

Билет 1.

1. Взаимосвязанная сеть связи (ВСС)

Основой электросвязи нашей страны является Взаимоувязанная сеть связи Российской Федерации (ВСС РФ), обеспечивающая предоставление услуг электросвязи на территории РФ подавляющему большинству абонентов. ВСС РФ – совокупность технологически сопряженных сетей электросвязи общего пользования, ведомственных и других сетей электросвязи на территории РФ независимо от ведомственной принадлежности и форм собственности, обеспеченная общим централизованным управлением.

Сети связи общего пользования – составная часть ВСС РФ, открыты для пользования всем физическим и юридическим лицам, широкая разветвленность, охватывают всю территорию страны и обслуживают основной контингент населения. (телефонная, телеграфная сети общего пользования, сети передачи данных.) Эти сети имеют статус национальных сетей. Для взаимосвязи сетей общего пользования с международными сетями мирового сообщества, Международный союз электросвязи (МСЭ) выделяет этим сетям международные коды страны.

Наряду с сетями общего пользования в МСЭ используется понятие «частные сети», под которыми понимаются сети частного или ограниченного пользования. Доступ к таким сетям возможен только для определенного контингента абонентов (ведомственные сети, сети связи в интересах обороны, безопасности и охраны правопорядка).

Ведомственные сети связи принадлежат министерствам и ведомствам для обеспечения производственных и специальных нужд и имеют выход на сеть общего пользования. Выход на сеть общего пользования могут иметь также сети иных юридических лиц. К сетям ограниченного пользования по решению владельцев сетей могут подключаться абоненты вневедомственной принадлежности, в том числе население. Состав ВСС РФ представлен на рис. 1.8.



Сети ограниченного пользования взаимодействуют с сетями общего пользования. Под взаимодействием сетей понимается их совместное функционирование для выполнения общих задач. Такими задачами могут быть:

- использование свободного канального ресурса одной сети в интересах другой (аренда каналов);
- использование канального ресурса одной сети для повышения надежности другой путем создания обходных резервных путей;
- использование совместного канального ресурса сетей в условиях чрезвычайных ситуаций;
- организация общего или взаимосогласованного управления сетями, общей технической эксплуатации;

– обеспечение связи отдельных абонентов сетей ограниченного пользования с абонентами сетей общего пользования.

Последний вид взаимодействия сетей называется взаимосвязью сетей. Взаимосвязанные сети с технологической точки зрения представляют собой единое сетевое пространство. Они объединены общими системами нумерации и системой управления, совместимыми техническими средствами передачи и коммутации, включая систему сигнализации. Общим признаком сетей ВСС РФ является охват их общим централизованным управлением. Базируется ВСС РФ на принципах организационно-технического единства:

- проведение единой технической политики;
 - применение единого комплекса максимально унифицированных технических средств;
 - единая номенклатура типовых каналов и сетевых трактов, единые для первичных и вторичных сетей системы технической эксплуатации.
- Сети связи имеют территориальное деление: магистральный участок, внутризональный, местный.

Архитектура ВСС РФ включает три уровня.

1. Системы (службы) электросвязи, т.е. комплекс средств, обеспечивающий предоставление пользователям услуг электросвязи.
2. Вторичные сети связи, обеспечивающие транспортировку, коммутацию, распределение сигналов в службах электросвязи.
3. Первичные сети, снабжающие вторичные сети каналами передачи и физическими цепями.

В качестве составной части соответствующей службы в архитектуру входит окончное оборудование, расположенное у пользователя. Строится ВСС РФ на оборудовании связи: коммутационном, систем передачи и терминальном оборудовании пользователя.

2. Физическая сущность взаимного влияния между симметричными цепями связи.

Рассмотрим взаимное влияние между симметричными кабелями на примере двух цепей, поперечный разрез которых представлен на рисунке.

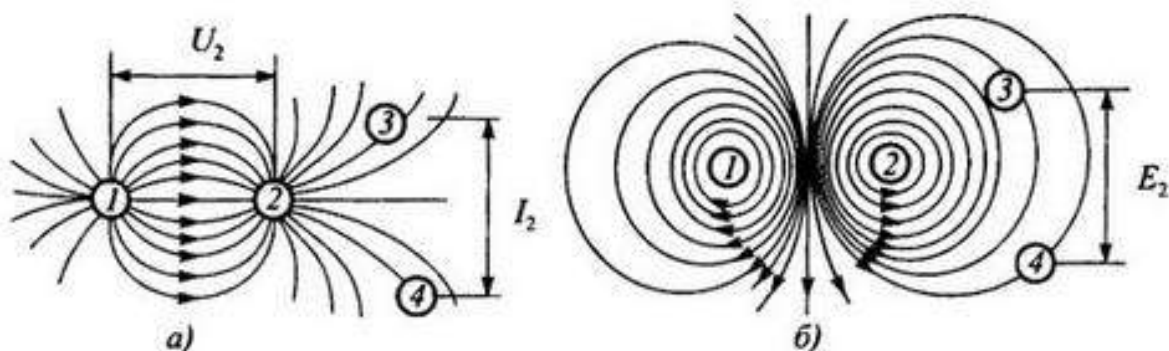


Рис. 9.1. Схемы взаимных электрического (а) и магнитного (б) влияний

Допустим, что по цепи, образованной жилами 1 и 2, протекает переменный ток. Под действием этого тока вокруг цепи 1-2 создается переменное магнитное поле, которое может быть представлено в виде суммарного действия электрического и магнитного полей. Под действием электрического поля на 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 1-3 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 существует и магнитное влияние. Прохождение переменного тока по цепи 1-2 вокруг неё создается переменное магнитное поле, в котором распложены цепи 3-4. В результате магнитной индукции в жилах 2 и 4 наводится ЭДС, которая и создает ток в цепи 3-4. Этот ток достигает приемника, включенного на конце цепи, и оказывает мешающее влияние. 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 влияния 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.

Билет 2.

1. Основные принципы развития междугородной телефонной сети.

Цифровые и аналоговые системы передачи.

Изначально, на больших расстояниях, люди общались через сигнальные костры, используя его дым как сигналы. Позднее, с развитием письменности, стали появляться гонцы, которые передавали письма адресату. Параллельно с гонцами, также применялась голубиная почта. Потом стали применять ветряные мельницы (поворот крыльев). В 17 веке стали использовать оптический телеграф (система зеркал). В 18 веке был изобретен электрический телеграф, в котором слова кодировались с помощью оригинального кода. Следующим изобретением был телефон (создатель – Белл).

Системы передачи подразделяются на **аналоговые** и **цифровые**.

В аналоговых системах сигналы, переносящие информацию по среде распространения, являются непрерывными функциями непрерывного времени.

В цифровых системах сигналы, переносящие информацию по среде распространения, являются дискретными функциями непрерывного времени и представляют собой в большинстве случаев двоичные последовательности импульсов.

Организация многоканальной аналоговой системы передачи осуществляется путем модуляции полезными сигналами амплитуды или частоты несущих синусоидальных колебаний, имеющих различные несущие частоты.

В ЦСП применяется следующий принцип:

- Ограничение спектра передаваемого сигнала
- Дискретизация
- Квантование
- Кодирование
- Передача

2. Первичные параметры влияния

Количественной характеристикой электромагнитного и магнитного влияний являются электрические и магнитные связи.

Электрическая связь на участке dx , отстоящем на расстоянии от начала цепи, определяется отношением приращения наведенного тока в цепи, подверженной влиянию, к напряжению во влияющей цепи:

$$K_{12}(x) = \frac{1}{U_1(x)} \cdot \frac{dI_2(x)}{dx} = g_{12}(x) + j\omega C_{12}(x), \text{ где } g_{12}(x) - \text{активная составляющая электрической связи, См/км} \quad C_{12}(x) - \text{емкостная связь, Ф/км}$$

Магнитная связь на участке dx , отстоящем на расстоянии x от начала цепи, определяется отношением приращения ЭДС в цепи, подверженной влиянию, к напряжению во влияющей цепи с обратным знаком:

$$M_{12}(x) = -\frac{1}{I_1(x)} \cdot \frac{dE_2(x)}{dx} = r_{12}(x) + i\omega m_{12}(x)$$

где $r_{12}(x)$ — активная составляющая магнитной связи, Ом/км;
 $m_{12}(x)$ — индуктивная связь, Гн/км.
Из выражений (9.1) и (9.2) следует, что электрическая связь имеет размерность проводимости См/км, а магнитная — размерность сопротивления Ом/км.

Величины g , C , r , m называют первичными параметрами влияния.

Активная составляющая электрической связи $g(x)$ обусловлена асимметрией потерь энергии в диэлектрике, окружающем жилы кабеля. При протекании переменного тока по жилам кабеля в диэлектрике возникают потери, пропорциональные проводимости изоляции. Если диэлектрик не однороден, толщина изоляции жил различна, сердечник кабеля деформирован и т.д., то частичные потери $g_{14}(x)$, $g_{13}(x)$, $g_{23}(x)$, $g_{24}(x)$ по длине линии будут неодинаковыми.

$$g(x) = [g_{13}(x) + g_{24}(x)] - [g_{14}(x) + g_{23}(x)]$$

Активная составляющая магнитной связи $r(x)$ обусловлена асимметрией потерь на вихревые токи в соседних жилах, экране, оболочке из-за несимметричного расположения жил в цепи относительно других цепей и оболочки, а также различным диаметром жил цепи.

$$r(x) = [r_{13}(x) + r_{24}(x)] - [r_{14}(x) + r_{23}(x)]$$

Емкостная связь между цепями C одной четверки определяется величинами частичных емкостей между жилами 1-2 первой цепи и жилами 3-4 второй цепи. Емкостная связь между цепями вызвана изменением по длине линии диэлектрической проницаемости изоляции жил, ее толщины, взаимного расположения жил в четверке и т.д. Она определяется уравнением:

$$K(x) = [C_{13}(x) + C_{24}(x)] - [C_{14}(x) + C_{23}(x)]$$

Индуктивная связь $m(x)$ может быть представлена связь магнитных потоков и определяется выражением:

$$m(x) = [m_{13}(x) + m_{24}(x)] - [m_{14}(x) + m_{23}(x)]$$

Билет №3

1. Классификация направляющих систем

Направляющая система (НС) – это устройство, позволяющее передавать электромагнитную энергию в заданном направлении. Таким канализирующим свойством обладает проводник, диэлектрик и любая граница раздела сред с различными электрическими свойствами (металл – диэлектрик, диэлектрик – воздух).

Современные НС передачи высокочастотной энергии разделяются на:

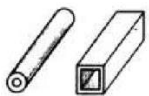
- ВЛС – Воздушные линии связи
- СК – Симметричный кабель
- КК – Коаксиальный кабель
- СПК – Сверхпроводящий кабель
- В – Волновод
- ОК – Оптический кабель
- ЛПВ – Линия поверхностной волны
- ДВ – Диэлектрический волновод
- ПЛ – Полосковая линия
- ЛК – Ленточный кабель
- РК – Радиочастотный кабель



ВЛС и СК относятся к группе симметричных цепей. Отличительной особенностью таких цепей является наличие двух проводников с одинаковыми конструктивными и электрическими свойствами.



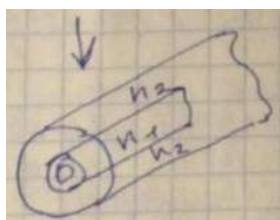
В **КК**, проводник расположен внутри другого проводника, имеющего форму полого цилиндра. Внутренний проводник (1) изолируется от внешнего (2) с помощью различных прокладок (шайбы, баллоны, кордели).



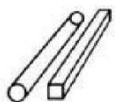
Волновод (В) представляет собой полую металлическую трубу круглого или прямоугольного сечения, изготовленную из хорошо проводящего материала.



СПК имеет коаксиальную конструкцию весьма малых габаритных размеров, помещенную в условия низких отрицательных температур.



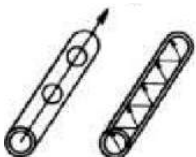
ЛПВ представляет собой одиночный металлический провод, покрытый высокочастотной изоляцией (полиэтиленом).



ДВ – это стержень круглого или прямоугольного сечения, выполненный из высокочастотного материала (полиэтилена, стирофлекса).



ПЛ состоит из плоских ленточных проводников с расположенной между ними изоляцией. Разновидностью этой линии является кабель, содержащий большее количество проводников, расположенных в одной плоскости.



ОК представляет собой скрутку из оптических волокон – световодов, объединенных в единую конструкцию.

РК имеют коаксиальную, симметричную или спиральную конструкцию.

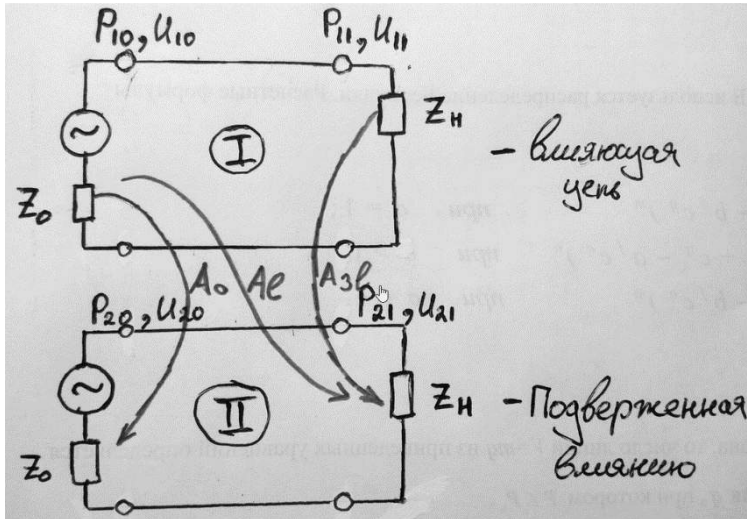
По выполняемым функциям направляющие системы делятся на:

- **Линии дальней связи** – обеспечивают передачу энергии на большие расстояния;
- **Фидеры** - передающие линии, устройства, по которым осуществляется направленное распространение электромагнитных волн от источника к потребителю.

Линии передач по своим конструкциям бывают открытые и закрытые:

- **Открытые** – линии, в которых энергия распространяется не только вдоль самой линии, но и в окружающее пространство.
- **Закрытые** – линии, в которых энергия сосредоточена в некотором объеме.

2. Вторичные параметры влияния



P_{10} и P_{11} – это мощности сигнала соответственно на ближнем и дальнем концах влияющей цепи.

P_{20} и P_{21} – это мощности помех соответственно на ближнем и дальнем концах цепи, подверженной влиянию.

A_0 и A_l – это переходные затухания соответственно на ближнем и дальнем конце.

A_3 – это защищенность в какой-то точке.

A_{3l} – это защищенность на дальнем конце.

Расчет вторичных параметров влияния:

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{20}} \right|, \text{ дБ} \quad A_l = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{21}} \right|, \text{ дБ} \quad A_3 = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{nx}} \right|, \text{ дБ} \quad A_{3l} = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{22}} \right|, \text{ дБ}$$

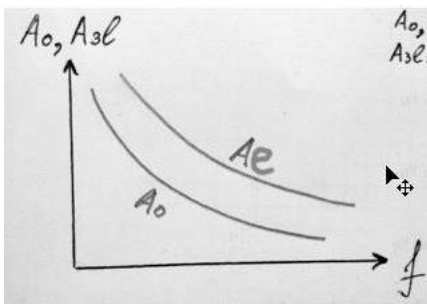
Чем больше значения этих параметров, тем качество линии лучше. В идеале они должны быть равны бесконечности.

Математически, выражения для A_0 и A_l можно получить через измеренные в цепи напряжение, ток или мощность:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{20}} \right| - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_H} \right| \quad A_l = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{21}} \right| - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_H} \right|$$

A_0 и A_{3l} – это частные случаи A_3 :

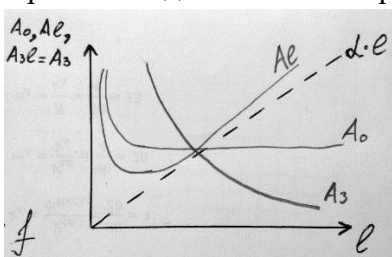
$$A_{3l} = A_l - \alpha \cdot l = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{21}} \right| - 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{11}} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_{10} \cdot P_{11}}{P_{21} \cdot P_{10}} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{21}} \right|$$



С ростом частоты защищенность уменьшается. Происходит это из-за увеличения скорости изменения электромагнитного поля. По закону электромагнитной индукции величина помех в соседних проводниках увеличивается. **Всегда:** $A_{3l} > A_0$, так как электрические и магнитные связи на ближнем конце складываются (помеха больше) затухание A_0 меньше. Эл. и магн. связи на дальнем конце вычитаются и A_{3l} увеличивается, а

A_l падает.

При малых длинах линий происходит увеличение количества участков, на которых может



произойти переход помехи (суммарная помеха растет, а защищенность падает). С увеличением длины линии вклад помех, переходящих с дальних участков становится меньше, поэтому помеха на какой-то длине стабилизируется и A_0 не меняется.

С увеличением длины линии суммарная помеха быстро растет, а сигнал уменьшается, поэтому защищенность падает.

Билет №4

1. Воздушные линии связи (ВЛС)

Воздушные линии связи (ВЛС) состоят из металлических проводов, подвешенных на опорах с помощью изоляторов и специальной арматуры. Они обладают хорошим запасом прочности и сроком службы, а также по своим электрическим характеристикам позволяют осуществлять связи на значительное расстояние и с применением высокочастотной аппаратуры.

Недостатки: зависимость электрических характеристик цепей и механической устойчивости линий от атмосферно-климатических условий.

ВЛС делятся на четыре типа по прочности и применяются по метеорологическим условиям района строительства. Характеризуются, в основном, по количеству опор на 1 км.

- О – облегченные (20 опор на 1 км, с расстоянием в 50 м)
- Н – нормальные (20 опор на 1 км, с расстоянием в 50 м)
- У – усиленные (25 опор на 1 км, с расстоянием в 40 м)
- ОУ – особо-усиленные (28 опор на 1 км, с расстоянием в 35,7 м)

Основной материал для ВЛС: проволока (линейная и перевязочная), арматура для изоляции и крепления проводов на опорах.

Проволока. Провода ВЛС подвергаются действию ветра, влаги, гололеда, химии в воздухе, колебаниям температуры. *Линейная проволока*, применяемая для проводов ВЛС, должна обладать высокой электрической проводимостью, большой прочностью, эластичностью и устойчивостью против коррозии, а также хорошей экономичностью производства. Применение получила медная, биметаллическая и стальная проволоки.

Медная проволока (3 – 4 мм). Хорошо противостоит атмосферным воздействиям и большинству хим. реагентов в воздухе. Однако, медь дефицитна, поэтому широко не применяется.

Стальная проволока (1,5 – 5 мм). Проволока (3 – 5 мм) – междугородняя связь. Проволока (1,5; 2; 5) – местные линии. Сравнительно недорогая. Однако, её активное сопротивление растет с увеличением частоты, что ограничивает частотные возможности для дальних связей. Подвержена коррозии, из-за чего требует покрытия цинком.

Биметаллическая сталемедная проволока (БСМ), состоит из стальной сердцевины и медной оболочки. Экономия меди, при сохранении такого же активного сопротивления, как и у полностью медной. Прочность биметалл. проволоки выше медной, а устойчивость против коррозии такая же.

Биметаллическая сталеалюминевая проволока (БСА), состоит из стального сердечника и алюминиевого покрытия. Устойчивость к коррозии и прочность такого вида проволоки хуже, чем у БСМ.

Арматура. Для изоляции проводов ВЛС их укрепляют на изоляторах. *Изоляторы* изготавливаются из фарфора или стекла. Применяются для изоляции проволоки от опор. Вешаются на стальной крюк, который крепится к опоре.

