

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)

Институт информационных технологий и радиоэлектроники

Кафедра радиотехники и радиосистем

Полушин Петр Алексеевич

Общая теория связи

Конспект лекций
по дисциплине «Общая теория связи» для студентов ВлГУ,
обучающихся по направлению 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы
связи»

Владимир – 2018

Оглавление

1. Введение. Значение и место курса
 2. Архитектура взаимоувязанной сети связи РФ. Первичные электрические сигналы и их характеристики. Коммутация каналов, сообщений и пакетов.
 3. Принципы построения систем коммутации.
 4. Элементы теории телетрафика. Типовые каналы передачи.
 5. Организация двухсторонних каналов, особенности передачи информации по двухсторонним каналам. Развязывающие устройства.
 6. Принципы построения систем передачи с частотным разделением каналов (ЧРК).
 7. Методы формирования и передачи канальных сигналов в системах передачи с ЧРК. Иерархическое построение систем с ЧРК.
 8. Принципы построения систем передачи с временным разделением каналов (ВРК) и импульсно-кодовой модуляцией..
 9. Иерархическое построение систем с ИКМ
- Заключение
- Список литературы

1. Введение

Целями освоения дисциплины "Основы теории связи" являются:

1. Подготовка в области знания основных принципов построения и функционирования современной телекоммуникационной аппаратуры и ее типовыми решениями и конструкциями.
2. Формирование практических навыков расчетов систем связи.
3. Подготовка в области радиотехники для разных сфер профессиональной деятельности специалиста.
 - проектно-конструкторской;
 - производственно-технологической;
 - научно-исследовательской;
 - сервисно-эксплуатационной.

Дисциплина "Основы теории связи" относится к математическому и естественно-научному циклу дисциплин:

- Профессиональный цикл;
- Профессиональная базовая часть.

Взаимосвязь с другими дисциплинами

Курс " Основ теории связи" основывается на знании "Математики", " "Физики", "Основы теории цепей".

Полученные знания могут быть использованы при дипломном проектировании и при изучении дисциплин «Схемотехника телекоммуникационных устройств», «Методы и устройства передачи сигналов», «Методы и устройства приема сигналов», «Основы построения инфокоммуникационных систем», а также в процессе разработки и проектирования радиоаппаратуры.

Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов включает закрепление теоретического материала при подготовке к выполнению и защите лабораторных заданий, а также при выполнении индивидуальной домашней работы. Основа самостоятельной работы - изучение литературы по рекомендованным источникам и конспекту лекций.

2. Архитектура взаимосвязанной сети связи РФ. Первичные электрические сигналы и их характеристики. Коммутация каналов, сообщений и пакетов

Задачей материала темы является знакомство студентов с основами построения сети связи страны, базирующейся на первичных электрических сигналах и использующих их характеристики, а также с системами коммутации.

Все виды сигналов систем связи делят так:

1. телефонные сигналы;
2. телеграфные сигналы;
3. факсимильные сигналы;
4. сигналы передачи данных;
5. сигналы звукового вещания;
6. сигналы ТВ;
7. сигналы телеконтроля и телеуправления.

Системы электросвязи - это взаимодействующие между собой телекоммуникационные системы и сети, которые образуют между собой комплекс технических средств, обеспечивающих электросвязь одного из видов.

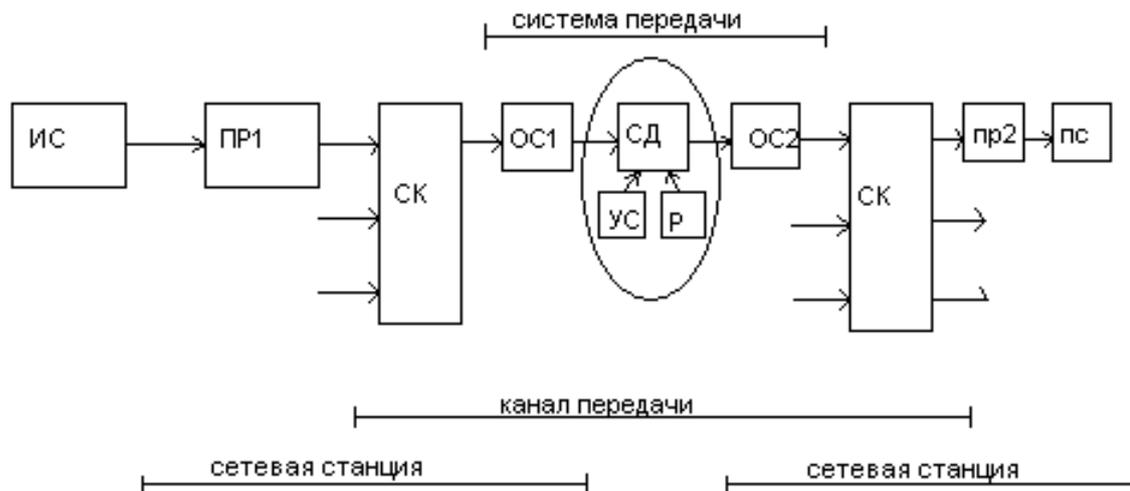
ТСС распределяется по способу распределения информации:

- коммутируемые;
- некоммутируемые;

Структура ТСС должна осуществлять следующие операции:

1. преобразование сообщения от источника в первичный электросигнал;
2. преобразование первичного электросигнала в форму удобную для передачи и для послед. Обратного преобразования.
3. сопряжение передаваемых сигналов с конкретными физическими каналами и их коммутация в канале.

Обобщенная структура ТСС.



- источник сообщения
- преобразователи
- система коммутации
- оконечные станции
- среда
- ретрансляторы, регенераторы
- линейный тракт

СК – совокупность коммутационной и управляющей аппаратуры, обеспечивающей соединения различного вида (местные, междугородные, международные, входящие/исходящие, транзитные)

Различные методы коммутации:

1. Коммутация каналов
2. Коммутация пакетов
3. Коммутация сообщений

Комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу первичного сигнала в определенной полосе частот и с определенной скоростью, называется каналом передачи.

Логарифмические единицы измерения.

В реальных системах диапазон изменения единиц измерения (P, U, I) изменяется во много раз.

Используются логарифмы отношений этих величин к некоторым эталонным значениям.

Относительные единицы, выраженные в логарифмической форме, называются уровнями передачи.

Раньше при использовании натуральных логарифмов использовались единицы (Нп). При десятичных логарифмах используются децибелы.

$$P_m = 10 \lg W_x/W_o = 0,5 \ln W_x/W_o$$

P_m – логарифмическая единица по мощности.

$$P_n = 20 \lg W_x/U_o \text{ [дБ]} = \ln U_x/U_o \text{ [Нп]}$$

$$P_t = 20 \lg I_x/I_o \text{ [дБ]} = \ln I_x/I_o \text{ [Нп]}$$

$$1 \text{ Нп} = 8,686 \text{ дБ};$$

$$1 \text{ дБ} = 0,115 \text{ Нп};$$

Между уровнями напряжения, тока и мощности связаны друг с другом. Влияет только сопротивление.

$$P_m = 10 \lg W_x/W_o = P_n - 10 \lg |Z_x/Z_o|$$

Z_x и Z_o – это сопротивления па которых измеряется W_x и W_o .

Уровни сигналов делятся на абсолютные урони и измерительные.

Уровни сигналов называются абсолютными если за исходные уровни приняты следующие эталоны:

$$W_o = 1 \text{ мВт} - \text{мощность};$$

$$U_o = 0,773 \text{ В} - \text{напряжение};$$

$$I_o = 1,29 \text{ мА} - \text{ток};$$

$$U_o I_o = W_o$$

$$U_o/I_o = 600 \text{ Ом};$$

Если используются такие значения в качестве эталонов то $P_m = P_n = P_t$ (численно)

Чтобы указать что все уровни сигнала получены как абсолютные, то используются обозначения дБм, дБн.

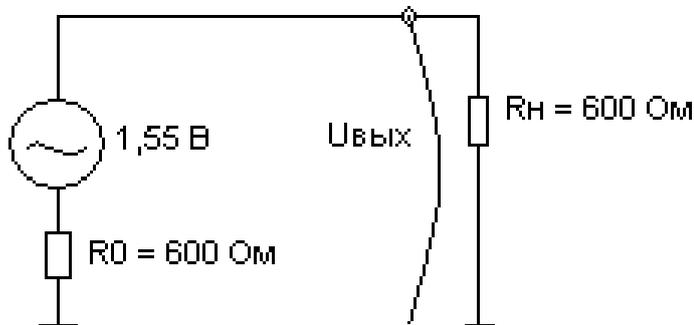
Абсолютные уровни также используются при сравнении двух точек в качестве связи.

$$P_{1,2} = 10 \lg W_1/W_2 = P_{абс1} - P_{абс2}.$$

Кроме этого используется понятие измерительный уровень.

Измерительным уровнем в некоторой рассмотренной точке называется абсолютный уровень сигнала в этой точке тракта, если в начале тракта к нему подключен т.н. нормальный или стандартный генератор сигнала.

Под нормальным генератором сигнала понимается генератор, который вырабатывает синусоидальный сигнал, имеет внутреннее сопротивление 600 Ом и ЭДС его равна 1,55 В.



Если подобный стандартный генератор нагрузить на стандартную нагрузку 600 Ом, то на ней выделится сигнал, принятый международными нормами в качестве эталонного.

