартов разные числа каналов для передачи

2. Синхронная система иерархии (ССИ, SDH)

Рассчитаны на транспортировку цифровых потоков (сигналов) ПЦИ различных стандартов. В качестве стандарта (основного элемента) принят – синхронный транспортный модуль (СТМ), скорость передачи 155 Мбит/с

СТМ4 (4 СТМ)	622080 кбит/с
СТМ16 (4 СТМ4)	2.5 Гбит/с
СТМ64 (4 СТМ16)	10 Гбит/с
СТМ256 (4 СТМ64)	40 Гбит/с

Классификация ЦСП:

Принцип разделения каналов	• ВРК • ЧРК
Формирование канальных сигналов	• АИМ • ШИМ • ФИМ • ИКМ-ВРК • ИКМ-ЧД • ДИКМ-ВРК • Дельта модуляция ВРК и ЧД
Объединение цифровых потоков и формирования ЦК более высокого порядка	• ЦСП ИКМ-ВРК с асинхронным объединением потоков или ПЦИ (плезеохронная цифровая иерархия) • ЦСП ИКМ-ВРК с синхронным объединением потоков или СЦИ (синхронная цифровая иерархия)
Среда распространения сигнала	• Электрические (металлические) кабели – симметричный и коаксиальный • Оптические кабели – стекловолоконный стержень • Радиорелейные спутниковые линии связи

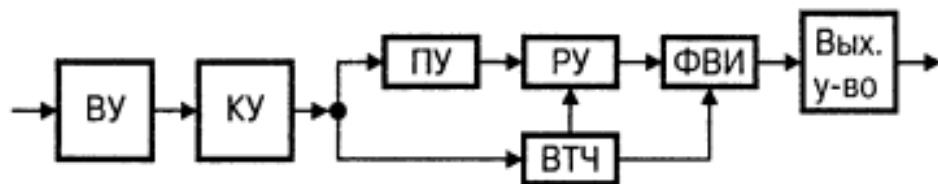
Принципы регенерации ЦСП

Цифровой сигнал электросвязи – сигнал электросвязи, параметры которого характеризуются конечным множеством дискретных значений, и описывается функцией дискретного времени

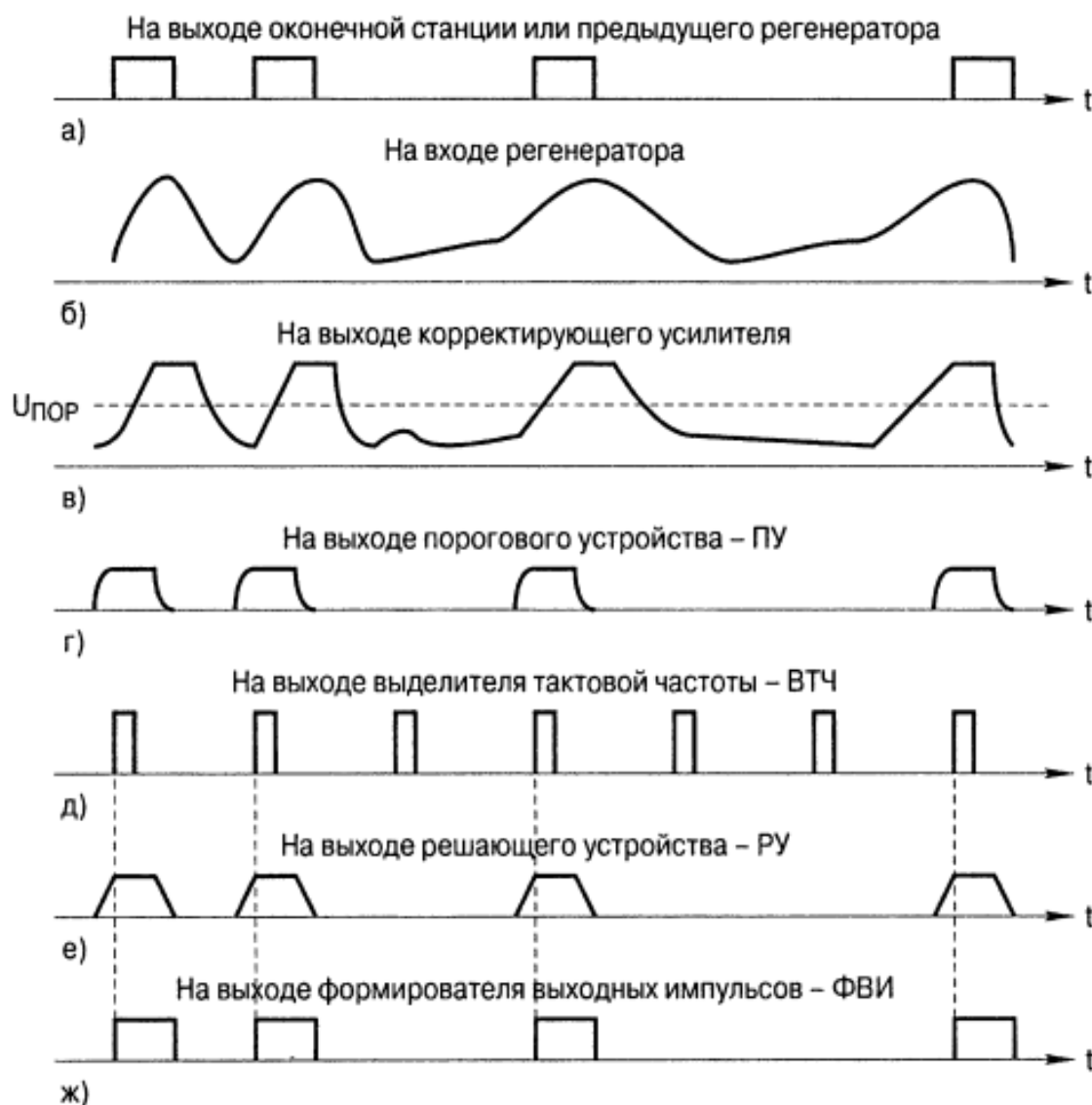
Регенераторы – устройства, полностью восстанавливающие параметры линейного цифрового сигнала