Опоры. Опоры ВЛС должны быть прочными, иметь хороший запас срока службы, быть легкими, транспортабельными и экономичными. Ранее применялись деревянные, а сейчас – железобетонные.

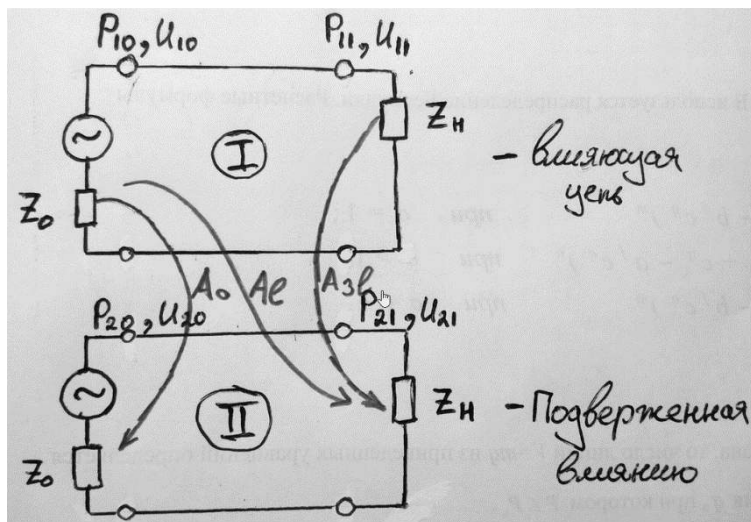
Деревянные опоры. Имеют свойство гнить у основания, поэтому требуют ухода в виде покрытия спец. средствами. Сравнительно прочные. **Железобетонные опоры.** Прочные и долговечные. Существует третий вид – **железобетонные приставки**, которые ставятся у деревянных опор, чтобы отнести их от земли.

Профиль линии – это порядок расположения цепей и проводов на опорах. На ВЛС применяют крюковой (провода лежат на крюках), траверсный (провод крепится на изолятор, который закреплен на горизонтальной перекладине) и смешанный (оба метода на одной опоре).

В настоящее время ВЛС используются в основном для внутриобластной (внутризоновой) связи и в большей степени — линий сельской телефонной связи.

По сравнению с кабельными воздушные линии проще в строительстве и требуют для этого меньших затрат, на них легче можно обнаружить и устранить повреждения. Однако эксплуатационные затраты на воздушных линиях все же выше, чем на кабельных.

2. Зависимость переходного затухания от частоты и длины линии.



P_{10} и P_{11} — это мощности сигнала соответственно на ближнем и дальнем концах влияющей цепи.

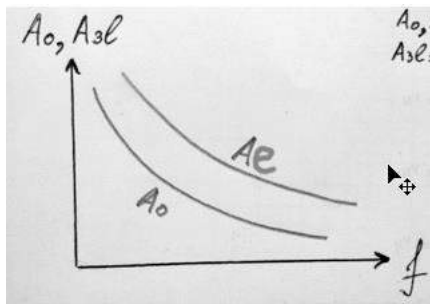
P_{20} и P_{21} — это мощности помех соответственно на ближнем и дальнем концах цепи, подверженной влиянию.

A_0 и A_l — это переходные затухания соответственно на ближнем и дальнем конце.

A_3 — это защищенность в какой-то точке.

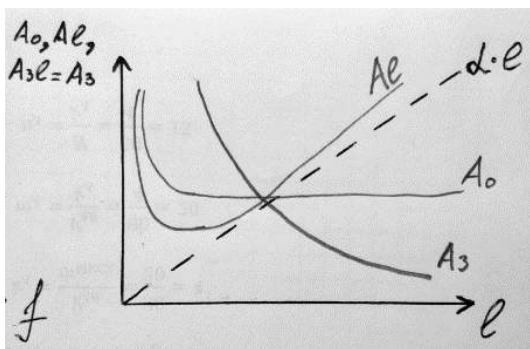
A_{3l} — это защищенность на дальнем конце.

Зависимость от частоты



С ростом частоты увеличивается скорость изменения электромагнитного поля. Следовательно, увеличивается внешнее электромагнитное поле. Возрастает коэффициент электромагнитной связи между цепями. Электрические и магнитные связи $A_{3l} > A_0$ всегда, так как эл. магн. связи на ближнем конце складываются, следовательно растет помеха, а защищенность на ближнем конце (A_0) падает. На дальнем конце эл. магн. связи вычитаются, а следовательно защищенность на дальнем конце (A_{3l}) растет, а переходное затухание (A_l) падает.

Зависимость от длины линии



При малых длинах линий происходит увеличение количества участков, на которых может произойти переход помехи. В итоге суммарная помеха растет, а затухание на дальнем конце падает. Но с увеличением длины линии, уменьшается количество переходящих помех уменьшается, поэтому на какой-то длине цепи помеха стабилизируется и переходное затухание на ближнем конце тоже (A_0). Однако с увеличением длины цепи возрастает из собственное затухание, поэтому до

некоторой длины цепей переходное затухание на дальнем конце (A_l) снижается, а затем возрастает.

Билет №5

1. Симметричные кабели связи.

Симметричные кабели - кабели с витой парой, которые могут быть экранированными или неэкранированными. Симметричный кабель (СК) состоит из двух совершенно одинаковых в электрическом и конструктивном отношении изолированных проводников. В зарубежных источниках его часто называют «витой парой». Различают неэкранированные (UTP) и экранированные (STP) симметричные кабели. Назначение: городские, междугородные и сельские связи. Скрутка улучшает механические характеристики сердечника и уменьшает взаимное влияние между цепями. Затухание влияния = 0, переходное затухание = бесконечность.

2 типа скрутки: парная и звездная. Электромагнитное поле симметричной цепи, в отличие от коаксиального кабеля, не имеющего внешнего поля, открытое и действует на значительном расстоянии. Под действием переменного поля происходит перераспределение электромагнитной энергии по сечению проводников, при этом наблюдаются следующие явления: поверхностный эффект и эффект близости соседних проводников.



Эффект близости связан с взаимодействием внешних полей. Как видно из рис. 2.12, внешнее поле H проводника a , пересекая толщину проводника b , наводит в нем вихревые токи. На поверхности проводника b , обращенной к проводнику a , они совпадают по направлению с протекающим по нему основным током ($I + I_{\text{ед}}$). На противоположной поверхности проводника b они направлены навстречу основному току ($I - I_{\text{ед}}$). Аналогичное перераспределение токов происходит в проводнике a .

При взаимодействии вихревых токов с основным плотность результирующего тока на обращенных друг к другу поверхностях проводников a и b увеличивается, а на отдаленных - уменьшается. Это явление («сближение» токов в проводниках a и b) носит название эффекта близости. Из-за неравномерного распределения плотности тока увеличивается активное сопротивление цепи переменному току.

Эффект близости также прямо пропорционален частоте, магнитной проницаемости, проводимости и диаметру проводника и, кроме того, зависит от расстояния между проводниками.

Симметричные кабели имеют диаметры проводников от 0,4 до 1,2 мм. Симметричные кабели с большими диаметрами сечений проводников имеют меньший коэффициент затухания. Такие кабели используются на магистральных, зонавых и городских линиях связи и могут содержать до нескольких сотен пар проводников.

Конструктивные элементы:

1) Токопроводящие жилы:

Требования:

- Высокая электрическая проводимость;
- Большая гибкость;
- Достаточная механическая прочность.

В электрическом отношении свойства материалов изоляции определяются следующими характеристиками:

- Электрической прочностью $U_{пр}$, при которой происходит пробой изоляции;
- Удельным электрическим сопротивлением при постоянном токе ρ , характеризующим ток утечки диэлектрика;
- Диэлектрической проницаемостью ε , характеризующей степень смещения зарядов (поляризации) в диэлектрике при воздействии на него эл. поля;
- Тангенсом угла диэлектрических потерь $tg\delta$, характеризующим потери энергии в диэлектрике.

По электроизоляционным характеристикам желательно, чтобы свойства изоляции приближались к свойствам воздуха, который практически является идеальным диэлектриком ($tg\delta = 0$, $\varepsilon = 1$, $\rho = \infty$).

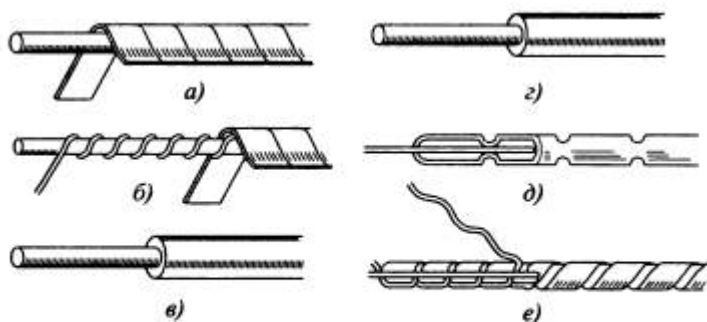


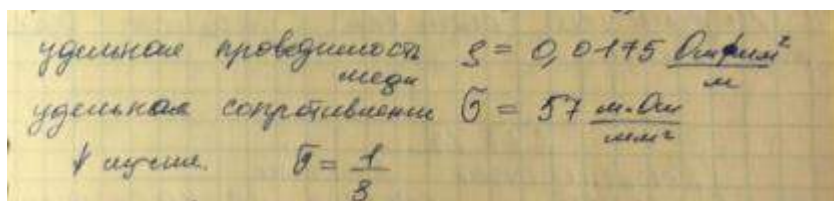
Рис. 3.3. Типы изоляции симметричных кабелей связи

Наиболее широкое применение в симметричных кабелях связи получили следующие типы изоляции:

- трубчатая, выполняется в виде бумажной ленты, наложенной в виде трубки (рис. 3.3,а), бывает и бумажно-пористая изоляция, представляющая собой однородный слой бумаги;
- кордельная, состоит из корделя, расположенного спирально на проводнике, и ленты, которая накладывается поверх корделя (рис. 3.3,б);
- сплошная, выполняется из сплошного слоя пластмассы (рис. 3.3,в);
- пористая, выполняется из сплошного слоя пенопласта (рис. 3.3,г);
- баллонная, представляет собой тонкостенную пластмассовую трубку, внутри которой свободно располагается проводник, трубка периодически по спирали обжимается и надежно удерживает жилу в центре изоляции (рис. 3.3,д,е).

Изоляция-кабельная бумага, полиэтилен, стирофлекс.

Изоляция окрашена в четыре цвета: красный, зеленый, желтый, синий!!!
Пигмент введен в наружное пленочное покрытие.



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

Различают следующие основные меры защиты линий связи и проводов от взаимных влияний.

1. Применение систем передачи и типов линий связи, обеспечивающих малые значения взаимных влияний. Например, применение коаксиальных кабелей и волоконно-оптических линий практически полностью решает проблему защиты.
2. Рациональный выбор кабелей для различных систем передачи.
3. Взаимная компенсация наводок и помех между линиями связи. Реализуется путем скрещивания воздушных линий связи и подбора шагов скрутки цепей кабеля.
4. Экранирование цепей кабельных линий экранами. Защита от взаимного влияния в этом случае достигается путем ослабления интенсивности влияющего электромагнитного поля в экране.

Скрещивание цепей воздушных линий связи:

Переходное затухание между нескрещенными цепями недопустимо велико. Для его уменьшения все двухпроводные цепи скрещивают, т.е. периодически меняют их провода местами. При скрещивании цепи токи влияния, поступающие в нагрузки, включенные на концах цепей с каждого двух соседних участков, имеют противоположное направление, и общее влияние между цепями уменьшается. Такое положение равносильно изменению знака коэффициентов электромагнитной связи при скрещивании. Если на первом участке считать K_0 величиной положительной, то на втором участке после скрещивания K_0 отрицательна, на третьем - снова положительна и т.д. При скрещивании обеих цепей в одном месте уменьшение влияния не будет, так как K_0 и K_1 дважды изменяют свой знак. Поэтому при подвеске на линии нескольких цепей каждая из них должна быть скрещена по своей схеме. Однако полная компенсация токов влияния скрещиванием все таки невозможна, так как токи влияния на ближний конец с отдельных участков отличаются по амплитуде и фазе. При нечетном числе участков всегда остается полностью некомпенсированный участок, называемый неуравновешенной длиной линии. Линии связи всегда многопроводны и имеют различную длину. Поэтому скрещивание удобнее устраивать отдельными участками, секциями, на которых заканчивались бы схемы скрещивания всех цепей, и отсутствовала неуравновешенная длина линии. Секции составляют из $2n$ -элементов, где n — целое положительное число. За длину элемента принимают отрезки линии, равные одному, двум, трем

пролетам. Чем больше в секции элементов, тем больше можно получить различных схем скрещивания.

На протяжении секции можно получить $2N-1$ различных схем скрещивания. Практически применяют секции из 8, 16, 32, 64, 128 и реже 256 элементов. Секции из 128 и 256 элементов называют основными, а остальные — укороченными.

Увеличение переходного затухания на ближний конец между скрещенными цепями зависит от схемы взаимной защищенности, которая определяется скрещиваниями цепей, не совпадающими при наложении схем друг на друга.

При составлении схемы скрещивания пользуются условными обозначениями, называемыми индексами.

Следовательно, для того, чтобы установить схему взаимной защищенности между любыми цепями, достаточно исключить одинаковые индексы из схемы скрещивания обеих цепей.

Оставшиеся индексы и будут определять схему взаимной защищенности.

Билет №6

1. Коаксиальные кабели

Ранее являлся одним из основных типов направляющих сред (сейчас его вытесняет оптоволокно). Хорош тем, что он относительно недорогой, легкий, гибкий и удобен в применении.

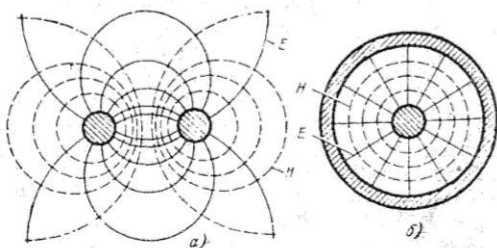


Самый простой коаксиальный кабель состоит из медной жилы (core), изоляции, ее окружающей, экрана в виде металлической оплетки и внешней оболочки. Если кабель, кроме металлической оплетки, имеет и слой фольги, он называется кабелем с двойной экранизацией. При наличии сильных помех можно воспользоваться кабелем с учетверенной экранизацией. Он состоит из двойного слоя фольги и двойного слоем металлической оплетки. Некоторые типы коаксиальных кабелей

покрывает металлическая сетка - экран (shield). Он защищает передаваемые по кабелю данные, поглощая внешние электромагнитные сигналы, называемые помехами или шумом. Таким образом, экран не позволяет помехам исказить данные. Электрические сигналы, кодирующие данные, передаются по жиле.

Жила – это один провод (сплошная) или пучок проводов. Сплошная жила изготавливается, как правило, из меди. Жила окружена изоляционным слоем, который отделяет ее от металлической оплетки. Оплетка играет роль заземления и защищает жилу от электрических шумов (noise) и *перекрестных помех* (crosstalk) (электрические наводки, вызванные сигналами в соседних проводах). Проводящая жила и металлическая оплетка не должны соприкасаться, иначе произойдет короткое замыкание, помехи проникнут в жилу, и данные разрушатся.

Снаружи кабель покрыт непроводящим слоем - из резины, тефлона или пластика.



На рисунке выше представлено электромагнитное поле симметричного и коаксиального кабеля. Как видно, взаимодействие электромагнитных полей внутреннего и внешнего проводников коаксиальной пары таково, что внешнее поле равно нулю.

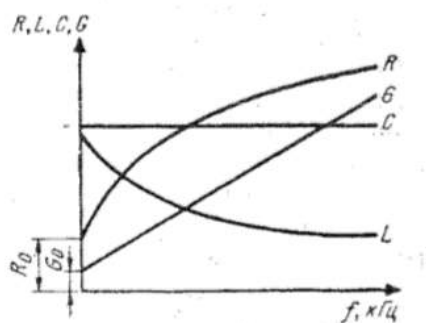
Коаксиальный кабель более помехоустойчив, а затухание сигнала в нем меньше, чем в симметричном кабеле. Плетеная защитная оболочка поглощает внешние электромагнитные сигналы, не позволяя им влиять на передаваемые по жиле данные, поэтому коаксиальный кабель можно использовать при передаче на большие расстояния и в тех случаях, когда высокоскоростная передача данных осуществляется на несложном оборудовании.

Различают тонкий (0,5 см) и толстый коаксиальный кабель (1 см). Тонкий коаксиальный кабель гибок, прост в установке и относительно недорог. Толстый кабель трудно гнуть, и, следовательно, его сложнее устанавливать. Толстый коаксиальный кабель дороже тонкого, но при этом он передает сигналы на большие расстояния.

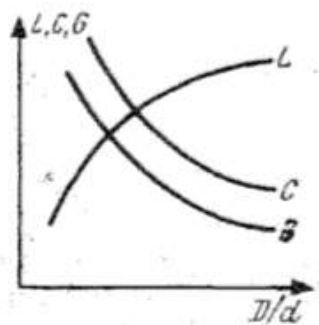
Стандартизированное сопротивление 75 Ом для телевизионного кабеля!

С ростом частоты затухание растет.

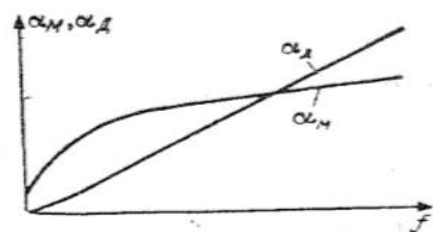
Зависимость первичных параметров от частоты:



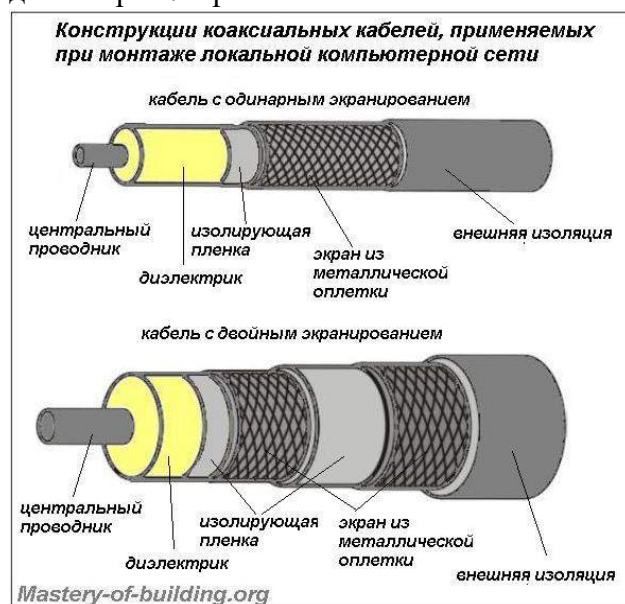
Зависимость первичных параметров от диаметра кабеля:



Зависимость составляющих коэффициента затухания от частоты:



Кривая – диэлектрик / Прямая – металл



Характеристики:

1. Погонная емкость (фарад) (способность накапливать заряд):

$$C_h = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon}{\ln \frac{D}{d}}$$

2. Погонная индуктивность (генри) (насколько сильно проводник способен создавать магнитное поле):

$$L_h = \frac{\mu_0\mu}{2\pi} \ln \frac{D}{d}$$

3. Волновое сопротивление (Ом) (качество проводника и конечного сигнала):

$$Z = \sqrt{\frac{L_h}{C_h}}$$

4. Скорость распространения сигнала:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}}$$

5. Параметр альфа и бета:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}, \text{ дБ/км}$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}, \text{ рад/км}$$

C – скорость света

ϵ – диэлектрическая проницаемость

μ – относительная магнитная проницаемость

D – внутренний диаметр экрана

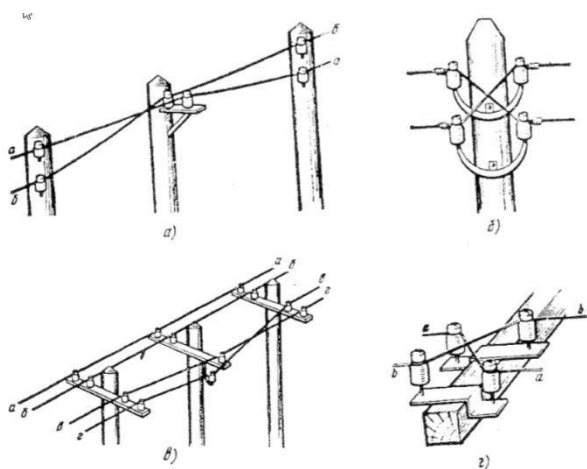
d – диаметр центральной жилы

2. Электрическое скрещивание цепей

Скрещивание цепей, т.е. перемена их проводов местами через определенные расстояния, уменьшает взаимные и внешние влияния.