Если в точке канала $P_{M1} \rightarrow W_1$, то в другой точке $P_{M2} \rightarrow W_2$

$$W_2 = W_1 * 10 \exp(0,1(P_{M2} - P_{M1}))$$

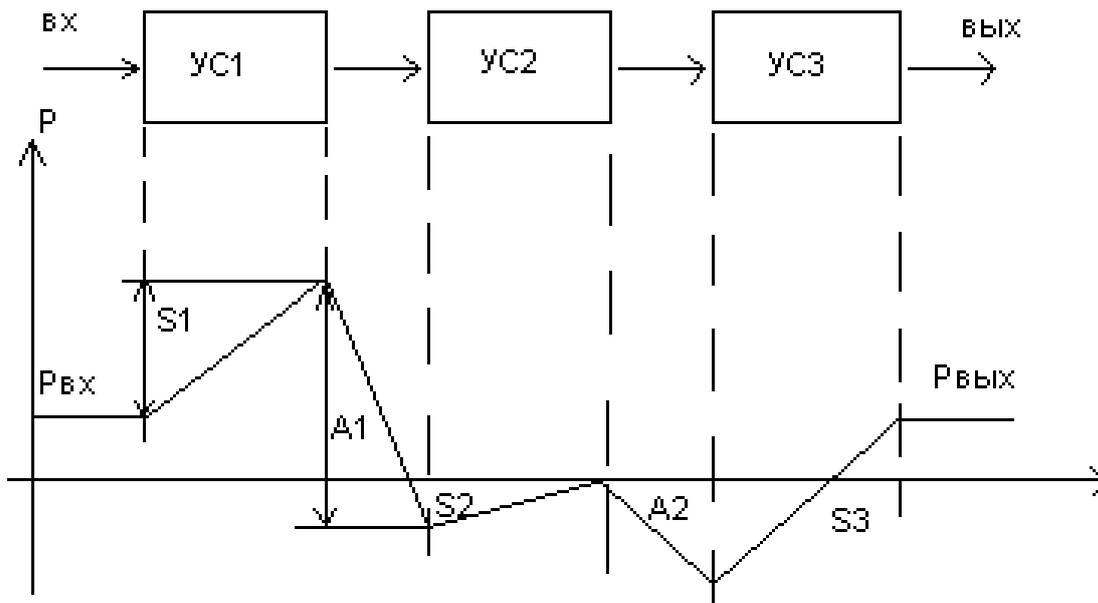
Для каналов тоже используется логарифмические элементы.

Рабочее затухание: $A_p = p_{г} - p_{н}$

Рабочее усиление : $S_p = 10 L_g W_{н}/W_{г}$

Для удобства рассмотрения уровня сигнала вдоль линии используют т.н. диаграммы уровня.

Диаграмма уровня – это график, показывающий распределение уровня вдоль канала передачи.



Для удобства работы уровни мощности, напряжения и тока иногда нормируют. В линии выбираются точки с нулевым измерительным уровнем и все нормируемые величины относятся к этой точке.

Если добавляется 0 к обозначению (дБм) – это означает, что они пересчитаны в точку тракта с нулевым измерительным уровнем.

В качестве измерителя уровня используют специально отградуированный вольтметр. При этом указывается напряжение нулевой отметки, либо указывается сопротивление, на котором выделяется 1 мВт.

600 Ом – 0,773 В

150 Ом – 0,387 В

75 Ом – 0,274 В

50 Ом – 0,224 В

Первичные сигналы электросвязи.

Характеристики первичных сигналов и их виды.

Электрический сигнал, полученный на выходе преобразователя сообщения, называется первичным сигналом электросвязи.

Параметр $X(t)$ первичного сигнала, который однозначно отображает передаваемое сообщение, называется информационным (или представляющим) параметром.

Первичные сигналы и есть объект транспортировки. Т.о. ТСИС включает в себя технику транспортирования сигналов. Поэтому сети в ее составе это специфические транспортные сети.

Используются параметры сигналов, которые технически просто менять в соответствии с информацией, которые технически просто измерять, а также чтобы можно было просто оценивать качество сигнала, помехоустойчивость.

Параметры сигнала:

1. Длительность первичного сигнала, T_c – это интервал времени, в пределах которого сигнал существует.

2. Средняя мощность $W_{cc} = \frac{1}{TR} \int_0^T U^2(t) dt$

T – период усреднения, R – сопротивление, на котором выделяется напряжение U .

$T = 1$ минута – среднeminутная мощность.

$T = 1$ час – среднечасовая

$T \gg 1$ час – долговременная мощность.

3. W_{max} – это мощность эквивалентного синусоидального сигнала с некоторой амплитудой U_m , которая превышает мгновенными значениями переменного информационного сигнала с некоторой малой вероятностью ϵ .

4. W_{min} . Минимальная мощность – это мощность эквивалента синусоидального сигнала с амплитудой U_m , которая превышает информационными с достаточно большой вероятностью.

5. Динамический диапазон.

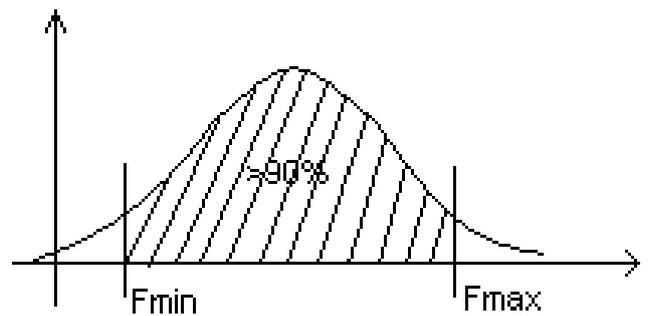
$$D = 10 Lg \frac{W_{max}}{W_{min}}, \text{ дБ.}$$

6. Пик-фактор – это разброс значений. $Q_c = 10 Lg \frac{W_{max}}{W_{cc}}$

7. Защищенность или помехоустойчивость. $A_z = 10 Lg \frac{W_{cc}}{W_p}$, дБ. W_p – средний уровень

помех.

8. Эффективно передаваемая полоса частот ЭПЧ.



$$\Delta F = F_{\max} - F_{\min}$$

9. Объем первичного сигнала. $V_c = T_c \cdot D_c \cdot F_c$

10. Информационный объем – это количество информации, переносимой сигналом в единицу времени.

По виду первичные сигналы делятся на:

1. Телефонные сигналы.
2. Сигналы звукового вещания.
3. Передача данных и телеграфия.
4. Телевизионные сигналы.
5. Факсимильные сигналы.
6. Сигналы телемеханики, телеуправления, телеконтроля.

1. Телефонные сигналы (речь)

Рассматривается речь только как средство передачи информации.

Экспериментально установлено, что первые 3 форманты человеческой речи лежат в пределах от 0,3 – 3,4 кГц. Это и была выбрана как Международная стандартная голоса первичного телефонного сигнала.

1. В точке нулевого относительного уровня $W_{\min, \text{тлф}} = 0,1 \text{ мкВт}$
2. Средняя мощность $W_{\text{ср}} = 88 \text{ мкВт}$
3. Максимальная мощность $W_{\max, \text{тлф}} = 2220 \text{ мкВт}$
4. $D_{\text{тлф}} = 43 \text{ дБ}$
5. $Q_{\text{тлф}} = 14 \text{ дБ}$
6. Количество информации $\dot{\eta} = 0,33$

2. Сигналы звукового вещания.

Источники – высококачественные микрофоны и другие высококачественные акустические преобразователи.

В общем случае спектр может быть от 15 Гц до 20 кГц.

50 – 10000 Гц – качественное

30 – 15000 Гц – высококачественное

Для звукового вещания характерна очень сильная зависимость средней мощности от интервала усреднения. В точке нулевого относительного уровня по нормам:

$$W_{\text{ср}} (T = 1 \text{ час}) = 923 \text{ мкВт}$$

$$W_{\text{ср}} (T = 1 \text{ мин}) = 2230 \text{ мкВт}$$

$$W_{\text{ср}} (T = 1 \text{ сек}) = 4500 \text{ мкВт}$$

$$W_{\text{max}} = 8000 \text{ мкВт}$$

Динамический диапазон очень широк и зависит от вида:

Диктор 25 -35 дБ

Речь+музыка 40 – 50 дБ

Оркестры 45 – 65 дБ

Норма динамического диапазона 65 дБ

Информационная емкость 140 – 200 кбит/с

3. Факсимильные сигналы.

К факсимильной связи относят вид электрической связи, обеспечивающий передачу неподвижных изображений.

Первичный электрический сигнал получают разверткой.

Частотный спектр факсимильного сигнала определяется характером изображения и размером светового пятна.

Самый широкий спектр факсимильный сигнал имеет в случае если изображение это ч/б полоса размером со световое пятно.

Т.о. $f_{\text{max}} = \frac{\pi DN}{120 d}$ [Гц], где D – длина строки, N – частота строк в минуту, d – диаметр сканирующего светового пятна.

В зависимости от скорости сканирования нормами ГОСТ установлены частоты 1465 Гц, 1100 Гц, 732 Гц. Особые нормы используются для передачи газетных полос.

180 Гц – 250 Гц.

Большое значение имеет количество градаций яркости

$$Q = 20 Lg \frac{U_{\text{max}}}{U_{\text{min}}}$$

От числа градаций зависит пик-фактор и динамический диапазон.

Помехозащищенность

$A_z = 35$ дБ – нормальная

При этом, информационная емкость сигнала

$$C = 6,64fLgK \text{ [бит/с]}$$

4. Факсимильные сигналы.

Первичные телевизионные сигналы формируются методом электрической развертки преобразующей изображения в видеосигнал.

В одном кадре 625 строк.