- Усиление восстанавливаемых импульсов
- Коррекция формы импульсов
- Сравнение усиленных и откорректированных импульсов с пороговым значением
- Стропирование импульсов
- Формирование новых импульсов с заданными параметрами в определенные моменты времени



- Входное устройство предназначено для согласования линии с входным сопротивлением генератора
- Корректирующий усилитель – для компенсации затухающего устройства
- Пороговое устройство определяет повышение сигнала под помехами
- Решающее устройство – стромирование в каждом такте
- Выделитель тактовой частоты – формирование коротких стролирующих импульсов
- Формирователь входных импульсов обеспечивает формирование амплитуды, длительности между символами линейного цифрового сигнала
- Выходное устройство – согласование, подключение регенератора на выходе связи

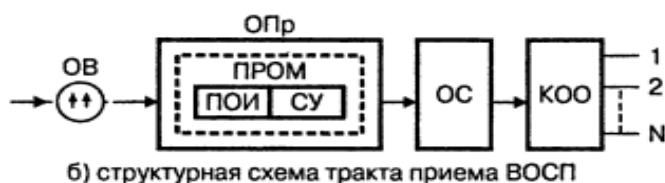


25. Особенности построения ВОСП (волоконно-оптические системы передачи)

Физической средой распространения оптических сигналов являются волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Для увеличения дальности передачи за счет наилучшего распространения световой волны были исследованы различные оптические волноводы, которые называются оптическими волокнами. Впервые появилась в 80е годы в США. ВОЛС полностью цифровые

Основные достоинства оптических систем в сравнении с электрическими:

- Малый коэффициент затухания в оптическом волокне (<0.01 дБ/км), следовательно большая длина усилительного участка, устраняются проблемы организации дистанционного питания в промежуточных пунктах
- Большая пропускная способность в оптических системах передачи
- Независимость от внешних электромагнитных воздействий и помех (если в оптическом кабеле нет никаких электрических элементов)
- Малый удельный вес и габариты
- Более высокая защита от несанкционированного доступа
- Относительно низкая стоимость



- ИОИ – источник оптического излучения – оптическая несущая, один, или несколько параметров которой, модулируются электрическим многоканальным сигналом
- ПОИ – приемник оптического модуля
- Далее сигнал поступает в СУ – согласующее устройство, которое необходимо для ввода оптического излучения в оптическое волокно
- ПОМ – передающий оптический модуль – для передачи необходимо для волокна
- ПРОМ – приемник оптического модуля – фотоприемник на основе полупроводниковых фотодиодов с рп обратнo-смещенными переходами
- ОР – оптический ретранслятор – обеспечивает компенсацию затухания сигнала при его прохождении по оптическому волокну и коррекцию различного вида искажений
- СУ – согласующее устройство
- ОС – оборудование с сопряжением

Оптический сигнал может увеличиваться с помощью квантованных оптических усилителей:

- Фабри-Перо
- Бриллюэновское рассеивание
- Романовское рассеивание
- Полупроводниковые лазерные
- На примесном волокне

Энергетический потенциал $\mathcal{E} = P_{\text{ии}} - P_{\text{приема min}}$, где $P_{\text{ии}}$ – уровень сигнала на входе, $P_{\text{приема min}}$ – минимально-допустимый уровень на входе фотоприемника

Суммарное затухание участка регенерации: $A_z = \alpha_k l_{\text{рег}} + A_{\text{вв}} + A_{\text{нс}}$, где α_k – коэффициент затухания оптического кабеля, $A_{\text{вв}}$ – потери про входе, $A_{\text{нс}}$ - потери в неразъемных соединениях

Наиболее перспективными являются волоконно-оптические системы передач со спектральным умножением или мультиплексирование с разделением волн.

