

Билет №1

1) Взаимосвязанная сеть связи (ВСС)

Взаимосвязанная Сеть Связи (ВСС) – комплекс технологически сопряженных сетей электросвязи общего пользования и ведомственных сетей электросвязи, обеспеченный общим централизованным управлением.

Сетевая основа российских телекоммуникаций определена ЕСЭ (единая сеть электросвязи). Она объединяет все сети электросвязи на территории РФ и связана с сетями электросвязи других стран.

ЕСЭ состоит из следующих категорий сетей:

- Сеть связи общего пользования (стационарные телефоны)
- Выделенные сети связи (правительство, ГАЗПРОМ)
- Технические сети связи (заводы)
- Сети специального назначения

По числу присоединения абонентских терминалов сети ЕСЭ подразделяются на:

- Сеть фиксированной связи (обеспечивает соединение стационарных абонентов)
- Сети подвижной связи (обеспечивает соединение переносимых, подвижных абонентских терминалов)

Сеть ЕСЭ подразделяется на первичную и вторичную.

Первичная сеть – совокупность каналов связи и трактов передачи, образованных оборудованием узлов и линий передачи, соединяющих эти узлы.

Вторичная сеть – совокупность каналов различного назначения (телефон, телеграф, телевизионные каналы), которые базируются на каналах первичной сети.

Первичная сеть подразделяется на:

- Магистральную
- Внутризоновую
- Местную

Сети кода ABC – стационарная связь (495, 499)

Сети кода DEF (903, 916)

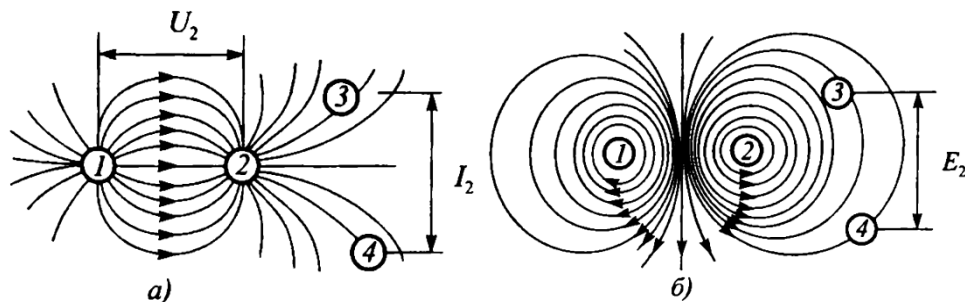
Вопрос 2. Физическая сущность взаимного влияния между симметричными цепями связи.

Рассмотрим природу влияний между симметричными цепями кабеля на примере двух цепей, поперечный разрез которых показан на рис. 9.1. Допустим, что по цепи, образованной жилами 1 и 2, протекает переменный ток. Под действием этого тока вокруг цепи 1-2 создается переменное электромагнитное поле, которое может быть представлено в виде суммарного действия электрического и магнитного полей. Под действием электрического поля цепи 1-2 на жилах 3 и 4 возникают электрические заряды, которые вследствие различия расстояния между жилами 1, 2 и 3, 4 будут разной величины. Индуцированные заряды создают между жилами 3, 4 разность потенциалов, под действием которой в цепи 3-4 протекает ток. Наведенный ток достигает приемника, включенного на конце цепи, и создает мешающее влияние. Влияние, обусловленное действием электрического поля, называют *электрическим влиянием*.

Одновременно с электрическим влиянием между цепями действует и магнитное влияние. При прохождении переменного тока по цепи 1-2 вокруг нее создается переменное магнитное поле, в котором расположены жилы цепи 3-4. В результате магнитной индукции в жилах 3 и 4 наводится ЭДС, которая и создает ток в цепи 3-4. Этот ток достигает приемника, включенного на конце цепи, и оказывает мешающее действие. Влияние, обусловленное действием магнитного поля, называют *магнитным влиянием*.

Чем выше частота передаваемого тока по цепи, тем быстрее протекает процесс изменения электрического и магнитного полей и тем больше величины наведенных ЭДС и токов в соседних цепях.

Цепь, являющаяся источником электромагнитного поля, называется *влияющей*, а цепь, в которой возникают токи и напряжения помех, — *подверженной влиянию*.



Схемы взаимных электрического (а) и магнитного (б) влияний

1. Основные принципы развития междугородней телефонной сети. Цифровые и аналоговые системы передач.

Междугородная телефонная сеть представляет собой совокупность междугородных станций оконечных и оконечно-транзитных узлов автоматической коммутации и каналов связи между ними.

1) Получение большого числа телефонных каналов, на основе которых создаются другие типы каналов (телеграф). В аналоговых системах используется частотное разделение каналов. Передается ряд несущих частот, отстоящих друг от друга на 4 кГц. Амплитуда каждой несущей частоты модулируется низкочастотным сигналом человеческого голоса. На концах линии установлены фильтры, которые пропускают к абоненту только определенную несущую частоту.

0.3-3.4 Гц – эффективно передаваемая полоса частот (по телефону);

800 Гц – человеческий голос;

4 кГц – телефонный канал;

6.5 МГц – телевизионный спектр.

2) Обеспечивает требование дальности передачи, как в пределах страны, так и за рубежом.

Цифровой сигнал образуется по временному принципу. Время передачи разделяется на циклы длительностью в 125 мкс. Во время цикла каждый канал подключается к линии в определенный для него интервал. В этот момент в линию передается среднее значение амплитуды сигнала данного канала за время цикла. Это значение выражено в цифровой форме в двоичной системе счисления, то есть в виде набора некоторого количества нулей и единиц.

Цифровой канал обладает значительно большей шириной спектра – 64 кГц, у него большая помехоустойчивость.

К – система частотная (K60, K120, K300)

ИКМ: СТМ1 – 155 Мбит/с, СТМ2 – 622 Мбит/с, СТМ3 – 2.4 Гбит/с.

2. Первичные параметры влияния.

Электрические магнитные влияния между двумя цепями характеризуются K_{12} – электрической и M_{12} – магнитной связями.

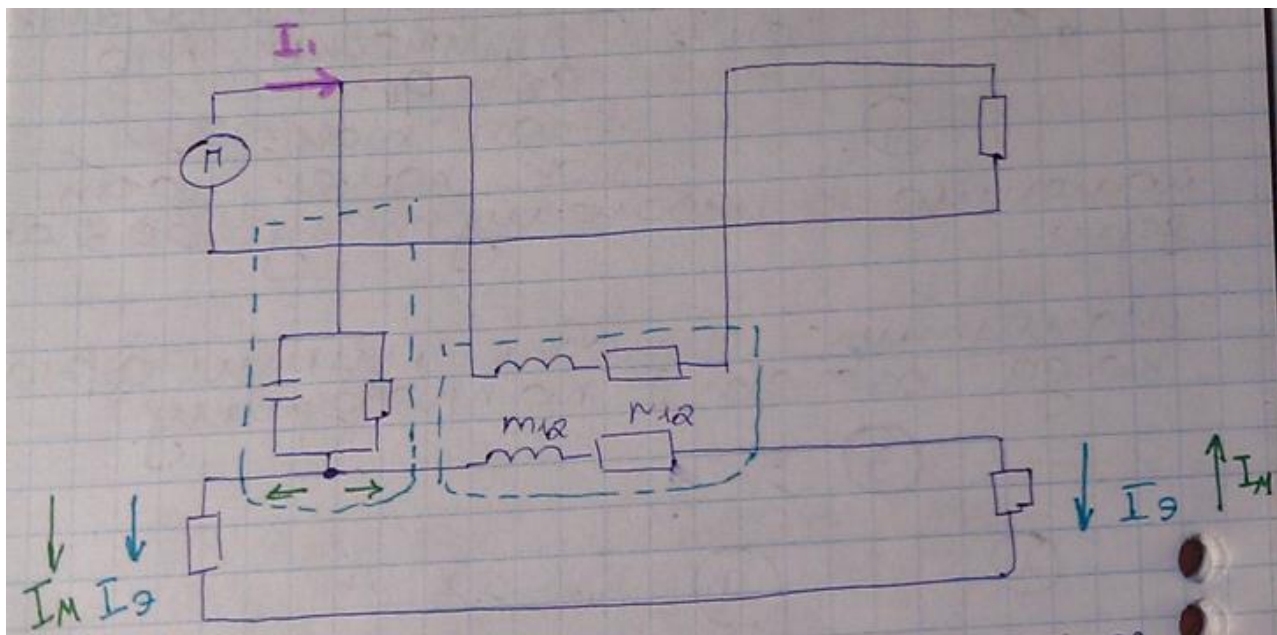
$$K_{12} = q_{12} + i \cdot \omega \cdot k_{12}$$

$$M_{12} = r_{12} + i \cdot \omega \cdot m_{12}$$

q_{12}, r_{12} – активные составляющие;

k_{12}, m_{12} – реактивные составляющие.

Характер действия электрической и магнитной связи между двумя цепями. Эквивалентная схема.



1-ая цепь влияющая, 2-ая подверженная влиянию. На ближнем конце $I_3 + I_M$, а на дальнем $I_3 - I_M$. На дальнем конце защищенность больше.

$$N_{12} = K_{12} + M_{12} - \text{ближний конец}$$

$$F_{12} = K_{12} - M_{12} - \text{дальний конец}$$

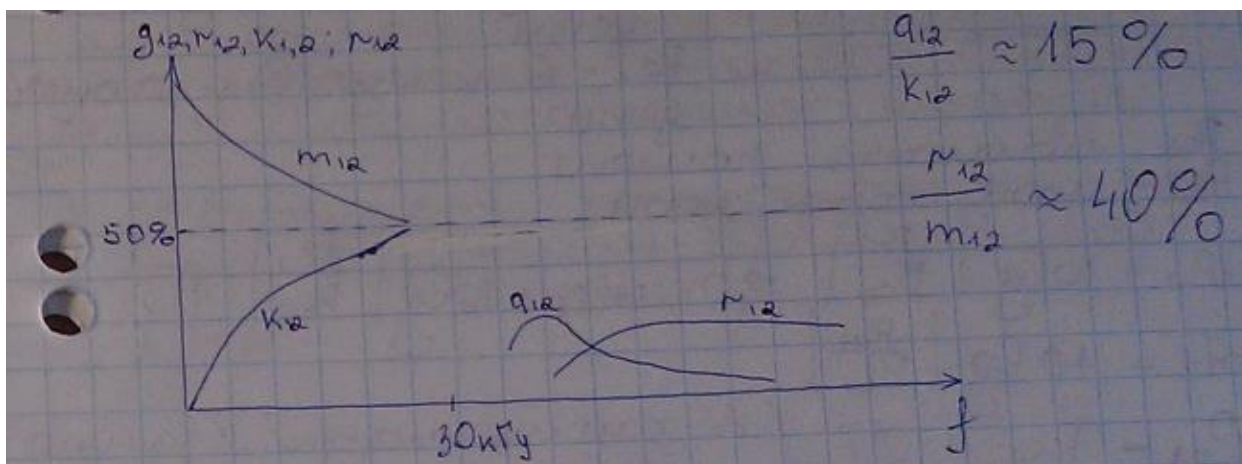
Соотношение активных и реактивных составляющих различны.

В ВЛС где провода находятся далеко друг от друга и нет оболочек получаем что:

$$K_{12} = i \cdot w \cdot k_{12}$$

$$M_{12} = i \cdot w \cdot m_{12}$$

В симметричных кабелях учитываем обе составляющие и они зависят от частоты.



Первичные параметры можно определить на коротких участках

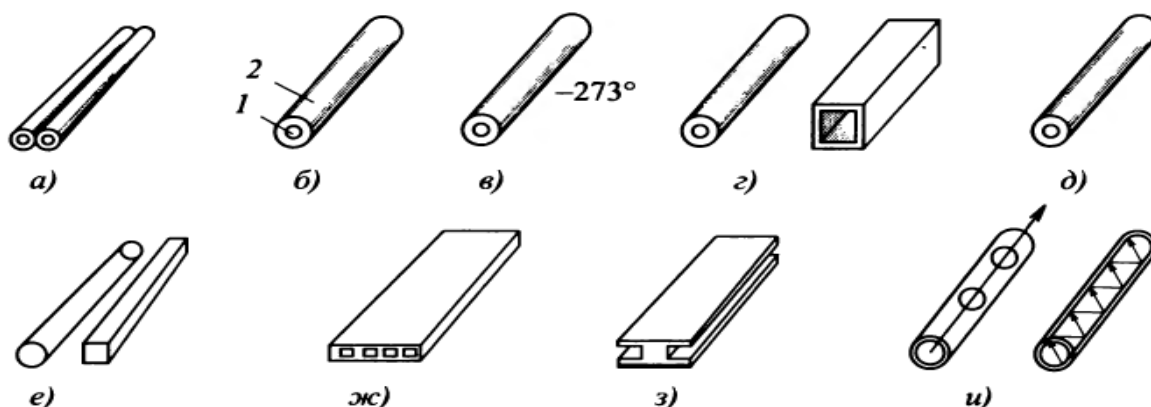
1) Классификация направляющих систем

Направляющая система (НС) – это устройство, позволяющее передавать электромагнитную энергию в заданном направлении. Таким свойством обладает проводник, диэлектрик и любая граница раздела двух сред (металл – диэлектрик, диэлектрик – воздух и др.). Роль НС могут выполнять металлическая линия (кабель, волновод), диэлектрическая линия из материала с диэлектрической проницаемостью $\epsilon < 1$ (диэлектрический волновод, волноводный световод) или металлодиэлектрическая линия (линия поверхностной длины).

Современные направляющие системы передачи (НСП) подразделяются на:

- ❖ Воздушные линии связи (ВЛ)
- ❖ Симметричные кабели (СК)
- ❖ Коаксиальные кабели (КК)
- ❖ Сверхпроводящие кабели (СПК)
- ❖ Волноводы (В)
- ❖ Оптические кабели (ОК)
- ❖ Линии поверхностной волны (ЛПВ)
- ❖ Диэлектрические волноводы (ДВ)
- ❖ Ленточные кабели (ЛК) или полосковые линии (ПЛ)
- ❖ Радиочастотные кабели (РК)

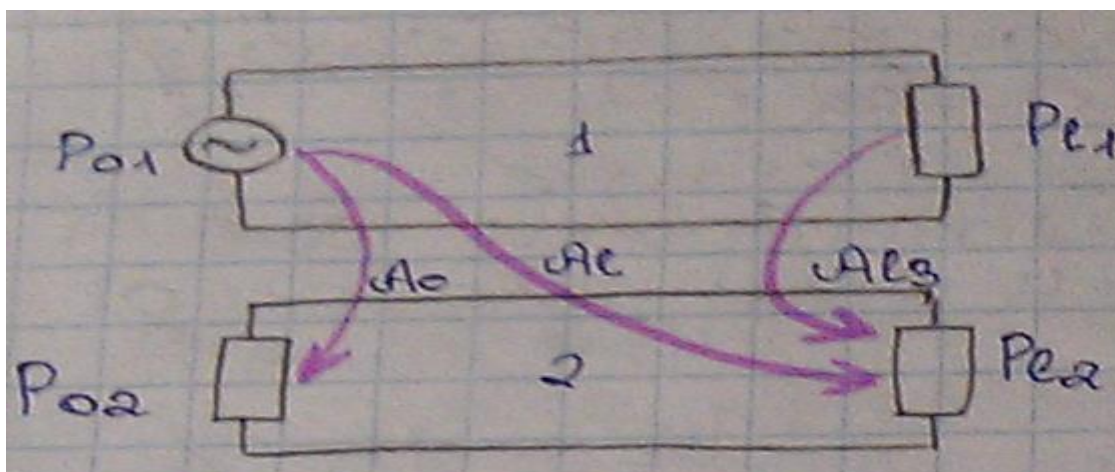
Конструкция НС



ВЛ и **СК** относятся к группе симметричных цепей (рис. а). В **КК** (рис.б) проводник 1 концентрически расположен внутри проводника 2, имеющего форму полого цилиндра. Внутренний проводник изолируется от внешнего с помощью различных изоляционных прокладок (шайбы, баллоны, кордели и др.). **СПК** (рис. в) имеет коаксиальную конструкцию весьма малых габаритных размеров, помещённую в условия низких отрицательных температур. **Волноводы** (рис. г) представляет собой полую металлическую трубку круглого или прямоугольного сечения, изготовленную из хорошо проводящего материала. **ЛПВ** (рис. д) представляет собой одиночный металлический провод, покрытый высокочастотной изоляцией (полиэтиленом). **ДВ** (рис. е) – это стержень круглого или прямоугольного сечения, выполненный из высококачественного материала (полиэтилена, стирофлекса). **ПЛ** (рис. ж) состоит из плоских ленточных проводников с расположенной между ними изоляцией. Разновидностью этой линии является кабель (рис. з), содержащий большое число проводников, расположенных в одной плоскости. **ОК** (рис. и) представляет собой скрутку из оптических волокон – световодов, объединённых в единую конструкцию. **РК** имеют коаксиальную, симметричную или спиральную конструкцию.

2) Вторичные параметры влияния

В теории влияния конец цепи, на котором во влияющую цепь включён генератор (источник сигнала), называют ближним. Противоположный конец линии называют дальним. Т.о. рассматривается два вида влияния: на ближнем и на дальнем конце. Основной мерой оценки свойств ЛС по взаимному влиянию между цепями являются переходные затухания. Они определяются в децибелах.



1 – влияющая цепь. 2 – цепь, подверженная влиянию

P_{01} и P_{11} – мощность сигнала на ближнем и на дальнем конце влияющей цепи.

P_{02} и P_{12} – мощность помех на ближнем и на дальнем конце цепи, подверженной влиянию.

$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{02}} \right|$, дБ - переходное затухание на ближнем конце.

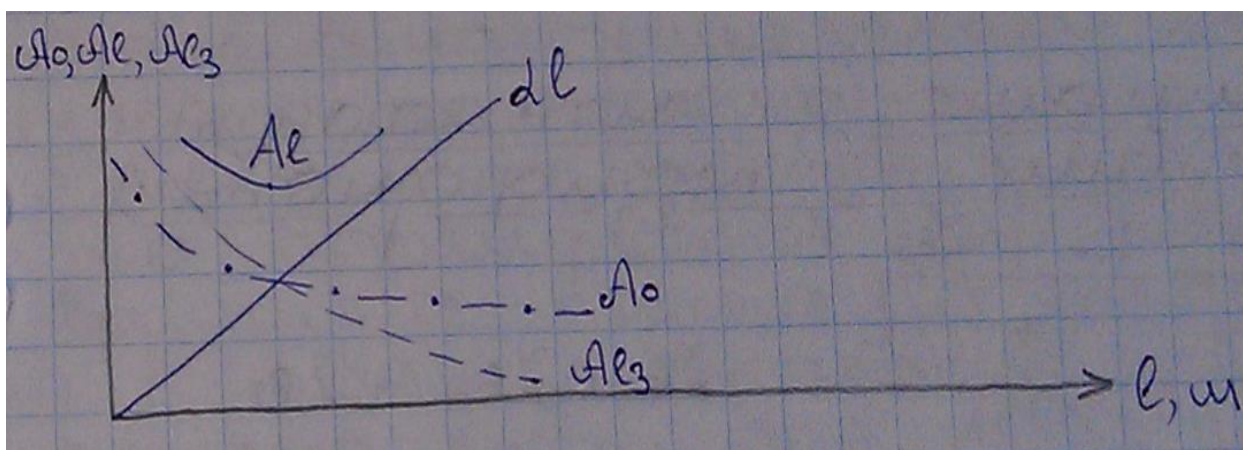
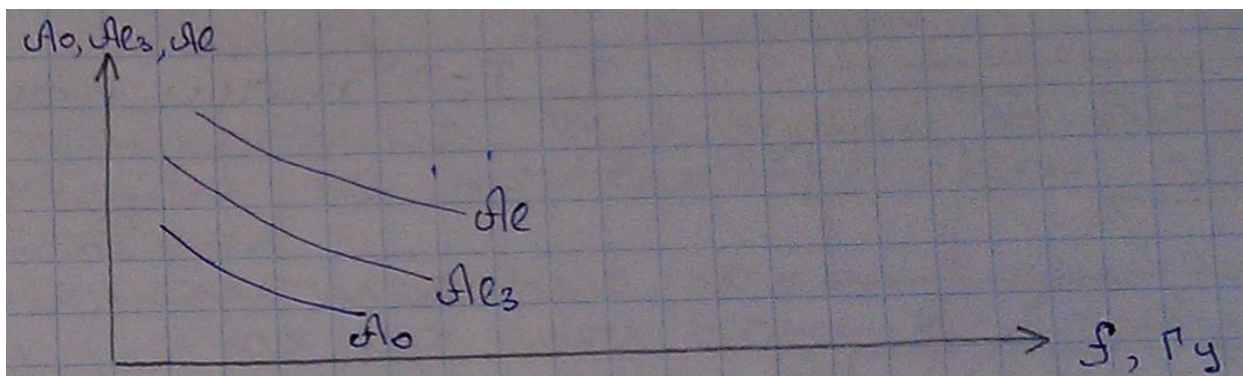
$A_{13} = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{12}} \right|$, дБ – защищённость цепей от взаимных влияний.

$A_1 = 10 \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{12}} \right|$, дБ - переходное затухание на дальнем конце.

$A_1 = A_{13} + \alpha l$, где αl – затухание цепи.

Параметры A_0 , A_{13} , A_1 называют вторичными параметрами влияния.

Зависимость переходного затухания от длины линии и от частоты:



1. Воздушные линии связи (ВЛС).

ВЛС и СК относятся к группе симметричных цепей, отличительной особенностью которых является наличие двух абсолютно одинаковых, конструктивно и электрически, проводников.

Зона использования направляющих систем в зависимости от D и λ :

Соотн.	$D/\lambda \ll 1$
Параметры	
f , Гц	$10^3 - 10^8$
λ , м	км - м
Процесс	Колебательный
Теория	Т. Цепей
Тип волны	Волна типа Т
НС	ВЛС , СК, КК

ВЛС подразделяются на линии: междугородной телефонной связи (МТС), сельской телефонной связи (СТС), городской телефонной связи (ГТС) и радиотрансляционных сетей (РС).

Воздушные линии связи, как правило, строятся вдоль железных, шоссейных, а иногда и грунтовых дорог. В населенных пунктах они проходят вдоль улиц, а в городах - часто проходят по крышам зданий. Воздушные линии, построенные вдоль дорог и улиц, отличаются от воздушных линий, проходящих по крышам зданий, типом опор. Линии, у которых опорами служат столбы (деревянные, железобетонные), называются столбовыми. Линии, проходящие по крышам зданий, имеют опоры в виде металлических стоек и называются стоечными.

Воздушная линия связи состоит из проводов, опор, изоляторов, траверс, штырей, крюков, накладок для скрещивания проводов, крепежных накладок и некоторых других элементов. На рис. 2.1 показаны основные элементы воздушной линии и основные расстояния между штырями и крюками. На линиях радиотрансляционных сетей на опорах располагаются также абонентские и фидерные трансформаторы. На оконечных и кабельных (в местах стыка воздушных линий с кабельными) опорах могут размещаться также кабельные вводные ящики, шкафы, детали оборудования воздушных вводов и другие элементы.

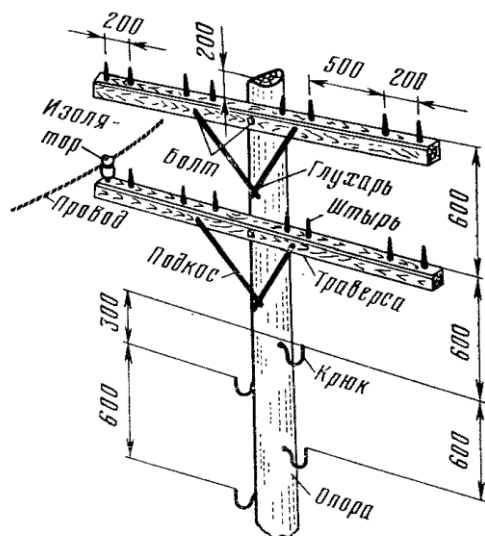


Рис. 2.1. Основные элементы воздушной линии связи

Воздушные линии связи представляют собою наиболее дешевый тип линейных сооружений, но они не обеспечивают необходимой надежности и стабильности электрических характеристик, что становится особенно важно на линиях с большим числом каналов. Кроме того, по цепям воздушных линий возможность создания большого числа каналов ограничена из-за сравнительно малого частотного диапазона (до 150 кГц), который может быть эффективно использован. При организации большого числа каналов

стоимость каналокилометра воздушной линии становится выше, чем при организации связи по кабельным линиям.