В пределах строки сигнал определяется яркостью каждой точки.

Частота следования строк $F_c = 15625$ Гц.

Время передачи одной строки $T_c = 64$ мкс

Самый большой спектр ТВ сигнала 50 Гц – 6 МГц.

Основная энергия сигнала яркости лежит в полосе до 1,5 МГц

4. Сигналы передачи данных и телеграфии.

Первичные сигналы представляют собой последовательность однополярных, либо двухполярных импульсов, некоторой минимальной длительности t_i .

Важна тактовая частота $F_i = 1/t_i$.

Для этих сигналов принято использовать единицы скорости передачи бод = бит/с.

Скорости передачи с частотой следования импульсов совпадает только для двоичных импульсов, а для многопозиционных не совпадает.

В двоичных сигналах вероятности передачи 0 и 1 практически совпадают. Понятие динамического диапазона практически не применяется.

В системах передачи, где информация передается 0 и 1, не соблюдение точной формы импульса не важно.

Иногда информация заключена в длительности импульса, тогда спектр нельзя сужать меньше чем $1,2/t_i$.

Заключение. В процессе изучения материала лекции студент знакомится с классификацией основных видов первичных сигналов, используемых в системах связи, и особенностями их свойств, позволяющих их классифицировать. Знакомство дает возможность подвести научное обоснование под различия свойств сигналов и знакомит студентов с современными фундаментальными научными понятиями

4, Элементы теории телетрафика. Типовые каналы передачи

Задачей данной темы является знакомство студентов с элементами теории телетрафика. Для этого необходимо понимание свойств типовых каналов передачи, их характеристик и особенностей.

Канал передачи – совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи в определенной полосе частот или с определенной скоростью между оконечными или промежуточными пунктами телекоммуникационных сетей.

Канал электросвязи – совокупность технических средств и среды распространения, обеспечивающих передачу сигналов электросвязи от преобразователя сообщений в первичный сигнал.

Каналы классифицируются по:

1. Методам передачи: аналоговые, цифровые. В аналоговые включаются непрерывные и дискретные. В цифровые – использующие импульсно – кодовую модуляцию, дифференциальную ИКМ, дельта модуляцию. Каналы, у которых на одних участках реализованы аналоговые методы, а на других цифровые называются смешанные.
2. В зависимости от ширины полосы пропускания при соблюдении норм на качество:
Среди аналоговых:
 - типовые каналы тональной частоты (узкополосные)
 - типовые первичные, вторичные, третичные (более широкополосные)
 - ТВ каналы
 - типовые каналы сигналов звукового вещанияЦифровые:
 - основной цифровой канал
 - типовые 1-й, 2-й, 3-й, 4-й цифровые каналы
3. По виду среды распространения:
 - проводные каналы (кабельные, воздушные, оптоволоконные)
 - каналы радиосвязи (радиорелейные, тропосферные, ионосферные)
4. По способу реализации двухсторонней связи:
 - двухпроводный однополосный канал
 - двухпроводный двухполосный канал
 - четырехпроводный однополосный канал

5. По территориальному признаку:

- международные
- междугородные
- магистральные
- зоновые
- местные

Характеристики:

1. Полоса частот F_k канала
2. T_k – время, которое может предоставить канал для передачи сигналов.
3. $D_k = 10 \lg W_{\max}/W_{\min}$ – динамический диапазон канала; W_{\max} – максимальная мощность сигнала, которую можно передать по каналу без искажений. W_{\min} – минимальная мощность сигнала, при которой еще можно передавать информацию с требуемым уровнем качества.
4. Объем канала $V_k = F_k T_k D_k$. Сравнение именно этих показателей отвечает на вопрос, можно ли данный канал использовать для реальной передачи сигнала.

Когда нет возможности обмена ресурсами, то должны выполняться все 3 ресурса:

$$F_k \geq F_c$$

$$T_k \geq T_c$$

$$D_k \geq D_c$$

Канал передачи как четырехполюсник.

Канал в целом это совокупность и технических средств и среды взаимодействия. Все это можно представить как последовательное соединение четырехполюсника. А это можно представить одним четырехполюсником:



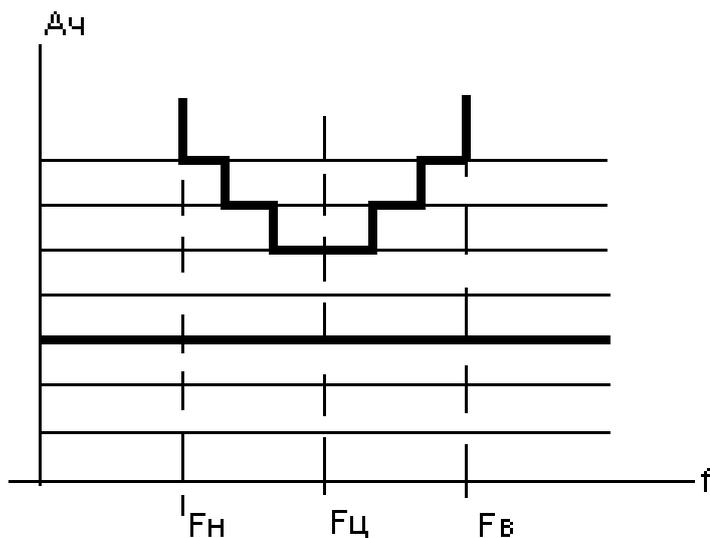
Всю совокупность характеристик канала рассматриваем как совокупность параметров данного четырехполюсника. Одной из основных характеристик является остаточное затухание канала.

Остаточное затухание канала – это затухание, рассчитанное или измеренное при подключении на его вход и выход активных сопротивлений равных номинальным. Обычно оно измеряется в децибелах и равно сумме затуханий на всех его участках, измеренных на измерительной частоте.

Степень изменения остаточного затухания канала под воздействием дестабилизирующих факторов называется нестабильностью канала.

Полоса частот, в пределах которой остаточное затухание отличается от номинального не более чем на некоторую величину $\Delta\gamma$, называется эффективно передаваемой полосой частот ЭППЧ.

Этот принцип выражается в использовании т.н. шаблонов частот.



Если характеристика АЧХ неравномерная, это приводит к появлению в сигнале линейных искажений. Если используются нелинейные виды модуляции, то большое значение имеет также и ФЧХ.

ФЧХ – это зависимость фазового сдвига между входным и выходным сигналами на различных частотах. Если она нелинейная, то это приводит к появлению фазо – частотных искажений.

Чтобы форма сигнала не изменялась, необходимо чтобы АЧХ была равномерной.

Сдвиг фаз возникает из-за временного запаздывания $\Delta\tau(f) = \omega\Delta\tau$. Для того чтобы сигнал остался прежним необходимо чтобы все спектральные составляющие задерживались в канале на одно и то же время, т.е. $\Delta\tau(f) = const$.

$$\text{ГВЗ} - \text{групповое время запаздывания } \tau(\omega) = \frac{d\Delta\varphi(\omega)}{d\omega}.$$

Линейному изменению ФЧХ соответствует равномерное ГВЗ.

Для реального канала можно нормировать максимальное отклонение ГВЗ от равномерного.

В зависимости от того, какой сигнал передается, удобнее использовать те или иные параметры четырехполюсника. Для анализа прохождения через телефонный канал сигнала звукового вещания удобно использовать спектральные характеристики.

При передаче телеграфного сигнала, данных, ТВ сигнала, оказалось удобнее использовать не частотные, а временные характеристики каналов, т.е. переходную и импульсную характеристику.

Амплитудная характеристика канала – это зависимость выходного уровня мощности или напряжения от входного.

В идеальном случае характеристика должна быть линейной $k = \frac{U_{\text{ввы}}}{U_{\text{вв}}} = const$. Но в идеальности характеристики далеки от линейных, это приводит к появлению гармоник или нелинейных искажений.

Методы:

1. Одночастотный метод
2. Двухчастотный метод

$$\text{Коэффициент нелинейных искажений: } K_{\text{НИ}} = \frac{\sqrt{(U_{2\Gamma}^2 + U_{3\Gamma}^2 + U_{4\Gamma}^2 + \dots)}}{U_{1\Gamma}^2}$$

$$\text{Коэффициент затухания нелинейности } A_n = 20 Lg \frac{1}{K_{\text{НИ}}}$$

$$A_n = 20 Lg \frac{U_{1\Gamma}}{U_{n\Gamma}} - \text{для } n - \text{ой гармоники}$$

Коэффициент ошибки Кош = $Noш/N$ – количество ошибочных символов

Типовые каналы передачи

Сети должны быть построены так, чтобы каналы обладали универсальностью, были пригодны для передачи сообщений разного рода. Это достигается нормировкой их

параметров, т.о. получаются типовые каналы передачи. Они бывают простые, т.е. не проходящие через оборудование, и составные, т.е. проходящие.

Канал тональной частоты.

Это типовой аналоговый канал передачи с полосой 300 Гц – 3,4 кГц и со следующими нормированными параметрами:

1. нормированная номинальная величина относительного измерения уровня на входе КТЧ.

$$R_{вх} = -13\text{дБ}, R_{вых} = +4\text{дБ}$$

2. физм = 1020 Гц (раньше 800 Гц)

3. ЭППЧ

Независимо от длины этот параметр не может быть хуже чем на крайних частотах $Aч \leq 8,7\text{дБ}$ (остаточное затухание)

4. неравномерность АЧХ

5. неравномерность ФЧХ

6. Амплитудная характеристика КТЧ.