При скрещивании одной из цепей емкостная и индуктивная связи, оставаясь неизменными по величине, меняют свой знак на противоположный. Изменение знака перед коэффициентом электромагнитной связи физически соответствует перемене направления тока, индуцируемого в цепи, подверженной влиянию. Поэтому токи помех с двух соседних участков одинаковой длины, но с разными знаками электромагнитных связей направлены друг другу на встречу, благодаря чему влияние компенсируется.

Важно учесть, что число участков скрещивания должно быть четным. В случае нечетного числа участков всегда остается некомпенсированный участок, называемый *неуравновешенной длиной*.



Физическое скрещивание – это фактическое скрещивание проводов, осуществляемое на линиях связи. Шаг физического скрещивания определяется расстоянием между двумя соседними точками скрещивания.

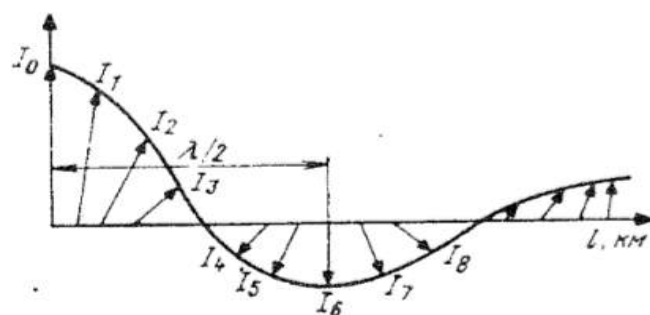


Рис. 6.32. Принцип электрического скрещивания

Электрическое скрещивание – это процесс скрещивания за счет изменения фазы тока в цепи. В данном случае токи помех с одних участков линии компенсируются токами с других участков.

При физическом скрещивании изменяется фаза токов влияния на противоположные. Однако в цепях проявляется электрическое скрещивание цепей, также влияющее на фазу. Электрическое и физическое скрещивания могут вступать в противоречие друг с другом, поэтому физическое скрещивание не всегда будет эффективным.

Билет №7

1. Оптические кабели связи

Волоконно-оптический кабель - кабель на основе волоконных световодов, предназначенный для передачи оптических сигналов в линиях связи.

Если в оптическом волокне распространяется 1 луч, то это одномодовое волокно, а если больше, - многомодовое.

Такие волокна называются ступенчатыми.

Основные характеристики:

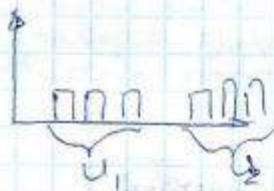
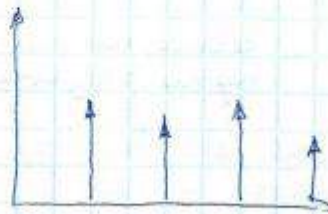
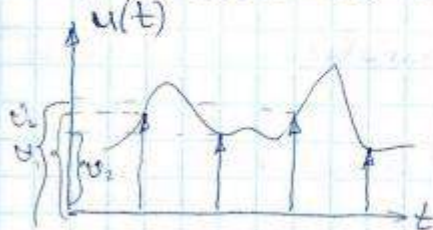
Оптическое волокно состоит из: сердцевины и оптической оболочки.



Дисперсия оптич. волокон

4.03.13.

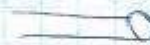
Дисп. хар-т уширение импульса при его распространении по волокну. По оптич. кабелю применяются СП с ВРК



вход $\tau_{вх}$



выход $\tau_{вых}$



время τ $\uparrow$ дисперсионная задержка

$$\tau = \tau_{вых} - \tau_{вх}$$

дисперсия

чем $\tau \uparrow$, тем хуже

Дисперсия имеется только в оптическом волокне, в электрических кабелях его нет.

Причины ее возникновения:

Многмодовое ступенчатое волокно.

Борьба с дисперсией:

- 1) снижение числа волн, распространяющихся по опт. волокну, т.е. применение одномодовых волокон;
- 2) применение градиентных волокон.

2. Скрутка кабельных цепей.

Изолированные жилы кабелей связи скручивают первоначально в группы, называемые элементами симметричного кабеля. Скручивание в группы и групп в кабель ставит жилы цепи связи в одинаковые условия, в связи с чем снижаются электромагнитные связи между цепями и повышается защищенность их от взаимных и внешних помех.

Скрутка жил не только снижает влияние вследствие поперечной асимметрии, но и уменьшает продольную асимметрию, т.к. выравниваются расстояния жил относительно оболочки (жил). Действие скрутки аналогично скрещиванию проводов на воздушных линиях и основные положения об электрических процессах, возникающих при скрещивании, справедливы и для

скрутки. Отличие ее от скрещивания заключается в том, что скрещивание устраивается в точках и расстояния между соседними скрещиваниями могут быть различными, а скрутка представляет собой равномерное, непрерывное вращение жил относительно оси с неизменным шагом по всей длине кабеля. *Шагом скрутки* называют длину участка, на котором жилы группы совершают полный оборот вокруг оси скручивания (рисунок 9.8).



рис. 9.8-шаг скрутки

На рисунке 9.8 можно видеть, что шаг скрутки соответствует двум шагам скрещивания по схеме с одиночным индексом.

Длину шагов желательно выбирать как можно меньше, так как эффективность скрутки будет больше, но с уменьшением шага увеличиваются объем кабеля и длины жил, что невыгодно. Поэтому с учетом требований к гибкости и устойчивости конструкций кабеля длину шагов скрутки в группы принимают равной 100 – 300 мм, а повивов – 400- 600 мм (кабели дальней связи). Каждый последующий повив скручивается в обратную сторону по сравнению с предыдущим повивом (рисунок 9.9).

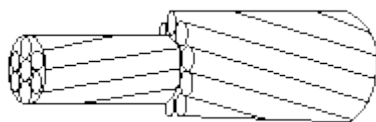


рис. 9.9-скрутка повивов

Согласование шагов каждой группы со всеми остальными находится в зависимости от спектра передаваемых частот. Если кабель НЧ, то при четном количестве групп в повиве достаточно взять два согласованных шага I, II и чередовать, как указано на рисунке 9.10. В ВЧ кабелях шаги скрутки всех групп должны быть неодинаковы и согласованы между собой. Это объясняется тем, что в НЧ кабелях влияние между цепями обусловлено только одной емкостной связью, для которой промежуточные группы действуют как экран. В ВЧ кабелях необходимо считаться со всеми видами связи.

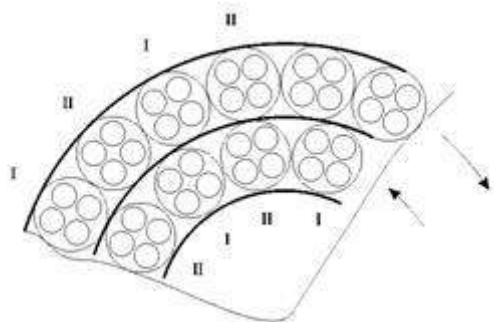


рис. 9.10-чередование групп в повиве

На рисунке 9.10 показано, как совершается полный цикл защиты от помех (симметрии) между двумя рассмотренными цепями на участке длиной $l_s = 200$ мм. В пределах этой длины кабеля положение жил в парах по отношению друг к другу, а вместе с тем и расстояния между жилами a_{13} , a_{14} , a_{23} , a_{24} постоянно меняются, причем в конце отрезка кабеля получается такое же положение жил, как и в его начале. На втором и всех последующих отрезках, кабеля длиной l_s повторяются все положения жил. Поэтому достаточно рассмотреть один лишь цикл симметрии.

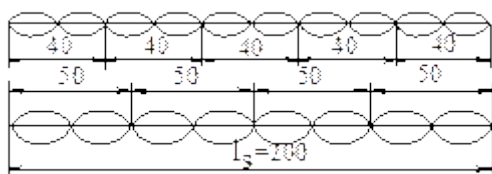


рис. 9.11-секция симметрии двух цепей

Влияние магнитного поля проникает в отдаленные группы кабеля. Влияние электрического характера существует лишь между близлежащими группами, так как электрическая связь более отдаленных групп в силу электрического экранирования ничтожно мала. Поэтому в низкочастотных кабелях, в которых взаимовлияние между цепями обусловлено практически емкостными связями, можно согласовывать шаги скрутки лишь у соседних групп кабеля. В этом случае достаточно принять два различных, согласованных между собой шага скрутки и чередовать их. Так, например, в повиве с десятью группами пять групп с нечетными номерами скручиваются с шагом h_1 , а остальные с четными номерами — с шагом h_2 . В случае нечетного числа групп в повиве необходимо иметь еще третий согласованный шаг скрутки h_3 (для последней группы).

В кабелях дальней связи, предназначенных для высокочастотной передачи, большое значение имеет магнитное влияние, поэтому необходимо производить согласование каждой группы кабеля с каждой.

Билет №8

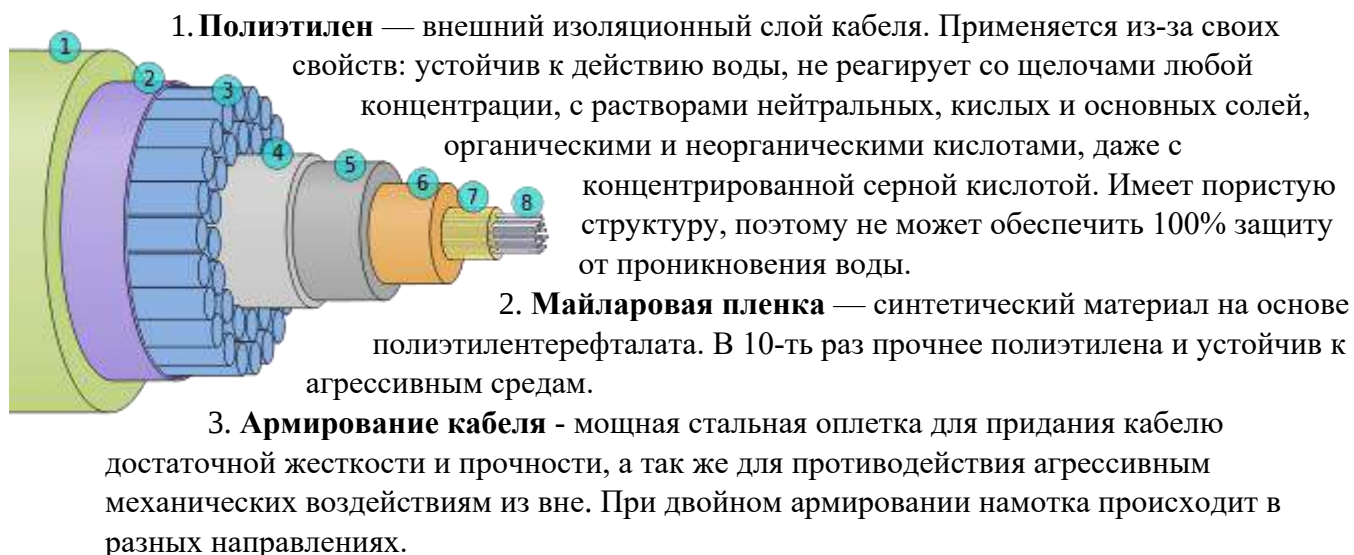
1. Подводные кабели связи

Подводный коммуникационный кабель - кабель, служащий для передачи данных и предназначенный для прокладки под водой по дну водоёма.

Особый вид кабелей, который должен удовлетворять следующим нормам и иметь следующий ряд базовых характеристик: Долговечность; Быть водонепроницаемым (внезапно!); Выдерживать огромное давление водных масс над собой; Обладать достаточной прочностью для укладки и эксплуатации; Материалы кабеля должны быть подобраны так, чтобы при механических изменениях (растяжении кабеля в ходе эксплуатации/укладки, например) не изменялись его рабочие характеристики

Вся суть глубоководных (и не очень глубоководных) кабелей заключена в защите рабочей части (волокно или жилы) и максимального увеличения срока его эксплуатации.

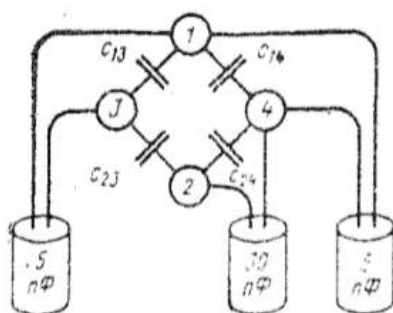
Элементы конструкции кабеля:



2. Методы симметрирования цепей.

Симметрирование – это комплекс мероприятий и электрических изменений, проводимых в процессе строительства и монтажа кабельных линий связи. На практике используют следующие основные методы симметрирования:

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем скрещивания жил цепей. Применяется для НЧ и ВЧ кабелей. Как правило, НЧ кабели связи имеют небольшую протяженность и параметры взаимного влияния удовлетворяют нормам, поэтому симметрированию подвергаются крайне редко или не подвергаются вообще. Дело в том, что в НЧ кабелях преобладают электрические (емкостные) связи, а магнитными можно пренебречь. Поэтому на коротких дистанциях ближний и дальний конец можно считать одинаковыми.



Конденсаторное симметрирование основано на компенсации электрических связей путем включения конденсаторов между жилами взаимовлияющих цепей. Компенсирует только электрические связи, поэтому оно применяется в основном для НЧ 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. В основном применяется для ВЧ кабелей. Метод строится на компенсации токов помех, вызываемых электромагнитными связями, токами компенсации, создаваемыми контурами противосвязи, которые концентрируются в отдельных точках элементарных кабельных участков (ЭКУ). Элементы контура подбираются так, чтобы контур создавал ток компенсации I_{21k} , равный по амплитуде и противоположный по фазе току помех I_{21} .

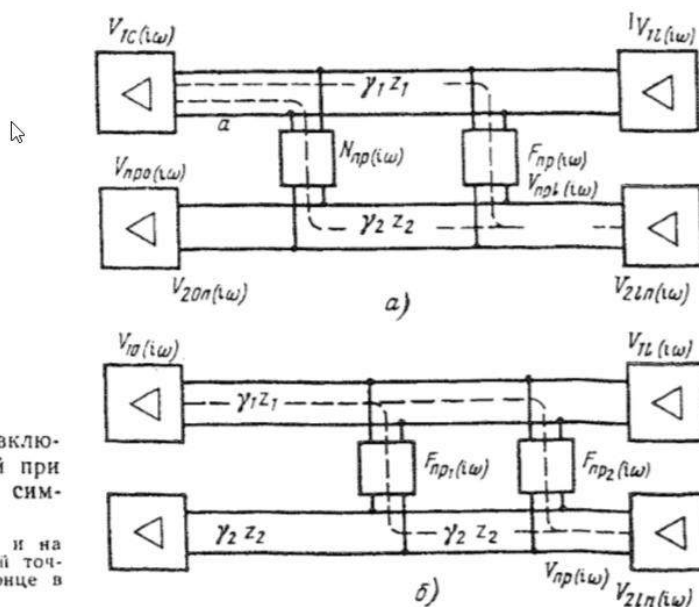


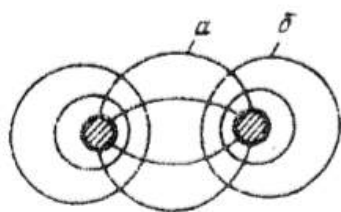
Рис. 6.46. Схемы включения контуров противосвязи при концентрированном симметрировании:
а) на ближнем конце и на дальнем конце в одной точке;
б) на дальнем конце в двух точках

Билет 9

1. Природа Электромагнитного поля.

Носителем электромагнитной энергии, широко используемой в современной радиоэлектронике, электросвязи и высоковольтной технике, является электромагнитное поле.

Электромагнитное поле – это особый вид материи, обладающий энергией, массой и скоростью, оказывающий силовое воздействие на заряженные частицы. Поле отличается непрерывным распределением в пространстве (электромагнитные волны). ЭМ. поле представляет собой единство двух составляющих – электрического и магнитного полей. Электрическое поле (E) характеризуется силовым воздействием как на неподвижные, так и движущиеся заряды. Магнитное поле (H) характеризуется силовым воздействием только на движущиеся заряды. Единство этих полей не подразумевает одинакового количества Э. или М. энергии – оно может быть любым.



Различают два типа полей:

- **Потенциальное поле**, которое тесно связано со своим источником. Линии такого поля имеют начало и конец.
- **Вихревое поле**, линии которого замыкаются по замкнутой петле и всегда непрерывны и не имеют начала и конца.

Электрическое поле является чисто потенциальным, а магнитное – вихревым. Переменное ЭМ. поле является, в общем случае, наложением потенциального поля электрических зарядов и вихревого поля индукции.

Основные уравнения ЭМ. поля, называемые уравнениями Максвелла, обобщают два основных закона электродинамики: закон полного тока и закон электромагнитной индукции.

Закон полного тока устанавливает количественное соотношение между напряженностью магнитного поля H и током I: $\oint H dl = I_{\text{проводимости}} + I_{\text{смещения}}$. Согласно этому закону линейный интеграл напряженности M поля по любому замкнутому контуру равен полному току, проходящему сквозь поверхность, ограниченную этим контуром. Это уравнение называют **первым уравнением Максвелла**.

Закон электромагнитной индукции устанавливает соотношение между напряженностью электрического поля (E) и магнитным потоком $\Phi = H\mu S$. Закон электромагнитной индукции гласит, что электродвижущая сила, возникающая в контуре при изменении магнитного потока Φ , проходящего сквозь поверхность, ограниченную контуром, равна скорости изменения этого потока с обратным знаком: $\oint E dl = -\frac{d\Phi}{dt}$. Это уравнение называют **вторым уравнением Максвелла**.

Первое и второе уравнение Максвелла чаще всего используются в дифференциальной форме:

$$\begin{cases} \text{rot} \vec{H} = \sigma \vec{E} + i\omega \epsilon_a \vec{E} \\ \text{rot} \vec{E} = -i\omega \mu_a \vec{H} \end{cases} \quad \begin{cases} \text{Здесь } \sigma, \epsilon_a, \mu_a - \text{соответственно проводимость, диэлектрическая и магнитная} \\ \text{проницаемость сред.} \end{cases}$$

$\sigma \dot{E}$ - ток проводимости (только в металлах(и переменный и постоянный))

$i\omega \epsilon_a \dot{E}$ - ток смещения (только переменный в диэлектриках из-за переориентизации диполей

Электрическое поле имеет источники и характеризуется плотностью электрического заряда (ρ (ρ_0)). Магнитные линии всегда непрерывны и образуют замкнутые петли, которые не имеют начала и конца. Магнитное поле не имеет источников.