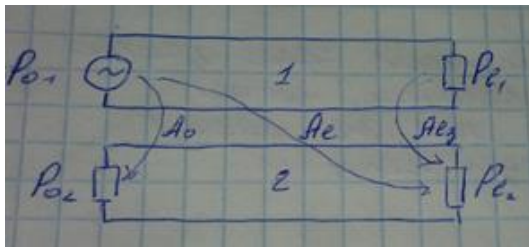
Основные данные воздушных линий связи

Количество проводов	Номер профиля (табл. 1)	Общая длина опоры в м при габарите нижнего провода по отношению к земле		Наименьший диаметр опор в вершине в см для линий типа			
		2,5 м	3,0 м	О	Н	У	ОУ
При расстоянии между крюками 40 см							
6	1	—	6,5	12	14	—	—
8	1	6,5	—	12	14	—	—
10	1	—	7,5	12	15	—	—
12	1	7,5	—	12	15	—	—
16	1	8,5	8,5	14	17	—	—
При расстоянии между крюками 60 см и при подвеске на траверсах							
4	1	—	6,5	—	—	12	13
6	1	6,5	—	—	—	12	13
8	1	7,5	7,5	—	—	13	15
10	1	8,5	8,5	—	—	15	16
16	2	7,5	8,5	14	17	18	20
20	3	7,5	7,5	15	18	19	21
24	4	6,5	6,5	16	18	19	22
32	4	7,5	7,5	18	22	—	—
40	4	7,5	8,5	20	25	—	—

2. Зависимость переходного затухания от частоты и длины линии.

Основной мерой оценки свойств линии связи по взаимным влияниям между цепями является переходное затухание.

$A_3 = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_c}{P_n} \right|$ дБ, P_c — мощность сигн. во влияющей цепи; P_n — мощность помехи в цепи подверженной влиянию.



P_{01} — мощность сигнала на ближнем конце влияющей цепи; P_{02} — мощность помехи в начале цепи подверженной влиянию; P_{11} — мощность сигнала в конце влияющей цепи; P_{12} — мощность помехи в конце цепи подверженной влиянию.

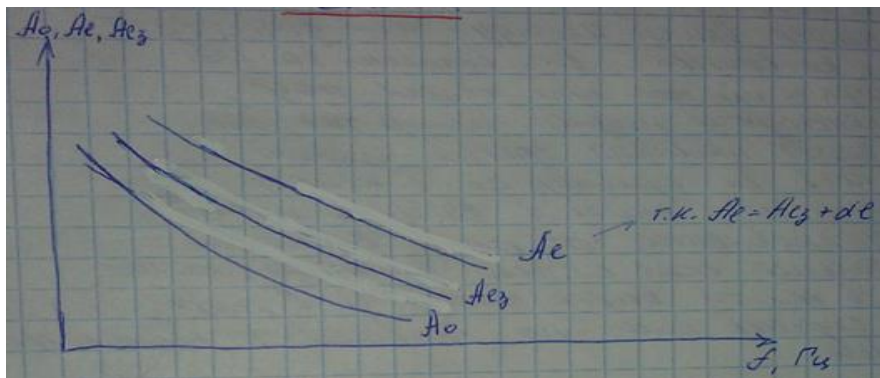
Вторичные параметры:

$$A_0 = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{02}} \right| \text{ дБ}$$

$$A_{t3} = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{12}} \right| \text{ дБ}$$

$$A_t = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{12}} \right| \text{ дБ}$$

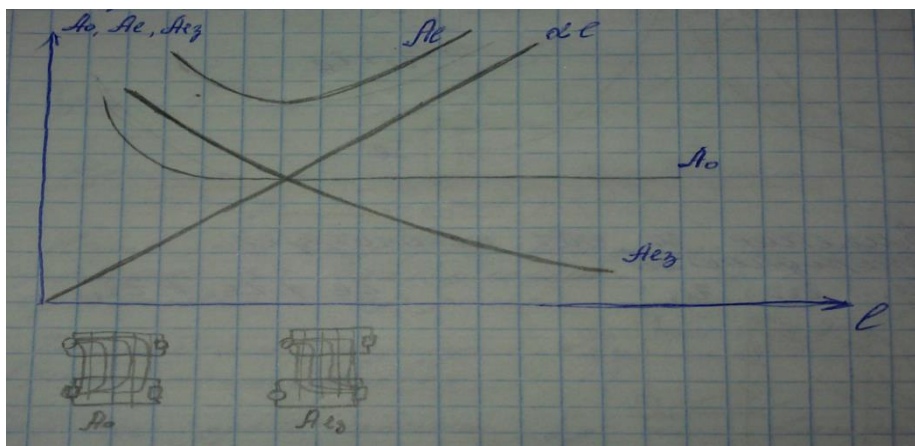
Зависимость переходного затухания от длины линии и частоты



$$N_{12} = M_{12} + K_{12}$$

$$F_{12} = M_{12} - K_{12}$$

(с ростом f влияние $\uparrow$, защищенность $\downarrow$)



Билет №5

1. Симметричные кабели связи

Симметричные кабели связи (станция - абонент)

По назначению подразделяются на:

- Магистральные
- Городские
- Кабели сельской связи

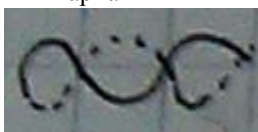
Состоят из симметричных цепей, образованных изолированными проводниками. Проводники скручиваются с определённым шагом скрутки.



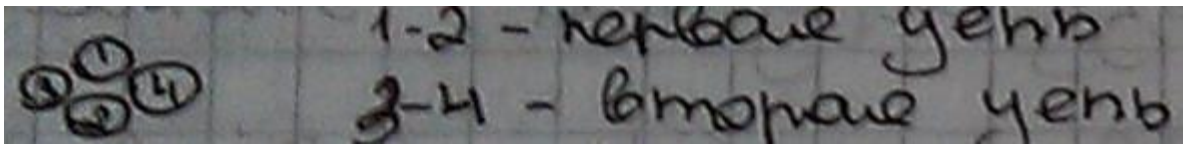
Скрутка улучшает механические характеристики кабелей и улучшает взаимные влияния.

Типы скрутки:

- Парная



- Звёздная



С точки зрения параметров передачи звёздная скрутка лучше и она экономичнее.

Проводник: отожжённая медь d = от 0,32 мм до 1,2 мм. $\rho = 0,0175$ [Ом*м/мм²] – удельное сопротивление

Диаметры:

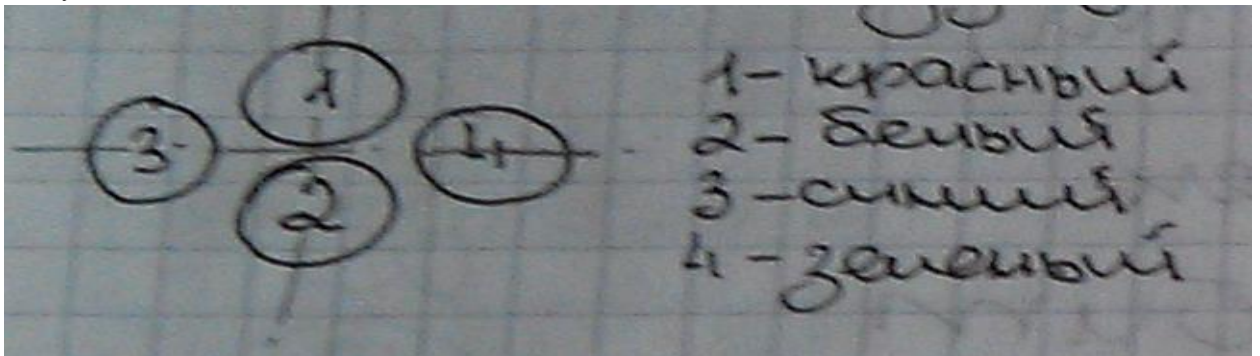
Городские – 0,32 0,4 0,5 0,6 0,7

Сельские – 0,9 1,1

Междугородные – 1,2

$\rho \uparrow \rightarrow$ проводник хуже

Скрутка: 1) Улучшает механические характеристики сердечника кабеля. 2) Улучшает взаимное влияние между цепями.



Параметры влияния меньше при парной скрутке, т.к. можно подобрать шаг скрутки.

Параметры передачи и экономичность – звёздная.

Диэлектрики: кабельная бумага, полиэтилен, стирофлекс.

Параметры диэлектрика: ϵ , $\text{tg } \delta$, $R_{\text{из}}$, $U_{\text{пр}}$.

Идеальный диэлектрик: $\epsilon = 1$, $\text{tg } \delta = 0$, $R_{\text{из}} = \infty$, $U_{\text{пр}} = \infty$.

Маркировка симметричных междугородных кабелей:

МК – междугородный, симметричный

МКС – междугородный, симметричный с кордельно-стирофлексной изоляцией

МКП – с полиэтиленовой изоляцией

МКСТ – свинцовая оболочка

МГТА – алюминиевая оболочка

МГСС – стальная, гафрированная

МГСП – полиэтилен

МКСБ – броня из двух стальных проволок

МКСК – броня из круглых проволок.

Оболочка нужна для защиты от воды. Броня – от изгибов и разрывов.

МКСБ 4*4*1,2 (4 четвёрки $d = 1,2$)

Городские кабели:

1-я буква: Т – городской телефон

2-я буква: тип изоляции

П – полиэтилен

– – бумажная

ТГ – городской телефон с бумажной изоляцией

ТПП – городской телефон с полиэтиленовой изоляцией

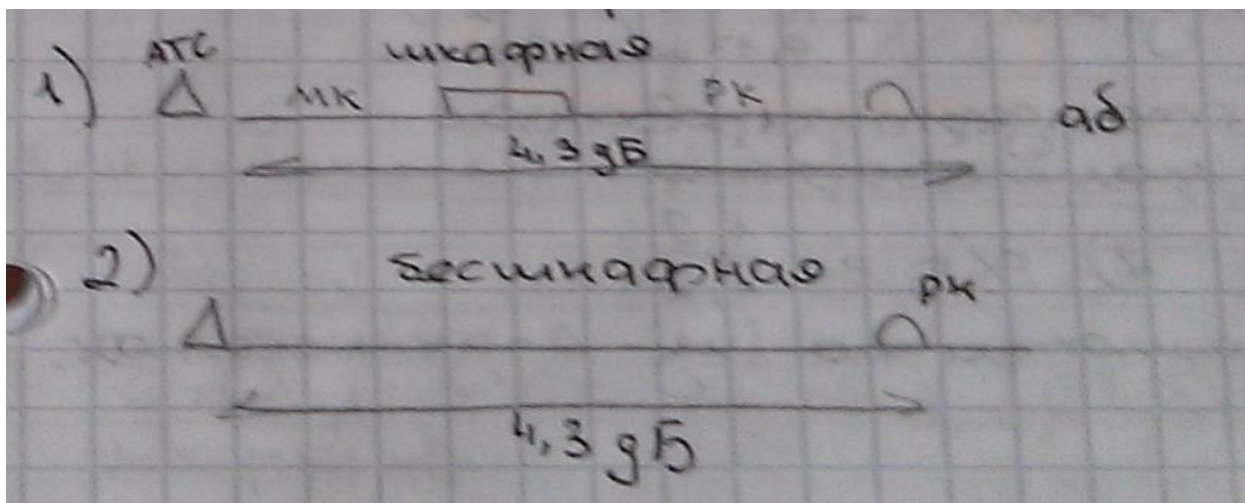
ТПВ – поливинилхлоридная изоляция

ТБ – бумажная изоляция, свинцовая оболочка, броня

ТПП и ТПВ (10 – 2700 пар) ТГ (10 – 1200 пар)

Затухание $A \leq 4,3$ дБ

Схема построения сетей



Сердечники кабелей:

- Повивная скрутка
- Пучная скрутка

Оболочка пластмассовая, имеется тонкий алюминиевый экран.

Сельские кабели:

КСПП – с полиэтиленовой изоляцией и полиэтиленовой оболочкой (для телефонной связи)
ПРВППМ-1,2 ПРВПА (парная скрутка, полиэтиленовая изоляция, стальная оболочка, $d = 1,2$ мм)

2. Меры защиты от взаимных влияний. Скрещивание цепей ВЛС.

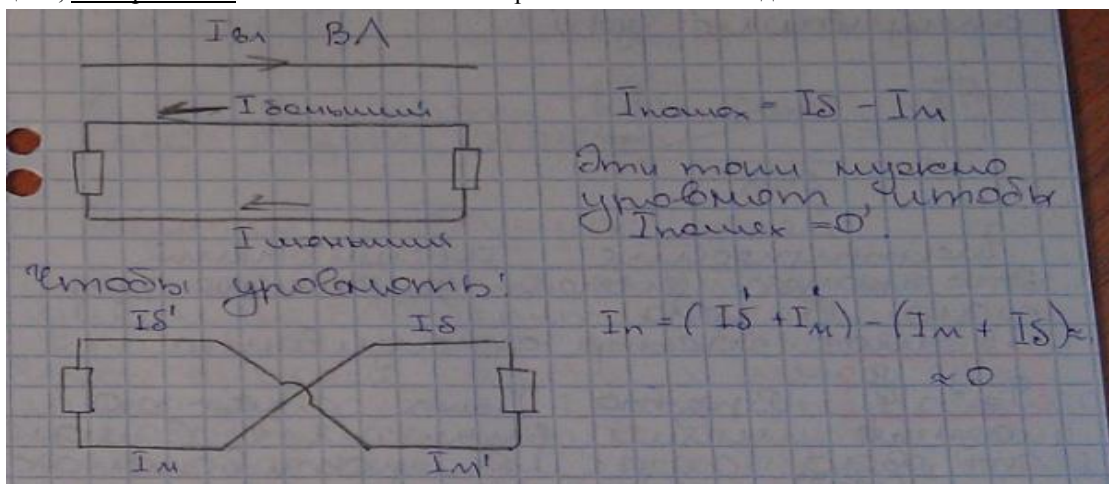
Мерами борьбы с взаимными влияниями являются:

- скрутка жил в группы и повивы (в СК, КК);
- экранирование жил осуществляется при производстве (в СК, КК);
- симметрирование кабелей выполняется во время строительства (в СК);
- скрещивание жил при строительстве (в ВЛС).

На воздушных линиях связи мерой борьбы с влияниями является скрещивание проводов линии.

Для повышения помехозащищённости внутри симметричной четвёрки используется скрещивание жил внутри пар между собой. Скрещивание позволяет компенсировать ёмкости на соседних участках (строительных длинах).

Скрещивание бывает: физическое, через определенные промежутки провода меняются местами по длине цепи; электрическое за счёт изменения электромагнитной волны вдоль линии.



Порядок скрещивания обозначается индексом в виде точек и крестов.

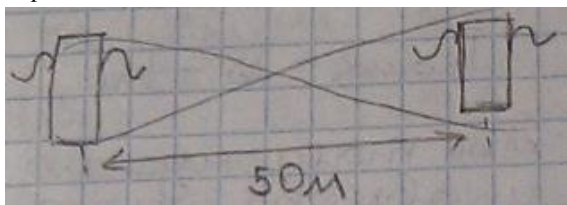
Чем больше крестов, то $I_n \rightarrow 0$ т.е. при скрещивании результирующий ток ($I_{рез}$) влияния меньше, чем без скрещивания, однако, полной компенсации нет т.к. ток в соседних участках не равен между собой.

Для большей эффективности необходимо чаще проводить скрещивание. Если 2е цепи скрещены в 1 точке, то эффекта от скрещивания отсутствует, т.к. знаки ёмкостной связи в этих точках не меняются. Необходимо, чтобы на ВЛС все цепи имели различные схемы скрещивания.

Схема скрещивания – закономерность распределения отдельных скрещиваний на каждой цепи вдоль линии.

Для условного изображения различных схем скрещивания служат индексы: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128

(количество промежутков 2^n) ВЛС (расстояния между 2я опорами) через которые производится равномерное скрещивание цепи.



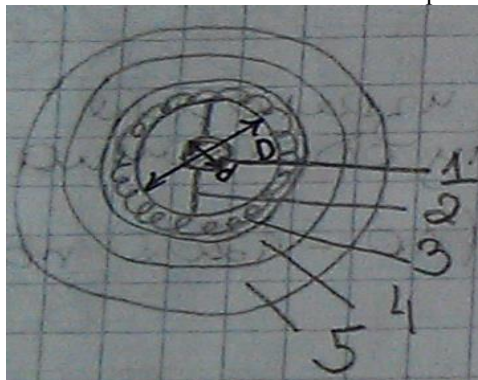
Схемы соединения жил в четверке

Номер	Обо- значе- ние	Схема соединения		Номер	Обо- значе- ние	Схема соединения	
		ст. А	ст. Б			ст. А	ст. Б
1	• • •			5	• • ×		
2	× • •			6	× • ×		
3	• × •			7	• × ×		
4	× × •			8	× × ×		

Билет №6

1) Коаксиальные кабели

Основной элемент – коаксиальная пара.



- 1) Внутренний проводник – сплошной медный или алюминий-медь
- 2) Изоляция – полиэтилен, шайба
- 3) Внешний проводник в виде полый медной трубки
- 4) Экран из двух стальных лент для защиты коаксиальной пары от внешних влияний на $f_{цч}$
- 5) Слой кабельной бумаги (K17, K12)

Коаксиальная пара:

- Стандартизированная: $d / D = 2,6 / 0,4$
- Малогабаритная: $d / D = 1,2 / 4,6$

Коаксиальная пара несимметрична (состоит из двух неодинаковых проводников).

Достоинства:

- Закрытая система, т.е. нет внешнего эл/м поля
- Обеспечивает широкий диапазон частот до 60 МГц (1000 телефонных каналов)

- Позволяет использовать однокабельную систему (приём – по одной паре, передачу – по другой).
 - Экономичность
- 4 типа кабеля:
- КМБ-4: оболочка свинцовая, изоляция шайбовая, 4 пары, броня
 - КМБ-8/6: 8 стандартизированных пар, 6 – малогабаритных, полиэтиленовая оболочка, 4 пары
 - МКТП-4: малогабаритный кабель, трубчатая изоляция
 - ВКПАБ-1: однокоаксиальный кабель зонной связи, внутренний проводник – медь, внешний – алюминий, изоляция из полиэтилена.

2) Электрическое скрещивание цепей

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем скрещивания жил цепей.

Симметрирование скрещиванием. В кабелях связи конструктивные неоднородности носят случайный характер, поэтому и электромагнитные связи по длине распределены по случайному закону. Это вызывает необходимость подбора схем скрещивания жил кабеля для каждого конкретного случая. Поскольку вариантов соединения жил кабеля два, а цепей три, то существует $2^3 = 8$ способов соединения жил в четверке. Схема соединения жил записывается в виде оператора скрещивания. Первый знак оператора относится к первой основной цепи, второй — ко второй, а третий — к фантомной. Соединение жил напрямую обозначается (•), а со скрещиванием (х). Операторы скрещивания и соответствующие им схемы соединения жил в четверке приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Схемы соединения жил в четверке

Номер	Обозначение	Схема соединения		Номер	Обозначение	Схема соединения	
		ст. А	ст. Б			ст. А	ст. Б
1	• • •			5	• • х		
2	х • •			6	х • х		
3	• х •			7	• х х		
4	х х •			8	х х х		

На ГТС НЧ кабели связи имеют обычно небольшую протяженность и по параметрам взаимного влияния, как правило, удовлетворяют установленным нормам и симметрированию не подвергаются. Поэтому подбор оптимальных операторов скрещивания проводится при симметрировании высокочастотных кабелей. Симметрирование скрещиванием применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных кабелей.

Билет №7

1. Оптические кабели связи

Основной эл-т: оптическое волокно или световод.

Состоит из: 1) сердцевина 2) оболочка 3) защитное покрытие

Сердцевина изгот. из кварца, по ней распр. свет. оболочка кварцевого улучш. распр-е оптич-го импульса.

Серд. и обол. имеют разн. коэф. преломлений.

n_1 не равно n_2 ; $n_1 = \sqrt{\epsilon_1}$; $n_2 = \sqrt{\epsilon_2}$; $n_1 > n_2$.

Снаружи покрытие для защиты от механ. воздействий и для покраски.

Защитное покрытие:

1 слой Si органический компан. СИЭЛ

2 слой - нейлоновый полиэтилен. лак

Номинал диаметра волокна $d = 245$ микрон

Сердцевина 10 микрон модовая, 50 микрон -

Классификация: Совр. опт. кабели, вне зависимости от принадл. к сетям магист. , внутризоновые местные, исп. одинак. опт. волокно в осн. одномодовые, поэтому классиф-ся они по назначению на 2 группы! 1) линейные - для прокладки вне здания, для наруж. прокладки и эксплуат. 2) внутриобъектовые - внутри зданий.

Линейные позв. созд. кабели во всех средах: суша, вода, воздух. Они разделяются на подземные, подвесные, подводные.

Внутриоб-ые: распределительные и станционные (монтажные).

Осн. конструктивный эл-т: оптический модуль (ОМ) содержит одно или неск. опт-их волокон.

По конструкции: трубчатый (1.7 волокон профилированный, ленточные)

Труб: опт. волокна своб. уклад-ся вокруг центрального опт-го эл-та, либо размещ-ся в буферном покрытии в полиэтилене от 1 до 24 модулей.

Маркировка.

Нет унифицированной маркировки. Для опт. каб. выпускаемых заводами указ-ся: назнач-ие и обл-ть применения, конструкция сердечника, материал промежут. и наруж. оболочек, тип брони, число опт. модулей и опт. волокон, величина коэф. затухания на опорных длинах волн (1.3 - 1.55), величина дисперсии, допустимое растягивающее усилие.

ОКЛК -01(02) -8 -96 -10/125 0.36/0.22-3.5 18-20 -> опт. каб., лин-ый, броня из круглых проволок

01 - силовой эл-т из стеклопластика

02 - сил. эл-т из стальных скруг-ых проволок

8 - кол-во эл-ов в сердечнике

96 - кол-во волокон

10/125 - d сердц. и оболочки

0.36 - затух. волокна волны на длине 1.3

0.77- ... на 125

3.5 - дисперсия на дв. 1.3

18 - дисперсия на 1.25

20 - растягивающее усилие

8 - 96 - кол-во волокон

С целью защиты от гофы и грызунов иобеспеч. требуемой мех-ой прочности на заводе опт. каб. встраивают в пластмассовую трубу из плтмассы большой почности

dвн = 25мм dнар = 35мм

Труба: высокая механ. прочность. Ставят под трубу с газовым давлением. L до 6 км, чем длина больше, тем меньше затухание и сросткам меньше.

Вес до 400 кг на 1 км

Срок службы 25 лет

dнар = 11-20мм

По сравнению с коакс. кабелем, уплотненным в спектре до 60 МГц, стоимость 1 тел. канала на вол. опт. со ск. передачи 565 Мб/с меньше в 2 раза, 2.4Гбит/с в 5р.

Суц-ют кабели для структурированных кабельных сетей.

Электродинамика направляющих систем.

Природа эл-маг. поля.

Эл - маг поле - особый вид материи, оказ. силовое возд-ие на зар. паст-цы и обл. энергией, массой, скоостью т.е. всемисв-ами материи.

Эл.м.п. соед. электр. и магн. полей

2 осн. понятия: потенциальное и вихревое поле.

Потенц. поле тесно связ. со своим ист-ом, его линии имеют начало и конец.

Элект: чисто потенц.

Магн.: чисто вихревое

Пар - ры мю для: меди, свинца и алюминия = 1

Эл.м. поле - векторная величина

Среды: изотропные, анизотропные

Изотропные: E, M, G - одинак. во всех напр.