Остаточное затухание одного канала должно быть постоянно с точностью до 0,3 дБ при изменении уровня измерительного сигнала в интервале от -17,5 до 3,5 дБ в точке с нулевым измерительным уровнем на любой частоте в пределах ЭППЧ.

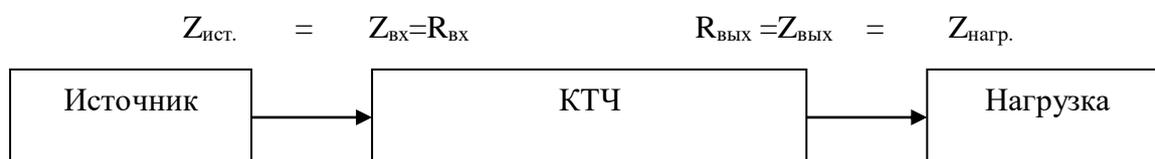
7. Нелинейные искажения.

На измерительной частоте они не должны превышать 1,5% по всем гармоникам и не должны превышать по 3-й гармонике 1%.

Нелинейные искажения.

На измерительной частоте $K_{н.и.} \leq 1,5\%$ по всем гармоникам и не должен превышать 1% по третьей гармонике.

Нормировка согласованности с внешними цепями



Если между блоками отсутствует согласование, то возникает отражение.

$$R_{\text{вх.}} = R_{\text{вых.}} = 600 \text{ Ом}$$

$$\sigma_{\text{вх.}} = \frac{U_{\text{отр.}}}{U_{\text{над.}}} = \left| \frac{z_{\text{ист.}} - R_{\text{вх.}}}{z_{\text{ист.}} + R_{\text{вх.}}} \right| \leq 10 \%$$

$$\sigma_{\text{вых.}} = \left| \frac{z_{\text{н.}} - R_{\text{вых.}}}{z_{\text{н.}} + R_{\text{вых.}}} \right| \leq 10 \%$$

$$A_b = 20 \lg \frac{1}{\sigma} = 20 \lg \sigma;$$

$$\sigma = \frac{1}{\delta};$$

$$A_\sigma \leq 20 \text{ дБ.}$$

Мощность помех измеряют псофометром.

$$U_{\text{псоф.}} = K_{\text{псоф.}} \cdot U_{\text{эфф.}}$$

Псофометрическая мощность – мощность псофометрического напряжения на некотором измерительном сопротивлении R.

Средняя мощность 32 мкВт. Пиковая мощность 2220 мкВт

ДкТЧ=30÷35 дБ.

ИкТЧ≈25 кбит/с

Канал звукового вещания

В зависимости от качества звуковые каналы делятся на:

- высшего (30 Гц - 15 кГц);
- первого (50 Гц – 10 кГц);
- второго (80 Гц – 6,3 кГц);

$f_{\text{изм.}} = 1020 \text{ Гц}$. На крайних частотах ослабление по сравнению с $f_{\text{изм.}} \leq 4,3 \text{ дБ}$.

Неравномерность внутри полосы на НЧ: $\pm(1 \div 2) \text{ дБ}$; ВЧ: $\pm 4,2 \text{ дБ}$.

На фазовые искажения распространяются обычные нормы.

ГВЗ: НЧ → $\leq (50 \div 80) \text{ мс}$

ВЧ → $\leq 10 \text{ мс}$.

Динамический диапазон: 40 дБ.

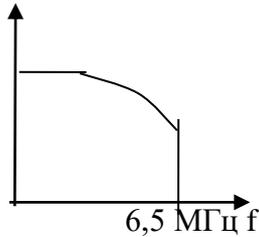
Нелинейные искажения: 0,08%

Канал изображения (КИ)

Важнейшей характеристикой является четкость. Она и определяет требования на канал.

Четкость определяется длительностью фронтов.

Требования на полосу: $0 \div 6,5 \text{ МГц}$.



Полоса частот канала имеет монотонный спад. При этом колебательность убирается, но затягиваются фронты. Четко следят, чтобы не было волнообразности и чтобы все стыки были согласованы, т.к. и то, и другое приводит к появлению эхо – сигналов.

Эхо – сигнал – дополнительное изображение, сдвинутое по вертикали и наложенное на основное изображение.

Нелинейность амплитудной характеристики влияет на соотношение яркостей.

В зависимости от вида помех, на изображении будут различные картинки. Например, периодическая помеха приводит к появлению темных и светлых полос. От импульсных помех появляются черточки. От флуктуационных помех – «снег».

Нормы по шаблонам:

0 ÷ 1,2 МГц ±2 дБ

1,2 МГц ÷ 6,5 МГц ±4 дБ

По отношению к помехоустойчивости: отношение сигнала к флуктуационной помехе в течении 99% времени работы должно быть не хуже 57 дБ.

Типовые широкополосные аналоговые каналы.

Делятся на группы:

1. ПШКГ – предварительный широкополосный канал групповой.

$$\Delta f = 12,3 \div 23,4 \text{ кГц}$$

$$I = 82 \cdot 10^3 \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

$$f_{\text{бпв}} = 18 \text{ кГц}$$

2. ПШК – первичный широкополосный канал

$$\Delta f = 60,6 \div 107,7 \text{ кГц}$$

$$I = 330 \cdot 10^3 \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

$$f_{\text{бпв}} = 82 \text{ кГц}$$

3. ВШК – вторичный широкополосный канал

$$\Delta f = 312,3 \div 551,4 \text{ кГц}$$

$$I = 165 \cdot 10^4 \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

$$f_{\text{brv}} = 420 \text{ кГц}$$

4. ТШК – третичный широкополосный канал

$$\Delta f = 812,6 \div 20434 \text{ кГц}$$

$$I = 8,5 \cdot 10^6 \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

$$f_{\text{brv}} = 1545 \text{ кГц}$$

5. ЧШК – четвертичный широкополосный канал

$$\Delta f = 8515 \div 12388 \text{ кГц}$$

$$I = 33 \cdot 10^6 \frac{\text{бит}}{\text{с}}$$

$$f_{\text{brv}} = 10324 \text{ кГц}$$

Типовые цифровые каналы (тракты)

ОЦК (основной) – 64 кбит/с;

СПЦК (субпервичный) – 480 кбит/с;

ПЦК (первичный) – 2048 кбит/с;

ВЦК (вторичный) – 8448 кбит/с;

ТЦК (третичный) – 34368 кбит/с;

ЧЦК (четвертичный) – 139264 кбит/с;

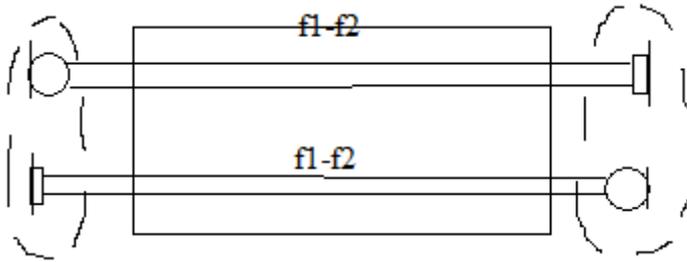
Заключение. При овладении материалами данной темы студент познакомился с элементами теории телетрафика. Были рассмотрены основные виды типовых каналов передачи и проанализированы их особенности и характеристики.

5. Организация двухсторонних каналов, особенности передачи информации по двухсторонним каналам. Развязывающие устройства.

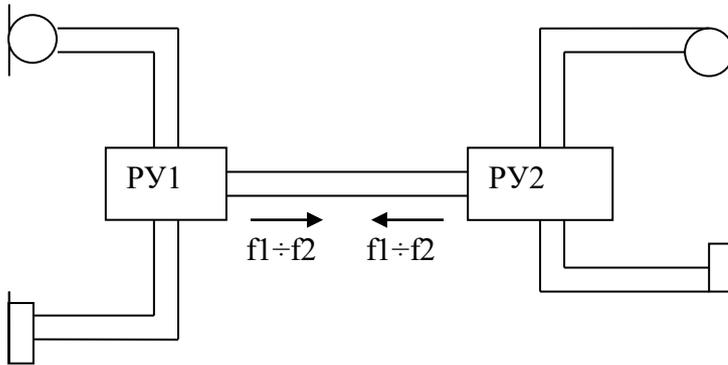
Материал данной темы знакомит студента с построением каналов передачи информации в обоих направлениях и средствами необходимой развязки потоков информации, следующих навстречу друг другу, с характеристиками соответствующих развязывающих устройств и требованиями на их параметры.

Двусторонние каналы связи

Служат для обеспечения диалога. Для обеспечения дуплексной связи используют два односторонних симплексных канала.