С физической точки зрения уравнение 1 ур-е Максвелла показывает, что изменяющееся электрическое поле создает вокруг себя магнитное поле (вихрь H), а уравнение 2– что всякое изменение магнитного поля сопровождается появлением электрического поля (вихрь E). В целом изменение одного поля приводит к появлению другого поля, в результате действует и распространяется комплексное электромагнитное поле, переносящее электромагнитную энергию в пространстве и направляющих системах.

2. Экранирование кабелей связи

Наиболее радикальным средством защиты КК и СК цепей от помех является их экранирование. Различают экранирование по принципу действия: защищающее от внешних и внутренних (взаимных) помех. Для защиты от внешних помех кабель поверх сердечника покрывается металлическими оболочками, имеющими цилиндрическую конструкцию и выполненными из свинца, алюминия или стали.

Существует и двухслойное экранирующее покрытие и многослойное, которое может совмещать в себе: алюминий – свинец, алюминий – сталь, медь – сталь – медь, медь – сталь – алюминий и т.д.

Применяются также экраны ленточного типа из алюминиевых, медных или стальных лент, которые накладываются спирально или продольно вдоль кабеля. Также бывает оплеточный экран, который состоит из плоских и круглых проволок.

В реальных условиях экранирования приходится учитывать воздействие как магнитных, так и электрических полей, причем их преобладание зависит от условий. Обычно поле имеет яркий характер электрического или магнитного поля вблизи своего источника – на расстоянии порядка длины волны. Поэтому во многих случаях приходится иметь дело то с одним полем, то с другим.

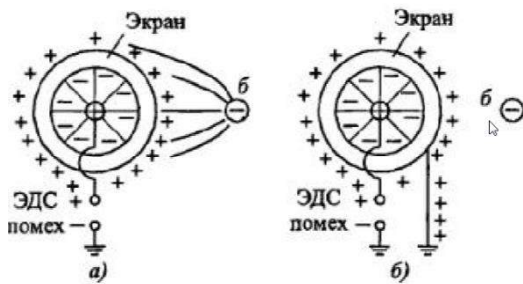
Сильное магнитное поле, как правило, присуще цепям с низким волновым сопротивлением, большим током и малым перепадом напряжений. Интенсивные электрические поля создаются в цепях с большим сопротивлением, высоким напряжением и малым током.

Обычно, в технике связи принято оценивать экраны не через коэффициент экранирования, а через экранное затухание, характеризующее величину затухания, вносимого экраном:

$$A_s = 20 \ln \frac{1}{S}$$

Эта формула справедлива в широком диапазоне частот от нуля до СВЧ (3-30 ГГц) и при любом режиме использования экранов (электромагнитостатическом, электромагнитном, волновом).

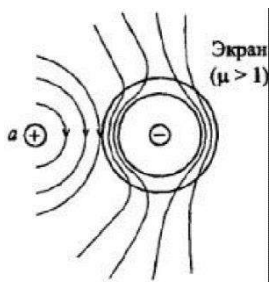
Электростатическое экранирование. Режим распространяется на диапазон частот до 4 кГц (НЧ диапазон). В этой частотной области экраны действуют по принципу замыкания соответствующих полей вследствие повышенной электро- и магнитопроводности металлов.



Электростатическое экранирование состоит в замыкании электрического поля на поверхности металлической массы экрана и передаче электрических зарядов на землю или корпус прибора.

Суть в том, что при наличии экрана, который соединен с землей и корпусом прибора, он будет перехватывать электрические силовые линии, защищая провод (б) от помех.

Обязательное условие высокой эффективности электростатического экранирования является металлизация экрана, то есть соединение его с корпусом прибора или землей. Особых требований (толщина) к экрану нет.



Магнитостатическое экранирование основано на замыкании магнитного поля в толще экрана, происходящем вследствие его повышенной магнитопроводности. Магнитный поток, создаваемый проводом (а), несущим помехи, замыкается в толще магнитного экрана и лишь частично проникает в экранированное пространство. Для надежности экран нужно делать толстым или делать его составным из нескольких слоев металла с большой магнитной проницаемостью.

Такой способ эффективен при постоянном токе и в НЧ диапазоне. С увеличением частоты возрастает роль вихревых токов в экране, происходит вытеснение магнитного поля из толщи экрана и его повышенная магнитопроводность теряется.

Электромагнитное экранирование. Охватывает диапазон частот (1 кГц до 10^9 Гц). Для этой области частот справедливо ур-е Максвелла без учета токов смещения.

Суть этого метода в том, что происходит многократное отражение ЭМ волн от поверхности экрана и затухание ВЧ энергии в его металлической толще. Затухание обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металле. Отражение происходит из-за несоответствия волновых характеристик диэлектрика и металла, из которых изготовлен экран. Чем отличие сильнее, тем сильнее эффект отражения и, как следствие, затухание.

Экран состоит из последовательно чередующихся немагнитных (медь, алюминий) и магнитных (сталь) слоев. Особенность таких экранов в том, что у них высокая экранирующая эффективность и сравнительно малые потери энергии в экране.

Волновой режим экранирования. Применяется на диапазон сверхвысоких частот (10^9 - 10^{10} Гц и выше), охватывая область дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн.

Билет №10

1. Основные уравнения электродинамики. Уравнения Максвелла.

Основными уравнениями электродинамики, называют уравнения Максвелла, которые обобщают два закона: закон полного тока и закон электромагнитной индукции.

Закон полного тока устанавливает количественное соотношение между напряженностью магнитного поля H и током I : $\oint H dl = I_{\text{проводимости}} + I_{\text{смещения}}$. Согласно этому закону линейный интеграл напряженности H поля по любому замкнутому контуру равен полному току, проходящему сквозь поверхность, ограниченную этим контуром. Это уравнение называют первым уравнением Максвелла.

Закон электромагнитной индукции устанавливает соотношение между напряженностью электрического поля (E) и магнитным потоком $\Phi = H\mu S$. Закон электромагнитной индукции гласит, что электродвижущая сила, возникающая в контуре при изменении магнитного потока Φ , проходящего сквозь поверхность, ограниченную контуром, равна скорости изменения этого потока с обратным знаком: $\oint E dl = -d\Phi/dt$. Это уравнение называют вторым уравнением Максвелла.

Первое и второе уравнение Максвелла чаще всего используются в дифференциальной форме:

$$\text{rot } H = \sigma E + j\omega\epsilon_a E \quad \text{Здесь } \sigma, \epsilon_a, \mu_a - \text{соответственно проводимость, диэлектрическая и магнитная проницаемость сред.}$$
$$\text{rot } E = -j\omega\mu_a H$$

σE - ток проводимости (только в металлах (и переменный и постоянный))

$j\omega\epsilon_a E$ - ток смещения (только переменный в диэлектриках из-за переориентизации диполей)

С физической точки зрения уравнение 1 ур-е Максвелла показывает, что изменяющееся электрическое поле создает вокруг себя магнитное поле (вихрь H), а уравнение 2 - что всякое изменение магнитного поля сопровождается появлением электрического поля (вихрь E).

$$\text{rot } H = \sigma E \quad \text{- в металле}$$

$$\text{rot } H = j\omega\epsilon_a E \quad \text{- в диэлектрике}$$

$$\text{rot } H = \sigma E + j\omega\epsilon_a E \quad \text{- в волноводе}$$

Кроме этих уравнений используются вспомогательные: $\text{div } D = \rho$ и $\text{div } B = 0$, где ρ - это плотность электрического заряда.

Первое уравнение означает, что через поверхность, ограничивающую этот объем, линии электрического поля расходятся в окружающее пространство или сходятся в него. Эл. поле имеет источники и характеризуется плотностью эл. заряда. Второе уравнение выражает принцип непрерывности магнитного поля. Оно показывает, что магнитные линии всегда непрерывны и образуют замкнутые петли, при этом не имея источников.

2. Первичные параметры влияния

Количественной характеристикой электромагнитного и магнитного влияний являются электрические и магнитные связи.

Электрическая связь на участке dx , отстоящем на расстоянии от начала цепи, определяется отношением приращения наведенного тока в цепи, подверженной влиянию, к напряжению во влияющей цепи:

$$K_{12}(x) = \frac{1}{U_1(x)} \cdot \frac{dI_2(x)}{dx} = g_{12}(x) + j\omega C_{12}(x), \text{ где } g_{12}(x) - \text{активная составляющая электрической связи, См/км} \quad C_{12}(x) - \text{емкостная связь, Ф/км}$$

Магнитная связь на участке dx , отстоящем на расстоянии x от начала цепи, определяется отношением приращения ЭДС в цепи, подверженной влиянию, к напряжению во влияющей цепи с обратным знаком:

$$M_{12}(x) = -\frac{1}{I_1(x)} \cdot \frac{dE_2(x)}{dx} = r_{12}(x) + i\omega m_{12}(x)$$

где $r_{12}(x)$ — активная составляющая магнитной связи, Ом/км;
 $m_{12}(x)$ — индуктивная связь, Гн/км.
Из выражений (9.1) и (9.2) следует, что электрическая связь имеет размерность проводимости См/км, а магнитная — размерность сопротивления Ом/км.

Величины g , C , r , m называют первичными параметрами влияния.

Активная составляющая электрической связи $g(x)$ обусловлена асимметрией потерь энергии в диэлектрике, окружающем жилы кабеля. При протекании переменного тока по жилам кабеля в диэлектрике возникают потери, пропорциональные проводимости изоляции. Если диэлектрик не однороден, толщина изоляции жил различна, сердечник кабеля деформирован и т.д., то частичные потери $g_{14}(x)$, $g_{13}(x)$, $g_{23}(x)$, $g_{24}(x)$ по длине линии будут неодинаковыми.

$$g(x) = [g_{13}(x) + g_{24}(x)] - [g_{14}(x) + g_{23}(x)]$$

Активная составляющая магнитной связи $r(x)$ обусловлена асимметрией потерь на вихревые токи в соседних жилах, экране, оболочке из-за несимметричного расположения жил в цепи относительно других цепей и оболочки, а также различным диаметром жил цепи.

$$r(x) = [r_{13}(x) + r_{24}(x)] - [r_{14}(x) + r_{23}(x)]$$

Емкостная связь между цепями C одной четверки определяется величинами частичных емкостей между жилами 1-2 первой цепи и жилами 3-4 второй цепи. Емкостная связь между цепями вызвана изменением по длине линии диэлектрической проницаемости изоляции жил, ее толщины, взаимного расположения жил в четверке и т.д. Она определяется уравнением:

$$K(x) = [C_{13}(x) + C_{24}(x)] - [C_{14}(x) + C_{23}(x)]$$

Индуктивная связь $m(x)$ может быть представлена связь магнитных потоков и определяется выражением:

$$m(x) = [m_{13}(x) + m_{24}(x)] - [m_{14}(x) + m_{23}(x)]$$

Билет №11

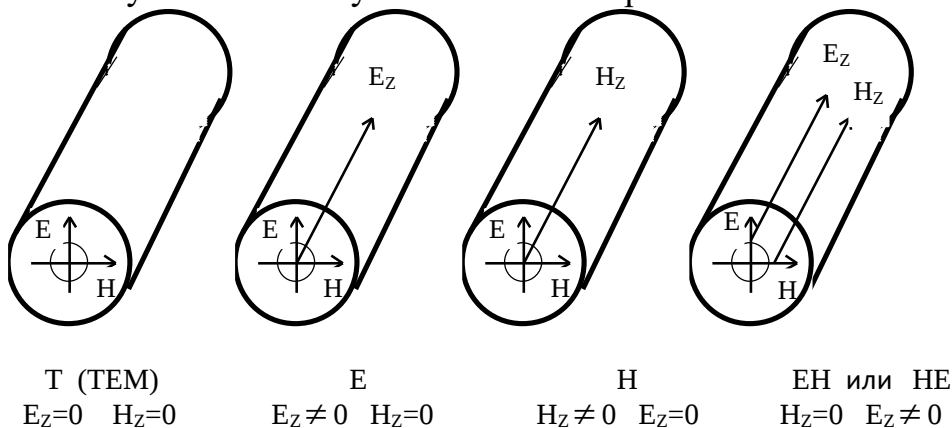
1. Типы и классификации электромагнитных волн

Различают 4 класса волн:

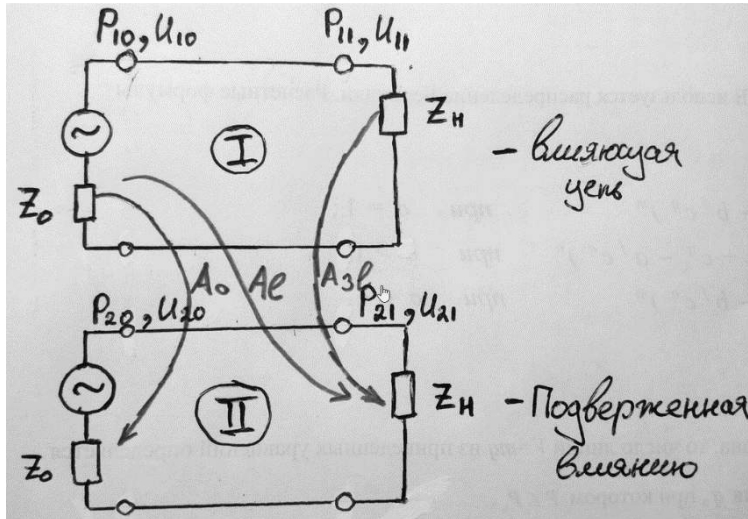
- 1) Электрические волны $E_z \neq 0$, $H_z = 0$ (Е-волны). Вектор E имеет поперечную и продольную составляющие, а вектор H лежит в плоскости перпендикулярной направлению распространения (не имеет продольной составляющей)
- 2) Магнитные волны $H_z \neq 0$, $E_z = 0$ (Н-волны). Магнитное поле (H) имеет и продольную, и поперечную составляющие, а вектор E имеет только поперечную.
- 3) Поперечные волны $H_z = 0$, $E_z = 0$ (Т-волны), векторы E и H лежат в плоскости перпендикулярной направлению распространения. Т означает поперечность (трансверсальность)
- 4) Гибридные или смешанные волны $E_z \neq 0$, $H_z \neq 0$ (характерны для световодов). Гибридные смешанные волны разделяются на два типа: HE — с преобладанием в поперечном сечении поля H и EH — с преобладанием в поперечном сечении поля E (имеют и поперечные и продольные составляющие)

Волны E и H можно (принимать) передавать по однопроводным направляющим системам (например по волноводам). Длина волны должна быть такой, чтобы в сечение волновода уложилось целое число полуволн.

Наряду с делением на классы электромагнитные волны делятся также по типам. Тип волны или мода определяется сложностью структуры, т. е. числом максимумов и минимумов поля в поперечном сечении



2. Вторичные параметры влияния



P_{10} и P_{11} — это мощности сигнала соответственно на ближнем и дальнем концах влияющей цепи.

P_{20} и P_{21} — это мощности помех соответственно на ближнем и дальнем концах цепи, подверженной влиянию.

A_0 и A_l — это переходные затухания соответственно на ближнем и дальнем конце.

A_z — это защищенность в какой-то

точке.

A_{zl} — это защищенность на дальнем конце.

Расчет вторичных параметров влияния:

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{20}} \right|, \text{ дБ} \quad A_l = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{21}} \right|, \text{ дБ} \quad A_z = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{21}} \right|, \text{ дБ} \quad A_{zl} = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{22}} \right|, \text{ дБ}$$

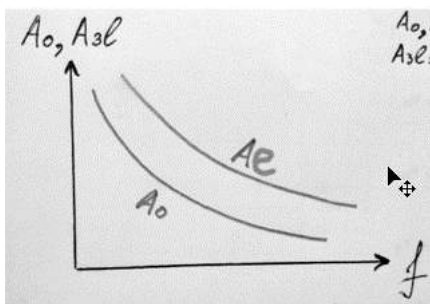
Чем больше значения этих параметров, тем качество линии лучше. В идеале они должны быть равны бесконечности.

Математически, выражения для A_0 и A_l можно получить через измеренные в цепи напряжение, ток или мощность:

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{20}} \right| - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_H} \right| \quad A_l = 20 \lg \left| \frac{U_{10}}{U_{21}} \right| - 10 \lg \left| \frac{Z_0}{Z_H} \right|$$

A_0 и A_{zl} — это частные случаи A_z :

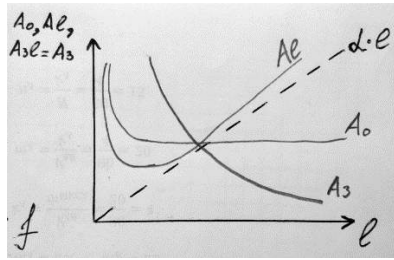
$$A_{zl} = A_l - \alpha \cdot l = 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{21}} \right| - 10 \lg \left| \frac{P_{10}}{P_{11}} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_{10} \cdot P_{11}}{P_{21} \cdot P_{10}} \right| = 10 \lg \left| \frac{P_{11}}{P_{21}} \right|$$



С ростом частоты защищенность уменьшается.

Происходит это из-за увеличения скорости изменения электромагнитного поля. По закону электромагнитной индукции величина помех в соседних проводниках увеличивается. **Всегда:** $A_{zl} > A_0$, так как электрические и магнитные связи на ближнем конце складываются (помеха больше) затухание A_0 меньше. Эл. и магн. связи на дальнем конце вычитаются и A_{zl} увеличивается, а A_l падает.

При малых длинах линий происходит увеличение количества участков, на которых может произойти переход помехи (суммарная помеха растет, а защищенность падает). С увеличением длины линии вклад помех, переходящих с дальних участков становится меньше, поэтому помеха на какой-то длине стабилизируется и A_0 не меняется.



С увеличением длины линии суммарная помеха быстро растет, а сигнал уменьшается, поэтому защищенность

падает.

Билет №12

1. Уравнение однородной длинной линии

Длинная линия — модель линии передачи, продольный размер (длина) которой превышает длину волны. Однородной называется такая линия у которой первичные параметры R, L, G, C не меняются по длине линии

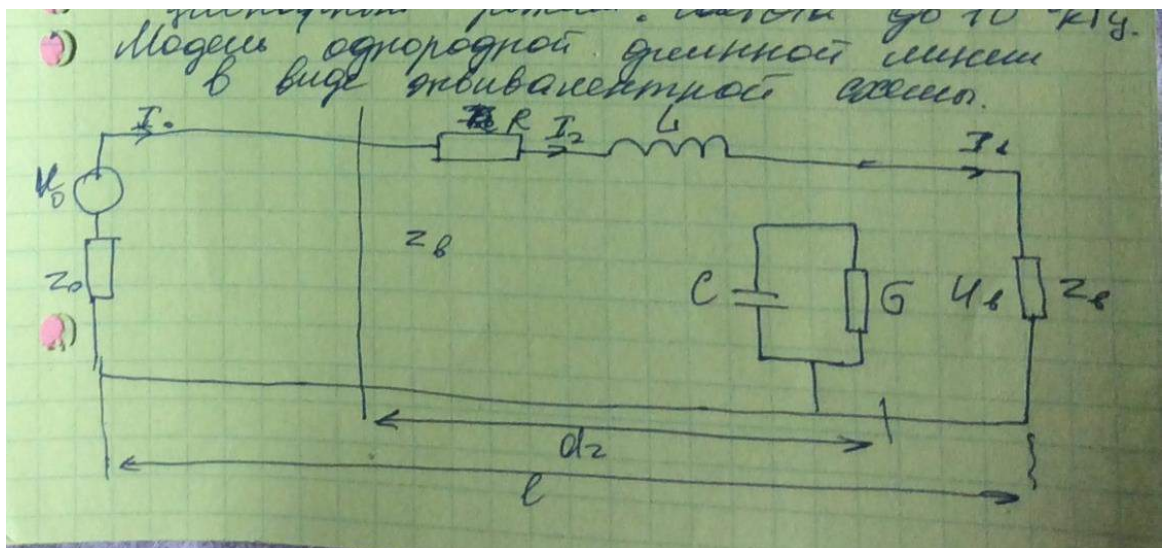
U_0, Z_0, I_0 — в начале линии

dz — бесконечно малый элементарный участок цепи

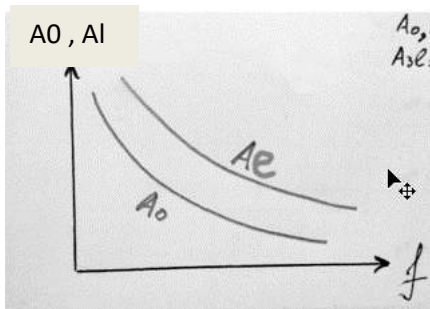
$$U_0 = U_l * e^{\gamma l}, I_0 = I * e^{\gamma l}, I_l = I_0 * e^{-\gamma l}, U_l = U_0 * e^{-\gamma l}, \gamma = \sqrt{(R + j\omega L) * (G + j\omega C)}$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

R — активное сопротивление, G — проводимость, Z_B — волновое сопротивление, γ — коэффициент распространения

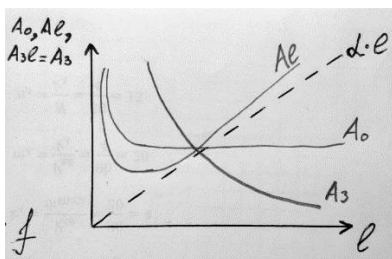


2. Зависимость переходного затухания от частоты и длины линии



В воздушных ЛС и симметричных кабелях с увеличением передаваемой частоты тока возрастает взаимное влияние между цепями и соответственно уменьшаются переходное затухание и защищенность (рис.). Это объясняется тем, что с ростом частоты увеличиваются значения электрической и магнитной связей поскольку реактивные составляющие их находятся в прямой зависимости от частоты. Сущность этого явления заключается в том, что с увеличением

частоты изменяются электрические и магнитные поля, образующиеся вокруг влияющей цепи, поэтому более интенсивно помеха индуцируется в цепи, подверженной влиянию.