Изменение одного поля, вызывает другое поле.

Ур-ие Максвелла

Для синусоидальных колебаний:

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{GE} + i\omega \mathbf{E}_A \mathbf{E}$$

$$\text{rot } \mathbf{E} = -i\omega \mathbf{m}_a \mathbf{H}$$

$$\text{div } \mathbf{D} = -\rho$$

$$\text{div } \mathbf{B} = 0$$

G - проводимость среды, хар-ет Iпр.

w- хар-ет Iсм

Для симметрии: (металл. цепи) Iпр >> Iсм - всегда в металле

Если опт кабель: Iсм >> Iпр

Iсм, Iпр - магн поле (H)

Типы и классиф. эл.магн. волн

Хар-ер распр-ия эл.м. волн в НСЭ, структ. поля, хар-ки зависят от класса эл.м. волны: 4 класса.

1) волна типа Т - основная эл.м. волна, в симметр. проводнике и коакс. $E_2=0$; $H_2=0$

2) волна типа Е - продольная электр. волна, у нее E_2 не равно 0; $H_2=0$

3) Н: $E_2=0$; H_2 не равно 0

4) гибридные ЕН ($E_2 > H_2$) и НЕ ($H_2 > E_2$) в волноводах и опт. волокнах.

Для эффет. передачи волн высших порядков необх., чтобы по сечению уклад. целое число полуволн. Длина волны соизмерима диаэтром!

Чем f больше, тем d меньше и наоборот.

Волны делятся по типам или модам: опр-ся сложностью структуры поля, т.е. макс. и мин. поля в поперечном сечении. E_{mn} H_{mn} ; m - по диам., n - по перим.

2. Скрутка кабельных цепей

Кабельная скрутка аналогична скрещиванию ВЛС. Скрутка - равномерное скрещивание по длине кабеля (СК). Чтобы вещание внутри и между группами было $\min$, необходимо специальное согласование шагов скрутки, поэтому кабельные цепи скручиваются с разл. шагами

Шаг скрутки - длина на котоой жила опис. полный круг по оси скручивания.

h больше - рыхлый сердечник

h меньше - l больше - A затухание больше.

Приемлимые шаги:

а) для группы (4 жилы) 100 - 300мм

б) для повива из 4-ех 400 - 600мм

Дляувеличения жесткости, каждый последующий повив скручивается в противоположную сторону.

МКСБ 7х4 - 14 цепей

$h_1=15$ мм, $h_2 = 160$ мм, $h_3 = 202$ мм, $h_4 = 175$ мм, $h_5 = 228$ мм, $h_6 = 142$ мм, $h_7 = 241$ мм.

МКСБ 4х4 - 8 цепей

$h_1 = 125$ мм, $h_2 = 160$ мм, $h_3 = 202$ мм, $h_4 = 75$ мм.

Билет №8

1) Подводные кабели связи

Подводные кабели связи предназначаются для осуществления связи через большие водные преграды. Они прокладываются по дну морей и океанов на глубинах до нескольких тысяч метров.

Преимущества подводных кабелей связи:

- ❖ Лёгкость конструкции
- ❖ Большая прочность
- ❖ Защита от изгибов и давления воды

Особенности контрукции:

- Внешний проводник – гибкий, для усиления механической прочности, изоляция сплошная
- Внешний проводник – медные тонкие ленты
- Бронируются крупными проволоками

Подводные оптические кабели (ОК) должны обладать повышенной прочностью на разрыв и выдерживать давление воды до 75 Мпа. При конструировании подводных ОК нужно учитывать такие требования, как гибкость, устойчивость к шторму, необходимые при прокладке на дне и извлечении непосредственно со дна и из траншеи, подвеске к бонах при ремонте, простоту и быстроту ремонта.

Конструкция кабеля для подводной системы зависит от места их прокладки. Существуют: глубоководные кабели с защитой от гидростатического давления, кабели для прокладки в мелководных местах с защитой от сетей и якорей, кабели для прибрежной прокладки с повышенной механической защитой и кабели для прокладки в земле, траншеях к распределительному пункту для присоединения к наземной сети.

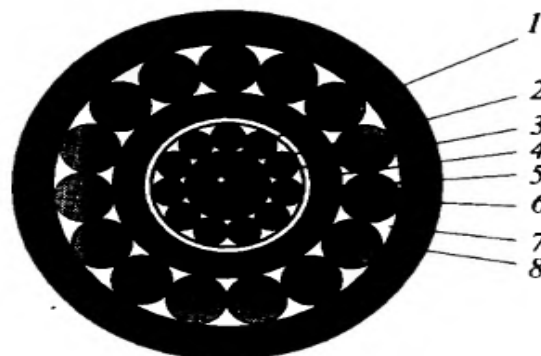
При изготовлении кабеля необходимо добиваться минимума остаточных напряжений в ОВ. В настоящее время в лучших образцах она составляет 0,05% от допустимой. ОВ очень чувствительны к воздействию морской воды. При ремонте линии необходимо удалить куски ОК, в которых обнаружены следы воды. При наличии посточинного гидростатического давления скорость проникновения воды кабеля постоянна, но может быть уменьшена за счёт применения гидрофобного заполнителя. Структура заполнителя должна быть такой, чтобы он проникал во все пустоты внутри ОК, полностью герметизируя кабель в продольном направлении.

Уменьшить влияние гидростатического давления на ОВ можно за счёт использования в конструкции кабеля полой трубки, которая может быть выполнена из металла и несёт в себе функции токопроводящей жилы. Трубку как правило выполняют из меди или алюминия.

Кабель представляет собой конструкцию, в центре которой расположен оптический модуль в виде герметичной трубки, изготовленной из нержавеющей стали со свободно расположенными оптическими

волокнами. Поверх модуля располагается повив медных проводников дистанционного электропитания. Далее следует промежуточная полиэтиленовая оболочка и внешние покровы, состоящие из бронеповива стальных проволок и наружной полиэтиленовой оболочки.

Рис. 3.29. Конструкция подводного ОК марки ПОК-400 производства ЗАО «Севкабель-Оптик» с медными жилами для дистанционного питания: 1 — центральная трубка из полимерных композиций со свободно уложенным оптическим волокном или пучками волокон, заполненная гидрофобным компаундом; 2 — медная проволока (токопроводящая жила дистанционного электропитания); 3 — водоблокирующая лента; 4 — медная лента; 5 — промежуточная оболочка из полиэтилена высокой плотности; 6 — круглая стальная оцинкованная проволока; 7 — гидрофобный компаунд; 8 — наружная оболочка из полиэтилена высокой плотности



2) Методы симметрирования цепей.

Симметрирование - это комплекс мероприятий и электрических измерений, проводимых в процессе строительства и монтажа кабельных линий связи. На ГТС симметрируют в основном кабели межстанционных соединительных линий, большой протяженности. На практике используют следующие основные методы симметрирования: **метод скрещивания, конденсаторный метод и метод концентрированного включения контуров противосвязи.**

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем скрещивания жил цепей. Симметрирование скрещиванием применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных кабелей. Концентрированное

Конденсаторное симметрирование основано на компенсации электрических связей путем включения конденсаторов между жилами взаимовлияющих цепей. Конденсаторное симметрирование компенсирует только электрические связи, поэтому оно применяется в основном для низкочастотных кабелей, в которых эти связи являются определяющими.

Симметрирование включением контуров противосвязи основано на компенсации электромагнитных связей путем включения между жилами взаимовлияющих цепей контуров противосвязи, содержащих резисторы и конденсаторы. Концентрированное симметрирование контурами противосвязи в основном применяется для ВЧ кабелей.

Билет №9

Вопрос 1

Элм. поле – особый вид материи, оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы и обладающее энергией, массой, скоростью и т.д.

Элм. поле – единение электрического и магнитного полей

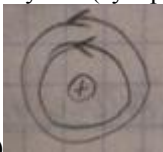
Различают 2 основных понятия:

- Потенциальное (электрическое)
- Вихревое (магнитное)

Электромагнитное поле – сумма (суперпозиция) электрического и вихревого поля.



(потенц)



(вихр)

Любая среда характеризуется 3 характеристиками: ϵ (диэл. прониц.), μ (магн. прониц.), σ (удельная проводимость).

Для диэл. $\mu = 1, \sigma = \infty$

Элм. поле – это векторная величина.

Изотропная среда: во всех направлениях параметры среды одинаковы. Анизотропная: – разные. Изменение одного поля вызывает изменение другого.

Вопрос 2

Известны две стадии защиты кабеля от помех:

а. симметрирование и подбор шагов скрутки;

б. экранирование, внешнее и внутреннее.

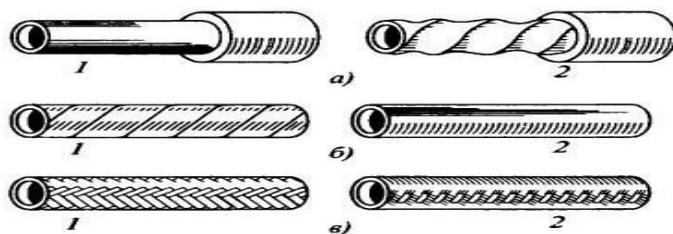


Рис. 10.31. Металлические оболочки-экраны кабелей связи: а — сплошные (1 — гладкий; 2 — гофрированный); б — ленточные (1 — спиральный; 2 — продольный); в — оплеточные (1 — из плоских проволок; 2 — из круглых проволок)

Различают следующие способы экранирования: электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное

Электростатическое и магнитостатическое экранирование основаны на замыкании экраном (обладающим в первом случае высокой электропроводностью, а во втором магнитопроводностью) соответственно электрического и магнитного полей.

Электростатическое экранирование по существу сводится к замыканию электростатического поля на поверхность металлического экрана и отводу электрических зарядов на землю (на корпус прибора). Заземление электростатического экрана является необходимым элементом при реализации электростатического экранирования.

Применение металлических экранов позволяет полностью устранить влияние электростатического поля. При использовании диэлектрических экранов, плотно прилегающих к экранируемому элементу, можно ослабить поле источника наводки в ϵ раз, где ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость материала экрана

Основной задачей экранирования электрических полей является снижение ёмкости связи между экранируемыми элементами конструкции. Следовательно, эффективность экранирования определяется в основном отношением ёмкостей связи между источником и рецептором наводки до и после установки заземлённого экрана. Поэтому любые действия, приводящие к снижению ёмкости связи, увеличивают эффективность экранирования.

На частотах свыше 1 ГГц с увеличением частоты эффективность экранирования снижается.

Основные требования, которые предъявляются к электрическим экранам, можно сформулировать следующим образом:

- конструкция экрана должна выбираться такой, чтобы силовые линии электрического поля замыкались на стенки экрана, не выходя за его пределы;
- в области низких частот при глубине проникновения (δ) больше толщины (d), то есть при $\delta > d$, эффективность электростатического экранирования практически определяется качеством электрического контакта металлического экрана с корпусом устройства и мало зависит от материала экрана и его толщины;
- в области высоких частот при $\delta > d$ эффективность экрана, работающего в электромагнитном режиме, определяется его толщиной, проводимостью и магнитной проницаемостью.

Магнитостатическое экранирование используется при необходимости подавить наводки на низких частотах от 0 до 3 -10 кГц [7].

Основные требования, предъявляемые к магнитостатическим экранам, можно свести к следующим :

- магнитная проницаемость μ_a материала экрана должна быть возможно более высокой. Для изготовления экранов желательно применять магнитомягкие материалы с высокой магнитной проницаемостью (например, пермаллой);
- увеличение толщины стенок экрана приводит к повышению эффективности экранирования, однако при этом следует принимать во внимание возможные конструктивные ограничения по массе и габаритам экрана;
- стыки, разрезы и швы в экране должны размещаться параллельно линиям магнитной индукции магнитного поля, их число должно быть минимальным;
- заземление экрана не влияет на эффективность магнитостатического экранирования.

Эффективность магнитостатического экранирования повышается при применении многослойных экранов.

Экранирование высокочастотного магнитного поля основано на использовании магнитной индукции, создающей в экране переменные индукционные вихревые токи (токи Фуко). Магнитное поле этих токов внутри экрана будет направлено навстречу возбуждающему полю, а за его пределами - в ту же сторону, что и возбуждающее поле. Результирующее поле оказывается ослабленным внутри экрана и усиленным вне его. Вихревые токи в экране распределяются неравномерно по его сечению (толщине). Это называется явлением поверхностного эффекта, сущность которого заключается в том, что переменное магнитное поле ослабевает по мере проникновения в глубь металла, так как внутренние слои экранируются вихревыми токами, циркулирующими в поверхностных слоях [7].

Благодаря поверхностному эффекту плотность вихревых токов и напряжённость переменного магнитного поля по мере углубления в металл падают по экспоненциальному закону.

Эффективность магнитного экранирования зависит от частоты и электрических свойств материала экрана. Чем ниже частота, тем слабее действует экран, тем большей толщины приходится его делать для достижения одного и того же экранирующего эффекта. Для высоких частот, начиная с диапазона средних волн, экран из любого металла толщиной 0,5-1,5 мм действует весьма эффективно. При выборе толщины и материала экрана следует учитывать механическую прочность, жёсткость, стойкость против коррозии, удобство стыковки отдельных деталей и осуществления между ними переходных контактов с малым сопротивлением, удобство пайки, сварки и пр.

Билет №10

1. Основные уравнения электродинамики. Уравнения Максвелла.

2. Первичные параметры влияния

1 Основные уравнения электродинамики. Уравнение Максвелла.

Основные уравнения электромагнитного поля, называемые уравнениями Максвелла, обобщают два основных закона электротехники: закон полного тока и закон электромагнитной индукции. Уравнения Максвелла выражают взаимосвязь электрического и магнитного полей. Исходных уравнений Максвелла два и записываются в двух формах: интегральной и дифференциальной.

Интегральная форма уравнения Максвелла

1) Закон полного тока

$$\oint_I \vec{H} dl = I_{np} + I_{cm}$$

Согласно закону полного тока линейный интеграл напряженности магнитного поля по любому замкнутому контуру равен полному току, протекающему через поверхность, ограниченную этим контуром. Полный ток складывается из токов смещения и токов проводимости.

2) Закон электромагнитной индукции

$$\oint_I \vec{E} dl = - \frac{d\Phi}{dt}$$

В соответствии с законом электромагнитной индукции, открытым Фарадеем, электродвижущая сила, возникающая в контуре при изменении магнитного потока Φ , пронизывающего поверхность, ограниченную контуром, равна скорости изменения этого потока со знаком минус.

Дифференциальная форма уравнения Максвелла

Для решения практических задач чаще используются уравнения Максвелла в дифференциальной форме:

1) Закон полного тока

$$\text{rot} \vec{H} = \sigma \vec{E} + \xi_{\alpha} \frac{d\vec{E}}{dt}$$

Любое электрическое поле (постоянное и изменяющееся) создает вихревое магнитное.

2) Закон электромагнитной индукции

$$\text{rot} \vec{E} = -\mu_{\alpha} \frac{d\vec{H}}{dt}$$

Переменное магнитное создает вихревое электрическое ($\text{rot} \vec{V}$ - ротация, обратимость векторного поля, $\vec{V}$ - это вектор обратный вектору объемной производной поля в какой-либо его точке) – векторная характеристика векторного поля.

Дополнительные уравнения: --- (В принципе не надо этого)

3) $\text{div} \vec{D} = \rho$

Количество электрических силовых линий исходящих из какого-либо объема поля (или входящих в него) равно пространственной плотности электрических зарядов, заключенных в этом объеме.

4) $\text{div} \vec{B} = 0$

Число магнитных силовых линий исходящих из какого-либо объема поля равно числу магнитных силовых линий входящих в этот объем, т.е. магнитные силовые линии замкнуты ($\text{div} \vec{V}$ - дивергенция (расходимость) векторного поля, $\vec{V}$ - это численное значение объемной производной поля в какой-либо точке) – скалярная характеристика векторного поля.

Уравнения Максвелла	
В интегральной форме	В дифференциальной форме
$\int_L H d\mathbf{l} = \int_S \left(\frac{\partial D}{\partial t} + \sigma E + J_{CT} \right) dS$ $\oint_L E d\mathbf{l} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_S B dS$ $\oint_S D dS = \int_V \rho dV$ $\oint_S B dS = 0$ $D = \varepsilon_{\alpha} E$ $B = \mu_{\alpha} H$	$\text{rot} H = \frac{\partial D}{\partial t} + \sigma E + J_{CT}$ $\text{rot} E = -\partial B / \partial t$ $\text{div} D = \rho$ $\text{div} B = 0$ $D = \varepsilon_{\alpha} E$ $B = \mu_{\alpha} H$

Первичные параметры влияния.

Электрические магнитные влияния между двумя цепями характеризуются K_{12} – электрической и M_{12} – магнитной связями.

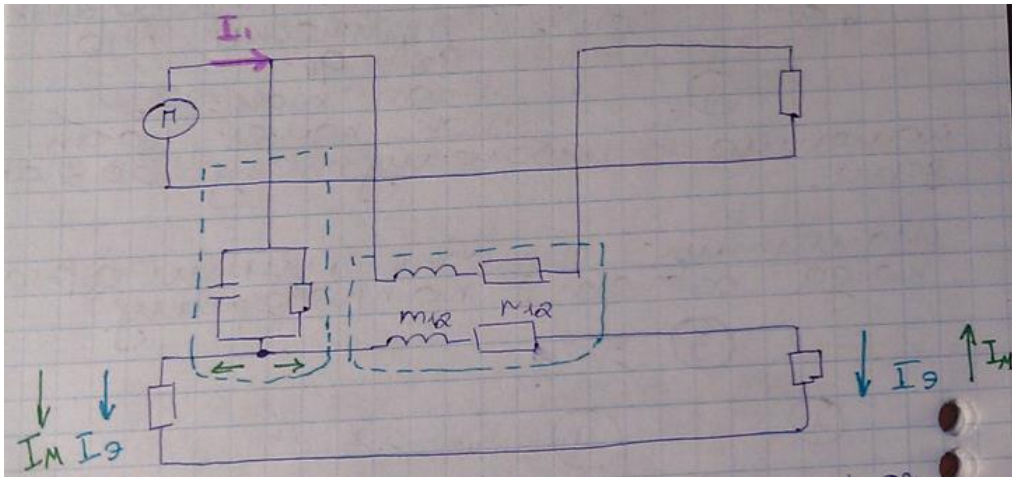
$$K_{12} = q_{12} + i \cdot \omega \cdot k_{12}$$

$$M_{12} = r_{12} + i \cdot \omega \cdot m_{12}$$

q_{12}, r_{12} – активные составляющие;

k_{12}, m_{12} – реактивные составляющие.

Характер действия электрической и магнитной связи между двумя цепями. Эквивалентная схема.



1-ая цепь влияющая, 2-ая подверженная влиянию. На ближнем конце $I_3 + I_M$, а на дальнем $I_3 - I_M$. На дальнем конце защищенность больше.

$N_{12} = K_{12} + M_{12}$ — ближний конец

$F_{12} = K_{12} - M_{12}$ — дальний конец

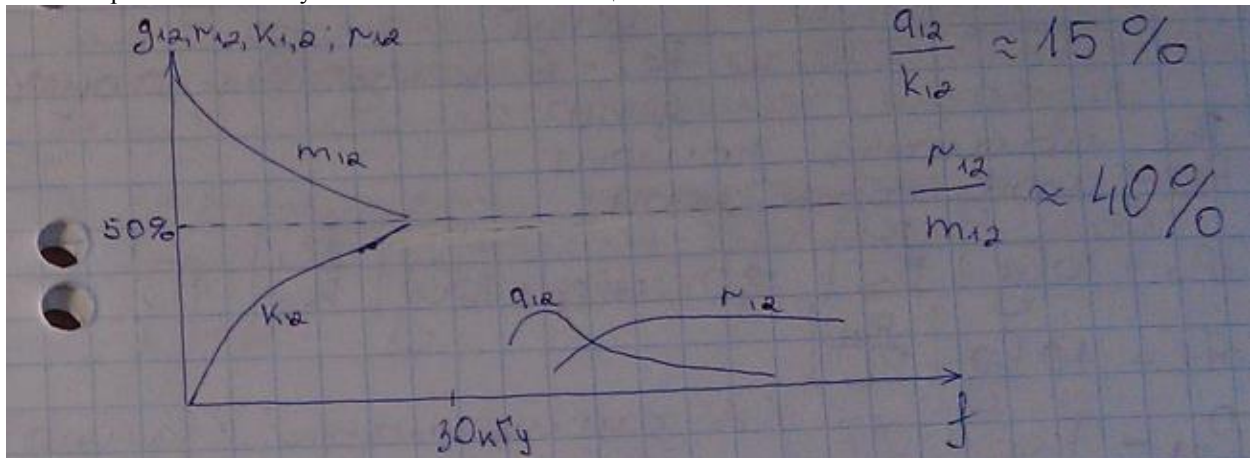
Соотношение активных и реактивных составляющих различны.

В ВЛС где провода находятся далеко друг от друга и нет оболочек получаем что:

$$K_{12} = i \cdot \omega \cdot k_{12}$$

$$M_{12} = i \cdot \omega \cdot m_{12}$$

В симметричных кабелях учитываем обе составляющие и они зависят от частоты.



Первичные параметры можно определить на коротких участках

Билет №11

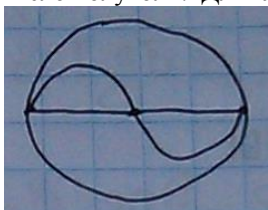
1) Типы и классификация электромагнитных волн

Характер распространения электромагнитных волн в НСЭ, структурное поле и частотные характеристики зависят от класса электромагнитной волны.

Различают 4 класса электромагнитных волн:

- Волна типа Т — основная электромагнитная волна в симметричном и коаксиальном проводнике:
- $E_z = 0, H_z = 0$
- Волна типа Е — продольная электрическая волна, у которой $E_z \neq 0, H_z = 0$
- Волна типа Н: $E_z = 0, H_z \neq 0$
- Гибридная волна: $EH - E_z > H_z$; $HE - H_z > E_z$; Они используются в волноводах и оптических волокнах.

Для эффективной передачи волны высших порядков необходимо, чтобы полностью укладывалось целое число половулн. Длина волны соизмерима с диаметром



Чем $f \downarrow$ $d \uparrow$ Чем $f \uparrow$ $d \downarrow$

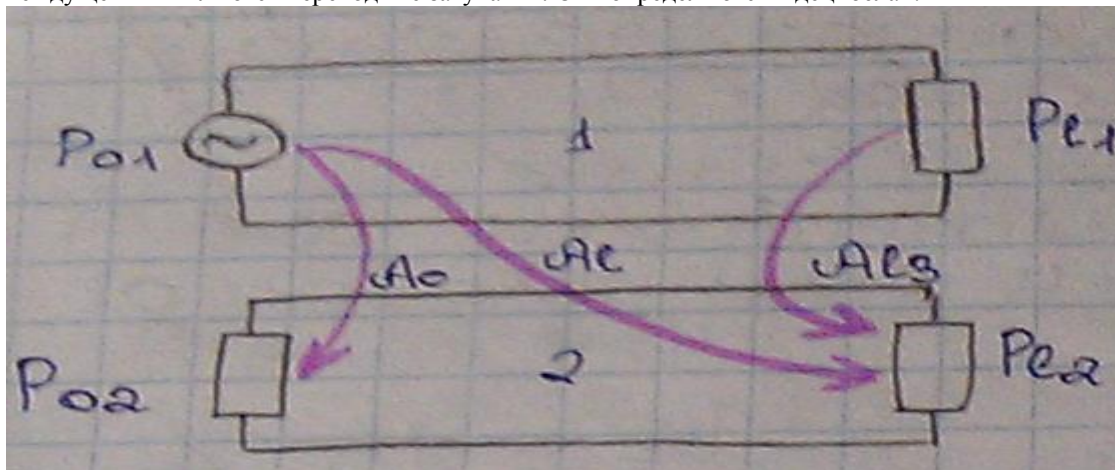
Волны делятся по типам или модам: определяются сложностью структуры поля, т.е. число максимумов и минимумов поля в поперечном сечении.