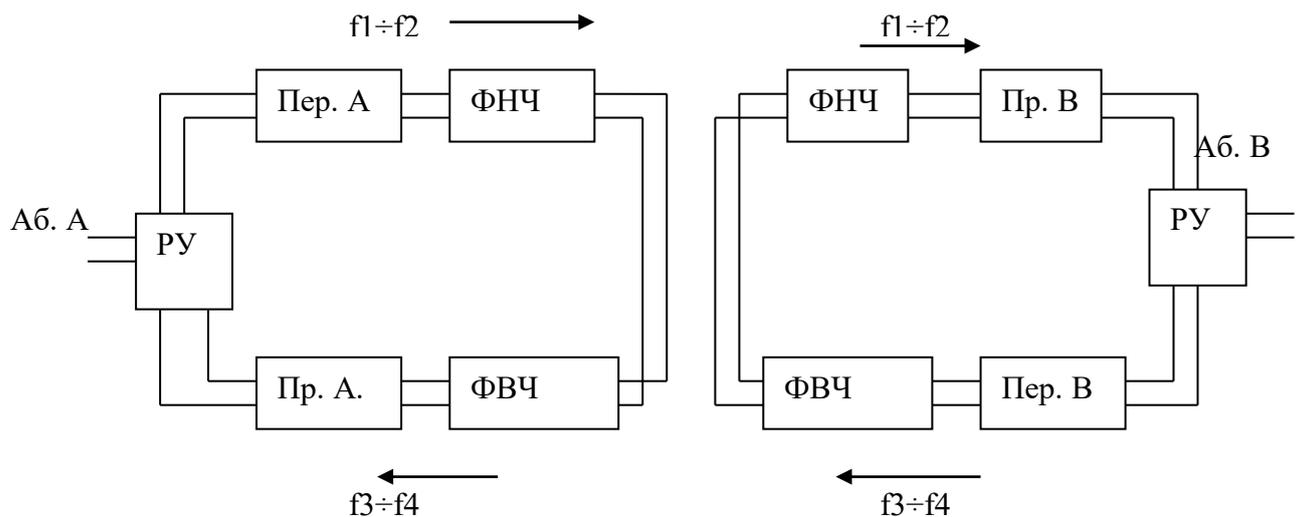


Сейчас используются двухпроводные линии. Для того чтобы разделить потоки, необходимы развязывающие устройства (резистивные и трансформаторные).



Используется одна и та же полоса частот

Двухсторонняя однополосная система



В этой схеме развязка осуществляется с помощью фильтров и с помощью преобразователя частоты

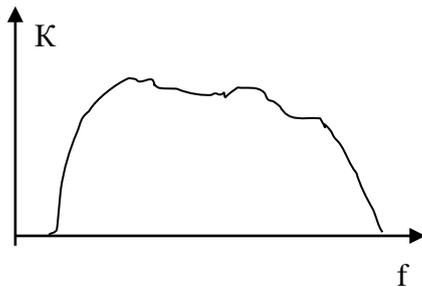
Расчет цепей согласования

Условие согласования:

$$\dot{z}_u = \dot{z}_n^*$$

Рассогласование может привести к:

- не вся энергия будет потребляться потребителем;
- при использовании в аппаратуре связи на разных частотах коэффициент передачи разный, неравномерный. Следовательно, если спектр сигнала широкополосный, то образуются значительные частотные искажения.



Поэтому необходимо использовать цепи согласования.

Их можно разделить на 4 класса:

- резистивные;
- резонансные;
- на широкополосных трансформаторах;
- СВЧ-цепи согласования.

Рассмотрим достоинства и недостатки каждой из них.

1. Резистивные.

- + самые широкополосные
- + простая конструкция
- самое большое затухание

2. Резонансные

- + состоят только из реактивных элементов L и C
- + наименьшие потери энергий;
- согласование в узкой полосе частот;

3. ШП трансформаторы

- + используются ферриты
- + небольшие потери
- + достаточно широкополосные

- так как используется феррит, то чем больше мощность, тем больше размеры (есть ограничение по мощности)

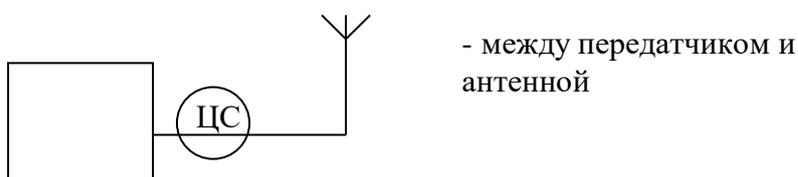
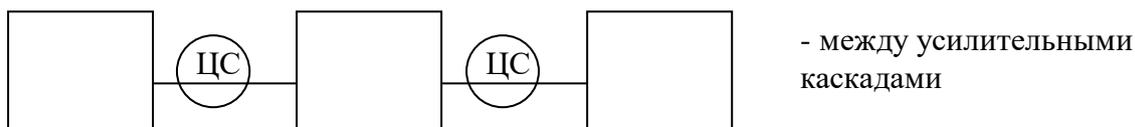
4. СВЧ – цепи

+ потери очень малы

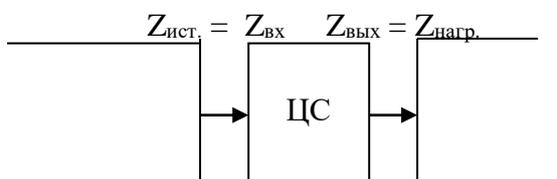
+ широкополосные

- все свойства проявляются, если геометрические размеры соизмеримы с длиной волны.

Будем рассчитывать резонансные цепи. Их ставят:



Рассмотрим случай между усилительными каскадами.



Нужно так рассчитать цепь согласования, чтобы на входе $Z_{вх} = Z_{ист.}$, а на выходе $Z_{вых.} = Z_{нагр.}$.

$$z_{ист} = R_{ист.} + jX_{ист.};$$

$$z_{нагр} = R_{нагр.} + jX_{нагр.};$$

Все методики согласуют только активные составляющие, поэтому на входе и на выходе ЦС ставится реактивный элемент.

Для проведения последующих измерений, все ЦС рассчитываются под стандартное сопротивление в 50 Ом.

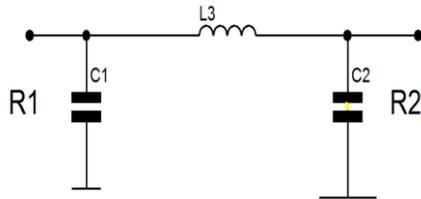
Если $R_{ист.} = 10\text{ Ом}$, а $R_{н.} = 5\text{ Ом}$, то используются две ЦС. Первая преобразует $10\text{ Ом} \rightarrow 50\text{ Ом}$, а вторая $50\text{ Ом} \rightarrow 5\text{ Ом}$.

Очень узкополосные цепи согласования делать нельзя.

Максимальный коэффициент звена не более 5-7. Например, для преобразования 1 Ом в 50 Ом. можно использовать схему: $1\text{Ом} \cdot 5 \cdot 5 \cdot 2 = 50\text{Ом}$.

Типовые схемы звеньев

П-образное звено



Расчет приводится для случая, если $R_1 > R_2$. В противном случае, схему нужно отразить по вертикали.

На первом этапе по известным R_1 , R_2 , q находятся реактивные сопротивления x_1 , x_2 , x_3 .

На втором этапе из полученных сопротивлений x и заданной частоты f рассчитываются номиналы элементов.

$$x_L = 2\pi f_p L;$$

$$x_C = \frac{1}{2\pi C f_p}$$

Выбор коэффициента q :

$$q^2 > \frac{R_1}{R_2} - 1 \quad q < (30 \div 40)$$

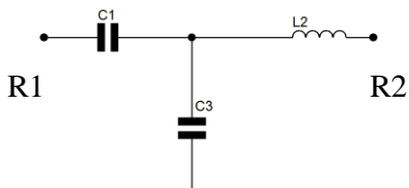
Сопротивления x находятся:

$$x_1 = -\frac{R_1}{q};$$

$$x_2 = -\frac{R_2}{\sqrt{\frac{R_2}{R_1}(1+q^2)} - 1};$$

$$x_3 = \frac{R_1}{1+q^2} \cdot \left(q - \frac{R_2}{x_2} \right)$$

T-образное звено



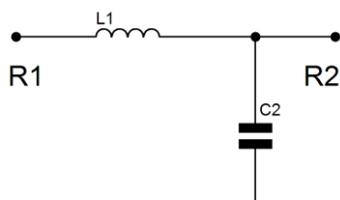
Расчет, если $R_1 > R_2$. Подход такой же. Выбор q также.

$$x_1 = -R_1 \sqrt{\frac{R_1}{R_2} (1 + q^2) - 1};$$

$$x_2 = qR_2;$$

$$x_3 = -\frac{R_2 \cdot (1 + q^2)}{q + \frac{x_1}{R_1}}$$

Г-образное звено.



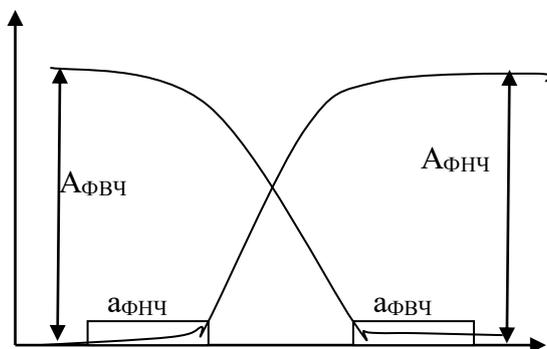
Расчет, если $R_1 < R_2$. Подход такой же. q здесь нет

$$x_1 = \sqrt{R_1 (R_2 - R_1)}$$

$$x_2 = -R_2 \sqrt{\frac{R_1}{R_2 - R_1}}$$

Характеристики ослабления по частоте.