Переходное затухание на дальнем конце A_i больше, чем на ближнем, так как на ближнем конце суммируются электрические и магнитные связи, а на дальнем — вычитаются. Переходное затухание на ближнем конце A_0 с увеличением длины линии l вначале уменьшается, а затем стабилизируется. Это объясняется тем, что, начиная с

определенной длины линии, токи помех с отдаленных участков приходят настолько слабыми, что практически не увеличивают взаимного влияния между цепями, и величина A_0 остается постоянной (рис. 1, б).

Билет №13

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

Коэффициент распространения. *Вторичный параметр линии.* Электромагнитная энергия, распространяясь вдоль линии, уменьшается по величине от начала к концу линии. Ослабление и затухание энергии объясняется потерями её в цепи передачи. Потери делятся на потери в металле и диэлектрике. При прохождении тока по кабелю происходит его нагрев и создаются тепловые потери энергии. С ростом частоты эти потери увеличиваются, так как чем больше активное сопротивление цепи, тем больше потери энергии в металле. Потери в диэлектрике обусловлены несовершенством применяемых диэлектриков (бумага, резина) и затратами энергии на диэлектрическую поляризацию (G). Такие потери учитываются с помощью коэффициента распространения γ .

Коэффициент распространения (γ) характеризует степень изменения напряжения и тока вдоль линии: $\gamma = \alpha + i\beta = \ln \frac{\dot{U}_B(x)}{\dot{U}_B(x+1)} = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)}$.

где α – коэффициент ослабления линии на единицу длины для бегущей волны, Нп/м; β – коэффициент фазы линии на единицу длины для бегущей волны, рад/м.

Волновое сопротивление. *Вторичный параметр линии.* Сопротивление Z_B – это волновое сопротивление, которое встречает ЭМ волна при распространении вдоль однородной линии без отражения, то есть при условии, что на процесс передачи не влияют несогласованности на концах линии. Оно зависит только от первичных параметров линии (R, L, C, G) и частоты передаваемого тока. Эта величина не зависит от длины волны и постоянна в любой точке цепи.

$$Z_B = \frac{U_m}{I_m} \text{ для двухпроводной линии: } Z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}$$

U_m - амплитуда напряжения волны (падающей, отраженной или бегущей)
 I_m - амплитуда силы тока той же волны

$$Z = \frac{E_0^-(x)}{H_0^-(x)}$$

Волновое сопротивление среды — отношение амплитуд Э и М полей электромагнитных волн, распространяющихся в среде.

Если волновое сопротивление двух сред, имеющих границу раздела, одинаковы, то на этой границе не происходит отражения ЭМ волн, даже если диэлектрическая и магнитная проницаемости в средах различны.

Скорость распространения. ЭМ волна распространяется по линии с определенной скоростью. Посланный в линии сигнал достигает конца через соответствующий промежуток времени. Скорость передачи зависит от параметров цепи и частоты тока. Определяется как: $V = \omega/\beta$.

Из формулы видно, что скорость распространения является функцией частоты ($f = \omega/2\pi$) и коэффициента фазы (β), который в свою очередь зависит от первичных параметров линии. Таким образом, этот коэффициент обуславливает скорость движения энергии по линии. В ВЧ диапазоне скорость не зависит от частоты и определяется как $V = 1/\sqrt{LC}$.

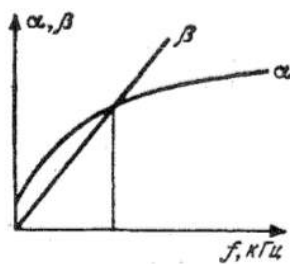


Рис. 4.18. Частотные зависимости коэффициента затухания α и коэффициента фазы β

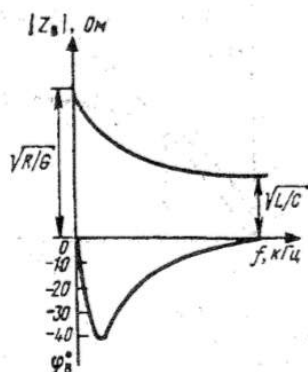


Рис. 4.19. Частотная зависимость волнового сопротивления $Z_{\text{в}}$

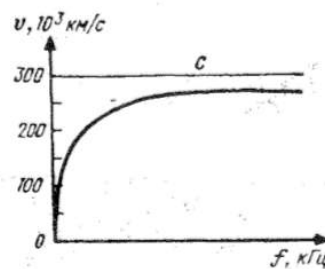


Рис. 4.20. Частотная зависимость скорости распространения электромагнитной энергии v

Из графиков видно, что с ростом частоты скорость распространения ЭМ энергии по кабельным линиям также существенно возрастает. Скорость распространения ЭМ энергии по линии при постоянном токе составляет 10 000 км/ч, а при токах высоких частот равна 250 000 км/ч (почти скорость света).

2. Физическая сущность взаимного влияния между симметричными цепями связи.

Рассмотрим взаимное влияние между симметричными кабелями на примере двух цепей, поперечный разрез которых представлен на рисунке.

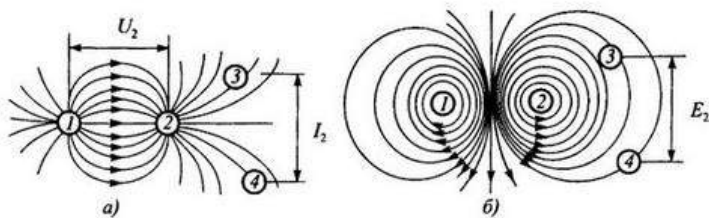


Рис. 9.1. Схемы взаимных электрического (а) и магнитного (б) влияний

Допустим, что по цепи, образованной жилами 1 и 2, протекает переменный ток. Под действием этого тока вокруг цепи 1-2 создается переменное магнитное поле, которое может быть представлено в виде суммарного действия электрического и магнитного полей. Под действием электрического поля на 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 1-3 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 существует и магнитное влияние.

Прохождение переменного тока по цепи 1-2 вокруг неё создается переменное магнитное поле, в котором расположены цепи 3-4. В результате магнитной индукции в жилах 2 и 4 наводится ЭДС, которая и создает ток в цепи 3-4. Этот ток достигает приемника, включенного на конце цепи, и оказывает мешающее влияние. 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 влияния 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.

1. Характеристики неоднородной линии

Неоднородные линии – это такие линии, у которых первичные параметры (R, L, G, C) неравномерно распределены по длине. В случае, если линия однородна, то отраженных электромагнитных волн нет и вся передаваемая энергия поглощается приемником. В неоднородных линиях есть отраженные волны, то есть доля передаваемой энергии возвращается к началу цепи. Отраженные волны искажают частотную характеристику волнового сопротивления кабеля (если измерять, то будет не волн. сопр., а входное сопр. цепи). При этом затухание неоднородной линии – это суммарная величина собственного затухания кабеля и затухания за счет неоднородности. Дальность связи по такой линии будет обуславливаться рабочим затуханием.

Соотношение энергии, поступившей к приемнику и отраженной от неоднородности, зависит от соотношения сопротивлений приемника (Z_l) и волнового (Z_B) и характеризуется коэффициентом отражения ($p = (Z_l - Z_B)/(Z_l + Z_B)$). При согласованной нагрузке $p = 0$, при $Z_l = 0$ (короткое замыкание) или $Z_l = \infty$ (холостой ход) он будет равен соответственно -1 и $+1$.

Линии с несогласованными нагрузками по концам. В этом случае входное сопротивление будет определяться как измеренное сопротивление на входе линии при любом нагрузочном сопротивлении. Величина Z_{BX} выражается отношением напряжения к току в начале линии:

$$Z_{BX} = \frac{U_0}{I_0} = Z_B \operatorname{th}(\gamma l + n) = Z_B \cdot \frac{e^{2(\gamma l + n)} - 1}{e^{2(\gamma l + n)} + 1}, \text{ где } n = \frac{1}{2} \ln \frac{1}{p}$$

Если линия имеет согласованную нагрузку, то $Z_{BX} = Z_B$, а следовательно $p = 0$. Для длинной линии при любой нагрузке $Z_{BX} = Z_B$. Входное сопротивление зависит от длины линии и сопротивления нагрузки. При несогласованной нагрузке есть отраженные волны, которые изменяют отношение напряжения и тока в начале линии.

Рабочее затухание – это затухание кабельной цепи в рабочих условиях, то есть при любых нагрузочных сопротивлениях на концах. Кроме собственного затухания, оно учитывает влияние несогласованности на стыках кабеля с нагрузкой.

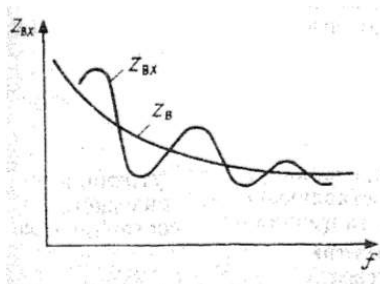
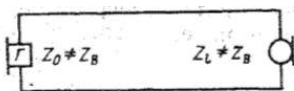


Рис. 4.22. К расчету рабочего затухания

Рис. 4.21. Частотная зависимость входного сопротивления цепи Z_{BX}



Рабочее затухание почти всегда больше собственного, иначе бывает только тогда, когда сопротивление нагрузки и волновое сопротивление кабеля имеют фазы разных знаков.

Главным образом, неоднородность линии сказывается на волновом сопротивлении кабеля, величина которого будет отличаться на участках неоднородности от номинальной.

$p = (Z'_B - Z_B)/(Z'_B + Z_B)$ где Z'_B и Z_B – волновые сопротивления соседних неоднородных участков кабеля.

Все кабели можно рассматривать как неоднородную цепь, составленную из множества участков.

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

Различают следующие основные меры защиты линий связи и проводов от взаимных влияний.

1. Применение систем передачи и типов линий связи, обеспечивающих малые значения взаимных влияний. Например, применение коаксиальных кабелей и волоконнооптических линий практически полностью решает проблему защиты.
2. Рациональный выбор кабелей для различных систем передачи.
3. Взаимная компенсация наводок и помех между линиями связи. Реализуется путем скрещивания воздушных линий связи и подбора шагов скрутки цепей кабеля.
4. Экранирование цепей кабельных линий экранами. Защита от взаимного влияния в этом случае достигается путем ослабления интенсивности влияющего электромагнитного поля в экране.

Скрещивание цепей воздушных линий связи:

Переходное затухание между нескрещенными цепями недопустимо велико. Для его уменьшения все двухпроводные цепи скрещивают, т.е. периодически меняют их провода местами. При скрещивании цепи токи влияния, поступающие в нагрузки, включенные на концах цепей с каждых двух соседних участков, имеют противоположное направление, и общее влияние между цепями уменьшается. Такое положение равносильно изменению знака коэффициентов электромагнитной связи при скрещивании. Если на первом участке считать K_0 величиной положительной, то на втором участке после скрещивания K_0 отрицательна, на третьем - снова положительна и т.д. При скрещивании обеих цепей в одном месте уменьшение влияния не будет, так как K_0 и K_1 дважды изменяют свой знак. Поэтому при подвеске на линии нескольких цепей каждая из них должна быть скрещена по своей схеме. Однако полная компенсация токов влияния скрещиванием все таки невозможна, так как токи влияния на ближний конец с отдельных участков отличаются по амплитуде и фазе. При нечетном числе участков всегда остается полностью некомпенсированный участок, называемый неуравновешенной длиной линии. Линии связи всегда многопроводны и имеют различную длину. Поэтому скрещивание удобнее устраивать отдельными участками, секциями, на которых заканчивались бы схемы скрещивания всех цепей, и отсутствовала неуравновешенная длина линии. Секции составляют из $2n$ -элементов, где n целое положительное число. За длину элемента принимают отрезки линии, равные одному, двум, трем пролетам. Чем больше в секции элементов, тем больше можно получить различных схем скрещивания.

На протяжении секции можно получить $2N-1$ различных схем скрещивания. Практически применяют секции из 8, 16, 32, 64, 128 и реже 256 элементов. Секции из 128 и 256 элементов называют основными, а остальные - укороченными.

Увеличение переходного затухания на ближний конец между скрещенными цепями зависит от схемы взаимной защищенности, которая определяется скрещиваниями цепей, не совпадающими при наложении схем друг на друга. При составлении схемы скрещивания пользуются условными обозначениями, называемыми индексами.

Следовательно, для того, чтобы установить схему взаимной защищенности между любыми цепями, достаточно исключить одинаковые индексы из схемы скрещивания обеих цепей. Оставшиеся индексы и будут определять схему взаимной защищенности.

1. Электрические процессы в направляющих системах. Поверхностный эффект. Эффект близости. Окружающие металлические массы.

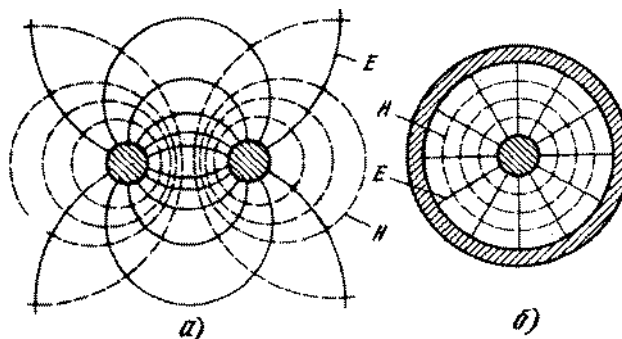
Под действием переменного электромагнитного поля происходит перераспределение электромагнитной энергии и наблюдаются:

- 1) Поверхностный эффект
- 2) Эффект близости соседних проводников
- 3) Эффект потерь в соседних металлических проводниках и металлических оболочках и экранах и тд.

В симметричных кабелях действуют все три эффекта. И сопротивление цепи симметричного кабеля будет равняться: $R_{у\text{см}} = R_0 + R_{\text{ПЭ}} + R_{\text{ЭБ}} + R_{\text{П}}$, где R_0 – сопротивление постоянному току, $R_{\text{ПЭ}}$, $R_{\text{ЭБ}}$, $R_{\text{П}}$ – поверхностный эффект, эффект близости и эффект потерь соответственно.

В коаксиальном кабеле $R_{у\text{КК}} = R_0 + R_{\text{ПЭ}} + R_{\text{ЭБ}}$ Эффекта потерь не будет, так как внешнего электрического поля нет. У КК поле концентрируется внутри.

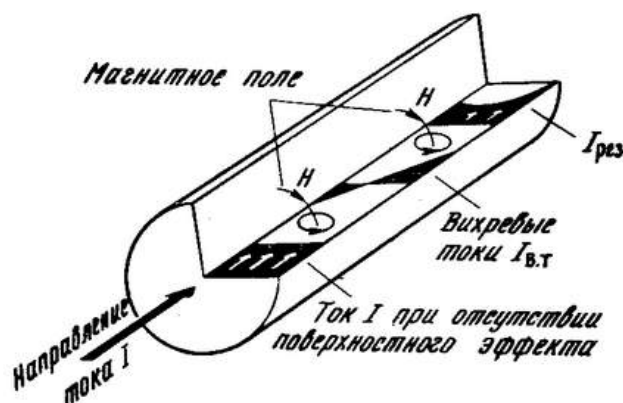
На рисунке изображены электромагнитные поля симметричной(а) и коаксиальной(б) цепи. Как видно из рисунка, электромагнитное поле коаксиальной пары полностью замыкается внутри нее, а силовые линии электрического поля симметричной пары действуют на довольно значительном от нее расстоянии.



ВЛС: $R_{у\text{ВЛС}} = R_0 + R_{\text{ПЭ}}$

Поверхностный эффект. (рассмотрим в коаксиальных парах)

Распределение плотности тока во внутреннем проводнике определяется лишь действием поверхностного эффекта.



Силовые линии внутреннего магнитного поля, пересекая толщю проводника, наводят в нем вихревые токи, направленные по закону Ленца, против вращения рукоятки буравчика. Как показано на рисунке, вихревые токи $I_{в.т.}$ в центре проводника имеют направление, обратное движению основного тока, протекающему по проводнику, а на периферии их направления совпадают. В результате взаимодействия вихревых токов с основным происходит такое перераспределение тока по сечению проводника, при котором плотность его возрастает к поверхности. Данное явление, носящее название поверхностного эффекта, увеличивается с возрастанием частоты тока, магнитной проницаемости, проводимости и диаметра проводника. При достаточно высокой частоте ток протекает лишь по поверхности проводника, что вызывает увеличение его активного сопротивления.

Некоторые добавления из лекций:

Ток протекает на малую глубину (эквивалентная глубина проникновения):

$$\theta = \frac{\sqrt{2}}{k} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

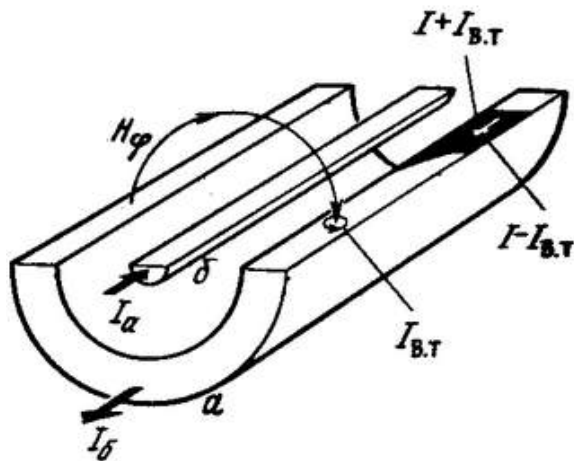
Где k коэффициент вихревых токов и равен $\sqrt{\omega \mu \sigma}$, ω - частота, μ -магнитная проницаемость, σ - проводимость.