E_{mn}, H_{mn}

m – по диаметру, n – по периметру.

2) Вторичные параметры влияния

В теории влияния конец цепи, на котором во влияющую цепь включён генератор (источник сигнала), называют ближним. Противоположный конец линии называют дальним. Т.о. рассматривается два вида влияния: на ближнем и на дальнем конце. Основной мерой оценки свойств ЛС по взаимному влиянию между цепями являются переходные затухания. Они определяются в децибелах.



1 – влияющая цепь. 2 – цепь, подверженная влиянию

P_{01} и P_{11} – мощность сигнала на ближнем и на дальнем конце влияющей цепи.

P_{02} и P_{12} – мощность помех на ближнем и на дальнем конце цепи, подверженной влиянию.

$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{02}} \right|$, дБ – переходное затухание на ближнем конце.

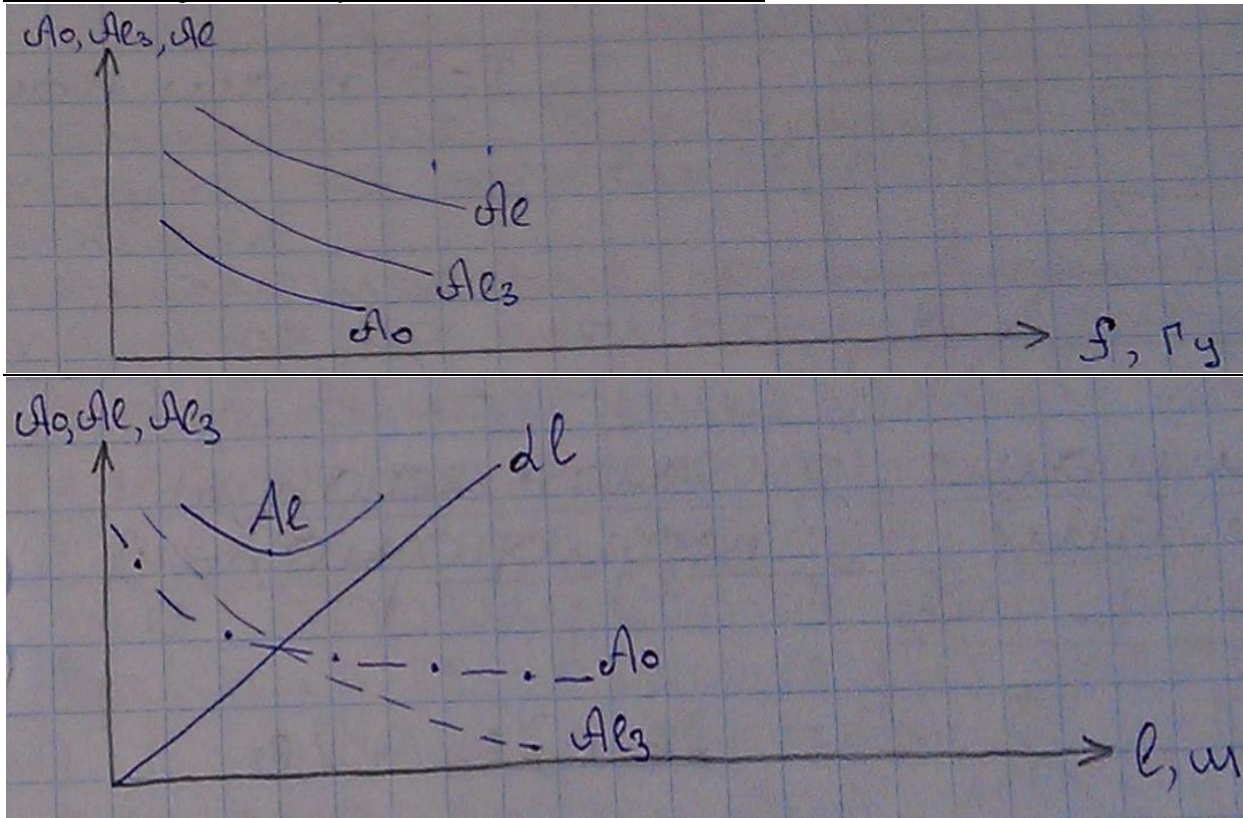
$A_{13} = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{12}} \right|$, дБ – защищённость цепей от взаимных влияний.

$A_1 = 10 \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{12}} \right|$, дБ – переходное затухание на дальнем конце.

$A_1 = A_{13} + \alpha l$, где αl – затухание цепи.

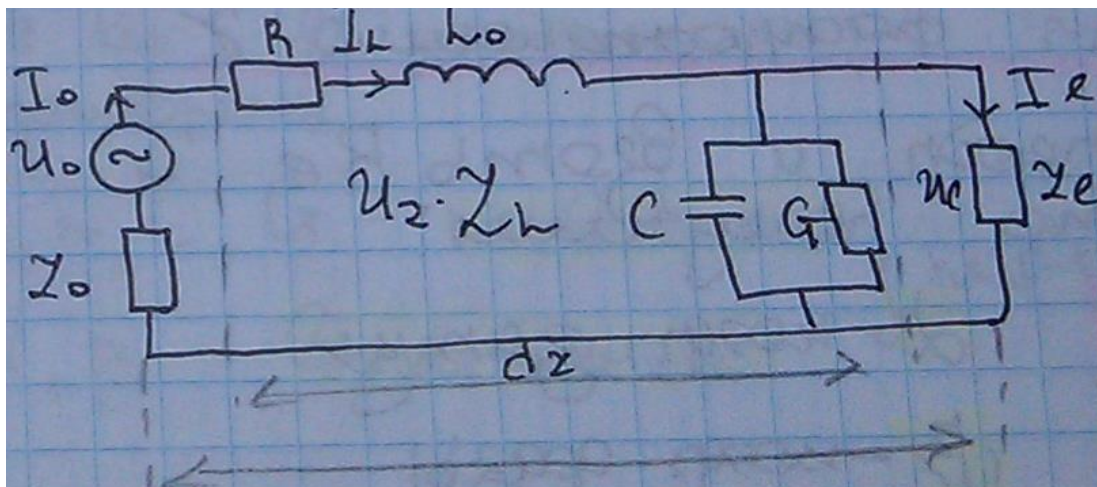
Параметры A_0 , A_{13} , A_1 называют вторичными параметрами влияния.

Зависимость переходного затухания от длины линии и от частоты:



1. Уравнение однородной длинной линии

Модель однородной длинной линии



Z_0, I_0, U_0 – параметры в начале цепи
 I_1 – на бесконечно малом участке
 Z_1, I_1, U_1 – параметры в конце цепи
 C – ёмкость цепи на эл участке цепи
 G – проводимость изоляции

$l \rightarrow \infty$, параметры сосредоточены

Уравнения однородной длинной линии связывают I_0, U_0 в начале линии через параметры линии с I_1, U_1 в конце линии через параметры цепи.

R, L – характеризуют потери в металле
 C, G – характеризуют потери в диэлектрике

Сопротивление характеризует потери в металле, которое расходуется на вихревые токи – тепло! А G – расходуется на поляризацию диполя (ориентация диполя от напряжения).

Рассматривается стационарное во времени колебание: $e^{j\omega t}$
 Решаем диф уравнение и получаем:

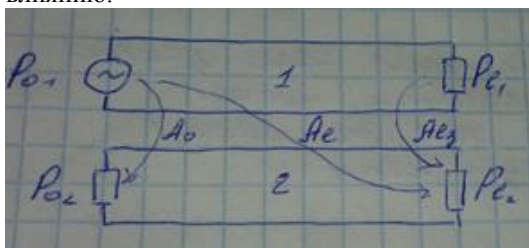
$$\begin{aligned} U_0 &= U_1 \cdot e^{\gamma l} & U_1 &= U_0 \cdot e^{-\gamma l} \\ I_0 &= I_1 \cdot e^{\gamma l} & I_1 &= I_0 \cdot e^{-\gamma l} \end{aligned}$$

$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) + (G + j\omega C)}$ – коэффициент распространения

2. Зависимость переходного затухания от частоты и длины линии.

Основной мерой оценки свойств линии связи по взаимным влияниям между цепями является переходное затухание.

$A_3 = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_c}{P_n} \right|$ дБ, P_c – мощность сигн. во влияющей цепи; P_n – мощность помехи в цепи подверженной влиянию.



P_{01} — мощность сигнала на ближнем конце влияющей цепи; P_{02} — мощность помехи в начале цепи подверженной влиянию; P_{11} — мощность сигнала в конце влияющей цепи; P_{12} — мощность помехи в конце цепи подверженной влиянию.

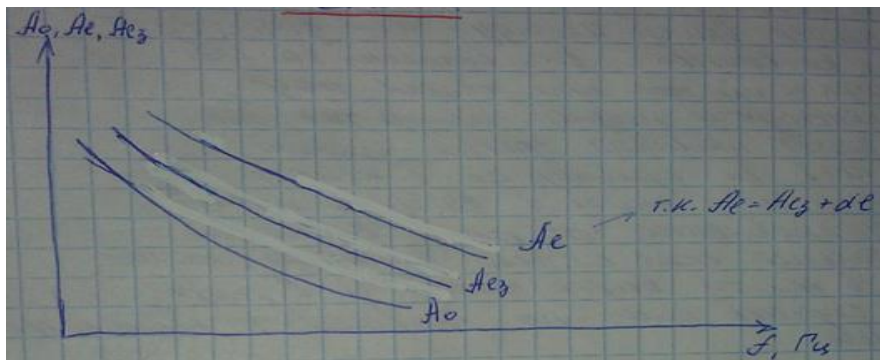
Вторичные параметры:

$$A_0 = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{02}} \right| \text{ дБ}$$

$$A_{l3} = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{12}} \right| \text{ дБ}$$

$$A_l = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{12}} \right| \text{ дБ}$$

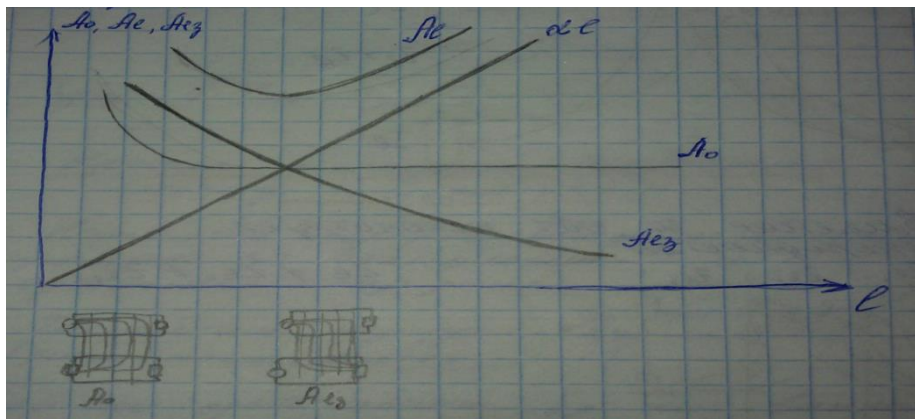
Зависимость переходного затухания от длины линии и частоты



$$N_{12} = M_{12} + K_{12}$$

$$F_{12} = M_{12} - K_{12}$$

(с ростом f влияние $\uparrow$, защищенность $\downarrow$)



Билет №13.

Вопрос 1. Коэффициент распространения. Волновое сопротивление. Скорость распространения (γ, Z, V).

Коэффициент распространения γ . Проведем преобразования и возьмем Re и Im части, получим: $\gamma = \alpha + i\beta$, где α — коэф затухания, β — коэф фазы. α и β хар-ют соотв-ие изменения затухания и изменения фазы тока, U и P на участке цепи $l=b=1$ км.

α [ДБ], [Нп]; 1 НП=8,69 дБ; 1 дБ=0,116 Нп. В зависимости от диапазона частоты используют: если $f=0$, то

$$\alpha = \sqrt{RG}, \beta = 0; \text{ если } f > 10 \text{ кГц, выражение раскладывается в степенной ряд: } \alpha = \frac{\beta}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \beta =$$

$$\omega \sqrt{LC}. \left(\frac{\beta}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} \text{ — потери в Me, } \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ — потери в диэл.} \right) G \ll R. \text{ Параметры цепи отличаются на } 5\%.$$

Графические зав-ти параметров α, β от f .

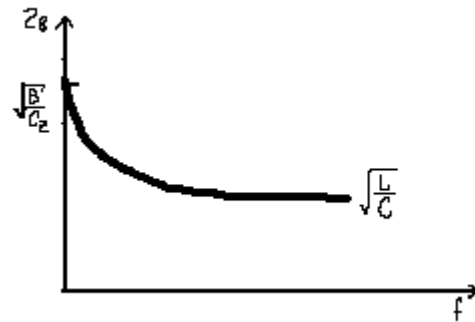
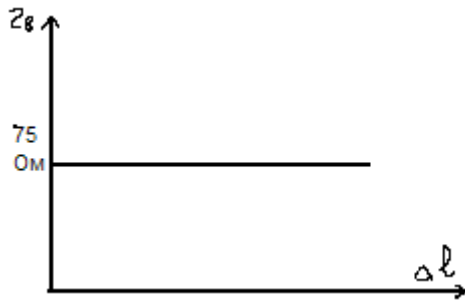


$\alpha = \alpha_m + \alpha_d$, α_m -потери в металле, α_d -потери в диэлектрике.
 $\alpha_m \gg \alpha_d$
 На высоких f потерями в Д можно пренебречь.
 R, L, C, G – первичные пар-ры ;
 α, β – вторичные пар-ры цепи.

Волновое сопротивление – это сопротивление, которое электромагнитная волна встречает при распространении вдоль однородной линии без отражения. Волновое сопротивление зависит лишь от первичных параметров линии и частоты передаваемого тока. Электромагнитную волну можно представить в виде двух волн: волны напряжения, или электрической энергии, и волны тока, или магнитной энергии. Соотношение между волной напряжения и волной тока, или между электрической и магнитной энергией, есть волновое сопротивление. Волновое сопротивление при однородной линии не зависит от длины линии и постоянно в каждой точке.

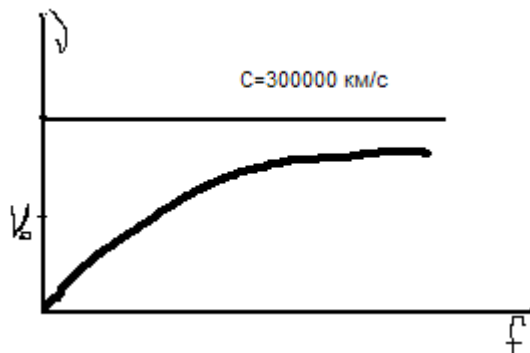
$$Z_B = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}}, [\text{Ом}] \quad Z_B = \frac{UL}{IL} = \frac{U_0}{I_0}, Z_B \neq Z_{BX}$$

Если $\alpha L > 14$ дБ, следовательно $Z_B = Z_{BX}$ – эл-ки длинная однородная линия. Отраж. не учитываются.
 Номинальное значение : ВЛС, Fe, $Z_B = 1400$ Ом ; ВЛС, Си, $Z_B = 600$ Ом; Симм кабель : $Z_B = 180$ Ом ;
 Коакс кабель : $Z_B = 75$ Ом.

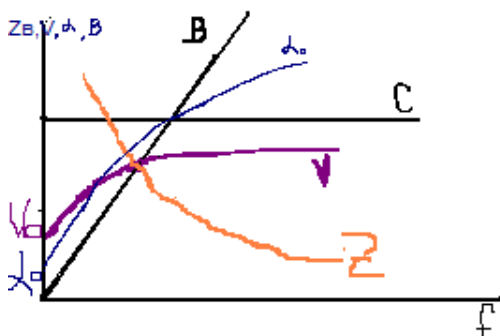


Скорость распространения электромагнитной энергии. Зависит от пар-ов цепи и частоты тока.

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}, [\text{км/с}].$$



$V_0(f=0)$ - скорость пост тока 10 000 км/с.
 $f \uparrow \rightarrow V \uparrow \rightarrow C$



Частота связана с количеством силовых линий через единицу площади, $Z_B = Z_{BX}$ – согл линия, весь сигнала пройдет без затуханий, нет отражений.

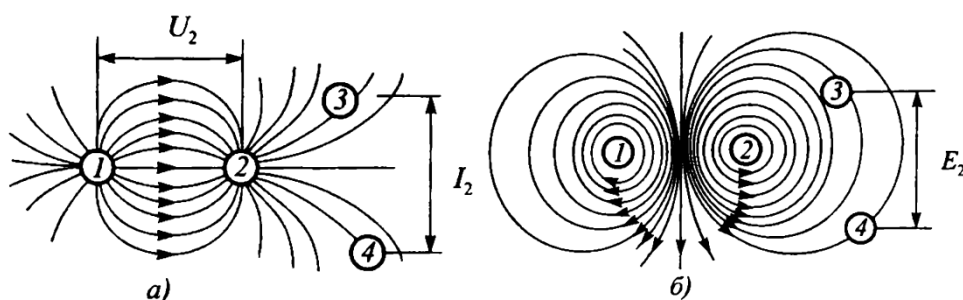
Вопрос 2. Физическая сущность взаимного влияния между симметричными цепями связи.

Рассмотрим природу влияний между симметричными цепями кабеля на примере двух цепей, поперечный разрез которых показан на рис. 9.1. Допустим, что по цепи, образованной жилами 1 и 2, протекает переменный ток. Под действием этого тока вокруг цепи 1-2 создается переменное электромагнитное поле, которое может быть представлено в виде суммарного действия электрического и магнитного полей. Под действием электрического поля цепи 1-2 на жилах 3 и 4 возникают электрические заряды, которые вследствие различия расстояния между жилами 1, 2 и 3, 4 будут разной величины. Индуцированные заряды создают между жилами 3, 4 разность потенциалов, под действием которой в цепи 3-4 протекает ток. Наведенный ток достигает приемника, включенного на конце цепи, и создает мешающее влияние. Влияние, обусловленное действием электрического поля, называют *электрическим влиянием*.

Одновременно с электрическим влиянием между цепями действует и магнитное влияние. При прохождении переменного тока по цепи 1-2 вокруг нее создается переменное магнитное поле, в котором расположены жилы цепи 3-4. В результате магнитной индукции в жилах 3 и 4 наводится ЭДС, которая и создает ток в цепи 3-4. Этот ток достигает приемника, включенного на конце цепи, и оказывает мешающее действие. Влияние, обусловленное действием магнитного поля, называют *магнитным влиянием*.

Чем выше частота передаваемого тока по цепи, тем быстрее протекает процесс изменения электрического и магнитного полей и тем больше величины наведенных ЭДС и токов в соседних цепях.

Цепь, являющаяся источником электромагнитного поля, называется *влияющей*, а цепь, в которой возникают токи и напряжения помех, — *подверженной влиянию*.

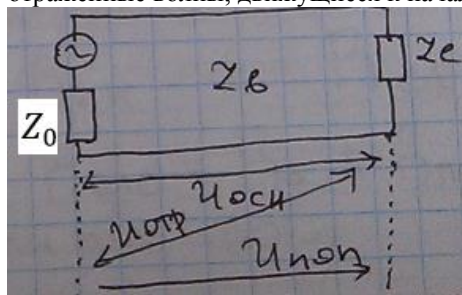


Схемы взаимных электрического (а) и магнитного (б) влияний

Билет №14

1. Характеристики неоднородной линии.

В неоднородной линии при несогласованной нагрузке $Z_0 \neq Z_l \neq Z_B$ происходят сложные процессы в местах неоднородностей возникают отражённые волны. Это приводит к появлению в цепи двух дополнительных потоков: обратного (отражённого) тока, движущегося к началу цепи, и попутного тока, первоначально отраженные волны, движущиеся к началу цепи, частично отражаются и направляются к концу линии.



$U_{\text{поп}}$ — величина напряжения на TV (2-ая картинка)

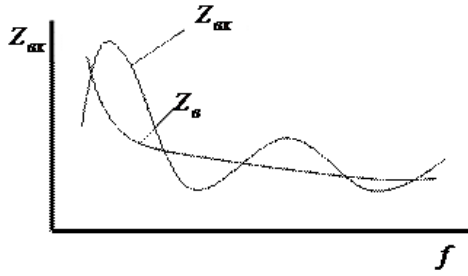
$U_{\text{отр}}$ — на телефоне (эхо)

Обратный (отражённый) поток приводит к колебаниям входного сопротивления кабеля $Z_{\text{вх}}$, т. е.

характеристика $Z_{\text{вх}}$, становится волнообразной. Это затрудняет согласование кабеля с аппаратурой на концах линий и приводит к искажениям в цепи передачи. Попутный поток искажает форму передаваемого сигнала и также создает помехи в передаче. Сильно влияет на качество телевизионной передачи, для которой фазовое соотношение передаваемых и принимаемых сигналов является решающим фактором. Для передачи телевизионных сигналов попутный поток не должен превышать 1 % основного потока. Высококачественная телефонная связь требует отсутствия амплитудных искажений в цепи передачи и в первую очередь постоянства Z_B .

Попутный поток обусловлен прежде всего отклонением волнового сопротивления кабеля, причем попутный поток за счет внутренних неоднородностей прямо пропорционален длине кабельной линии, а за счет стыковых неоднородностей — числу строительных длин кабеля. С целью повышения однородности кабельных линий связи производится группирование строительных длин. Коаксиальные кабели

группируются по величинам волнового сопротивления, симметричные — электрической емкости, а оптические — по затуханию и дисперсии.



Отражённые волны искажают частотную характеристику $Z_{\text{в}}$ кабеля, поэтому оперируем со входным сопротивлением $Z_{\text{вх}}$ характеризующее новое электрическое состояние линии.

$$Z_{\text{вх}} = Z_{\text{в}} \cdot \tanh(\gamma l + n)^2$$

где $n = \frac{1}{2} \cdot \ln \left| \frac{Z_l + Z_{\text{в}}}{Z_l - Z_{\text{в}}} \right| = \frac{1}{2} \cdot \ln \left| \frac{1}{p} \right|$; $p = \frac{Z_l - Z_{\text{в}}}{Z_l + Z_{\text{в}}}$ — коэффициент отражения

$Z_{\text{вх}}$ — сопротивление измеряемое на входе при любой нагрузке на конце.

Неоднородность характеризуется p : $-1 \leq p \leq 1$

Попутный и отражённый поток характеризуется $Z_l = \infty$, ($p=1$) — холостой ход (энергия отражается); $Z_l = 0$, ($p=-1$) — короткое замыкание (энергия отражается с другими значениями); $Z_l = Z_{\text{н}}$, ($p=0$) — энергия полностью поглощается приёмником (энергия не отражается).

Рабочее затухание a_p является затуханием кабельной цепи в рабочих условиях, т. е. при любых нагрузочных сопротивлениях (Z_0 и Z_l) на концах. Оно представляет более общий параметр, так как кроме собственного затухания кабеля $a = \alpha l$ учитывает также влияние несогласованности на стыках кабеля ($Z_{\text{в}}$) с нагрузкой (Z_0 и Z_l).

Рабочее затухание рассчитывается по формуле

$$a_p = \alpha l + \ln \left| \frac{Z_0 + Z_l}{2\sqrt{Z_0 Z_l}} \right| + \ln \left| \frac{Z_l + Z_{\text{в}}}{2\sqrt{Z_l Z_{\text{в}}}} \right| + \ln |1 - p_1 p_2 e^{-2\gamma l}|$$

где p_1 и p_2 — коэффициенты отражения на стыках «генератор — кабель» и «приёмник — кабель»: $p_1 = \frac{Z_0 - Z_{\text{в}}}{Z_0 + Z_{\text{в}}}$ и $p_2 = \frac{Z_l - Z_{\text{в}}}{Z_l + Z_{\text{в}}}$.

Первое слагаемое выражает собственное затухание кабеля αl ; второе и третье — дополнительные затухания вследствие несогласованности сопротивлений генератора и кабеля $Z_0 \neq Z_{\text{в}}$, а также приёмника и кабеля $Z_l \neq Z_{\text{в}}$; четвертое слагаемое равно дополнительному затуханию от взаимодействия несогласованностей в начале и в конце линии.

2. Меры защиты от взаимных влияний. Скрещивание цепей ВЛС.