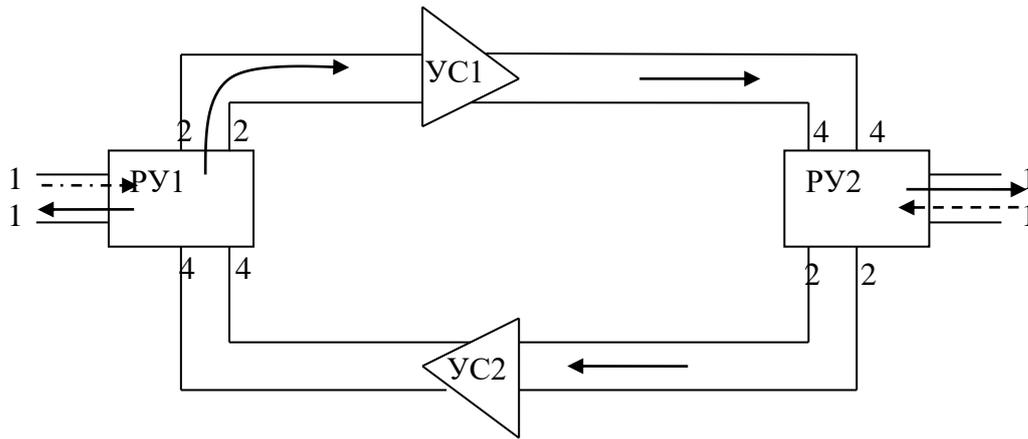
Двухсторонние каналы.



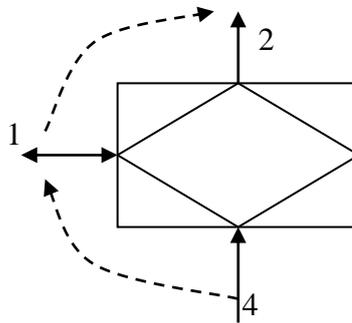
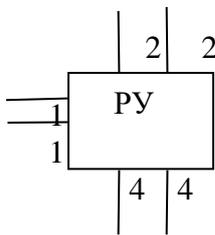
A – затухание ненужного канала;

a – затухание нужного канала.

Длина телефонного канала может составлять до 27500 км.



Развязывающие устройства



$11 \rightarrow 22$
 $44 \rightarrow 11$

} (затухание минимально)

Направления пропускания

$44 \rightarrow 22$ – направление развязки (задерживания) – затухание максимально.

Идеальное РУ:

$$A_{11 \rightarrow 22} = A_{44 \rightarrow 11} = 0$$

$$A_{44 \rightarrow 22} = A_{22 \rightarrow 44} = \infty$$

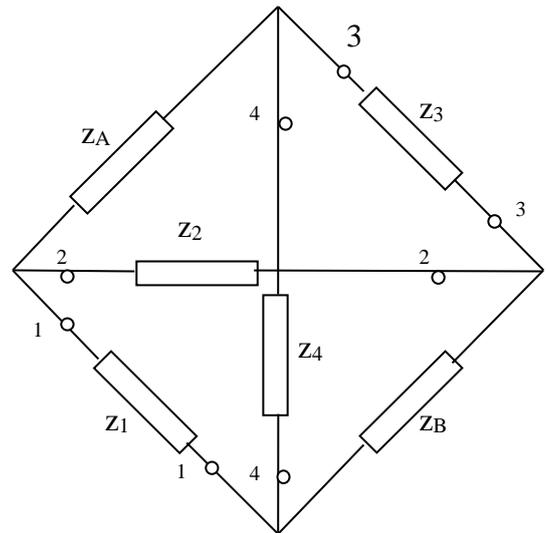
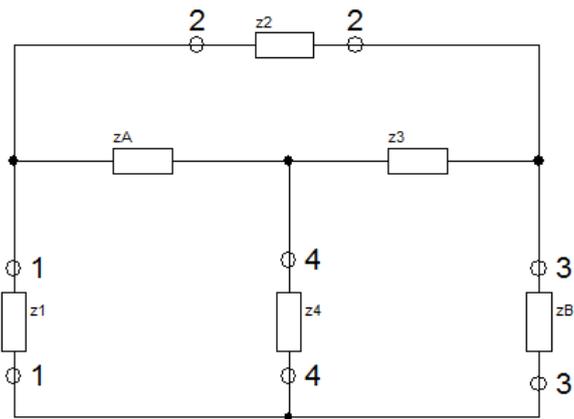
Со стороны всех входов сопротивление должно быть согласованным. В направлении пропускания искажения должны отсутствовать.

РУ бывает 3 типов:

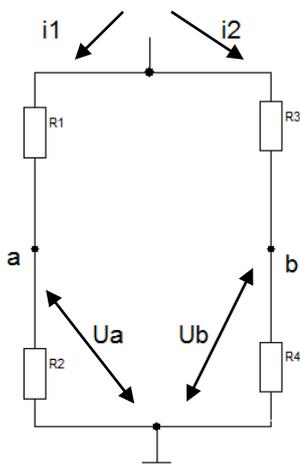
- Линейные РУ на пассивных элементах (пассивный РУ). Параметры не меняются по времени и не зависят от уровня сигнала.
- Линейный РУ с активными элементами. Параметры зависят от сигнала, но по времени не меняются
- Параметрические РУ. Зависят от времени и параметры могут меняться.

Если $A_{22 \rightarrow 11} = A_{11 \rightarrow 22}$ и $A_{44 \rightarrow 11} = A_{11 \rightarrow 44}$, то РУ называют обратимыми или взаимными.
 Линейный пассивные РУ всегда обратимые.

Резистивные дифференциальные системы (РДС)



Принцип работы моста



$$i_1 = \frac{U_1}{R_1 + R_2}$$

$$i_2 = \frac{U_2}{R_2 + R_4}$$

$$U_A = i_1 R_2 = U_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_1 \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

$$U_B = i_2 R_4 = U_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4} = U_1 \frac{1}{1 + \frac{R_3}{R_4}}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}, \text{ тогда } U_A = U_B \Rightarrow U_{AB} = 0$$

Вывод: Какой бы сигнал не подать на вход, между точками А и В ничего не проникает.

Все это справедливо и для комплексных сопротивлений:

$$z_1 z_3 = z_A z_B$$

$$\left(\frac{z_1}{z_A} = \frac{z_B}{z_3} \right)$$

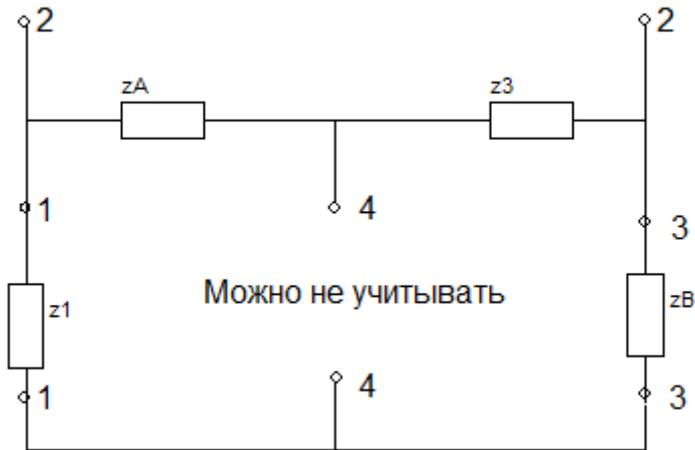
Если эти соотношения выполняются, схема называется уравновешенной или сбалансированной. z_1, z_3, z_A, z_B – плечи мостовой схемы. Z_2, z_4 – диагонали.

Если в РДС выполняется условие, $z_1 = z_2 = z_3 = z_4 = Z$ (волновое сопротивление линии)

и $z_A = \eta Z; z_B = \frac{z}{\eta}$, тогда РДС равноплечная.

Для того чтобы РДС можно было подключить к линии, нужно чтобы $z_1=Z$. Определим входное сопротивление со стороны 2-2.





$$z_{22} = \frac{(z_A + z_3)(z_B + z_1)}{z_A + z_3 + z_B + z_1} = \frac{(\eta z + z) \left(z + \frac{1}{\eta} z \right)}{z + \eta z + z + \frac{1}{4} z} = \frac{\eta z^2 + 2z^2 + \frac{1}{\eta} z^2}{\eta z + 2z + \frac{1}{\eta} z} = z$$

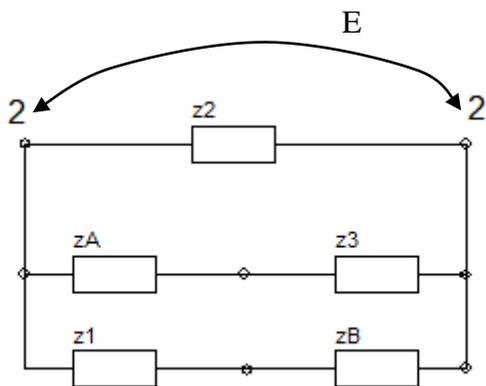
Аналогично, $z_{44}=z$.

Для того, чтобы соблюдалась развязка, входное сопротивление приемника и выходное сопротивление передатчика должно быть равно z .

Затухание сигнала при распространении в разных направлениях.

Будем рассматривать при условии, что все входы полностью согласованы.