Чем ω больше, тем больше k , тем меньше θ

Чем μ больше, тем больше k , тем меньше θ

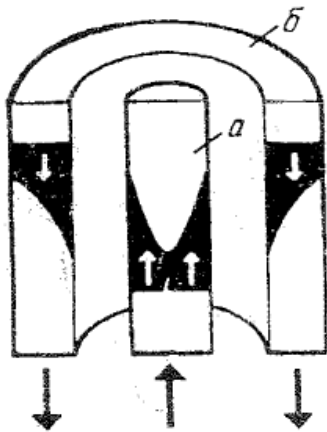
Эффект близости.

Рассмотрим процесс перераспределения плотности тока во внешнем проводнике б за счет воздействия поля внутреннего проводника.



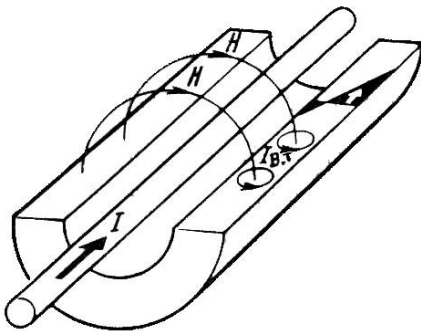
Как показано на рисунке, переменное магнитное поле, создаваемое током проводника а, наводит в металлической толще полого проводника б вихревые токи $I_{в.т.}$. На внутренней поверхности проводника б вихревые токи совпадают по направлению с основным током ($I + I_{в.т.}$), а на наружной поверхности движутся против него ($I - I_{в.т.}$). В результате ток в проводнике перераспределяется таким образом, что его плотность возрастает в

направлении к внутренней поверхности. Следовательно, токи в проводниках а и б как бы смещаются и концентрируются на взаимно обращенных поверхностях проводников.



Теперь рассмотрим, как **воздействуют** на параметры цепи **окружающие металлические массы**.

Магнитное поле H , создаваемое током, протекающим по проводам цепи, наводит вихревые токи $I_{e.m}$ в соседних проводниках кабеля, окружающем экране, металлической оболочке и броне и т. д.. Проходя по металлическим частям кабеля, они нагревают их и создают дополнительные тепловые энергии. Другими словами, происходит как бы «отсасывание» некоторой доли передаваемой энергии, причем наиболее воздействуют близко расположенные к рассматриваемой цепи металлические части кабеля. Кроме того, вихревые токи создают поле обратного действия, которое воздействует на проводники цепи и изменяет их параметры.



2. Электрическое скрещивание цепей. (из лекций) такой же вопрос еще в билете №6

Электрическое скрещивание цепей - это процесс естественного скрещивания за счет изменения фазы тока в цепи.

Шаг электрического скрещивания:

$$S_3 = \frac{\lambda}{4}$$

В результате этого ток помех с каждого участка цепи длиной $\frac{\lambda}{4}$ меняет знак (фазу на 180°). Соответствует эффекту скрещивания.

Если произведем скрещивание:

$$S_{\phi} = S_{\varepsilon}$$

шаг электрического и физического скрещивания равен, а влияние будет резко возрастать (абсорбция)



Как я поняла, в идеале $S_{\phi} \neq S_{\varepsilon}$, а $S_{\phi} < \frac{\lambda}{8}$.

Билет №16

1.Методика определения первичных параметров воздушных и кабельных линий связи

Первичные параметры цепей воздушных линий

Для двухпроводной цепи с однородными проводами при постоянном токе сопротивление проводов R_0 равно:

$$R_0 = \rho \cdot l / S,$$

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

l - длина провода, м;

S - сечение провода, мм².

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

$$R_{0t} = R_0 [1 + \alpha_R (t - 20)], \text{ Ом/км}$$

где α_R - температурный коэффициент материала провода;

t - температура при которой определяется сопротивление, °C ;

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

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

Индуктивность двухпроводной цепи с однородными круглыми проводами определяется по формуле:

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

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

Первое слагаемое есть внешняя индуктивность, определяемая отношением магнитного потока, окружающего провод, к току в последнем. Второе слагаемое - внутренняя индуктивность, связанная с магнитным потоком, замыкающимся внутри провода.

Выражение для емкости двухпроводной цепи имеет вид:

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

Первичные параметры цепей симметричных кабелей

Так как 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.**

Сопротивление постоянному току кабельной пары равно:

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

χ - коэффициент скрутки

Сопротивление кабельной пары при переменном токе

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

где $G(x)$ и $H(x)$ учитывают увеличение сопротивления за счет эффекта близости.

p – тип скрутки.

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

Индуктивность двухпроводной кабельной цепи:

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

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

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

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:

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

где C - емкость цепи, Ф/км;

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

Первичные параметры коаксиальных кабелей

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:

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

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 $\mu_d = \mu_D = 1$,

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

в СИ

$$R = 8.35 \cdot 10^{-5} \sqrt{f} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right), \text{ Ом/км.}$$

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

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

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:

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

Формула для расчета проводимости изоляции:

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

2. Скрутка кабельных цепей

Изолированные жилы кабелей связи скручивают первоначально в группы, называемые элементами симметричного кабеля. Скручивание в группы и групп в кабель ставит жилы цепи

связи в одинаковые условия, в связи с чем снижаются электромагнитные связи между цепями и повышается защищенность их от взаимных и внешних помех.

Скрутка жил не только снижает влияние вследствие поперечной асимметрии, но и уменьшает продольную асимметрию, т.к. выравниваются расстояния жил относительно оболочки (жил). Действие скрутки аналогично скрещиванию проводов на воздушных линиях и основные положения об электрических процессах, возникающих при скрещивании, справедливы и для скрутки. Отличие ее от скрещивания заключается в том, что скрещивание устраивается в точках и расстояния между соседними скрещиваниями могут быть различными, а скрутка представляет собой равномерное, непрерывное вращение жил относительно оси с неизменным шагом по всей длине кабеля. *Шагом скрутки* называют длину участка, на котором жилы группы совершают полный оборот вокруг оси скручивания (рисунок 9.8).



рис. 9.8-шаг скрутки

На рисунке 9.8 можно видеть, что шаг скрутки соответствует двум шагам скрещивания по схеме с одиночным индексом.

Длину шагов желательно выбирать как можно меньше, так как эффективность скрутки будет больше, но с уменьшением шага увеличиваются объем кабеля и длины жил, что невыгодно. Поэтому с учетом требований к гибкости и устойчивости конструкций кабеля длину шагов скрутки в группы принимают равной 100 – 300 мм, а повивов – 400- 600 мм (кабели дальней связи). Каждый последующий повив скручивается в обратную сторону по сравнению с предыдущим повивом (рисунок 9.9).

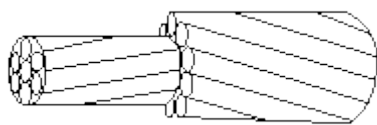


рис. 9.9-скрутка повивов

Согласование шагов каждой группы со всеми остальными находится в зависимости от спектра передаваемых частот. Если кабель НЧ, то при четном количестве групп в повиве достаточно взять два согласованных шага I, II и чередовать, как указано на рисунке 9.10. В ВЧ кабелях шаги скрутки всех групп должны быть неодинаковы и согласованы между собой. Это объясняется тем, что в НЧ кабелях влияние между цепями обусловлено только одной емкостной связью, для которой промежуточные группы действуют как экран. В ВЧ кабелях необходимо считаться со всеми видами связи.

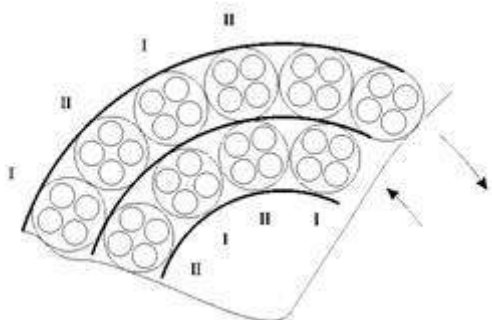


рис. 9.10-чередование групп в повиве

На рисунке 9.10 показано, как совершается полный цикл защиты от помех (симметрии) между двумя рассмотренными цепями на участке длиной $l_s = 200$ мм. В пределах этой длины кабеля положение жил в парах по отношению друг к другу, а вместе с тем и расстояния между жилами a_{13} , a_{14} , a_{23} , a_{24} постоянно меняются, причем в конце отрезка кабеля получается такое же положение жил, как и в его начале. На втором и всех последующих отрезках, кабеля длиной l_s повторяются все положения жил. Поэтому достаточно рассмотреть один лишь цикл симметрии.

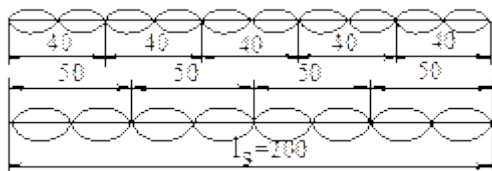


рис. 9.11-секция симметрии двух цепей

Влияние магнитного поля проникает в отдаленные группы кабеля. Влияние электрического характера существует лишь между близлежащими группами, так как электрическая связь более отдаленных групп в силу электрического экранирования ничтожно мала. Поэтому в низкочастотных кабелях, в которых взаимовлияние между цепями обусловлено практически емкостными связями, можно согласовывать шаги скрутки лишь у соседних групп кабеля. В этом случае достаточно принять два различных, согласованных между собой шага скрутки и чередовать их. Так, например, в повиве с десятью группами пять групп с нечетными номерами скручиваются с шагом h_1 , а остальные с четными номерами — с шагом h_2 . В случае нечетного числа групп в повиве необходимо иметь еще третий согласованный шаг скрутки h_3 (для последней группы).

В кабелях дальней связи, предназначенных для высокочастотной передачи, большое значение имеет магнитное влияние, поэтому необходимо производить согласование каждой группы кабеля с каждой.

Билет №17

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

Активное сопротивление ($r = U/I$) – это сопротивление, оказываемое проводником проходящему по нему переменному току. Активное сопротивление зависит от физических параметров проводника, таких как материал, площадь сечения, длина, температура.

У ВЛС провода разнесены из-за чего нет заметного искажения ЭМ поля за счет взаимного влияния, не проявляется эффект близости.

$$R = 2R_0[1 + F(kr)]; \quad L = [4 \ln\left(\frac{a}{r}\right) + \mu Q(kr)] \cdot 10^{-4}$$

$2R_0$ – сопротивление по постоянному току; $2R_0 F(kr)$ – сопротивление за счет поверхностного эффекта;

У СК провода находятся в непосредственной близости и присутствуют все три составляющих сопротивления:

$$R = R_{\text{пост.тока}} + R_{\text{поверх. эффекта}} + R_{\text{эффект близости}} \quad L = L_{\text{внешняя}} + L_{\text{внутренняя}}$$

У КК сопротивление и индуктивность:

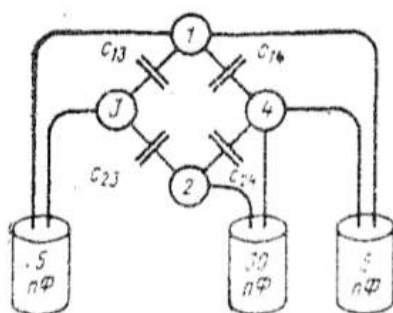
$$R = R_{\text{внутр. проводника}} + R_{\text{внеш. проводника}} \quad L = L_{\text{внеш}} + L_{\text{внутр}} + L_{\text{внеш}}$$

На высоких частотах внутренняя индуктивность мала и индуктивность коаксиального кабеля будет обуславливаться только внешней (межпроводниковой) индуктивностью в цепях с несколькими проводниками.

2. Методы симметрирования цепей.

Симметрирование – это комплекс мероприятий и электрических изменений, проводимых в процессе строительства и монтажа кабельных линий связи. На практике используют следующие основные методы симметрирования:

Симметрирование скрещиванием основано на компенсации электромагнитных связей одного отрезка кабеля связями другого отрезка путем скрещивания жил цепей. Применяется для НЧ и ВЧ кабелей. Как правило, НЧ кабели связи имеют небольшую протяженность и параметры взаимного влияния удовлетворяют нормам, поэтому симметрированию подвергаются крайне редко или не подвергаются вообще. Дело в том, что в НЧ кабелях преобладают электрические (емкостные) связи, а магнитными можно пренебречь. Поэтому на коротких дистанциях ближний и дальний конец можно считать одинаковыми.



Конденсаторное симметрирование основано на компенсации электрических связей путем включения конденсаторов между жилами взаимовлияющих цепей. Компенсирует только электрические связи, поэтому оно применяется в основном для НЧ 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. В основном применяется для ВЧ кабелей. Метод строится на компенсации токов помех, вызываемых электромагнитными связями, токами компенсации, создаваемыми контурами противосвязи, которые концентрируются в отдельных точках элементарных кабельных участков (ЭКУ). Элементы контура подбираются так, чтобы контур создавал ток компенсации I_{21k} , равный по амплитуде и противоположный по фазе току помех I_{21} .

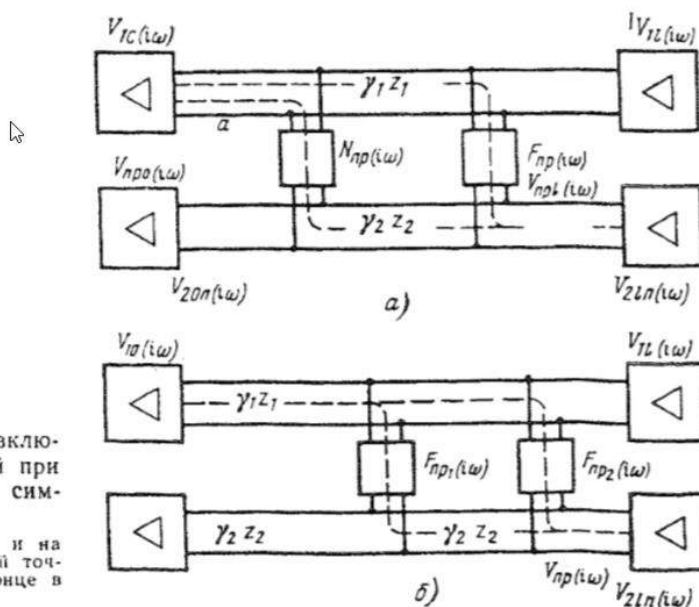


Рис. 6.46. Схемы включения контуров противосвязи при концентрированном симметрировании:
а) на ближнем конце и на дальнем конце в одной точке; б) на дальнем конце в двух точках

Билет №18

1. Процессы в диэлектрике и определение параметров C и G

Под действием переменного ЭМ поля в диэлектрике происходит смещение диполей, их переориентизация и поляризаций. Емкость характеризует способность поляризации и ток смещения, проводимость изоляции определяет потери в диэлектрике на переориентацию диполей и характеризуется тангенсом угла потерь.

В реальных симметричных кабелях, как правило, содержат несколько пар, находящихся в общих металлических оболочках. С учетом близости пар и влияния наружной металлической оболочки емкость кабеля будет определяться как: $C = X\epsilon_r 10^{-6} / 36 \ln a\psi/r$,

где X – коэффициент скрутки, а ϵ_r – эффективная диэлектрическая проницаемость изоляции; ψ – поправочный коэффициент, характеризующий близость металлической оболочки проводников.

При расчете проводимости изоляции G следует, кроме проводимости, обусловленной диэлектрическими потерями, учитывать также проводимость, обусловленную не идеальностью диэлектрика. Проводимость изоляции обратно пропорциональна сопротивлению изоляции кабельной цепи.

$$G = G_{\text{утечка тока}} + G_{\text{диэл. потерь}} = \frac{1}{R_{\text{из}}} + \omega C \tan \delta$$

Расчет проводимости изоляции кабельных линий производят с учетом того, что по абсолютной величине потери в диэлектрике при переменной проводимости существенно больше, чем при постоянном токе G_0 , поэтому проводимость $G = \omega C \tan \delta$.

2. Экранирование кабелей связи

Наиболее радикальным средством защиты КК и СК цепей от помех является их экранирование. Различают экранирование по принципу действия: защищающее от внешних и внутренних (взаимных) помех. Для защиты от внешних помех кабель поверх сердечника покрывается металлическими оболочками, имеющими цилиндрическую конструкцию и выполненными из свинца, алюминия или стали.

Существует и двухслойное экранирующее покрытие и многослойное, которое может совмещать в себе: алюминий – свинец, алюминий – сталь, медь – сталь – медь, медь – сталь – алюминий и т.д.

Применяются также экраны ленточного типа из алюминиевых, медных или стальных лент, которые накладываются спирально или продольно вдоль кабеля. Также бывает оплеточный экран, который состоит из плоских и круглых проволок.

В реальных условиях экранирования приходится учитывать воздействие как магнитных, так и электрических полей, причем их преобладание зависит от условий. Обычно поле имеет яркий характер электрического или магнитного поля вблизи своего источника – на расстоянии порядка длины волны. Поэтому во многих случаях приходится иметь дело то с одним полем, то с другим.

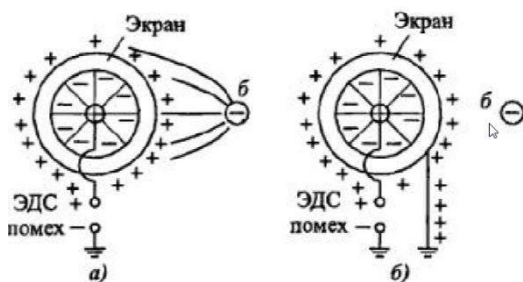
Сильное магнитное поле, как правило, присуще цепям с низким волновым сопротивлением, большим током и малым перепадом напряжений. Интенсивные электрические поля создаются в цепях с большим сопротивлением, высоким напряжением и малым током.

Обычно, в технике связи принято оценивать экраны не через коэффициент экранирования, а через экранное затухание, характеризующее величину затухания, вносимого экраном:

$$A_э = 20 \lg \frac{1}{S}$$

Эта формула справедлива в широком диапазоне частот от нуля до СВЧ (3-30 ГГц) и при любом режиме использования экранов (электромагнитостатическом, электромагнитном, волновом).

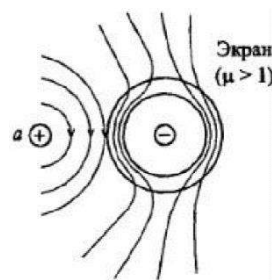
Электромагнитостатическое экранирование. Режим распространяется на диапазон частот до 4 кГц (НЧ диапазон). В этой частотной области экраны действуют по принципу замыкания соответствующих полей вследствие повышенной электро- и магнитнопроводности металлов.



Электростатическое экранирование состоит в замыкании электрического поля на поверхности металлической массы экрана и передаче электрических зарядов на землю или корпус прибора.

Суть в том, что при наличии экрана, который соединен с землей и корпусом прибора, он будет перехватывать электрические силовые линии, защищая провод (б) от помех.

Обязательное условие высокой эффективности электростатического экранирования является металлизация экрана, то есть соединение его с корпусом прибора или землей. Особых требований (толщина) к экрану нет.



Магнитостатическое экранирование основано на замыкании магнитного поля в толще экрана, происходящем вследствие его повышенной магнитопроводимости. Магнитный поток, создаваемый проводом (а), несущим помехи, замыкается в толще магнитного экрана и лишь частично проникает в экранированное пространство. Для надежности экран нужно делать толстым или делать его составным из нескольких слоев металла с большой магнитной проницаемостью.

Такой способ эффективен при постоянном токе и в НЧ диапазоне. С увеличением частоты возрастает роль вихревых токов в экране, происходит вытеснение магнитного поля из толщи экрана и его повышенная магнитопроводность теряется.

Электромагнитное экранирование. Охватывает диапазон частот (1 кГц до 10^9 Гц). Для этой области частот справедливо ур-е Максвелла без учета токов смещения.