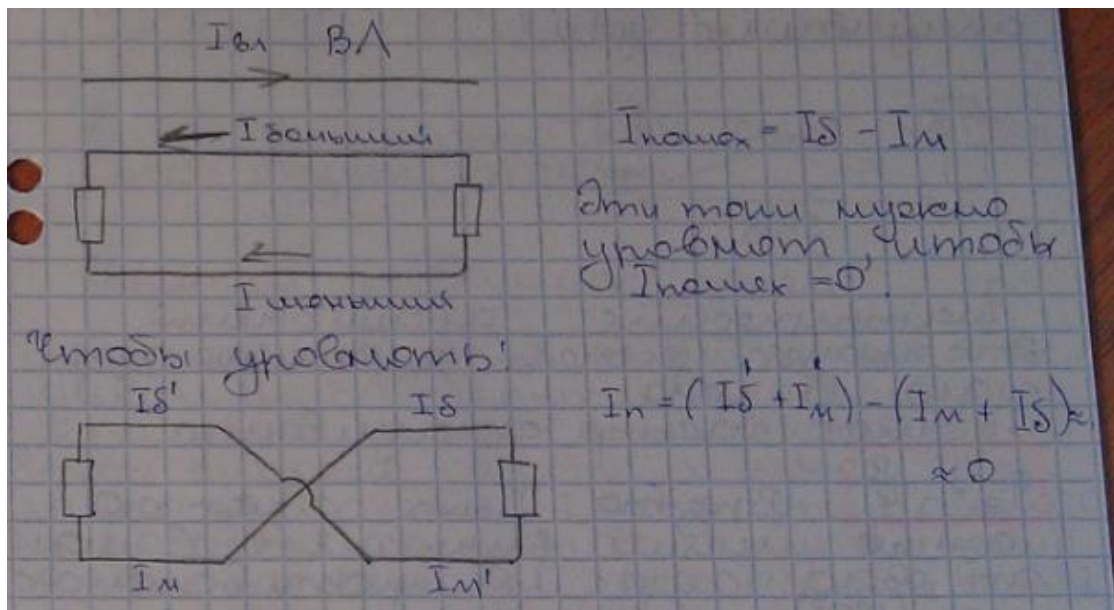
Мерами борьбы с взаимными влияниями являются:

- скрутка жил в группы и повивы (в СК, КК);
- экранирование жил осуществляется при производстве (в СК, КК);
- симметрирование кабелей выполняется во время строительства (в СК);
- скрещивание жил при строительстве (в ВЛС).

На воздушных линиях связи мерой борьбы с влияниями является скрещивание проводов линии.

Для повышения помехозащищённости внутри симметричной четвёрки используется скрещивание жил внутри пар между собой. Скрещивание позволяет компенсировать ёмкости на соседних участках (строительных длинах).

Скрещивание бывает: физическое, через определенные промежутки провода меняются местами по длине цепи; электрическое за счёт изменения электромагнитной волны вдоль линии.

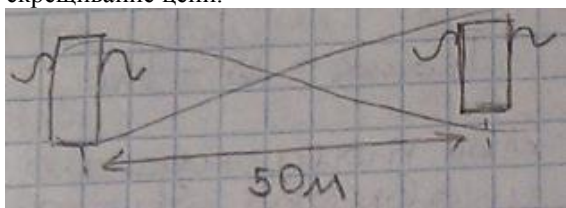


Порядок скрещивания обозначается индексом в виде точек и крестов.

Чем больше крестов, то $I_n \rightarrow 0$ т.е. при скрещивании результирующий ток ($I_{рез}$) влияния меньше, чем без скрещивания, однако, полной компенсации нет т.к. ток в соседних участках не равен между собой.

Для большей эффективности необходимо чаще проводить скрещивание. Если 2е цепи скрещены в 1 точке, то эффекта от скрещивания отсутствует, т.к. знаки ёмкостной связи в этих точках не меняются. Необходимо, чтобы на ВЛС все цепи имели различные схемы скрещивания.

Схема скрещивания – закономерность распределения отдельных скрещиваний на каждой цепи вдоль линии. Для условного изображения различных схем скрещивания служат индексы: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 (количество промежутков 2^n) ВЛС (расстояния между 2я опорами) через которые производится равномерное скрещивание цепи.



Схемы соединения жил в четверке

Номер	Обо- значе- ние	Схема соединения		Номер	Обо- значе- ние	Схема соединения	
		ст. А	ст. Б			ст. А	ст. Б
1	• • •			5	• • x		
2	x • •			6	x • x		
3	• x •			7	• x x		
4	x x •			8	x x x		

Билет №15

1) Электрические процессы в НСЭ. Поверхностный эффект. Эффект близости. Окружающие металлические массы.

Под действием переменного поля происходит перераспределение электромагнитной энергии по сечению проводника, наблюдаются следующие явления:

- Поверхностный эффект
- Эффект близости соседних проводников

- Эффект воздействия на параметры цепи окружающих металлических масс

В симметричном кабеле все эффекты присутствуют.

$$R_{СК} = R_0 + R_{ПЭ} + R_{ЭБ} + R_M.$$

где R_0 – по постоянному току, $R_{ПЭ}$ – из-за поверхностного эффекта, $R_{ЭБ}$ – из-за эффекта близости, R_M – из-за потерь в металлических массах.

$$f \uparrow \rightarrow R \uparrow \uparrow \uparrow$$

В коаксиальном кабеле:

$$R_{КК} = R_0 + R_{ПЭ} + R_{ЭБ}.$$

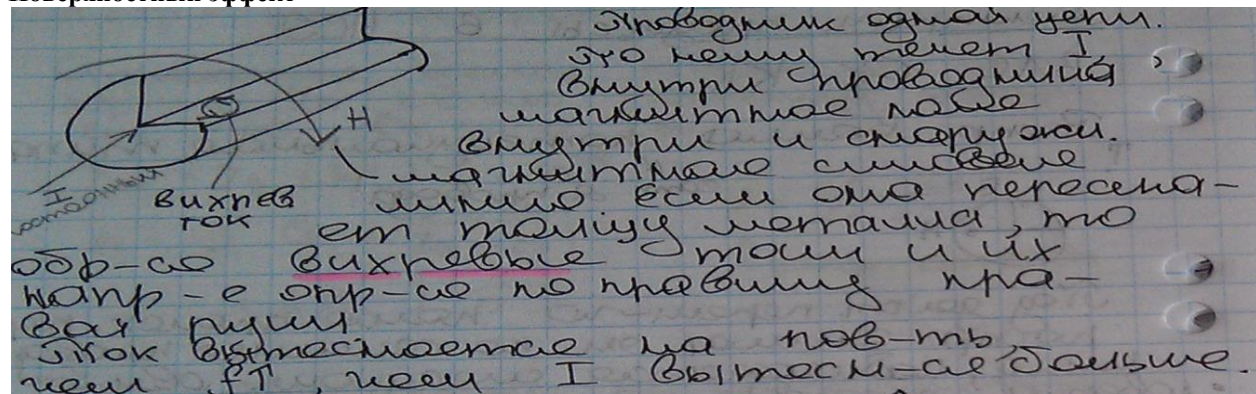
Нет поля $\rightarrow$ нет потерь.

$$R_{КК} < R_{СК};$$

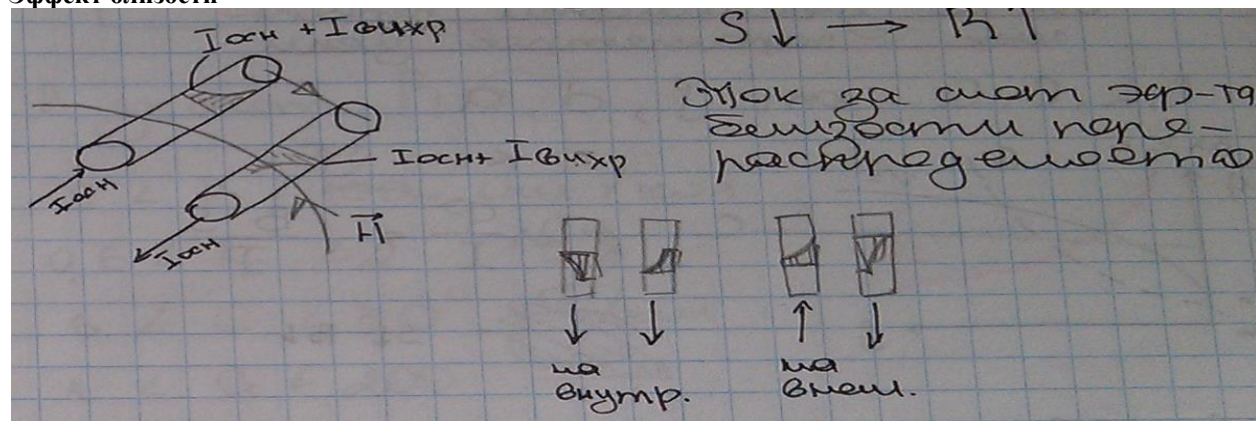
В воздушных линиях связи:

$$R_{ВЛС} = R_0 + R_{ПЭ}. \quad R_{ВЛС} < R_{КК} < R_{СК}.$$

Поверхностный эффект



Эффект близости



Окружающие металлические массы

Вихревые токи нагревают металлический кабель.

$$R_{СК} = 2R_0 \varepsilon \left[1 + F(kr) + \frac{P\sigma(kr) \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - F(kr) \cdot \left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] + R_M$$

R_0 – сопротивление одного проводника

$\varepsilon = 1,01 \dots 1,02$ – коэффициент укрутки

$F(kr)$ – функция Бесселя

k – коэффициент вихревых токов, r – радиус проводника

p – тип скрутки (1 – парная....)

a – расстояние между центрами проводников, d – диаметр

R_M – потери

2) Электрическое скрещивание цепей

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем скрещивания жил цепей.

Симметрирование скрещиванием. В кабелях связи конструктивные неоднородности носят случайный характер, поэтому и электромагнитные связи по длине распределены по случайному закону. Это вызывает необходимость подбора схем скрещивания жил кабеля для каждого конкретного случая. Поскольку вариантов соединения жил кабеля два, а цепей три, то существует $2^3 = 8$ способов соединения жил в четверке. Схема соединения жил записывается в виде оператора скрещивания. Первый знак оператора относится к первой основной цепи, второй – ко второй, а третий – к фантомной. Соединение жил

напрямую обозначается (•), а со скрещиванием (x). Операторы скрещивания и соответствующие им схемы соединения жил в четверке приведены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

Схемы соединения жил в четверке							
Номер	Обо- значе- ние	Схема соединения		Номер	Обо- значе- ние	Схема соединения	
		ст. А	ст. Б			ст. А	ст. Б
1	• • •			5	• • x		
2	x • •			6	x • x		
3	• x •			7	• x x		
4	x x •			8	x x x		

На ГТС НЧ кабели связи имеют обычно небольшую протяженность и по параметрам взаимного влияния, как правило, удовлетворяют установленным нормам и симметрированию не подвергаются. Поэтому подбор оптимальных операторов скрещивания проводится при симметрировании высокочастотных кабелей. Симметрирование скрещиванием применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных кабелей.

Билет №16

Вопрос 1. Методика определения первичных параметров воздушных и кабельных линий связи

Первичные параметры цепей воздушных линий

Определяя первичные параметры двухпроводной цепи, их также относят к 1 км цепи, а цепь считают уединенной. Для двухпроводной цепи с однородными проводами при постоянном токе сопротивление

проводов R_0 равно:

$$R_0 = \rho \cdot l / S, \quad (4.1)$$

где ρ - удельное сопротивление материала провода, Ом мм²/м;

l - длина провода, м;

S - сечение провода, мм².

Для 1 км двухпроводной линии с однородным проводом круглого сечения имеем:

$$R_0 = \frac{\rho \cdot 2000}{\pi d^2 / 4} = \frac{\rho}{d^2} \cdot \frac{4 \cdot 2000}{3.14} \approx 2550 \cdot \frac{\rho}{d^2}, \text{ Ом/км.} \quad (4.2)$$

В справочниках значение ρ обычно приводят для температуры 20°С. Для больших значений

температуры сопротивление R_{0t} может быть определено по формуле:

$$R_{0t} = R_0 [1 + \alpha'(t - 20)], \text{ Ом/км} \quad (4.3)$$

где α' - температурный коэффициент материала провода (приводится в справочной литературе);

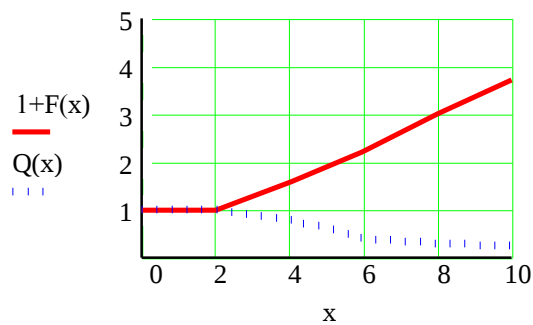
t - температура, при которой определяется сопротивление, °С;

Сопротивление однородных однопроволочных круглых проводов переменному току с учетом поверхностного эффекта в них

$$R = [1 + F(x)] \cdot R_0, \text{ Ом/км.} \quad (4.4)$$

В этом выражении $1 + F(x)$ - коэффициент, определяемый по таблицам или графикам, где $x = |k|r_0$ (из

лекции 2 известно, что $k = e^{i\pi/4} \sqrt{\omega\mu\sigma}$ следовательно $x = r_0 \sqrt{\omega\mu\sigma}$, r_0 - радиус поперечного сечения провода).



При $x > 10$

$$1 + F(x) = \frac{x\sqrt{2} + 1}{4}$$

$$Q(x) = \frac{2\sqrt{2}}{x}$$

Рис. 1. График зависимости $1 + F(x)$ и $Q(x)$

x - характеризует степень поверхностного эффекта, т.е. глубину проникновения в металл ЭМ волны.

$$1 + F(x) = \frac{x\sqrt{2} + 1}{4}$$

При $x > 10$, расчет ведут по формуле

Чтобы оценить характер зависимости $R(f)$ на рис 2 приведен ход таких зависимостей для некоторых типов проводов.

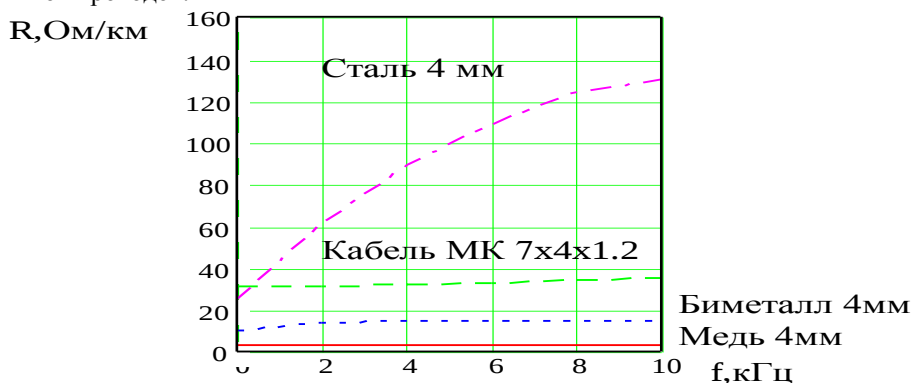


Рис.2. Зависимость сопротивления кабеля от частоты $R(f)$

Индуктивность двухпроводной цепи с однородными круглыми проводами определяется по формуле:

$$L = \left[4 \ln \frac{2a - d}{d} + \mu_r Q(x) \right] \cdot 10^{-4}, \text{ Гн/км, (4.5)}$$

где a - расстояние между осями проводов, м;

d - диаметр провода, м;

μ_r - магнитная проницаемость материала проводника;

$Q(x)$ - коэффициент, характеризующий влияние поверхностного эффекта на индуктивность (см. рис. 1). При

$$Q(x) = \frac{2\sqrt{2}}{x}$$

$x > 10$ расчет можно вести по формуле

Для воздушных цепей телемеханики и связи обычно $a \geq 0.2$ м, $d \leq 0.005$ м, что позволяет несколько упростить формулу (4.5)

$$L = \left(4 \ln \frac{2a}{d} + Q(x) \mu_r \right) \cdot 10^{-4}, \text{ Гн/м. (4.6)}$$

В формулах (4.5) и (4.6) первое слагаемое есть внешняя индуктивность, определяемая отношением магнитного потока, окружающего провод, к току в последнем. Для двух проводных воздушных цепей она составляет ≈ 2 мкГн/км. Второе слагаемое - внутренняя индуктивность, связанная с магнитным потоком, замыкающимся внутри провода. Вследствие поверхностного эффекта переменный ток течет лишь по наружному слою проводника, имеющему форму трубки. Внутри «трубки» магнитные поля токов, текущих по ее диаметрально противоположным стенкам взаимно компенсируются. С ростом частоты толщина стенок «трубки» уменьшается, причем уменьшается и внутренний магнитный поток, а следовательно и внутренняя индуктивность. В результате индуктивность цепи с ростом частоты уменьшается, стремясь к пределу,

равному значению внешней индуктивности L_B (см. рис. 3)

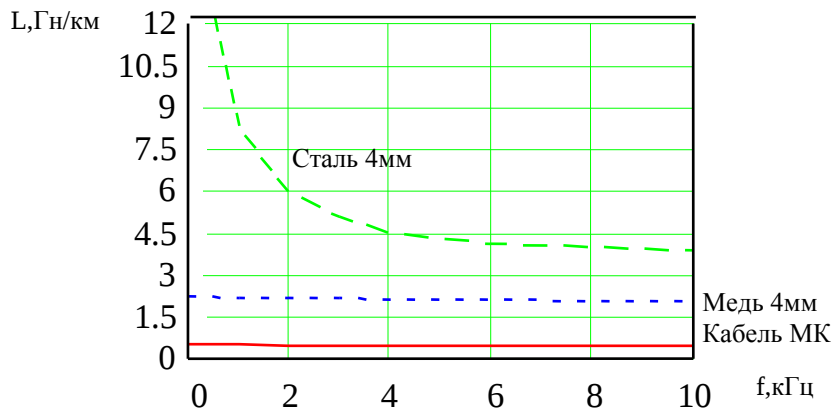


Рис. 3. Зависимость индуктивности индуктивности L кабеля от частоты f

Выражение для емкости двухпроводной цепи имеет вид:

$$C = \frac{\epsilon_r \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left[\frac{2a - d}{d} \right]}, \text{ Ф/км.} \quad (4.7)$$

Для воздушной линии относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon_r = 1$, $d \gg a$ и для учета влияния изоляторов, соседних проводов и земли вводится коэффициент 1.05. Тогда

$$C = \frac{1.05 \cdot 10^{-6}}{36 \ln(2a / d)}, \text{ Ф/км.} \quad (4.8)$$

Ввиду того, что диэлектрическое поле уединенного провода круглого сечения не зависит от глубины расположения зарядов в нем, поверхностный эффект не оказывает влияние на емкость и, следовательно, значение емкости не зависит от частоты.

Проводимость изоляции между проводами воздушной цепи зависит от:

- степени загрязненности изоляторов;
- влажности изоляторов;
- наличия и глубины трещин в их глазури, и т.п.

Эти факторы трудно учесть аналитически и поэтому проводимость изоляции определяют по эмпирической формуле:

$$G = G_0 + n \cdot f, \text{ См/км, См/км,} \quad (4.9)$$

где G_0 - проводимость изоляции при постоянном токе, См;

f - частота, Гц;

n - коэффициент, учитывающий повышение проводимости изоляции с ростом частоты, эквивалентное увеличению потерь в изоляции, См/(Гц км). Он пропорционален емкости цепи и тангенсу угла потерь изоляции.

Отложения гололеда и изморози на проводах приводит к увеличению C - ёмкости и проводимости изоляции цепи G , т.к. вода имеет большую диэлектрическую проницаемость и высокий коэффициент диэлектрических потерь.

Погода	G_0 , См/км	n , См/(км Гц)
Сухая	$0.001 \cdot 10^{-6}$	$0.05 \cdot 10^{-9}$
Сырая	$0.05 \cdot 10^{-6}$	$0.25 \cdot 10^{-9}$
Гололед		$0.75 \cdot 10^{-9}$

Первичные параметры цепей симметричных кабелей

Отличия первичных параметров цепей симметричных кабелей определяются конструктивными отличиями от воздушных линий. Т.к. расстояние между прямой и обратной жилами кабельной пары соизмеримо с радиусом жилы и с расстоянием до соседних пар, экранов и металлической оболочки кабеля и все они вносят изменения в структуру ЭМ поля пары, то при определении параметров необходимо учесть эффект близости и влияние металлических масс.

Весь пучок жил в кабеле (т.е. в сердечнике кабеля) для придания ему гибкости скручивается, вследствие чего длина жил превышает длину кабеля. Это удлинение учитывается с помощью *коэффициента скрутки* (или спиральности) χ , значение которого зависит от диаметра повива.

Диаметр повива, мм	до 30	30 - 40	40 - 50	50 - 60	60 - 70	70 - 80
Коэффициент χ	1.010	1.016	1.025	1.037	1.050	1.070

Сопротивление постоянному току кабельной пары равно:

$$R_0 = \frac{2550\chi\rho}{d^2}, \text{ Ом/км.} \quad (4.10)$$

Сопротивление кабельной пары при переменном токе

$$R = R_0 \left[1 + F(x) + \frac{pG(x)\left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - H(x)\left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] + \Delta R, \text{ Ом/км,} \quad (4.11)$$

где $G(x)$ и $H(x)$ учитывают увеличение сопротивления за счет эффекта близости. $G(x)$ и $H(x)$ обычно определяются по графику (Рис 4).

p - характеризует эффект близости с соседними жилами в элементарной группе.

- $p = 1$ при парной скрутке;
- $p = 5$ при звездной скрутке;
- $p = 2$ при двойной парной скрутке.

ΔR - дополнительное сопротивление за счет потерь энергии на вихревые токи в жилах соседних четверок и в металлической оболочке кабеля.

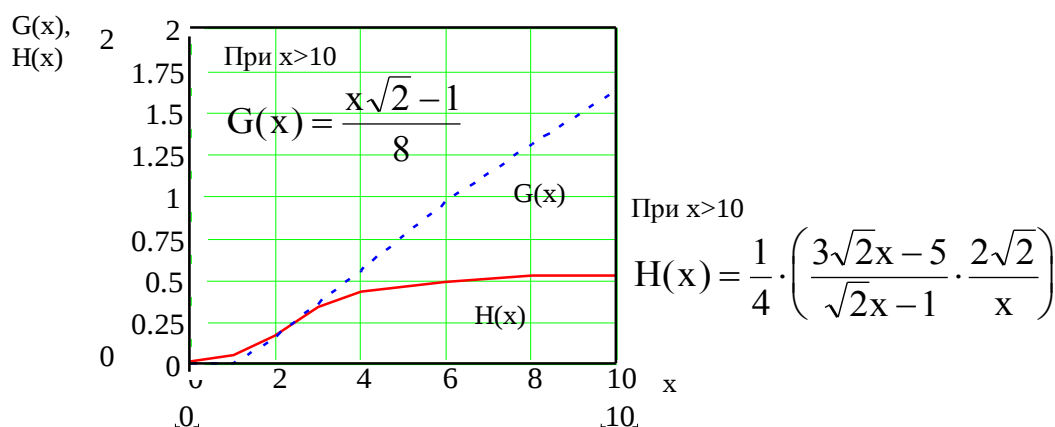


Рис.4. Зависимости $G(x)$ $H(x)$, учитывающие эффект близости

Индуктивность двухпроводной кабельной цепи:

$$L = \chi \left\{ 4 \ln \frac{2a-d}{d} + Q(x)\mu \right\} 10^{-4}, \text{ Гн/км.} \quad (4.12)$$

Ёмкость кабельной цепи с учётом влияния соседних жил и оболочки на электрическое поле называется рабочей и определяется как:

$$C = \frac{\chi \epsilon_p 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{2a-d}{d} \psi \right)}, \text{ Ф/км,} \quad (4.13)$$

где ϵ_p - результирующая диэлектрическая проницаемость изоляции;

Ψ - коэффициент, приближенно учитывающий увеличение ёмкости за счет близко расположенных соседних жил оболочки или экрана.