22→11:



$$U_{11} = U_{22} \frac{z_1}{z_1 + z_B}$$

$$A_{22 \rightarrow 11} = 20 \lg \frac{U_{22}}{U_{11}} = 20 \lg \frac{z \left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{z} = 20 \lg \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) = A_{11 \rightarrow 22}$$

$$A_{22 \rightarrow 33} = 20 \lg \frac{U_{22}}{U_{33}} = 20 \lg \frac{z + \frac{1}{\eta}}{z \frac{1}{\eta}} = 20 \lg \left(1 - \frac{1}{\eta}\right) = A_{33 \rightarrow 22}$$

$$A_{22 \rightarrow 14} = 20 \lg \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) = A_{14 \rightarrow 22}$$

$$A_{22 \rightarrow 34} = 20 \lg (1 + \eta) = A_{34 \rightarrow 22}$$

$$A_{44 \rightarrow 11} = 20 \lg (1 + \eta) = A_{11 \rightarrow 44}$$

$$A_{44 \rightarrow 14} = 20 \lg \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) = A_{14 \rightarrow 44}$$

$$A_{44 \rightarrow 43} = 20 \lg \left(1 + \frac{1}{\eta}\right) = A_{43 \rightarrow 44}$$

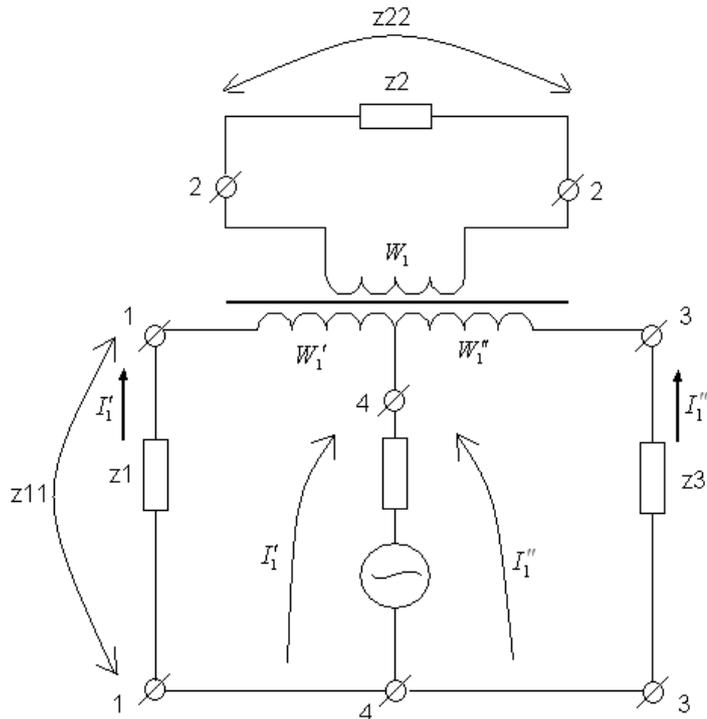
$$A_{44 \rightarrow 33} = 20 \lg (1 + \eta) = A_{33 \rightarrow 44}$$

У равноплечных РДС ($\eta = 1$) между $A_{22 \rightarrow 44}$ затухание ∞ , между остальными – одинаково и равно 6 дБ.

Равноплечными РДС выбирать необязательно. Обеспечивая $\eta \neq 1$, при сохранении $A = \infty$ между другими выходами можно обеспечить нужный коэффициент передачи, не равный 6 дБ.

РДС реализуется просто. Все свойства сохраняются, если сопротивления будут чисто реактивными. Если хотя бы одно из сопротивлений будет комплексным, то все остальные тоже должны быть комплексными.

Трансформаторные дифференциальные системы
(ТДС)



$$W_1 = W_1' + W_1''$$

$$n = \frac{W_1}{W_2} = n_1 + n_2 = \frac{W_1'}{W_2} + \frac{W_1''}{W_2}$$

$$\eta = \frac{W_1'}{W_1''}$$

Будем считать, что трансформатор идеальный (нет потерь, индуктивностью рассеяния можно пренебречь).

Анализ работы

При подключении генератора к клеммам 4 – 4 в обмотке \$W_1\$ создаются противоположно направленные магнитные потоки.

$$\Phi_1' = I_1' \cdot W_1'$$

$$\Phi_1'' = I_1'' \cdot W_1''$$

Так как трансформаторы дифференциальные, то суммарный магнитный поток пропорционален их разности, ток равен 0 во вторичном контуре.

Условие сбалансированности ТДС:

$$I_1' \cdot W_1' = I_1'' \cdot W_1''$$

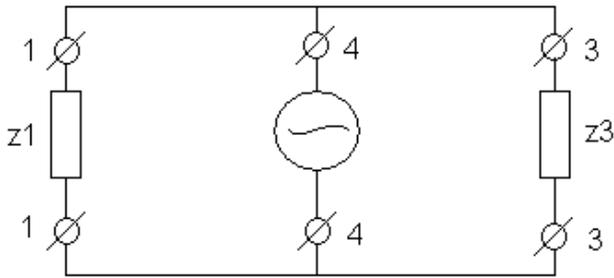
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{W_1'}{W_1''} = \eta$$

$$\frac{I_3}{I_1} = \frac{z_1}{z_3} = \eta$$

$$z_3 = \frac{z_1}{\eta}$$

Со стороны 4 – 4:

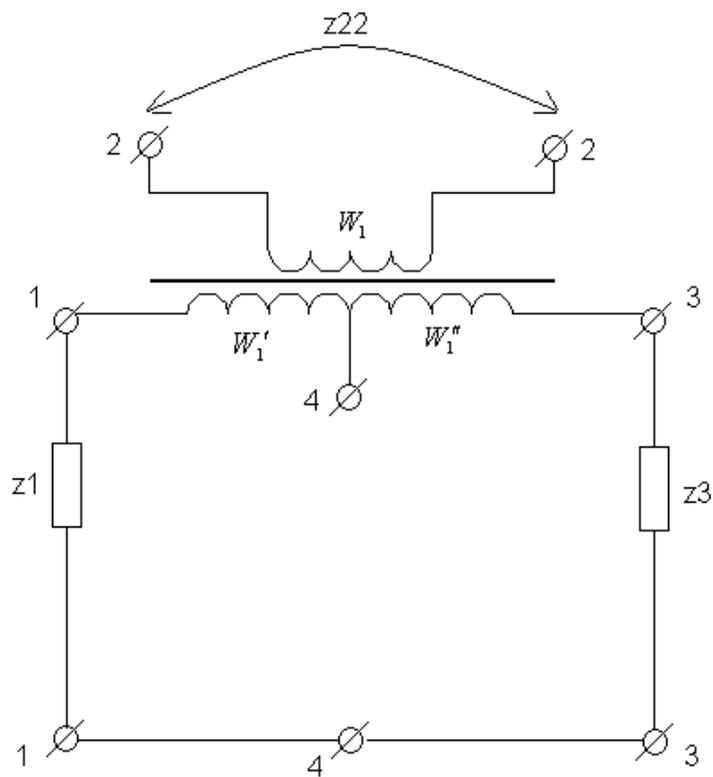
Мост сбалансирован, поэтому 2 – 2 не учитывают.



$$z_4 = \frac{z_1 z_3}{z_1 + z_3} = \frac{z_1 z_1 / \eta}{z_1 + z_1 / \eta} = z_1 \frac{1}{1 + \eta}$$

$z_4 = z_{44}$ - для согласования.

Со стороны клеммы 2 – 2:



$$n = \frac{W_1}{W_2}$$

$$z_{22} = \frac{z_1 + z_3}{n^2} = \frac{z_1 + z_1/\eta}{n^2} = z_1 \frac{1+\eta}{\eta n^2}$$

$$z_2 = z_{22} = z_1 \frac{1+\eta}{\eta n^2}$$

$$n = \sqrt{\frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{1+\eta}{\eta}}$$

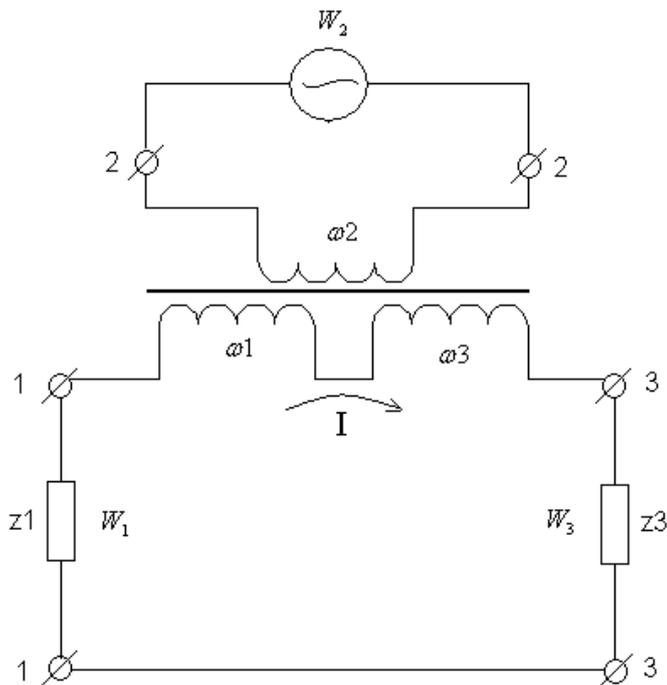
Со стороны клеммы 3 – 3:

$$z_1 = z_{11}$$

$$z_1 = \eta z_2 \frac{n^2}{(1+n)^2}$$

Затухания в различных направлениях

$$22 \rightarrow \begin{cases} 11 \\ 33 \end{cases}$$



$$W_2 = W_1 + W_3$$

$$W_1 = I_1^2 z_1, W_3 = I_1^2 z_3 = I_1^2 z_1 / \eta \Rightarrow W_2 = I_1^2 z_1 (1 + 1/\eta)$$