Суть этого метода в том, что происходит многократное отражение ЭМ волн от поверхности экрана и затухание ВЧ энергии в его металлической толще. Затухание обусловлено тепловыми потерями на вихревые токи в металле. Отражение происходит из-за несоответствия волновых характеристик диэлектрика и металла, из которых изготовлен экран. Чем отличие сильнее, тем сильнее эффект отражения и, как следствие, затухание.

Экран состоит из последовательно чередующихся немагнитных (медь, алюминий) и магнитных (сталь) слоев. Особенность таких экранов в том, что у них высокая экранирующая эффективность и сравнительно малые потери энергии в экране.

Волновой режим экранирования. Применяется на диапазон сверхвысоких частот (10^9 - 10^{10} Гц и выше), охватывая область дециметровых, сантиметровых и миллиметровых волн.

Билет №19

1. Основные зависимости первичных параметров цепей.

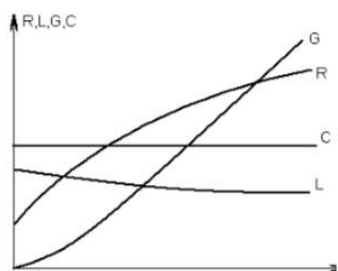
R, L, C, G – первичные параметры передачи симметричных кабелей.

R (Ом/км) – сопротивление, характеризует потерю энергии на тепло в проводах и активное падение напряжения на них: $R = U/I$.

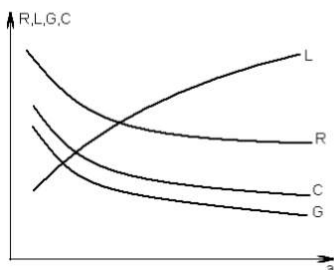
L (Гн/км) – индуктивность, характеризует способность цепи накапливать энергию в магнитном поле, а также определяет связь между токов в проводах цепи и сцепленным с ним магнитным потоком: $L = \Phi/I$.

C (Ф/км) – емкость, характеризует способность цепи накапливать энергию в электрическом поле, а также определяет связь электрических зарядов в проводах с напряжением между ними: $C = q/U$.

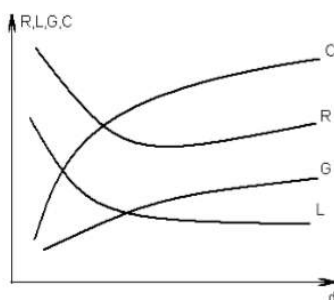
G (См/км) – проводимость, величина обратная сопротивлению, определяет потери энергии в диэлектрике, окружающем провода и характеризует то утечки: $G = 1/R$.



С ростом частоты значения параметров R и G растут за счет потерь в проводниках на вихревые токи и в изоляции на диэлектрическую поляризацию. Значения L уменьшается, так как из-за поверхностного эффекта уменьшается внутренняя индуктивность проводника. Емкость от частоты не зависит!



При увеличении расстояния R падает из-за уменьшения потерь на эффект близости. Емкость падает из-за удаления проводников друг от друга. Проводимость падает, так как сопротивление падает. Индуктивность L растет, так как происходит увеличение площади контура, пронизываемого магнитным потоком.



С увеличением диаметра проводников, резко падает сопротивление по постоянному току, а сопротивление за счет поверхностного эффекта и эффекта близости растет. Поэтому в начале R падает, а потом растет. Значения G, C растут, а вот индуктивность падает, так как

Теоретически от температуры зависят все четыре первичных параметра. Однако практически следует учитывать лишь температурную зависимость активного сопротивления (ОНО РАСТЕТ). Изменение от температуры L, C, G весьма незначительно. С увеличением температуры сопротивление цепи растет. Физически это объясняется тем, что с увеличением температуры возрастает хаотическое движение атомов решетки и затрудняется прохождение электронов через нее.

2. Оптические кабели связи

Оптический кабель состоит из скрученных по определенной системе оптических волокон из кварцевого стекла (световодов), заключенных в общую защитную оболочку. ОК бывает магистральным, зонным и городским.

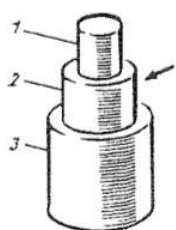
Преимущество оптических кабелей – кроме большой широкополосности (до 100 тысяч телеканалов по одному волокну) они не требуют для своего изготовления меди и свинца (остродефицитные).

Магистральный кабель предназначен для передачи информации на большие расстояния и на большое количество каналов. Затухание и дисперсия маленькие, а пропускная способность высокая. Длина волны 1,3..1,55 мкм.

Зонный кабель служит для организации многоканальной связи между областным центром и районами (до 250км). Длина волны 1,3 мкм.

Городской кабель применяется для соединения между городским АТС и узлами связи. Рассчитаны на короткие расстояния (до 10км) и большое число каналов. Длина волны 0,85мкм.

Основной элемент ОК – оптическое волокно (световод), выполненное в виде тонкого стеклянного волокна цилиндрической формы, по которому передаются световые сигналы с длиной волн от 0,85мкм до 1,6мкм, что соответствует диапазону частот $(2,3..1,2) \cdot 10^{14}$ Гц.



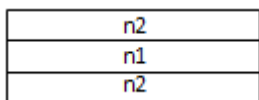
1 – сердечник, 2 – оболочка, 3 – защитное покрытие. Применяют ступенчатые, одномодовые и градиентные световоды. Лучше всех одномодовые световоды.

Принцип работы основан на перемещении токов смещения и полного отражения энергии на границе разделов двух диэлектриков с различным коэффициентом преломления ($n_1 \neq n_2$, $n = \sqrt{\epsilon} = \sqrt{\epsilon\mu}$)

Если в ВЛС, СК и КК источником передачи служит электрический ток (электроны), то в оптических системах источником является лазерный луч.

В волноводе может укладываться 2 полуволны: $\lambda < D$ – диаметр сердцевины

Наиболее широкое распространение в технике связи получили волоконные световоды:



С ступенчатым профилем показателя преломления (СВС) (по всей длине n_1 отличается от n_2 ($n_1 > n_2$)) СВС работают в одномодовом режиме



С профильным показателем преломления (СВГ – световод волоконный градиентный) n изменяется от центра к периферии СВГ работают в многомодовом режиме

Свет имеет двойственную структуру: волновую и квантовую.

Волновая обосновывает, что свойства света совпадают со свойствами электромагнитных волн и, следовательно, свет является разновидностью э/м колебаний очень высоких частот ($10^{14} - 10^{15}$ Гц).

Квантовая. Поток света – поток быстро движущихся частиц (корпускулы), которые излучаются светящим светом. Корпускулы излучаются отдельными порциями – квантами.

Параметры световода можно определить с помощью т. Максвелла (волновая теория) или геометрической оптики (квантовая теория).

Лучевая теория менее громоздка, дает наглядные результаты, которые объясняют процессы, проходящие в волноводах.

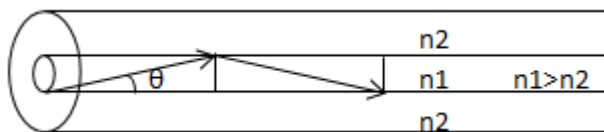
Рассмотрим процесс распространения энергии в световоде с помощью лучевой теории с использованием закона геометрической оптики.

В общем случае в световоде распространяется свет-луч, многократно отражаясь от границы раздела сердцевина-оболочка.

3 случая

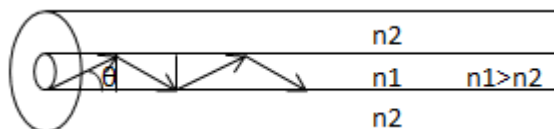
- 1) $\lambda \rightarrow 0, \theta \rightarrow 90^\circ, f \rightarrow \infty$

Луч, образуясь поперечным сечением и отражаясь, распространяется под углом 2θ по сердцевине ($2\theta \rightarrow 180^\circ$, распространение лучше, так как количество отражений меньше)



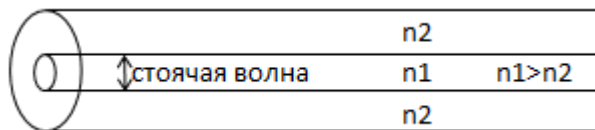
- 2) $\lambda \rightarrow D, \theta \rightarrow 0^\circ (2\theta \rightarrow 0^\circ), f \rightarrow f_{\text{критическое}} (f_0)$

Количество отражений увеличивается, распространение хуже



- 3) $\lambda = D, \theta = 0^\circ, f = f_0$

Режим стоячей волны. Луч отражается перпендикулярно, распространение отсутствует.



Учитывая то, что границей раздела сердцевина-оболочка является прозрачное стекло, возможно не только отражение, но и проникновение луча в оболочку. Для предотвращения перехода энергии в оболочку необходимо соблюдать условие полного внутреннего отражения.

Распространение луча происходит по закону геометрической оптики. Из них известно, что в общем случае на границе раздела сердцевина-оболочка будут падающий луч, отраженный и прошедший.

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

$$\sin \theta_B = \frac{n_2}{n_1}, \text{ например } n_1 = 1,3; n_2 = 1,1, \text{ то } \theta_B = 68^\circ$$

Режим полного внутреннего отражения предопределяет подачу энергии на вход волоконного световода.

Билет №20

1. Принципы организации связи по кабельным линиям связи

Можно организовать двух- или четырехпроводную схему связи. При двухпроводной схеме передача и прием осуществляются по одной паре проводов. При четырехпроводной схеме по одной паре идет передача, а по другой прием.

Обе схемы сравниваются как:

1. **По устойчивости и дальности связи.** Здесь победа четырехпроводной системы, так как при дальней ВЧ связи по двух проводной системе спектр делится на две части: нижнюю и верхнюю. Нижняя часть – передача, а верхняя – прием. Суть в том, что в этом случае ставят фильтры для разделения.
2. **По числу организуемых каналов.** Здесь равносильно, но в четырехпроводной линии при удвоенном числе цепей, используется в 2 раза меньший диапазон частот, что снижает затухание и увеличивает дальность усилительных участков.
3. **По помехозащищенности цепей от взаимных влияний.** Победа за двухпроводной, так как воздействие помех там меньше из-за того, что энергия распространяется с одинаковым уровнем.

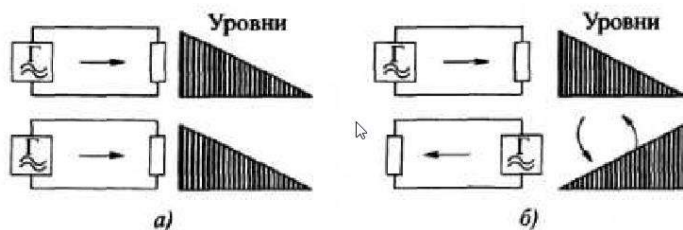


Рис. 1.9. Режимы передачи по кабельным цепям: а — совпадающий; б — встречный

Четырехпроводная лучше, но в ВЛС ей нет места, так как это не выгодно. Там используется двухпроводная двухполосная линия связи, чтобы не было встречного влияния (рис. 1.9). При этом длина трансляционных участков не имеет существенного значения.

На магистралях с КК кабелем применяется четырехпроводная схема при однокабельной системе связи. Благодаря высоким экранирующим свойствам коаксиальных цепей возможна передача в прямом и обратном направлениях по одному КК.

В оптике применяют однокабельную систему связи. При это связь может быть выполнена по двум волокнам или по одному, но на разных длинах волн.

1. Воздушные линии связи (ВЛС)

Воздушные линии связи (ВЛС) состоят из металлических проводов, подвешенных на опорах с помощью изоляторов и специальной арматуры. Они обладают хорошим запасом прочности и сроком службы, а также по своим электрическим характеристикам позволяют осуществлять связи на значительное расстояние и с применением высокочастотной аппаратуры.

Недостатки: зависимость электрических характеристик цепей и механической устойчивости линий от атмосферно-климатических условий.

ВЛС делятся на четыре типа по прочности и применяются по метеорологическим условиям района строительства. Характеризуются, в основном, по количеству опор на 1 км.

- О – облегченные (20 опор на 1 км, с расстоянием в 50 м)
- Н – нормальные (20 опор на 1 км, с расстоянием в 50 м)
- У – усиленные (25 опор на 1 км, с расстоянием в 40 м)
- ОУ – особо-усиленные (28 опор на 1 км, с расстоянием в 35,7 м)

Основной материал для ВЛС: проволока (линейная и перевязочная), арматура для изоляции и крепления проводов на опорах.

Проволока. Провода ВЛС подвергаются действию ветра, влаги, гололеда, химии в воздухе, колебаниям температуры. *Линейная проволока*, применяемая для проводов ВЛС, должна обладать высокой электрической проводимостью, большой прочностью, эластичностью и устойчивостью против коррозии, а также хорошей экономичностью производства. Применение получила медная, биметаллическая и стальная проволоки.

Медная проволока (3 – 4 мм). Хорошо противостоит атмосферным воздействиям и большинству хим. реагентов в воздухе. Однако, медь дефицитна, поэтому широко не применяется.

Стальная проволока (1,5 – 5 мм). Проволока (3 – 5 мм) – междугородняя связь. Проволока (1,5; 2; 5) – местные линии. Сравнительно недорогая. Однако, её активное сопротивление растет с увеличением частоты, что ограничивает частотные возможности для дальних связей. Подвержена коррозии, из-за чего требует покрытия цинком.

Биметаллическая сталемедная проволока (БСМ), состоит из стальной сердцевины и медной оболочки. Экономия меди, при сохранении такого же активного сопротивления, как и у полностью медной. Прочность биметалл. проволоки выше медной, а устойчивость против коррозии такая же.

Биметаллическая сталеалюминевая проволока (БСА), состоит из стального сердечника и алюминиевого покрытия. Устойчивость к коррозии и прочность такого вида проволоки хуже, чем у БСМ.

Арматура. Для изоляции проводов ВЛС их укрепляют на изоляторах. *Изоляторы* изготавливаются из фарфора или стекла. Применяются для изоляции проволоки от опор. Вешаются на стальной крюк, который крепится к опоре.

Опоры. Опоры ВЛС должны быть прочными, иметь хороший запас срока службы, быть легкими, транспортабельными и экономичными. Ранее применялись деревянные, а сейчас – железобетонные.

Деревянные опоры. Имеют свойство гнить у основания, поэтому требуют ухода в виде покрытия спец. средствами. Сравнительно прочные. **Железобетонные опоры.** Прочные и долговечные. Существует третий вид – **железобетонные приставки**, которые ставятся у деревянных опор, чтобы отнести их от земли.

Профиль линии – это порядок расположения цепей и проводов на опорах. На ВЛС применяют крюковой (провода лежат на крюках), траверсный (провод крепится на изолятор, который закреплен на горизонтальной перекладине) и смешанный (оба метода на одной опоре).

В настоящее время ВЛС используются в основном для внутриобластной (внутризоновой) связи и в большей степени — линий сельской телефонной связи.

По сравнению с кабельными воздушные линии проще в строительстве и требуют для этого меньших затрат, на них легче можно обнаружить и устранить повреждения. Однако эксплуатационные затраты на воздушных линиях все же выше, чем на кабельных.

Билет 21

1. Волноводы дальней связи. Физические процессы волноводов. Особенности волны H_{01} в круглых волноводах. Конструкция волноводов.

Волновод – устройство, сосредотачивающее э/м энергию в определенном пространстве и передающее её в заданном направлении.

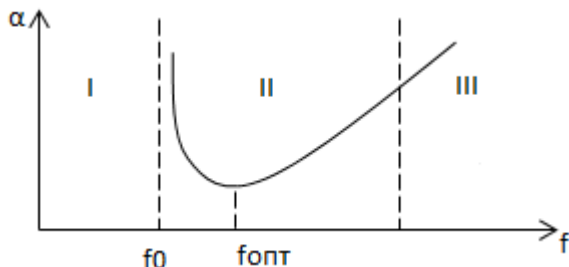
По волноводу э/м энергия передается по тем же законам, что и в атмосфере. Однако направление передачи строго задано и имеется ограничение по частоте.

По волноводу могут передаваться лишь высокочастотные колебания, длины волн которых соизмеримы с его поперечными размерами. То есть в волноводе есть критическая частота:

$$f_0 = c/D = 3 \cdot 10^8 / 5 \text{ см (могут передаваться 5 см и меньше)}$$

Таким образом, волновод работает как ФВЧ, частота среза которого равна f_0 (пропускает частоты выше f_0)

Затухания в волноводе

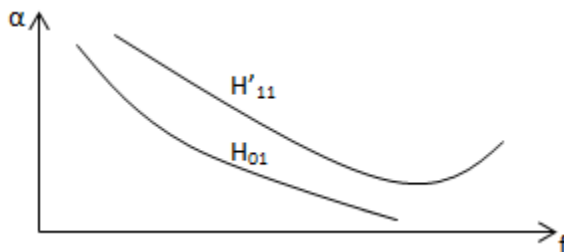


I зона – энергия не передается

II зона – затухания уменьшаются за счет улучшения условий ($f_{\text{опт}}$ – зона минимального затухания)

III зона – затухания возрастают за счет роста потерь в стенках волновода

Особенности волны H_{01} , распространяющейся в волноводе



H_{01} все время монотонно уменьшается (с ростом частоты)

В круглом волноводе $D=5$ см, затухание H_{01} составляет $\alpha = 2-3$ дБ/км

$$S=45 \text{ дБ;}$$

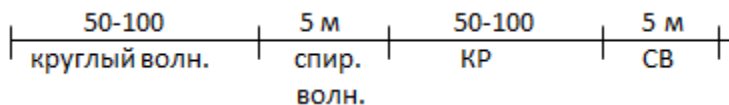
$$l=45/2,5 \approx 2 \text{ км}$$

Недостатки

Конфигурация поля не связана со стенками волновода. При наличии неоднородностей H_{01} переходит в волны высших порядков: H_{11} , H_{21} ; за счет этого возникает дополнительное затухание (может увеличиться до 20-30%). Появляется попутный поток, который искажает передаваемую информацию за счет этих же причин.

Недостатки устраняются следующим образом: при изготовлении добиваются максимальной однородности волновода. Применяются спиральные волноводы периодической структуры, которая

обладает фильтрующими свойствами: пропускают волну H_{01} , не пропускают волны высших порядков. На внутренних поверхностях волновода применяют покрытие из поглощающего слоя (диэлектрик с большой ϵ).



(чтобы затухания уменьшались с ростом частоты)

В связи применяются только круглые волноводы (выпускаются трубами по 5 м)

2. Симметричные кабели связи.

Назначение: городская, междугородная, сельская связь.

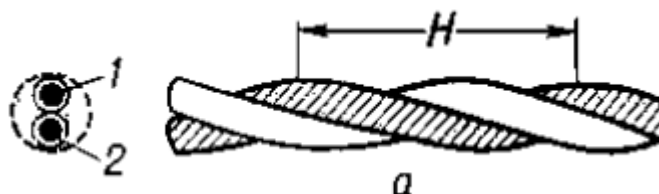
Основной элемент – цепь, состоящая из двух одинаковых изолированных проводников.

В кабелях проводники скручиваются между собой. Это улучшает механические характеристики кабеля и уменьшает взаимное влияние между цепями.

Затухание в цепи – ноль в идеале. Между цепями – бесконечность в идеале.

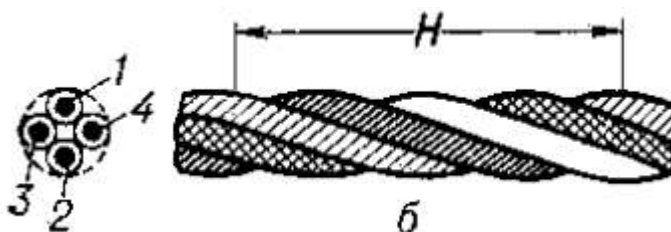
Практически используют 2 типа скрутки (из 4-х): парная и звездная.