Проводимость изоляции кабелей обычно во много раз меньше, чем у воздушных линий и равна:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta_p, \text{ См/км}, \quad (4.14)$$

где C - емкость цепи, Ф/км;

$\operatorname{tg} \delta_p$ - результирующий тангенс угла потерь комбинированной изоляции.

Первичные параметры коаксиальных кабелей

Коаксиальные кабели используются при передаче на частотах $60 \text{ кГц} \div 25 \text{ МГц}$, т.е. в условиях сильного поверхностного эффекта. Ток при этом течет по очень тонкому поверхностному слою проводника: наружному у внутреннего проводника и внутреннему у наружного. ЭМ поле сконцентрировано только внутри коаксиальной пары, поэтому в расчетах параметров этих кабелей эффект близости соседних цепей и общей оболочки кабеля не учитывается.

Сопротивление коаксиальной пары переменному току записывают в виде суммы внутреннего и наружного проводников:

$$R = \frac{2}{d} \sqrt{\frac{f \mu_d \rho_d}{10}} + \frac{2}{D} \sqrt{\frac{f \mu_D \rho_D}{10}}, \quad (4.15)$$

где d - наружный диаметр внутреннего проводника, м;

D - внутренний диаметр наружного проводника, м;

ρ - удельное сопротивление проводников, Ом мм²/м;

μ_* - относительная магнитная проницаемость проводника,

если оба проводника медные, то $\mu_d = \mu_D = 1$,

$\rho_d = \rho_D = 0.01754 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м} = 0.01754 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

$$R = 8.35 \cdot 10^{-5} \sqrt{f} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right)$$

В СИ, Ом/км. (4.16)

Внутренняя индуктивность коаксиальных кабелей вследствие сильного поверхностного эффекта пренебрежимо мала. Поэтому L коаксиального можно считать равной внешней, т.е.

$$L = 2 \cdot 10^{-4} \ln \left(\frac{D}{d} \right), \text{ Гц/км}. \quad (4.17)$$

Она определяется магнитным потоком, заключенным в пространстве между внутренним и внешним проводниками, создаваемым током всего одного внутреннего проводника, и имеет поэтому меньший численный коэффициент, чем у симметричных цепей.

Ёмкость рассчитывается по формуле емкости цилиндрического конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_p 10^{-6}}{18 \ln \left(\frac{D}{d} \right)}, \text{ Ф/км}. \quad (4.18)$$

Формула для расчета проводимости изоляции аналогична ранее рассмотренной формуле для симметричных кабельных линий:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta_p, \text{ См/км}.$$

В формулах ϵ_p и $\operatorname{tg} \delta_p$ находят по таблицам либо графически.

Вопрос 2. Скрутка кабельных цепей.

Кабельная скрутка аналогична скрещиванию ВЛС. Скрутка - равномерное скрещивание по длине кабеля (СК). Чтобы вещание внутри и между группами было min, необходимо специальное согласование шагов скрутки, поэтому кабельные цепи скручиваются с разл. шагами

Шаг скрутки - длина на котоой жила опис. полный круг по оси скручивания.

h больше - рыхлый сердечник

h меньше - l больше - A затухание больше.

Приемлимые шаги:

а) для группы (4 жилы) 100 - 300мм

б) для повива из 4-ех 400 - 600мм

Дляувеличения жесткости, каждый последующий повив скручивается в противоположную сторону.

МКСБ 7х4 - 14 цепей

$h_1=1\text{ мм}, h_2=160\text{мм}, h_3=202\text{мм}, h_4=175\text{мм}, h_5=228\text{мм}, h_6=142\text{мм}, h_7=241\text{мм}.$

МКСБ 4х4 - 8 цепей

$h_1=125\text{мм}, h_2=160\text{мм}, h_3=202\text{мм}, h_4=75\text{мм}.$

Билет №17

1. Выражение для определения активного сопротивления и индуктивности цепей ВЛС, СК и КК.

Воздушные линии – это двухпроводные линии. При определении первичных параметров цепи считаются уединёнными. Первичные параметры относятся к 1 км длины.

Сопротивление линии с учётом эффекта близости вычисляется по формуле:

$$R = [1 + F(x)] \cdot R'_0$$

$$R'_0 = R_0[1 + \alpha'(t^\circ + 20^\circ)] \quad R_0 - \text{сопротивление при } 20^\circ\text{C}$$

Индуктивность двухпроводной цепи с однородными круглыми проводами

$$L = \left[4 \ln \frac{2a-d}{d} + \mu_r Q(x) \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$$

a – расстояние между проводами,

d – диаметр провода,

$Q(x)$ – функция, учитывающая поверхностный эффект. Первое слагаемое – это внешняя индуктивность, второе – внутренняя.

Выражение для активного сопротивления СК:

$$R = R_0 \left[1 + F(x) + \frac{PG(x) \left(\frac{d}{a} \right)^2}{1 - H(x) \left(\frac{d}{a} \right)^2} \right] + \Delta R, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

Индуктивность:

$$L = \chi \left[4 \ln \frac{2a-d}{d} + \mu_r Q(x) \right] \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$$

χ – коэффициент укрутки

Выражение для активного сопротивления КК:

$$R = 0.0835 \cdot \left(\frac{1}{D} + \frac{1}{d} \right) \cdot \sqrt{f}, \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$$

Индуктивность:

$$L = L_a + L_g + L_{\text{вн}} = \left(2 \cdot \ln \left(\frac{D}{d} \right) + \frac{133}{\sqrt{f}} \cdot \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right) \cdot 10^{-4}, \frac{\text{Гн}}{\text{км}}$$

2. Методы симметрирования цепей.

Симметрирование - это комплекс мероприятий и электрических измерений, проводимых в процессе строительства и монтажа кабельных линий связи. На ГТС симметрируют в основном кабели междоанционных соединительных линий, большой протяженности. На практике используют следующие основные методы симметрирования: **метод скрещивания, конденсаторный метод и метод концентрированного включения контуров противосвязи.**

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем скрещивания жил цепей. Симметрирование скрещиванием применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных кабелей. Концентрированное **Конденсаторное симметрирование** основано на компенсации электрических связей путем включения конденсаторов между жилами взаимовлияющих цепей. Конденсаторное симметрирование компенсирует только электрические связи, поэтому оно применяется в основном для низкочастотных кабелей, в которых эти связи являются определяющими. **Симметрирование включением контуров противосвязи** основано на компенсации электромагнитных связей путем включения между жилами взаимовлияющих цепей контуров противосвязи, содержащих резисторы и конденсаторы. Концентрированное симметрирование контурами противосвязи в основном применяется для ВЧ кабелей.

Билет №18

Вопрос 1 ПРОЦЕССЫ В ДИЭЛЕКТРИКЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ C и G

Емкость C и проводимость изоляции G связаны с процессами в диэлектрике. Под действием переменного электромагнитного поля в диэлектрике происходит смещение диполей, их переориентация и поляризация. Емкость характеризует способность поляризации и величину токов смещения, проводимость изоляции определяет величину потерь в диэлектрике на переориентацию диполей и характеризуется тангенсом угла потерь $\operatorname{tg}\delta$.

Емкость и проводимость изоляции симметричных цепей можно рассчитать по ранее выведенным формулам. Обычно принято проводимость изоляции выражать через тангенс угла диэлектрических потерь: $\operatorname{tg}\delta = G/(\omega C) = \sigma/(\sigma\epsilon_a)$. При этом $G = \omega\epsilon_a \operatorname{tg}\delta / \ln[(a-r)/r] = \omega C \operatorname{tg}\delta$. Заменяя в данном выражении $\epsilon_a = \epsilon_0\epsilon_r$, где $\epsilon_0 = 10^{-9} / (36\pi)$, получим для 1 км кабеля, Ф/км

$$C = \frac{\epsilon_r 10^{-6}}{36 \ln[(a-r)/r]}.$$

Соответственно $G = \omega C \operatorname{tg}\delta$, См/км, где ϵ_r и $\operatorname{tg}\delta$ - диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь, а - расстояние между проводниками; r - радиус проводника.

C и G - первичные параметры цепи;

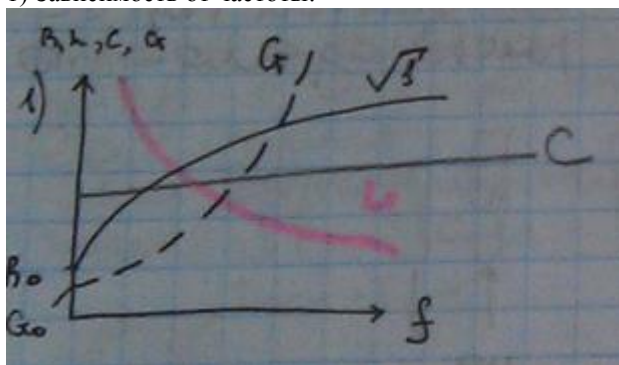
C - ёмкость кабельной цепи;

$C = Q/U$ (Емкость выражается отношением количества электричества напряжению)

G - проводимость изоляции кабельной цепи.

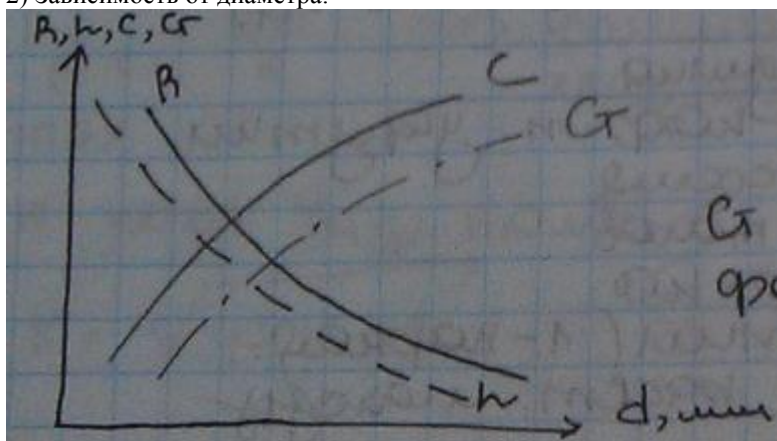
Проводимость изоляции характеризует качество изоляции проводников цепи (диэлектрик кабеля, материал изоляторов). Под проводимостью изоляции понимается явление частичной электропроводимости изоляционных материалов, в результате часть передаваемой по цепи энергии рассеивается в диэлектрике, т. е. происходит утечка тока. Проводимость изоляции складывается из проводимостей изоляции постоянному (G_0) и переменному току ($G_{\sim}$): $G = G_0 + G_{\sim}$

1) Зависимость от частоты:



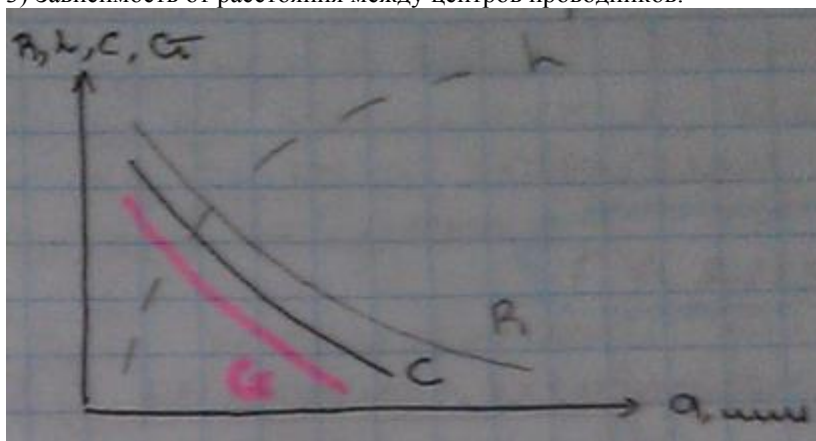
C с увеличением частоты значение параметров R и G возрастает за счет потерь в проводниках на вихревые токи и в изоляции на диэлектрическую поляризацию, а индуктивность L уменьшается, так как из-за поверхностного эффекта уменьшается внутренняя индуктивность проводника. Емкость C от частоты не зависит.

2) Зависимость от диаметра:



С увеличением диаметра проводников параметры C и G растут, а L уменьшается. Изменение активного сопротивления имеет сложный характер. Это обусловлено тем, что с увеличением диаметра проводника сопротивление постоянному току резко уменьшается, а сопротивление за счет поверхностного эффекта и эффекта близости растет. Поэтому вначале R снижается резко, а затем снижение замедляется.

3) Зависимость от расстояния между центрами проводников:



При увеличении расстояния между проводниками параметры R , C , G закономерно уменьшаются, а индуктивность L возрастает. Снижение R обусловлено уменьшением потерь на эффект близости. Рост L связан с увеличением площади контура, пронизываемого магнитным потоком. Емкость C уменьшается, так как проводники удаляются друг от друга и уменьшается их взаимодействие.

Вопрос 2

ЭКРАНИРОВАНИЕ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

Известны две стадии защиты кабеля от помех:

а. симметрирование и подбор шагов скрутки;

б. экранирование, внешнее и внутреннее.

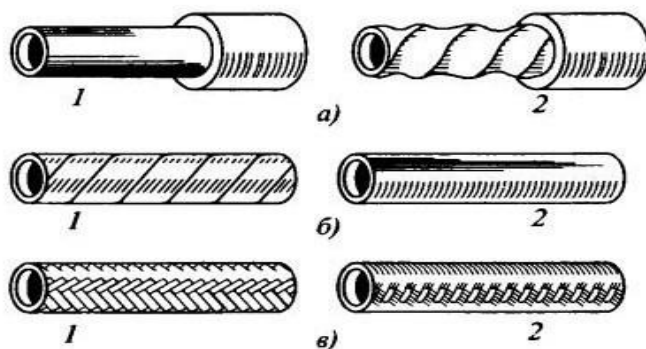


Рис. 10.31. Металлические оболочки-экраны кабелей связи: а — сплошные (1 — гладкий; 2 — гофрированный); б — ленточные (1 — спиральный; 2 — продольный); в — оплеточные (1 — из плоских проволок; 2 — из круглых проволок)

Различают следующие способы экранирования: электростатическое, магнитостатическое и электромагнитное

Электростатическое и магнитостатическое экранирование основаны на замыкании экраном (обладающим в первом случае высокой электропроводностью, а во втором магнитопроводностью) соответственно электрического и магнитного полей.

Электростатическое экранирование по существу сводится к замыканию электростатического поля на поверхность металлического экрана и отводу электрических зарядов на землю (на корпус прибора). Заземление электростатического экрана является необходимым элементом при реализации электростатического экранирования.

Применение металлических экранов позволяет полностью устранить влияние электростатического поля. При использовании диэлектрических экранов, плотно прилегающих к экранируемому элементу, можно ослабить поле источника наводки в ϵ раз, где ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость материала экрана

Основной задачей экранирования электрических полей является снижение ёмкости связи между экранируемыми элементами конструкции. Следовательно, эффективность экранирования определяется в основном отношением ёмкостей связи между источником и рецептором наводки до и после установки заземлённого экрана. Поэтому любые действия, приводящие к снижению ёмкости связи, увеличивают эффективность экранирования.

На частотах свыше 1 ГГц с увеличением частоты эффективность экранирования снижается.

Основные требования, которые предъявляются к электрическим экранам, можно сформулировать следующим образом [7]:

- конструкция экрана должна выбираться такой, чтобы силовые линии электрического поля замыкались на стенки экрана, не выходя за его пределы;
- в области низких частот при глубине проникновения (δ) больше толщины (d), то есть при $\delta > d$, эффективность электростатического экранирования практически определяется качеством электрического контакта металлического экрана с корпусом устройства и мало зависит от материала экрана и его толщины;
- в области высоких частот при $\delta > d$ эффективность экрана, работающего в электромагнитном режиме, определяется его толщиной, проводимостью и магнитной проницаемостью.

Магнитостатическое экранирование используется при необходимости подавить наводки на низких частотах от 0 до 3 -10 кГц [7].

Основные требования, предъявляемые к магнитостатическим экранам, можно свести к следующим [7]:

- магнитная проницаемость μ_a материала экрана должна быть возможно более высокой. Для изготовления экранов желательно применять магнитомягкие материалы с высокой магнитной проницаемостью (например, пермаллой);
- увеличение толщины стенок экрана приводит к повышению эффективности экранирования, однако при этом следует принимать во внимание возможные конструктивные ограничения по массе и габаритам экрана;
- стыки, разрезы и швы в экране должны размещаться параллельно линиям магнитной индукции магнитного поля, их число должно быть минимальным;
- заземление экрана не влияет на эффективность магнитостатического экранирования.

Эффективность магнитостатического экранирования повышается при применении многослойных экранов.

Экранирование высокочастотного магнитного поля основано на использовании магнитной индукции, создающей в экране переменные индукционные вихревые токи (токи Фуко). Магнитное поле этих токов внутри экрана будет направлено навстречу возбуждающему полю, а за его пределами - в ту же сторону, что и возбуждающее поле. Результирующее поле оказывается ослабленным внутри экрана и усиленным вне его. Вихревые токи в экране распределяются неравномерно по его сечению (толщине). Это называется явлением поверхностного эффекта, сущность которого заключается в том, что переменное магнитное поле ослабевает по мере проникновения в глубь металла, так как внутренние слои экранируются вихревыми токами, циркулирующими в поверхностных слоях [7].

Благодаря поверхностному эффекту плотность вихревых токов и напряжённость переменного магнитного поля по мере углубления в металл падают по экспоненциальному закону.

Эффективность магнитного экранирования зависит от частоты и электрических свойств материала экрана. Чем ниже частота, тем слабее действует экран, тем большей толщины приходится его делать для

достижения одного и того же экранирующего эффекта. Для высоких частот, начиная с диапазона средних волн, экран из любого металла толщиной 0,5-1,5 мм действует весьма эффективно. При выборе толщины и материала экрана следует учитывать механическую прочность, жёсткость, стойкость против коррозии, удобство стыковки отдельных деталей и осуществления между ними переходных контактов с малым сопротивлением, удобство пайки, сварки и пр.

Билет №19

1) Основные зависимости первичных параметров цепи

R, L, C, G - первичные параметры цепи

первичные параметры цепи зависят от f (частота), d (диаметр проводника), a (расстояние между проводниками)

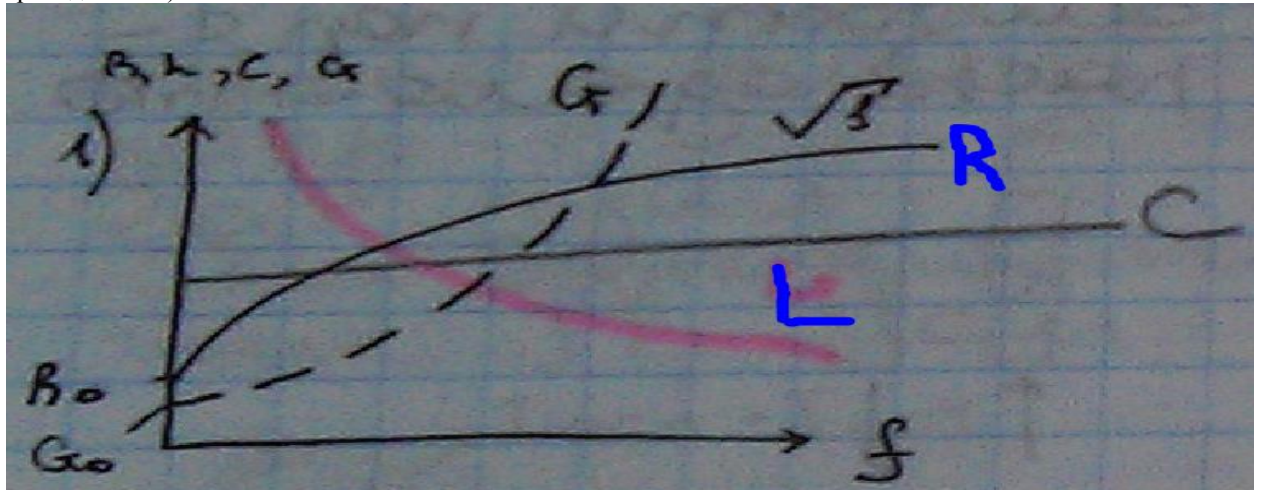
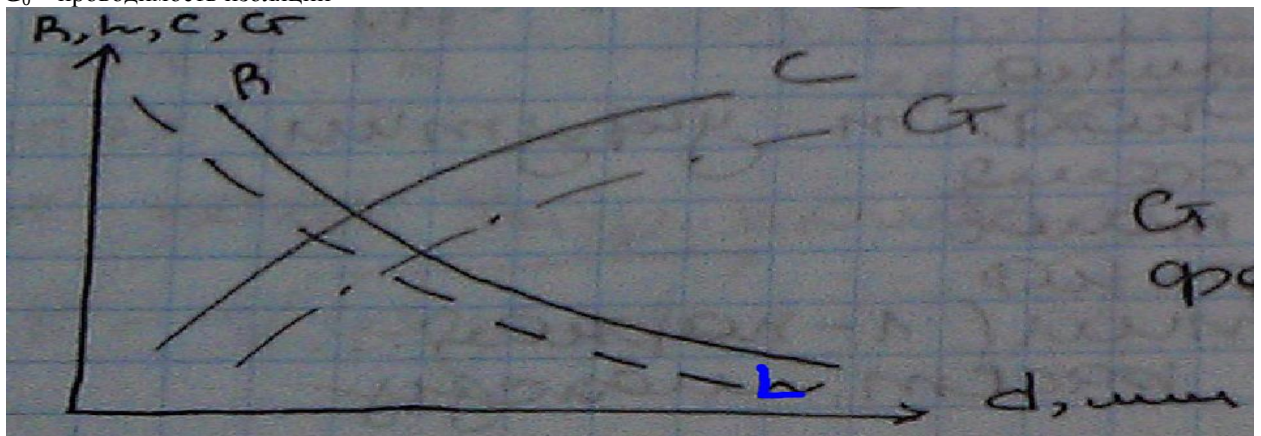
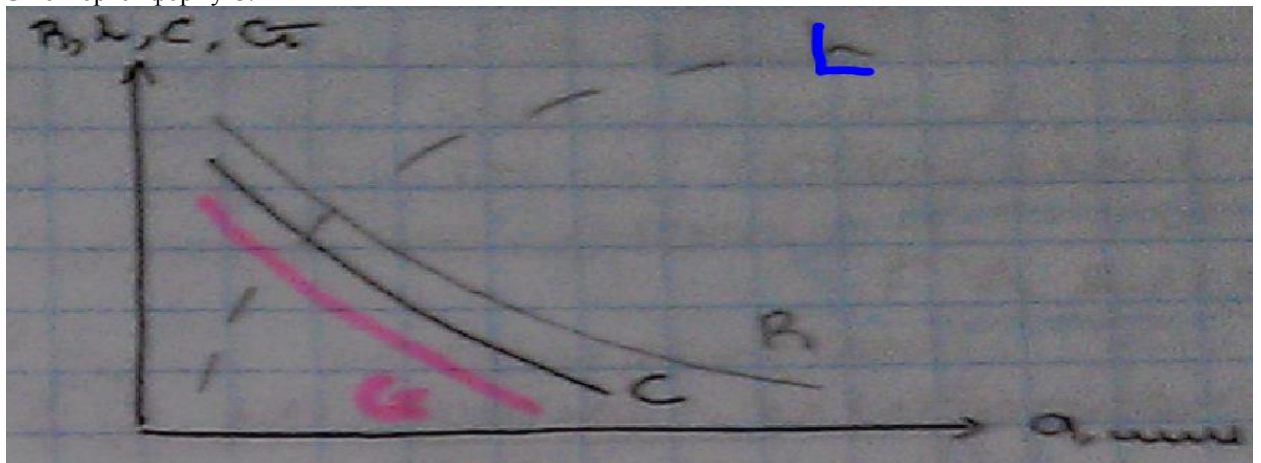


График зависимости первичных параметров от f (частоты). $C=Q/U$; $G_0=1/R_0$; $L=L_{\text{внеш}} + L_{\text{внутр}}$; G_0 — проводимость изоляции



Зависимость параметров от диаметра проводника $d, \text{мм}$

G повторяет форму C .