Возможность построения таких систем основывается на сравнительно слабом коэффициенте затухания оптического волокна прозрачности от частоты оптической несущей

Применяемое каналообразующее оборудование	• Аналоговые волоконно-оптические системы передачи (АВОСП) • Цифровые (ЦВОСП)
Способ модуляции оптического излучения	• ВОСП с модуляцией интенсивности • ВОСП с аналоговыми методами модуляции
Способ приема или демодуляции	• Прямая модуляция • Когерентные ВОСП
Способ организации двусторонней связи	• Двухволоконная однополосная однокабельная • Одноволоконная однополосная однокабельная • Одноволоконная двухполосная однокабельная
Назначение и дальность передачи	• Магистральные • Зоновые • Для местных сетей • Для распределения информации
Методы уплотнения ВОСП	• Спектральное • Частотное или гетеродинное • Временное

26. Общие принципы построения РРСП

Радиосвязь – это вид электросвязи, осуществляемый с помощью радиоволн (под радиовещанием принято понимать электромагнитные волны)

Радиорелейные системы передачи(РРСП):

- *Прямой видимости* – сигналы передаются с помощью наземных ретранслирующих станций. Представляет собой цепочку передающих радиостанций (передающих, оконечных, узловых)

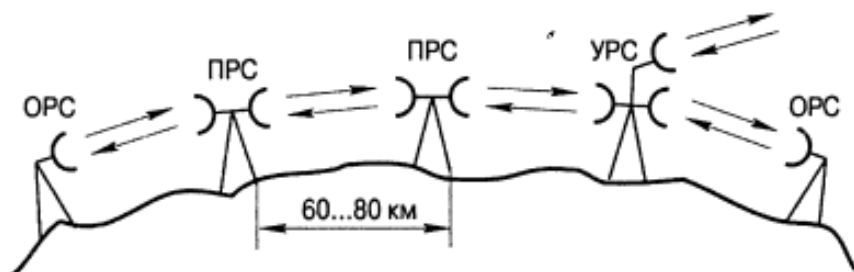


Рис. 1. Радиопроводная линия передачи прямой видимости

- *Тропосферные* – используется рассеивание и отражение в нижней области тропосферы

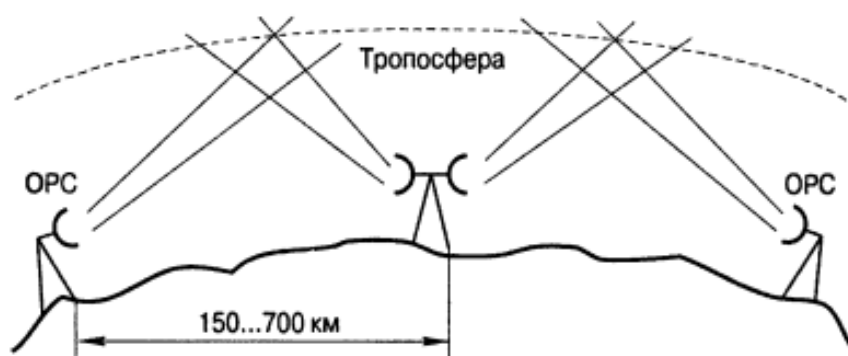


Рис. 2. Тропосферная радиорелейная линия передачи

- *Спутниковые* – использование искусственных спутников Земли

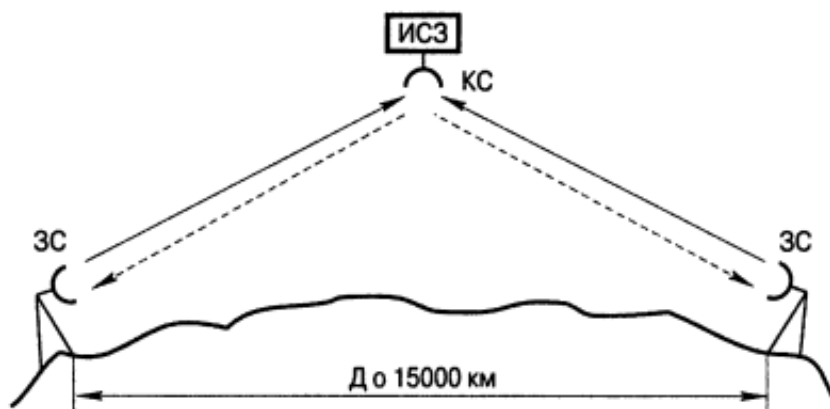


Рис. 3. Спутниковая линия передачи

Виды станций радиопередачи:

- ОРС (оконечная радиорелейная станция) – обеспечивает преобразование отдельных сигналов в диапазон частот радио-сигнала, объединение их в общий радио-сигнал и передачу его в среду распространения; так же, прием встречного радио-сигнала, преобразование его на отдельные радио-сигналы и выдача его потребителю (*расстояние между двумя ОРС 300...500 км*)
- ПРС (промежуточная станция) – прием, преобразование, усиление или регенерация и последующая передача радиосигнала (*не обладает техническим персоналом*)
- УРС (узловая станция) – разветвление и объединение потоков сообщений, передаваемых по разным РРЛП (к ним относятся РРЛП, где осуществляется ввод и вывод телевизионных, телефонных и пр. сигналов)

ГСО – геостационарная орбита – экваториальная круговая орбита высотой 35800 км, при условии, что направление движения спутника совпадает с направлением вращения Земли с запада на восток

Сейчас обычно применяют 700...1500 км

+ Такие спутники легче вывести на орбиту

Меньше запаздывание и затухание передаваемого сигнала

- Необходимость выведения на орбиту большого количества спутников

Основным способом замирания является *запрещенный прием*

Антенны применяемые в РРЛП обладают узкой диаграммой направленности, что помогает уменьшить взаимное влияние и дальность связи

27. Распространение сигнала на интервале РРЛ. Замирания и борьба с ним

R-интервал радиорелейной линии: $R \approx 4(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$, где h_1, h_2 - высоты подвес антенн

На передаче очень мощный сигнал, на приеме не шумный. Принимающая станция улавливает частично отраженный сигнал. При спутниковой связи не нужен мощный передатчик и чувствительный приемник. В радиорелейных линиях используют системы, где диаграммы с узкой направленностью (т.е. в одном направлении)

Диапазоны длин волн и частот для РРЛ:

Диапазон длин волн		Диапазон частот	
Наименование	Границы	Наименование	Границы
Декаметровые (короткие)	10-100 м	Высокие частоты	3-30 МГц
Метровые(ультракороткие)	1-10 м	Очень высокие частоты	30-300 МГц
Децеметровые	10-100 см	Ультравысокие частоты	0.3-30 ГГц
Сантиметровые	1-10 см	Сверхвысокие частоты	3-30 ГГц

Замирания – это снижение уровня сигнала на входе приемника, связанные с изменениями факторов внешней среды и условий распространения радиоволн. Глубокие замирания (ниже порога чувствительности приемника) приводят к искажениям или потере полезного сигнала

- *Плоские* – равномерные по всей полосе частот
- *Селективные* – проявляющиеся на части частотного спектра. Кроме того, селективные замирания могут привести к амплитудным и фазовым искажениям полезного сигнала

Причины появления замираний:

- *Многолучевое распространение радиоволн* (возникновение атмосферного волновода; отражение от поверхности земли, водной поверхности, болота; Отражения, вызванные профилем местности, например наличием горной вершины в пролете между станциями РРЛ)
- *Падение уровня сигнала* (осадки; техногенные, вызванные выбросами в атмосферу продуктов сгорания и переработки на предприятиях тяжелой промышленности)

Борьба с замираниями:

- *Наличие большого запаса усиления на замирания*
- *Грамотный расчет высот подвеса антенн*
- *Использование системы резервирования с частотным разнесением каналов.*
Обычно замирания не возникают одновременно на всех стволах, поскольку у них разные рабочие частоты. Использование одного из стволов в качестве горячего резерва позволяет значительно уменьшить время простоя при замираниях. При этом радиорелейный ствол, на котором идут замирания, подменяется на время резервным стволом, на котором замирания отсутствуют или имеют меньшие значения
- *Использование систем разнесенного приема.* Данный способ основан на использовании при приеме двух антенн. Антенны располагаются на разной высоте, разница составляет от 5 до 20 метров
- *Увеличение диаметров антенн.* Антенна с большим диаметром имеет более высокий коэффициент усиления, что обеспечивает больший запас усиления на замирания
- *Использование современных методов кодирования и модуляции сигнала,* снижающие вероятность ошибок приемниках применяются адаптивные фильтры по промежуточной частоте