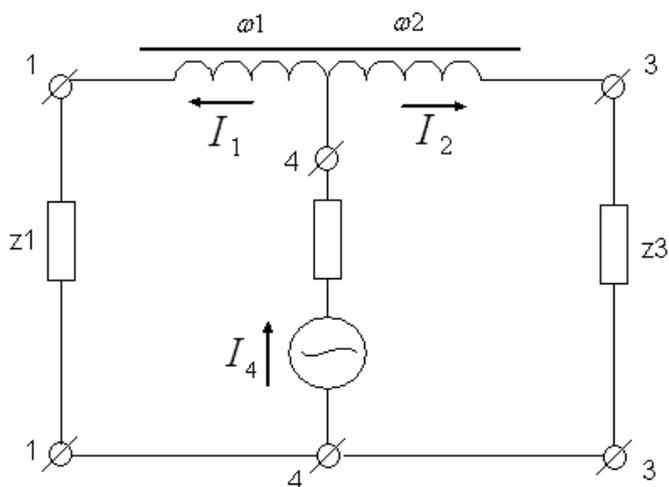
$$A_{22-11} = 10 \lg \frac{W_2}{W_1} = 10 \lg (1 + 1/\eta) = 10 \lg \left(\frac{\eta + 1}{\eta} \right) = A_{11-22}$$

$$A_{22-33} = 10 \lg \frac{W_3}{W_1} = 10 \lg (1 + \eta) = A_{33-22}$$

Для равноплечных схем $A_{22-11} = A_{11-22} = A_{22-33} = A_{33-22} = 3\delta B$

В резистивной цепи было 6дБ.

$$44 \longleftrightarrow \begin{cases} 11 \\ 33 \end{cases}$$



$$W_4 = W_1 + W_3 = I_1^2 z_1 + I_3^2 z_3$$

$$z_3 = z_1 / \eta, \text{ ПОЭТОМУ } W_3 = I_1^2 z_1 / \eta$$

$$I_3 = I_1 \eta$$

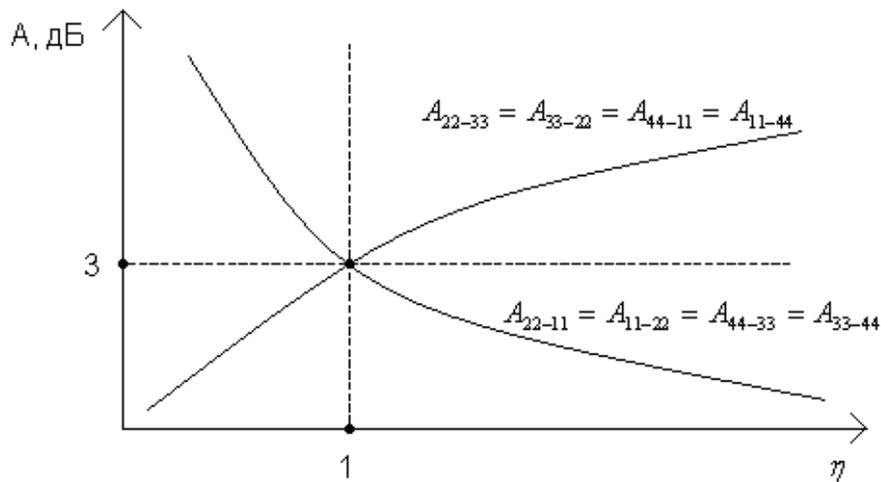
$$W_4 = I_1^2 z_1 (1 + \eta)$$

$$A_{44-33} = 10 \lg \frac{W_3}{W_4} = 10 \lg (1 + 1/\eta) = A_{33-44}$$

$$A_{44-11} = 10 \lg \frac{W_1}{W_4} = 10 \lg (1 + \eta) = A_{11-44}$$

Для равноплечной схемы $A_{44-33} = A_{33-44} = A_{44-11} = A_{11-44} = 3\text{дБ}$

Обобщая можно построить графики:

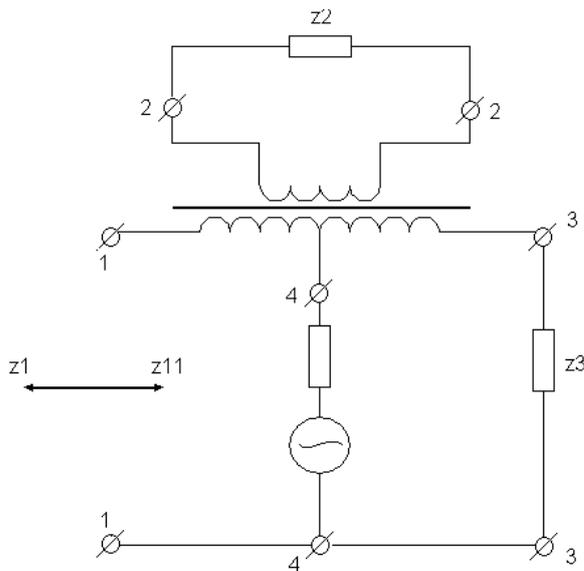


Все расчеты проведены для идеальных систем, у которых потерь нет.

Неуравновешанные ТДС

Условие балансировки не выполняется.

44 → 22



$$z_{11} = z_2 \eta \neq z_1$$

$$A_{44-11} = 10 \lg(1 + \eta)$$

Если бы линии были согласованы, то никакого отражения не было. Но $z_{11} \neq z_1$, то часть энергии отражается.

Затухания при отражении

$$\begin{aligned}
A_{44-22} &= A_{44-11} + A_{omp} + A_{11-22} = 10 \lg(1 + \eta) + 20 \lg \left| \frac{z_1 + z_{11}}{z_1 - z_{11}} \right| + 10 \lg(1 + 1/\eta) = \\
&= 10 \lg \frac{1 + \eta^2}{\eta} + 20 \lg \left| \frac{z_1 + \eta z_B}{z_1 - \eta z_B} \right| \\
A_{44-22} &= A_{22-44} = 20 \lg \left| \frac{z_1 + \eta z_B}{z_1 - \eta z_B} \right| + 6 \text{дБ}
\end{aligned}$$

В реальных схемах развязку более 25-35дБ получить невозможно.

Для РДС значение такое же.

Сравнение ТДС и РДС.

Характеристика ТДС.

Достоинства:

1. Отсутствие гальванической связи (постоянный ток между 2-ми и 4-ми выводами не проходит);
2. Возможность подключения до 4-х различных сопротивлений нагрузок;
3. В направлении пропускания сравнительно малые затухания сигнала;

Недостатки:

1. Наличие нелинейных искажений сигнала;
2. Феррит или железо трансформатора насыщается. Чтобы этого не было, увеличивают массу, габариты и стоимость.
3. Чтобы частотная характеристика в пределах полосы пропускания была равномерной необходимо увеличивать индуктивность обмотки.

Характеристика РДС.

Достоинства:

1. Простота изготовления, малые вес, габариты и стоимость;
2. Возможность микроминиатюризации с точным соблюдением параметров;
3. Равномерная частотная характеристика во всех направлениях и отсутствие нелинейных искажений вплоть до больших мощностей;

Недостатки:

1. Большое затухание;
2. Наличие гальванической связи;

3. Если хотя бы одно из сопротивлений будет комплексным, то комплексными должны быть и все остальные.

Заключение. В процессе знакомства с материалами данной темы студент получает представление о построении каналов передачи информации с передачей в обоих направлениях. Также со средствами необходимой развязки потоков информации, следующих навстречу друг другу, с характеристиками соответствующих развязывающих устройств и требованиями на их параметры.

Заключение.

Развитие радиоэлектронных средств и условия, в которых приходится функционировать оборудованию, требует знания принципов организации передачи информации, работы основных узлов оборудования, характеристик различных инфокоммуникационных методов, используемых в связи. Это необходимо для понимания принципов работы оборудования, его особенностей, а также текущих и принципиально достижимых возможностей.

Целями обучения в рамках данной дисциплины является освоение методов использования соответствующей справочной литературы и других источников технической информации, включая электронные источники, а также принципов работы инфокоммуникационных систем различных видов и технические ограничения их параметров.

В связи с развитием различных технологий современная аппаратура связи постоянно усложняется, поэтому необходимо осваивать появляющиеся новые методы обработки информации и использовать их расширяющиеся возможности, а также принципы замены устаревающей аппаратуры новыми образцами. Большое значение имеет учет условий эксплуатации с соблюдением требований к надежности работы аппаратуры, ее устойчивости к воздействию окружающей среды, экологии и технологичности. В процессе изучения материалов дисциплины наряду с теоретическими знаниями студенты приобретут соответствующие практические навыки.

Список литературы.

Основная литература

1. Крухмалев В.В. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / В.В.Крухмалев и др. – М.:Горячая линия-Телеком, 2004. – 510 с.
2. Крук Б.И. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. В 3-х томах /Б.И.Крук, В.Н.Попантонопуло, В.П.Шувалов – М.:Горячая линия-Телеком,– 2003– 2007
3. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. – М.: Эко-Трендз, 2001 – 283с.

4. Полушин П.А. Методические указания по проведению лабораторной работы «Основы построения телекоммуникационных систем и сетей» Владимир, Библ. ВлГУ, 2010. – 52.
- 5 Методические указания к лабораторным работам «Радиокомпоненты и электроника», Архипов Е.А., Никитин О.Р., Тарарышкина Л.И., Титов В.Н. – Владимир, Библ. ВлГУ, 2005. – 81с.

Дополнительная литература.

1. Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов / В.П.Ипатов и др. – М.: Горячая линия-Телеком, 2003. – 272с.
2. Тяпичев Г.А. Спутники и цифровая связь – М.: ТехБук, 2004. – 288с.

Отечественные журналы:

- Радиотехника;
- Радиотехника и электроника;
- Приборы и техника эксперимента;
- Цифровая обработка сигналов.

Реферативные журналы:

- Радиотехника;
- Электроника.

Зарубежные журналы:

- IEEE Transactions on Communications;
- IEEE Transactions on Signal Processing;
- IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.