Зависимость параметров от расстояния между проводниками $a, \text{мм}$

$5 < R < 100 \text{ Ом/км}$, $0,6 < L < 2 \text{ мГн/км}$, $5 < C < 50 \text{ нФ/км}$, $1 < G < 100 \text{ мСм/км}$
С каб линии в 3-5 раз больше чем в ВЛС. L в 2-3 раза меньше чем в ВЛС.
На параметры цепи влияет колебание температур.
КК от $2 - 16^{\circ} \text{C}$, ВЛС $40-50^{\circ} \text{C}$

От температуры зависит активное сопротивление цепи

$R_t = R_{20}(1 + \alpha_r(t - 20)) \text{ Ом/км}$

α_r – температурный коэф. (медь = 0.004, Алюминий = 0.042, железо = 0.046)

2) Оптические кабели связи

Основной эл-т: оптическое волокно или световод.

Состоит из: 1) сердцевина 2) оболочка 3) защитное покрытие

Серцевина изготавливается из кварца, по ней распространяется свет. Оболочка кварцевая улучшает распространение оптического импульса. Серцевина и оболочка имеют разные коэффициенты преломлений. n_1 не равно n_2 ; $n_1 = \sqrt{E_1}$; $n_2 = \sqrt{E_2}$; $n_1 > n_2$.

Снаружи покрытие для защиты от механ. воздействий и для покраски.

Защитное покрытие:

1 слой Si органический компан. СИЭЛ

2 слой - нейлоновый полиэтилен. лак

Номинал диаметра волокна $d = 245 \text{ микрон}$

Серцевина 10 микрон - модовая, 50 микрон - многомодовая

Классификация: Современные оптические кабели, вне зависимости от принадлежности к сетям магистрали, внутризоновые местные, использующие одинаковое опт. волокно в основном одномодовые, поэтому классифицируются они по назначению на 2 группы!

1) линейные - для прокладки вне здания, для наружной прокладки и эксплуатации

2) внутриобъектовые - внутри зданий.

Линейные позволяют создавать кабели во всех средах: суша, вода, воздух. Они разделяются на подземные, подвесные, подводные.

Внутриобъектовые: распределительные и станционные (монтажные).

Осн. конструктивный элемент: оптический модуль (ОМ) содержит одно или неск. оптических волокон.

По конструкции: трубчатый (1.7 волокон профилированный, ленточные)

Трубчатые: оптические волокна свободно уклад-ся вокруг центрального оптического элемента, либо размещ-ся в буферном покрытии в полиэтилене от 1 до 24 модулей.

Маркировка.

Нет унифицированной маркировки. Для опт. кабелей выпускаемых заводами указываются: назначение и область применения, конструкция сердечника, материал промежуточной и наружной оболочек, тип брони, число опт. модулей и опт. волокон, величина коэф. затухания на опорных длинах волн (1.3 - 1.55), величина дисперсии, допустимое растягивающее усилие.

ОКЛК -01(02) -8 -96 -10/125 0.36/0.22-3.5 18-20 -> опт. каб., лин-ый, броня из круглых проволок

01 - силовой эл-т из стеклопластика

02 - сил. эл-т из стальных скруг-ых проволок

8 - кол-во эл-ов в сердечнике

96 - кол-во волокон

10/125 - d сердц. и оболочки

0.36 - затух. волокна волны на длине 1.3

0.77- ... на 125

3.5 - дисперсия на дв. 1.3

18 - дисперсия на 1.25

20 - растягивающее усилие

8 - 96 - кол-во волокон

С целью защиты от гозы и грызунов и обеспеч. требуемой мех-ой прочности на заводе опт. каб. встраивают в пластмассовую трубу из плтмассы большой прочности

$d_{\text{вн}} = 25 \text{ мм}$ $d_{\text{нар}} = 35 \text{ мм}$

Труба: высокая механ. прочность. Ставят под трубу с газовым давлением. L до 6 км, чем длина больше, тем меньше затухание.

Вес до 400 кг на 1 км

Срок службы 25 лет

$d_{\text{нар}} = 11-20 \text{ мм}$

По сравнению с коакс. кабелем, уплотненным в спектре до 60 МГц, стоимость 1 тел. канала на вол. опт. со ск. передачи 565 Мб/с меньше в 2 раза, 2.4 Гбит/с в 5р.

Сущ-ют кабели для структурированных кабельных сетей.

1) Принципы организации связи по кабельным линиям связи.

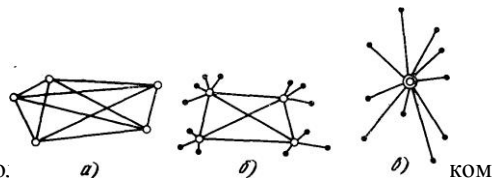
Сеть связи состоит из 3 частей:

- систем передачи информации (линии и аппаратуры)
- устройств коммутации (узлов связи)
- оконечных устройств

Линия связи – это уст-во непрерывной конструкции, позволяющее передавать электро-магнитные волны в заданном направлении.

Варианты построения сетей связи:

- а) Непосредственное соединение
- б) Узловое
- в) Радиальное



Непосредственное соединение каждого пункта с каждым наибо. отношении невыгодно. Неэкономична и узловое. Радиальная система наиболее дешевая, но она не имеет никаких путей резервирования и не обеспечивает непрерывности связи. Наилучшие результаты дает сочетание радиальной и узловой систем.

Сеть связи страны подразделяется на первичную и вторичную:

Первичная сеть — это совокупность всех каналов без подразделения их по назначению и видам связи. В состав ее входят линии и каналообразующая аппаратура. Первичная сеть является единой для всех потребителей каналов и представляет собой базу для вторичных.

Вторичная сеть состоит из каналов одного назначения (телефонных, телеграфных, передачи газет, вещания, видеотелефонных, передачи данных, телевидения и др.), образуемых на базе первичной сети. Вторичная сеть включает коммутационные узлы, оконечные пункты и каналы, выделенные на первичной сети.

Кабельные линии (первичные сети) классифицируются по назначению:

- Международные – обеспечение связи между странами
- Магистральные – обеспечение связи между субъектами
- Зоновые – кабельные линии внутри данной зоны (края, области и тд.)
- Местные – включает в себя сельскую и городскую связи.

Кабели, в свою очередь, делятся на 3 типа:

- Симметричные (станция-абонент состоит из симметричных цепей)
- Коаксиальные (основной элемент - коаксиальная пара)
- Оптические (основной элемент – оптоволокно или световод)

2. Воздушные линии связи (ВЛС).

ВЛС и СК относятся к группе симметричных цепей, отличительной особенностью которых является наличие двух абсолютно одинаковых, конструктивно и электрически, проводников.

Зона использования направляющих систем в зависимости от D и λ :

Соотн.	$D/\lambda \ll 1$
Параметры	
f , Гц	$10^3 - 10^8$
λ , м	км - м
Процесс	Колебательный
Теория	Т. Цепей
Тип волны	Волна типа Т
НС	ВЛС, СК, КК

ВЛС подразделяются на линии: междугородной телефонной связи (МТС), сельской телефонной связи (СТС), городской телефонной связи (ГТС) и радиотрансляционных сетей (РС).

Воздушные линии связи, как правило, строятся вдоль железных, шоссе, а иногда и грунтовых дорог. В населенных пунктах они проходят вдоль улиц, а в городах - часто проходят по крышам зданий. Воздушные линии, построенные вдоль дорог и улиц, отличаются от воздушных линий, проходящих по крышам зданий, типом опор. Линии, у которых опорами служат столбы (деревянные, железобетонные), называются столбовыми. Линии, проходящие по крышам зданий, имеют опоры в виде металлических стоек и называются стоечными.

Воздушная линия связи состоит из проводов, опор, изоляторов, траверс, штырей, крюков, накладок для скрещивания проводов, крепежных накладок и некоторых других элементов. На рис. 2.1 показаны основные элементы воздушной линии и основные расстояния между штырями и крюками. На линиях радиотрансляционных сетей на опорах располагаются также абонентские и фидерные трансформаторы. На оконечных и кабельных (в местах стыка воздушных линий с кабельными) опорах могут размещаться также кабельные вводные ящики, шкафы, детали оборудования воздушных вводов и другие элементы.

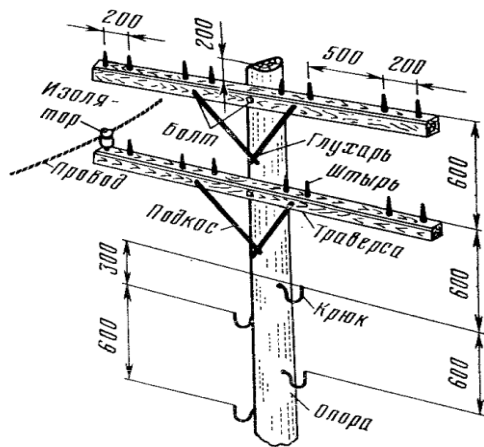


Рис. 2.1. Основные элементы воздушной линии связи

Воздушные линии связи представляют собою наиболее дешевый тип линейных сооружений, но они не обеспечивают необходимой надежности и стабильности электрических характеристик, что становится особенно важно на линиях с большим числом каналов. Кроме того, по цепям воздушных линий возможность создания большого числа каналов ограничена из-за сравнительно малого частотного диапазона (до 150 кГц), который может быть эффективно использован. При организации большого числа каналов стоимость каналокilометра воздушной линии становится выше, чем при организации связи по кабельным линиям.

Основные данные воздушных линий связи							
Количество проводов	Номер профиля (табл. 1)	Общая длина опоры в м при габарите нижнего провода по отношению к земле		Наименьший диаметр опор в вершине в см для линий типа			
		2,5 м	3,0 м	О	Н	У	ОУ
При расстоянии между крюками 40 см							
6	1	—	6,5	12	14	—	—
8	1	6,5	—	12	14	—	—
10	1	—	7,5	12	15	—	—
12	1	7,5	—	12	15	—	—
16	1	8,5	8,5	14	17	—	—
При расстоянии между крюками 60 см и при подвеске на траверсах							
4	1	—	6,5	—	—	12	13
6	1	6,5	—	—	—	12	13
8	1	7,5	7,5	—	—	13	15
10	1	8,5	8,5	—	—	15	16
16	2	7,5	8,5	14	17	18	20
20	3	7,5	7,5	15	18	19	21
24	4	6,5	6,5	16	18	19	22
32	4	7,5	7,5	18	22	—	—
40	4	7,5	8,5	20	25	—	—

1. Волноводы дальней связи. Физические процессы волноводов. Особенности волны Н01 в круглых волноводах. Конструкция волноводов.

Волновод - закрытая направляющая система, в которой распространение энергии ограничивается в поперечном направлении. Это однопроводная система, следовательно, в ней могут распространяться поперечные электрические (ТЕ,Н) и поперечные магнитные (ТН,Е) волны, а поперечные электромагнитные волны распространяться не могут. В волноводах преобладают токи смещения, токи проводимости незначительны, они протекают по проводящим стенкам волновода и замыкаются токами смещения вследствие непрерывности линий тока. Наиболее распространенными являются прямоугольные и круглые волноводы. Особенность волновода, как направляющей системы, состоит в том, что в нем могут распространяться волны с длиной волны не превышающей критическую.

Для передачи энергии на большие расстояния используются круглые волноводы.

В круглом волноводе электромагнитное поле представляется в виде совокупности поперечно-электрических (Н - волны) и поперечно - магнитных (Е - волны) различных типов.

Круглые волноводы с волной Н_{0i} (i = 1,2,...,n) способны передавать мощности, вырабатываемые крупными электростанциями. Как известно, при любой передаче электромагнитной энергии ее поток распространяется в пространстве, в частности, по внутренней полости волновода. Если напряженность электрического поля превышает некоторую максимальную величину, то в воздухе возникает разряд. Энергоемкость волноводов увеличивается с ростом площади поперечного сечения. С помощью больших труб принципиально возможно передавать миллионы киловатт, причем с учетом малого затухания волны Н01 можно обеспечить дальность передачи до нескольких сотен километров.

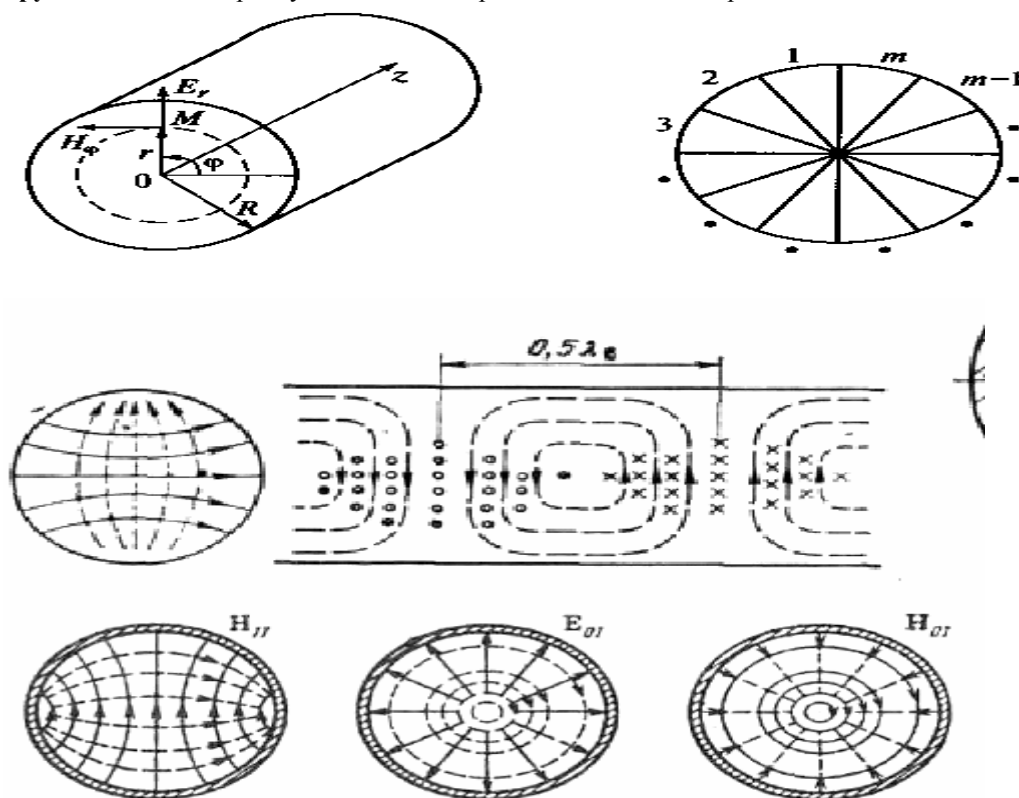
У волны Н01 имеет место аномальное поведение и затухание в зависимости от частоты. Для специалистов связи, это большое преимущество. С увеличением частоты расширяется возможность увеличения числа каналов. Увеличивается дальность связи за счет уменьшения потерь. Происходит уменьшение затухания в зависимости от частоты. Затухание связано с токами в стенках волновода. У стенок волновода находится продольная составляющая Н_z.

Линии тока всегда перпендикулярны Н_z, значит, есть только кольцевые токи в стенках волновода.

Источником этих токов являются продольные составляющие магнитного поля Н_z.

Для всех волн характерно, что с увеличением частоты продольные составляющие полей Н_z и Е_z убывают. Физическое объяснение. У волн других типов существуют и продольные и поперечные токи, которые возбуждаются продольными и поперечными магнитными полями. Наличие продольных токов приведет к увеличению потерь.

Круглый волновод радиусом R в цилиндрической системе координат.



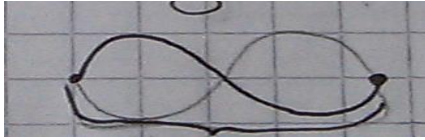
2. Симметричные кабели связи

Симметричные кабели связи (станция - абонент)

По назначению подразделяются на:

- Магистральные
- Городские
- Кабели сельской связи

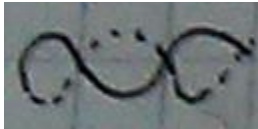
Состоят из симметричных цепей, образованных изолированными проводниками. Проводники скручиваются с определённым шагом скрутки.



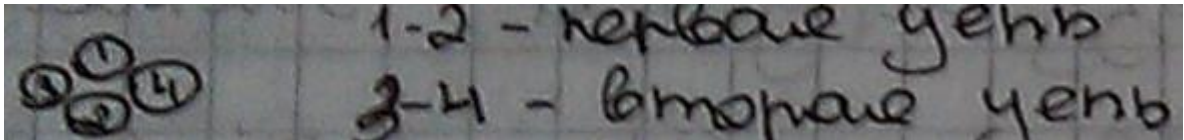
Скрутка улучшает механические характеристики кабелей и улучшает взаимные влияния.

Типы скрутки:

- Парная



- Звёздная



С точки зрения параметров передачи звёздная скрутка лучше и она экономичнее.

Проводник: отожжённая медь d = от 0,32 мм до 1,2 мм. $\rho = 0,0175$ [Ом*м/мм²] – удельное сопротивление

Диаметры:

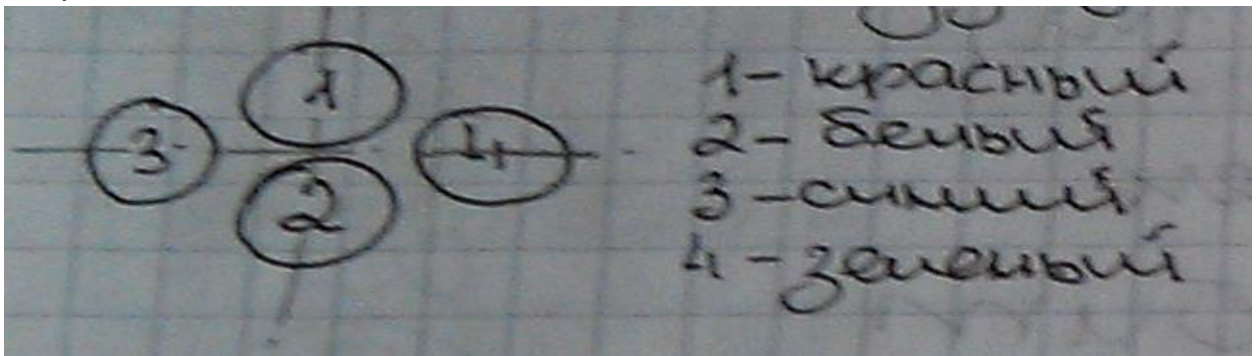
Городские - 0,32 0,4 0,5 0,6 0,7

Сельские – 0,9 1,1

Междугородные – 1,2

$\rho \uparrow \rightarrow$ проводник хуже

Скрутка: 1) Улучшает механические характеристики сердечника кабеля. 2) Улучшает взаимное влияние между цепями.



Параметры влияния меньше при парной скрутке, т.к. можно подобрать шаг скрутки.

Параметры передачи и экономичность – звёздная.

Диэлектрики: кабельная бумага, полиэтилен, стиролфлекс.

Параметры диэлектрика: ϵ , $\tan \delta$, $R_{из}$, $U_{пр}$.

Идеальный диэлектрик: $\epsilon = 1$, $\tan \delta = 0$, $R_{из} = \infty$, $U_{пр} = \infty$.

Маркировка симметричных междугородных кабелей:

МК – междугородный, симметричный

МКС – междугородный, симметричный с кордельно-стиролфлексной изоляцией

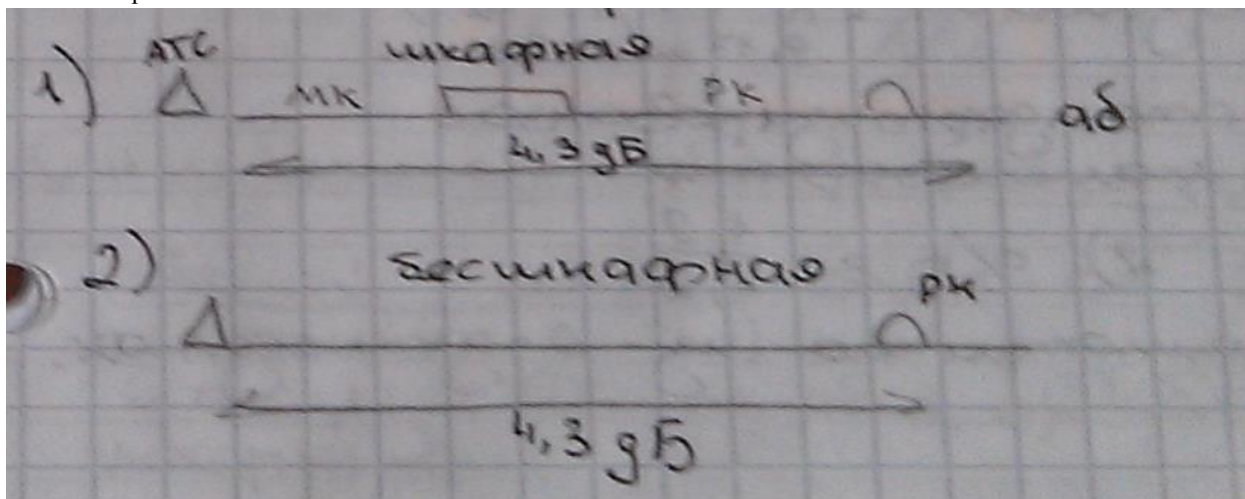
МКП – с полиэтиленовой изоляцией
 МКСТ – свинцовая оболочка
 МГТА – алюминиевая оболочка
 МГСС – стальная, гафрированная
 МГСП – полиэтилен
 МКСБ – броня из двух стальных проволок
 МКСК – броня из круглых проволок.
 Оболочка нужна для защиты от воды. Броня – от изгибов и разрывов.
 МКСБ 4*4*1,2 (4 четвёрки d = 1,2)

Городские кабели:

1-я буква: Т – городской телефон
 2-я буква: тип изоляции
 П – полиэтилен
 _ – бумажная
 ТГ – городской телефон с бумажной изоляцией
 ТПП – городской телефон с полиэтиленовой изоляцией
 ТПВ – поливинилхлоридная изоляция
 ТБ – бумажная изоляция, свинцовая оболочка, броня
 ТПП и ТПВ (10 – 2700 пар) ТГ (10 – 1200 пар)

Затухание $A \leq 4,3$ дБ

Схема построения сетей



Сердечники кабелей:

- Повивная скрутка
- Пучная скрутка

Оболочка пластмассовая, имеется тонкий алюминиевый экран.

Сельские кабели:

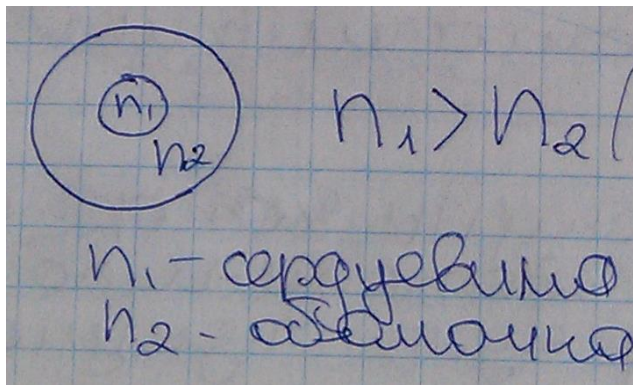
КСПП – с полиэтиленовой изоляцией и полиэтиленовой оболочкой (для телефонной связи)
 ПРВППМ-1,2 ПРВПА (парная скрутка, полиэтиленовая изоляция, стальная оболочка, d = 1,2 мм)

Билет №22

Вопрос 1. Оптические кабели связи. Физические процессы в световоде

Преимуществом оптических кабелей является то, что кроме большой пропускной способности, они не требуют остродефицитных цветных металлов (свинца и меди). Основным материалом оптического волокна является песок. Волоконный световод относится к классу диэлектрических волноводов. Принцип работы диэлектрического волновода основан на перемещении токов смещения и полного отражения энергии на границе раздела двух сред.

$$n_1 \neq n_2 \quad n_1 = \sqrt{\varepsilon_1 \mu_1} \quad n_1 = \sqrt{\varepsilon_1} \quad n_2 = \sqrt{\varepsilon_2}$$



n_1, n_2 – коэффициенты отражения

В волоконном световоде движется лазерный луч.

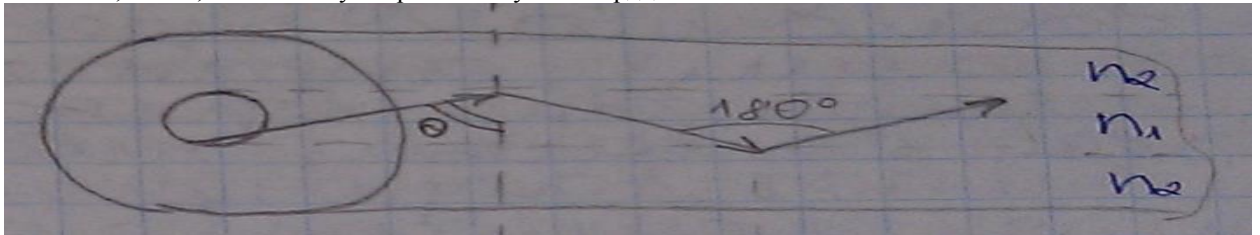
$\lambda < D$ – длины волны λ меньше диаметра световода

Наиболее распространены 2 типа световода:

- Со ступенчатым профилем показателя преломления, в которых n_1 и n_2 постоянны по всему сечению сердцевина и оболочки и изменяется ступенькой.
 - С градиентом профиля показателя преломления (СВГ). n_1 и n_2 меняются от центра к периферии.
- Свет имеет 2 формы: волновую и квантовую теорию. Волновая теория – свойства света совпадают со свойствами электромагнитной волны и свет является источником высокочастотных колебаний. Квантовая теория – свет – движение частиц (корпускулов), которые излучаются светящимся телом. Корпускулы излучаются порциями (квантами).

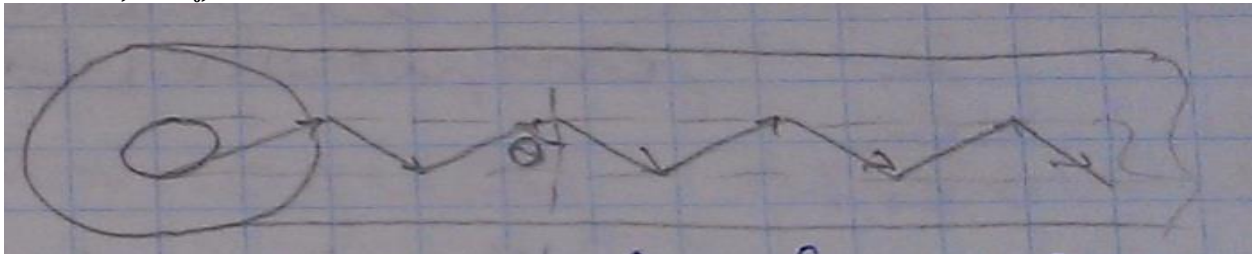
В общем случае луч света движется по сердцевине, многократно отражаясь от границы раздела двух сред.

1. $\lambda \rightarrow 0, f \rightarrow \infty, \theta \rightarrow 90^\circ$ – луч отражения луча от сердцевина оболочки



Луч образует световодным сечением угол θ и распространяется по сердцевине под углом 2θ ($2\theta \rightarrow 180^\circ$)

2. $\lambda \rightarrow D, f \rightarrow f_0, \theta \rightarrow 0$



Условия распространения ухудшаются.

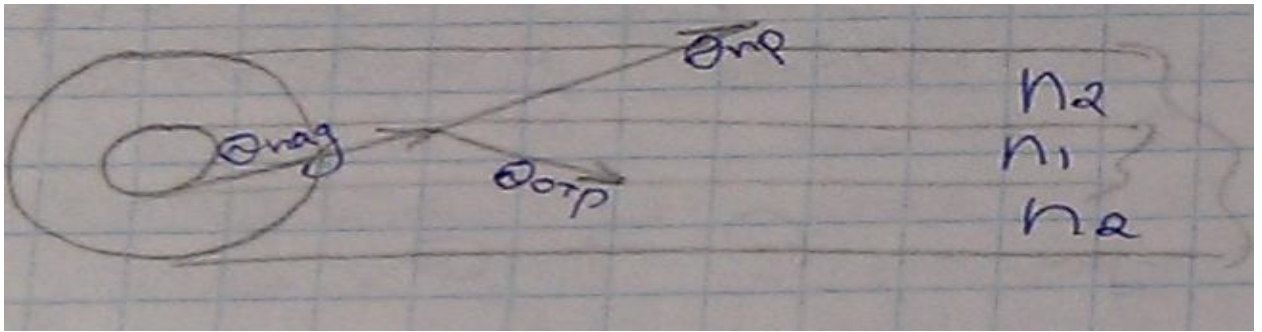
3. $\lambda = D, f = f_0, \theta = 0$



Режим стоячей волны. Распространение не происходит.

Учитывая, что в световоде границей раздела является прозрачное стекло, происходит не только преломление луча, но и его отражение в оболочке. Для предотвращения перехода энергии в оболочку, необходимо соблюдать условия полного внутреннего отражения.

Распространение луча происходит по законам геометрической оптики. Из них известно, что в общем случае на границе раздела сердцевина оболочки будет 3 луча: падающий, отраженный и прошедший. Известно, что при переходе луча из среды с $n_1 > n_2$ луч при определенном угле падения полностью отражается и не переходит в другую среду.

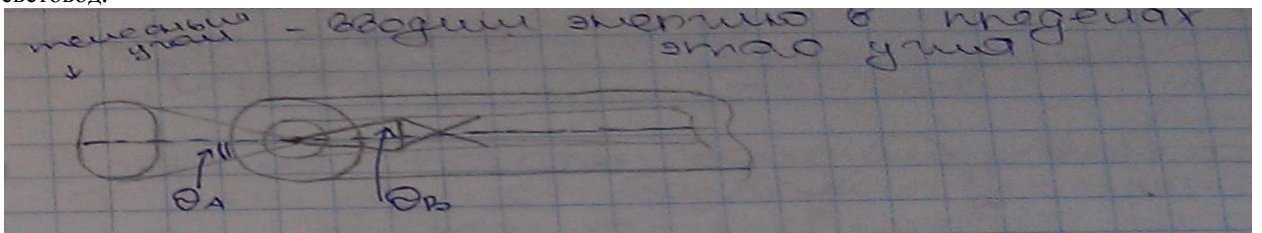


Угол падения, начиная с которого вся энергия отражается от границы раздела двух сред, называется углом полного внутреннего отражения.

$$\sin \theta_{\text{в}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1}}$$

Достигается он путём подбора n_1 и n_2 (добавки примесей).

Режим полного внутреннего отражения ($\theta_{\text{пад}} = \theta_{\text{в}}$) предопределяет условия подачи световой энергии в световод.



Световод пропускает энергию без потерь излучения в пределах телесного угла ϕ . Телесным углом ϕ называется часть пространства, ограниченная некоторой конической поверхностью. ϕ измеряется в стереadians. Характеризуется апертурой (это угол между оптической осью световода и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волнового световода, при котором выполняются условия полного внутреннего отражения).

Числовая апертура: $N_A = \sin \theta_A$ $\sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

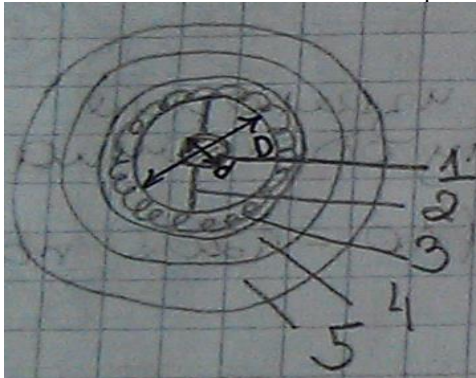
Чем меньше θ_A , тем больше $\theta_{\text{в}}$.

2 режима работы по световоду:

- Одномодовый (тип волны)
- Многомодовый

Вопрос 2. Коаксиальные кабели связи

Основной элемент – коаксиальная пара.



- 6) Внутренний проводник – сплошной медный или алюминий-медь
- 7) Изоляция – полиэтилен, шайба
- 8) Внешний проводник в виде полый медной трубки
- 9) Экран из двух стальных лент для защиты коаксиальной пары от внешних влияний на $f_{\text{нч}}$
- 10) Слой кабельной бумаги (K17, K12)

Коаксиальная пара:

- Стандартизированная: $d / D = 2,6 / 0,4$
- Малогабаритная: $d / D = 1,2 / 4,6$

Коаксиальная пара несимметрична (состоит из двух неодинаковых проводников).

Достоинства:

- Замкнутая система, т.е. нет внешнего эл/м поля
- Обеспечивает широкий диапазон частот до 60 МГц (1000 телефонных каналов)
- Позволяет использовать однокабельную систему (приём – по одной паре, передачу – по другой).
- Экономичность

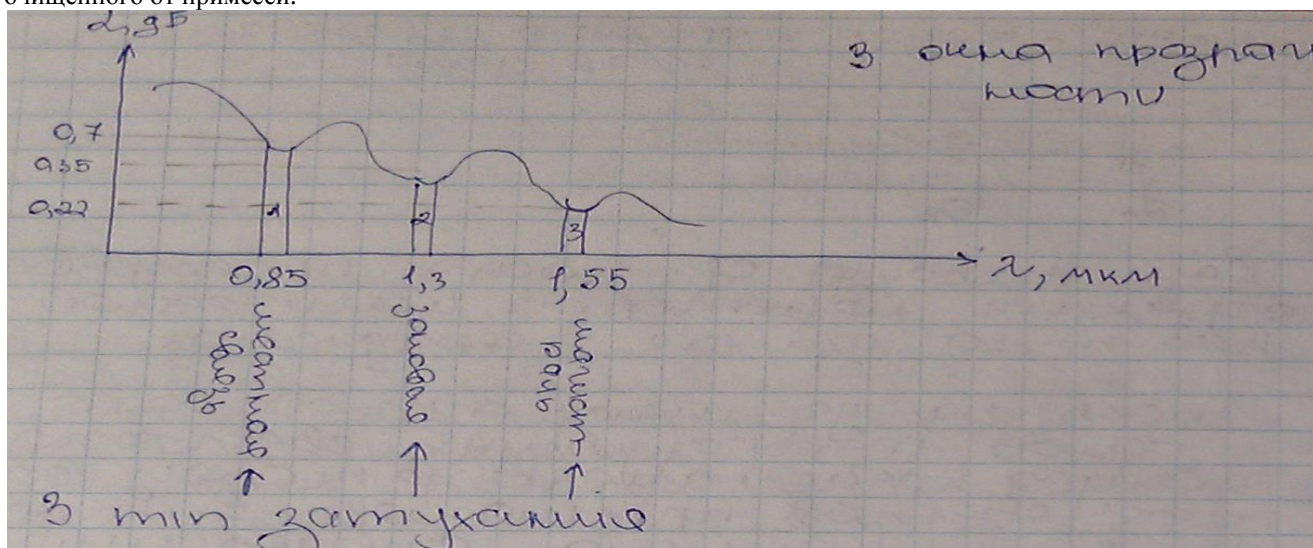
4 типа кабеля:

- КМБ-4: оболочка свинцовая, изоляция шайбовая, 4 пары, броня
- КМБ-8/6: 8 стандартизированных пар, 6 – малогабаритных, полиэтиленовая оболочка, 4 пары
- МКТП-4: малогабаритный кабель, трубчатая изоляция
- ВКПАБ-1: однокоаксиальный кабель зонной связи, внутренний проводник – медь, внешний – алюминий, изоляция из полиэтилена.

Билет №23

Вопрос 1. Затухание в оптических световодах.

Покажем изменения затухания в оптических световодах в зависимости от λ для кварцевого стекла, очищенного от примесей.



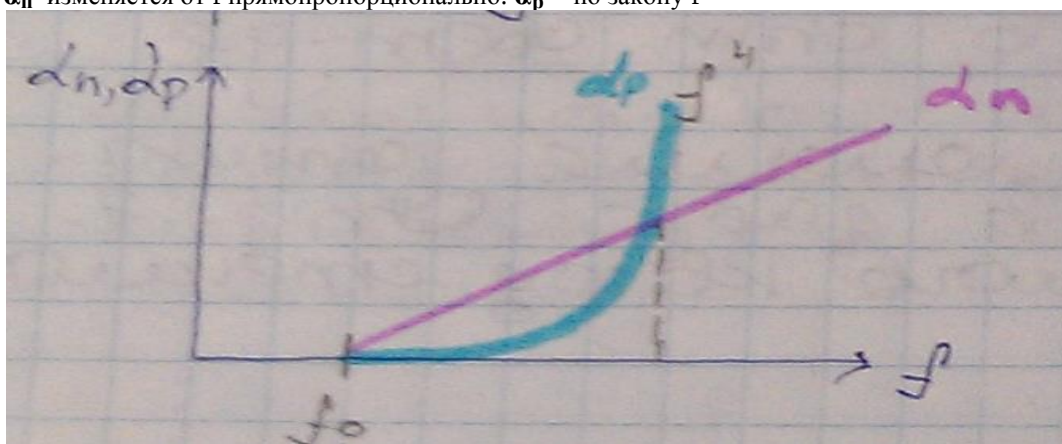
В реальных оптических волноводах коэффициент затухания обусловлен собственными потерями в световоде (α_c) и дополнительными потерями (α_k).

$$\alpha_c = \alpha_n \text{ (поглощения)} + \alpha_p \text{ (рассеяния)}.$$

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_k.$$

В хорошо изготовленном волокне $\alpha_k \approx 0 \rightarrow \alpha = \alpha_n + \alpha_p$.

α_n изменяется от f прямопропорционально. α_p – по закону f^4



f_0 – критическая частота – определяется параметрами λ и D .

Вопрос 2. Скрутка кабельных цепей

Кабельная скрутка аналогична скрещиванию ВЛС. Скрутка – равномерное скрещивание по длине кабеля (СК). Чтобы вещание внутри и между группами было min, необходимо специальное согласование шагов скрутки, поэтому кабельные цепи скручиваются с разл. шагами

Шаг скрутки – длина на которой жила опис. полный круг по оси скручивания.

h больше – рыхлый сердечник

h меньше - l больше - A затухание больше.

Приемлемые шаги:

а) для группы (4 жилы) 100 - 300мм

б) для повива из 4-ех 400 - 600мм

Для увеличения жесткости, каждый последующий повив скручивается в противоположную сторону.

МКСБ 7x4 - 14 цепей

$h_1=15\text{мм}$, $h_2=160\text{мм}$, $h_3=202\text{мм}$, $h_4=175\text{мм}$, $h_5=228\text{мм}$, $h_6=142\text{мм}$, $h_7=241\text{мм}$.

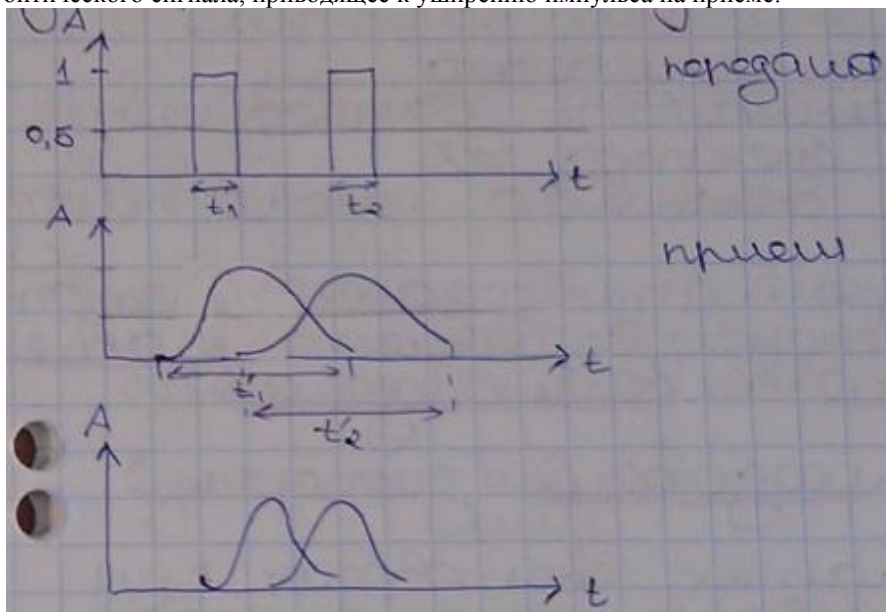
МКСБ 4x4 - 8 цепей

$h_1=125\text{мм}$, $h_2=160\text{мм}$, $h_3=202\text{мм}$, $h_4=75\text{мм}$.

Билет № 24

3. Дисперсия и пропускная способность световодов

В идеале по оптическому волокну возможна организация большого числа каналов и передача их на большое расстояние. Однако, практически есть ограничения. Это происходит из-за того, что сигнал на приемный конец проходит размытым (искаженным), чем длиннее линия, тем сильнее искажения. Это явление связано с дисперсией. Дисперсия – это рассеивание во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала, приводящее к уширению импульса на приеме.



Дисперсия должна быть не больше уширения спектра.

Величина уширения - разность квадратов длительности импульсов на входе и выходе волокна и определяется выражением:

$$\tau = \sqrt{t_{\text{вых}}^2 - t_{\text{вх}}^2}$$

$t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ – измеряются на уровне 0,5A

Важной характеристикой световода являются пропускная способность или полоса частот передаваемых по световоду: ΔF

Связь между полосой частот (ΔF) и дисперсией передаваемой по световоду:

$$\Delta F = \frac{1}{\tau}$$

Пропускная способность зависит от типа и свойств световода (одномодовые, ступенчатые, градиентные) и от типа излучателя (лазер и световод)

((В лазере меньше τ , в одномод. меньше τ))

Дисперсия возможна по двум причинам:

- 1) Некогерентность источников излучения и появления спектра $\Delta\lambda$
- 2) Существование большого числа мод.

Дисперсия в результате 1-ого называется хроматическая (частотная) дисперсия. Она разделяется на материальную и волноводную, а дисперсия в результате 2-ого называется модовая дисперсия.

Дисперсия проявляется по-разному в различных типах световодов. Например, в ступенчатых световодах (СВС) при одномодовом режиме работы преобладает модовая дисперсия $\tau = 20-50 \text{ нс/км}$

В СВС при одномодовом режиме работы модовая дисперсия равна: $\tau_{\text{мод}}=0$. И тогда дисперсия отсутствует, образуется две дисперсии: волноводная, материальная. Они равны, но противоположны по знаку.

$\tau \leq 1 \text{ нс/км}$

В градиентном световоде (СВГ): $\tau=3-5 \text{ нс/км}$ –материальная дисперсия.

Основным типом волокна является G-652 одномодовое, ступенчатое волокно. Дисперсия на длине волны $\lambda=1,3$ мкм (1300 нм) $D < 3$ пс/км*нс

А для длины волны $\lambda=1,5$ мкм, дисперсия $D < 18$ пс/км*нс

Затухание меньше, используется на междугородних сетях. Из-за D длина регенерации участка уменьшается, поэтому дисперсию надо уменьшать.

В реальных волокнах с учетом вкладов различных видов дисперсии имеем:

1) в многомодовых волокнах $\tau \approx \tau_{\text{мод}}$

2) в одномодовых $\tau = \tau_{\text{матер}} + \tau_{\text{волнов}}$

3) в градиентных $\tau = \tau_{\text{матер}}$

Чем меньше τ (дисперсия), тем ΔF (полоса частот) больше

Пример: В многомодовом $\Delta F=100$ МГц/км, а в одномодовом $\Delta F=1000$ МГц/км ((Одномодовые-это магистральные линии))

Полоса частот (ΔF) зависит от длины линии. Если l (длина линии) до 8 км, то $\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \frac{l_x}{l}$ (короткая линия). Если

$$l > 8, \text{ то } \frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{l_x}{l}}$$

Пример: $l = 1$ км, $\Delta F = 50$ МГц

$l_x = 10$ км

тогда $\Delta F_x = \frac{50}{\sqrt{10}} = 15$ МГц

Применительно с ЦСП у которых на регенераторе сигнал полностью восстанавливается, под дальностью понимается длина регенерационного участка, она зависит от дисперсии и затухания. Поэтому в реальном случаи определяют длину регенерационного участка по дисперсии и затуханию. И берут худший вариант. Например: 30км или 29км. Выбираем 29!!!! Если выбрать 30км по затуханию, то верхние каналы не сможем передать, если по дисперсии, то принимаем 1 импульс вместо 2.

4. Сверхпроводящие кабели связи. Физические процессы в металлах и диэлектриках при криогенной температуре.

Важнейшей задачей, стоящей перед энергетикой, является создание эффективных и энергосберегающих систем передачи энергии. Такое значительное увеличение в 3—8 раз мощности распределительных сетей (без изменения напряжения) может быть достигнуто путем замены традиционных силовых кабелей сверхпроводящими.

Протекание тока в проводниках всегда связано с потерями энергии, т.е. с переходом энергии из электрического вида в тепловой вид. Этот переход необратим, обратный переход связан только с совершением работы, как об этом говорит термодинамика. Существует, правда возможность перевода тепловой энергии в электрическую и с использованием т.н. термоэлектрического эффекта, когда используют два контакта двух проводников, причем один нагревают, а другой охлаждают.

Сверхпроводимость, как и сверхтекучесть, были обнаружены в экспериментах при сверхнизких температурах, вблизи абсолютного нуля температур. По мере приближения к абсолютному нулю колебания решетки замирают. Сопротивление протеканию тока уменьшается. *Сверхпроводимость* обнаружили по двум явлениям: во первых по факту исчезновения электрического сопротивления, во вторых по диамагнетизму. Первое явление понятно - если пропускать определенный ток I через проводник, то по падению напряжения U на проводнике можно определить сопротивление $R = U/I$. Исчезновение напряжения означает исчезновение сопротивления как такового. Отсутствие сопротивления тождественно абсолютной диамагнитности материала. Нулевое поле означает, что магнитная проницаемость материала равна нулю, $\mu = 0$ т.е. тело проявляет себя абсолютным диамагнетиком.

Сильное магнитное поле может проникать в материал, более того, оно разрушает самую сверхпроводимость! Вводят понятие критического поля B_c , которое разрушает сверхпроводник. Оно зависит от температуры: максимально при температуре, близкой к нулю, исчезает при переходе к критической температуре T_c . Чем больше ток, тем больше поле. Таким образом, при некоторой индукции (или напряженности) сверхпроводимость пропадает, а следовательно, через проводник можно пропустить только ток, меньше того, который создает критическую индукцию. Собственное магнитное поле ограничивает возможность передачи мощности по криогенному проводу. При этом, чем ближе температура к критической температуре, тем меньше значение критической индукции.

Температурную шкалу в криогенной области условно делят на несколько областей по температурам кипения сжиженных газов: гелиевая (ниже 4.2 К), водородная 20.5 К, азотная 77 К, кислородная 90 К, аммиак (-33 °С). Если бы удалось найти материал, у которого температура кипения была бы вблизи или выше водородной - затрат на поддержание кабеля в рабочем состоянии было бы в десять раз меньше чем для гелиевых температур. При переходе к азотным температурам был бы выигрыш еще на несколько порядков величины. Поэтому сверхпроводящие материалы, работающие при гелиевых температурах, хотя были открыты более 80 лет назад, до сих пор не нашли применения в энергетике.

Электропроводность твердых диэлектриков

Обусловлена, как передвижением ионов самого диэлектрика, так и ионов примесей, а у некоторых материалов и наличием свободных электронов. Электронная электропроводность наблюдается при сильных электрических полях. При низких температурах передвигаются слабо закрепленные ионы и ионы примесей,

а при высоких температурах движутся термически освобождаемые ионы кристаллической решетки. Ионная электропроводность, в отличие от электронной, сопровождается переносом вещества.

Температурная зависимость удельной проводимости твердых диэлектриков описывается выражением

$$\gamma = A \exp\left(-\frac{W}{kT}\right),$$

где W – энергия активации носителей заряда, k – постоянная Больцмана.