Парная – 2 проводника. Более защищена, так как шаг можно менять, меньше взаимное влияние.



H – шаг скрутки

Звездная – 4 проводника



1 – красная жила, 2 – белая/жёлтая, 3 – синяя, 4 – зеленая

Экономичнее, так как 4 жилы скручивают за одну операцию, следовательно, дешевле и быстрее.

В качестве проводников – медные ($d=0,32 - 1,2$)

Удельная проводимость: $\rho = 0,0175 \text{ Ом*мм}^2/\text{м}$

Удельное сопротивление: $\sigma = 57 \text{ м/Ом*мм}^2$

Диэлектрик: кабельная бумага, полиэтилен, стирофлекс

Параметры: ϵ , $U_{пр}$, $\text{tg}\delta$ (тангенс угла потерь), $R_{из}$

Вакуум (идеальные характеристики): $\epsilon=1$, $U_{пр}=\infty$, $\text{tg}\delta = 0$, $R_{из} = \infty$

В кабельных связях используют комбинированную изоляцию.

Чем меньше ϵ , тем меньше C , тем меньше затухание, тем больше длина усилительного участка, тем линия длиннее.

Маркировка междугородной связи

МКСГ – стирофлекс, свинцовая

МКП – изоляция полиэтиленовая

МКПП – пористополиэтиленовая

МКГ нет буквы – кордельно бумажная, свинец

МКСА – алюминиевая

Следующая буква – броня.

МКСАБ – стальные плоские ленты

МКСАК – круглые проволоки (под водой, в горах, в трубах)

Основное назначение оболочки – защита сердечника от влаги

1. Оптические кабели связи. Физические процессы в световодах.

Преимущество оптических кабелей – кроме большой широкополосности (до 100 тысяч телеканалов по одному волокну) они не требуют для своего изготовления меди и свинца (остродефицитные).

Первая конструкция ОКС – США начала 1970-х годов.

Основной элемент – волоконный световод, относящийся к классу диэлектрических волноводов (ДВ).

Принцип работы ДВ основан на перемещении токов смещения и полного отражения энергии на границе раздела двух диэлектриков с различными коэффициентами преломления

$$n_1 \neq n_2$$

$$n = \sqrt{\epsilon} = \sqrt{\epsilon\mu}$$

Если в ВЛС, СК и КК источником передачи служит электрический ток (электроны), то в оптических системах источником является лазерный луч.

В волноводе может укладываться 2 полуволны.

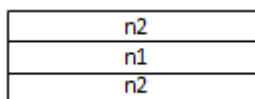
$$\lambda < D$$

D – диаметр сердцевины

Наиболее широкое распространение в технике связи получили волоконные световоды:

- со ступенчатым профилем показателя преломления (СВС)

по всей длине n_1 отличается от n_2 ($n_1 > n_2$)



СВС работают в одномодовом режиме

- с профильным показателем преломления (СВГ – световод волоконный градиентный)



n изменяется от центра к периферии

СВГ работают в многомодовом режиме

Свет имеет двойственную структуру: волновую и квантовую.

Волновая обосновывает, что свойства света совпадают со свойствами электромагнитных волн и, следовательно, свет является разновидностью э/м колебаний очень высоких частот ($10^{14} - 10^{15}$ Гц).

Квантовая. Поток света – поток быстро движущихся частиц (корпускулы), которые излучаются светящим светом. Корпускулы излучаются отдельными порциями – квантами.

Параметры световода можно определить с помощью т. Максвелла (волновая теория) или геометрической оптики (квантовая теория).

Лучевая теория менее громоздка, дает наглядные результаты, которые объясняют процессы, проходящие в волноводах.

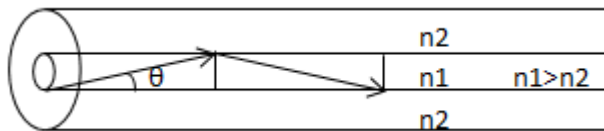
Рассмотрим процесс распространения энергии в световоде с помощью лучевой теории с использованием закона геометрической оптики.

В общем случае в световоде распространяется свет-луч, многократно отражаясь от границы раздела сердцевина-оболочка.

3 случая

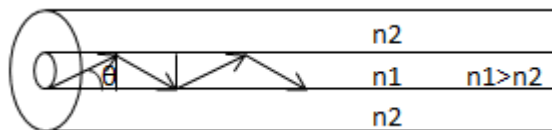
1) $\lambda \rightarrow 0, \theta \rightarrow 90^\circ, f \rightarrow \infty$

Луч, образуясь поперечным сечением и отражаясь, распространяется под углом 2θ по сердцевине ($2\theta \rightarrow 180^\circ$, распространение лучше, так как количество отражений меньше)



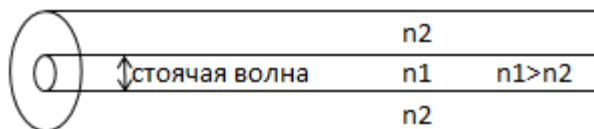
2) $\lambda \rightarrow D, \theta \rightarrow 0^\circ (2\theta \rightarrow 0^\circ), f \rightarrow f_{\text{критическое}} (f_0)$

Количество отражений увеличивается, распространение хуже



3) $\lambda = D, \theta = 0^\circ, f = f_0$

Режим стоячей волны. Луч отражается перпендикулярно, распространение отсутствует.



Учитывая то, что границей раздела сердцевина-оболочка является прозрачное стекло, возможно не только отражение, но и проникновение луча в оболочку. Для предотвращения перехода энергии в оболочку необходимо соблюдать условие полного внутреннего отражения.

Распространение луча происходит по закону геометрической оптики. Из них известно, что в общем случае на границе раздела сердцевина-оболочка будут падающий луч, отраженный и прошедший.

Дальше идет информация об этих лучах, об условии полного внутреннего отражения и каких-то соотношениях, но как-то и так много написано уже.

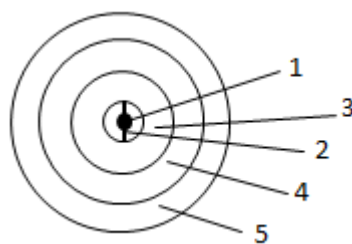
2. Коаксиальные кабели связи.

Одна из основных кабельных сред. Несимметричная цепь (телевизионный кабель), внутренний проводник – цилиндрическая медная жила; внешний проводник – полая цилиндрическая медная жила. Их конструкция различна, сопротивление внешнего в 5 раз меньше.

Основной элемент – коаксиальная пара.

2 типа: стандартизованная КП (2,5х9,4 мм (9,5 мм)) и малогабаритная КП (1,2х4,6 мм)

2,5 – внешний диаметр внутреннего проводника (d), 9,4 – внутренний диаметр внешнего проводника (D)



1 – внутренний медный проводник ($d = 2,5$)

2 – шайбовая изоляция

3 – внешний проводник (медная трубка)

4 – экран из двух стальных лент (является проводником и дополнительно экранируется), повышает защищенность на НЧ на 20-40 дБ. В симметричной цепи лимитирует длину рост помех с ростом частоты, в коаксиальной – неоднородности ввиду малого затухания в цепи, а помехи с ростом частоты уменьшаются

5 – 2 слоя бумаги К-12 или К-17

Достоинства КК

Закрытая система, можно использовать один кабель

Широкий диапазон частот (до 60 МГц)

Позволяет использовать однокабельную систему для междугородней связи

Обеспечивает экономию систему в целом (снижает стоимость, ВЛС – 100%, СК – 40%, КК – 5%)

В России используют 4 типа КК:

КМБ-4 – основной кабель для междугородней связи

КМБ-8/6 – комбинированный КК (8 СКП, 6 МКП)

МКТП-4 – МКК, 4 малогабаритных КП

ВКАП-1 – однокоаксиальный кабель, в основном для подвески

КМ – кабель коаксиальный

Нет буквы – свинцовая оболочка

Б – броня из двух стальных лент

Т – трубчатая изоляция

П – полиэтиленовая оболочка

Билет 23

1. Затухание в оптических световодах.

Оптические кабели характеризуются двумя важнейшими передаточными параметрами-затуханием и дисперсией. *Затухание* определяет длину регенерационных участков (расстояние между регенераторами). Затухание световодных трактов оптического кабеля (ОК) (α) обусловлено собственными потерями в волоконных световодах (ВС) (α_c) и дополнительными потерями, так называемыми кабельными (α_k), обусловленными структурой, а также деформацией и изгибами световодов при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления ОК. В идеале $\alpha_k = 0$. Собственные потери волоконных световодов состоят в первую очередь из потерь поглощения (α_n) и потерь рассеяния (α_p). Потери на поглощение существенно зависят от чистоты материала и при наличии посторонних примесей могут достигать значительной величины ($\alpha_n + \alpha_{пр}$)

Механизм потерь, возникающих при распространении по ВС электромагнитной энергии, иллюстрируется на рисунке.



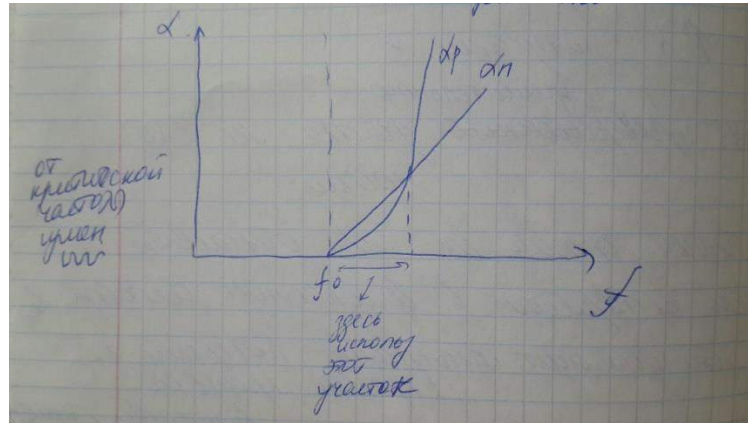
Часть мощности, поступающей на вход световода, рассеивается вследствие изменения направления распространяемых лучей на нерегулярностях и их высвечивания в окружающее пространство (α_p), другая часть мощности поглощается посторонними примесями, выделяясь в виде джоулева тепла (α_n).

Затухание за счет поглощения связано с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растет с частотой и существенно зависит от свойства материала световода ($tg\delta$).

$$\alpha_n = \frac{\pi n}{\lambda} tg\delta, \lambda - \text{это длина волны}$$

$$\alpha_p = \frac{k}{\lambda^4} \quad k - \text{коэффициент рассеивания (1-1.5)}$$

На рисунке представлены частотные зависимости коэффициента затухания ВС. Потери на поглощение растут линейно с увеличением частоты, а потери на рассеяние существенно быстрее- по закону f^4 .



Общее затухание: $\alpha = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_k$, кабельными потерями можно пренебречь.



На рисунке показано изменение затухания ВС в зависимости от длины волны для кварцевого стекла, очищенного от посторонних примесей. На графике видны три окна прозрачности световода, где затухания минимальны. С увеличением длины волны затухание снижается и соответственно увеличивается длина регенерационного участка. Наиболее целесообразна работа ОК на волнах 1.3 и 1.55.

Длина усилительного участка на 1.55 мкм- 100 км.

2. Скрутка кабельных цепей. (смотри билет 7, вопрос 2)

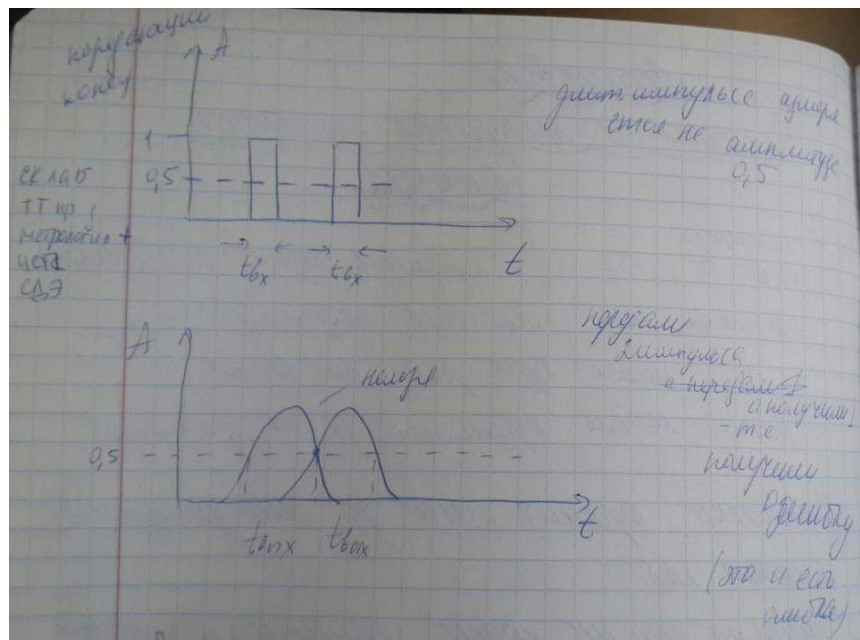
Билет 24

1. Дисперсия и пропускная способность световодов.

Коаксиальный кабель ограничивается неоднородностями, иначе будет работать как волновод. В свою очередь, оптический кабель ограничивается за счет дисперсии.

(Сигнал на приемный конец приходит размытый. Чем длиннее линия, тем больше размытость сигнала). Это явление (уширение импульса) связано с дисперсией.

Дисперсия-это рассеяние во времени спектральных или модовых составляющих оптического сигнала, приводящее к уширению импульса на приеме.



Величина уширения определяется как квадратичная разность длительности импульсов на выходе и входе кабеля по формуле:

$$\tau = \sqrt{(t_{\text{вых}}^2 - t_{\text{вх}}^2)}, \text{ причем}$$

Значения $t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ берутся на уровне половины амплитуды импульсов.

Важнейшей характеристикой световода является пропускная способность, то есть полоса частот, передаваемая по световоду ΔF .

Связь между дисперсией и полосой частот: $\Delta F = \frac{1}{\tau}$

Если дисперсия $=0$ или стремится к 0, то пропускная способность стремится к бесконечности. С ростом длины линии, полоса эта уменьшается, так как чем

длиннее линия, тем больше проявляется дисперсия и больше уширение импульса.

Пропускная способность зависит от: 1) типа волокна (одномодовое, многомодовое, градиентные), 2) типа излучателя (лазер, светодиод).

Причины возникновения дисперсии:

- 1) Некогерентность источников излучения и появление спектра $\Delta\lambda$.

(Некогерентность-это появление какого-то спектра, т.е. появление $\Delta\lambda$, т.е. распространяется уже не одна волна). Здесь дисперсия называется хроматической (частотной) и подразделяется на материальную и волноводную. Волноводная обусловлена процессами внутри моды и характеризуется зависимостью коэффициента распространения моды от длины волны. Материальная обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны.

- 2) Существование большого числа мод.

Дисперсия проявляется по-разному в различных типах световодов. В ступенчатых световодах (СВС) при многомодовом режиме работы определяющая-модовая дисперсия, Здесь $\tau = 20 \div 50$ нс/км, т.е. большая дисперсия.

В СВС при одномодовом режиме работы модовая дисперсия отсутствует, а имеется волноводная и материальная дисперсии. Они направлены в противофазе друг к другу, т.е. происходит их взаимная компенсация, поэтому суммарная дисперсия $\tau \ll 1$ нс/км.

А в градиентном волокне (СВГ) определяющей является материальная дисперсия, и она находится в пределах $\tau = 3 \div 5$ нс/км.

В многомодовом ΔF 50 МГц/км

В одномодовом ΔF 1000 МГц/км

Полоса частот и длина линии взаимосвязаны.

Для коротких линий, длиной до 8 км:

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \frac{l_x}{l}, \text{ где } \Delta F, l - \text{ заданы, } \Delta F_x, l_x - \text{ искомые}$$

А для длинных линий

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{l_x}{l}}$$

Чтобы сделать п.п. больше, надо взять кабель дороже.

(Следует иметь ввиду, что применительно к цифровым системам, у которых в регенераторе сигнал полностью восстанавливается, под

дальностью такой системы подразумевается длина регенерационного участка.

Следует не забывать также, что длина регенерац. Участка минимизируется как дисперсией, так и затуханием. Поэтому в реальных случаях определяют дисперсию и затухание, и берут худший вариант.

Пример: $D=25$ км, $\alpha = 30$ км, следовательно, выбираем 25 км (худший вариант)) (Не знаю-надо это или нет)

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

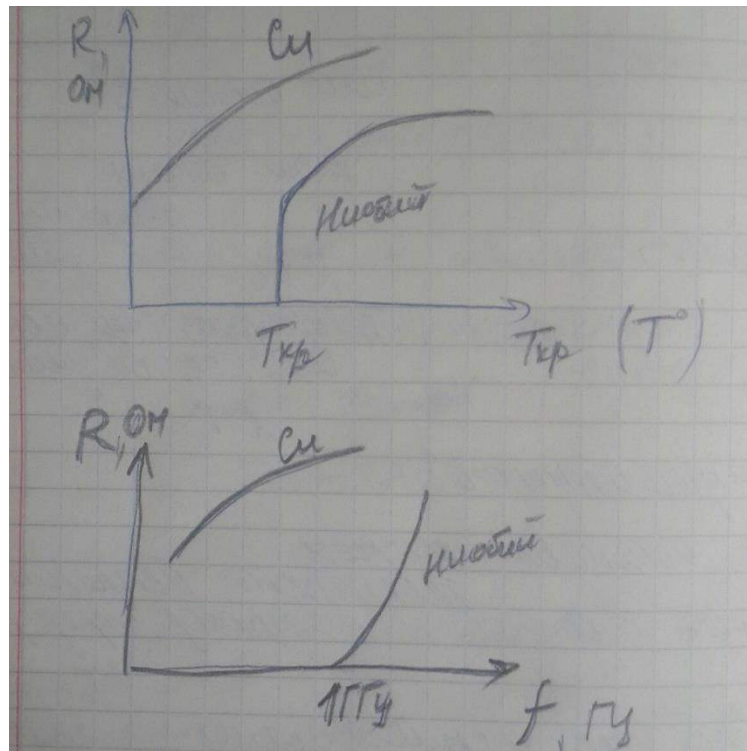
Ряд металлов и сплавов обладают явлением сверхпроводимости (при температурах близких к абсолютному нулю -273°C , $K=0$) Данное явление открывает широкие возможности для создания линий передачи электромагнитных сигналов с весьма малыми потерями. Достаточно сказать, что сопротивление проводников при сверхнизких температурах может быть порядка 10^{-23} Ом · см. Наряду с малым сопротивлением сверхпроводники обладают еще и такими замечательными свойствами, как полное экранирование электромагнитного поля и низкий уровень собственных тепловых шумов.

Эффект сверхпроводимости упрощенно определяется след. образом: Известно, что электрический ток в металле -это поток электронов через кристаллическую решетку атомов проводника. С увеличением температуры возрастает хаотическое движение атомов решетки, происходит столкновение электронов с ними и увеличивается сопротивление проводника. При уменьшении температуры, наоборот, колебание атомов решетки уменьшается и создаются более благоприятные условия для прохождения потока электронов. При температурах, близких к абсолютному нулю, колебания практически прекращаются и проявляется эффект сверхпроводимости.

Техническое применение сверхпроводимости сдерживается критической температурой (T_k)

Для каждого металла и сплава имеется своя критическая температура, при которой наблюдается явление сверхпроводимости, причем сверхпроводимость возникает и исчезает резко, скачком, при достижении критической температуры.

Следует иметь в виду, что сверхпроводимостью обладают не все металлы (медь, золото, серебро не становятся сверхпроводниками), наиболее примен. Сверхпровод. (ниобий, свинец, алюминий, цинк, олово, ртуть)



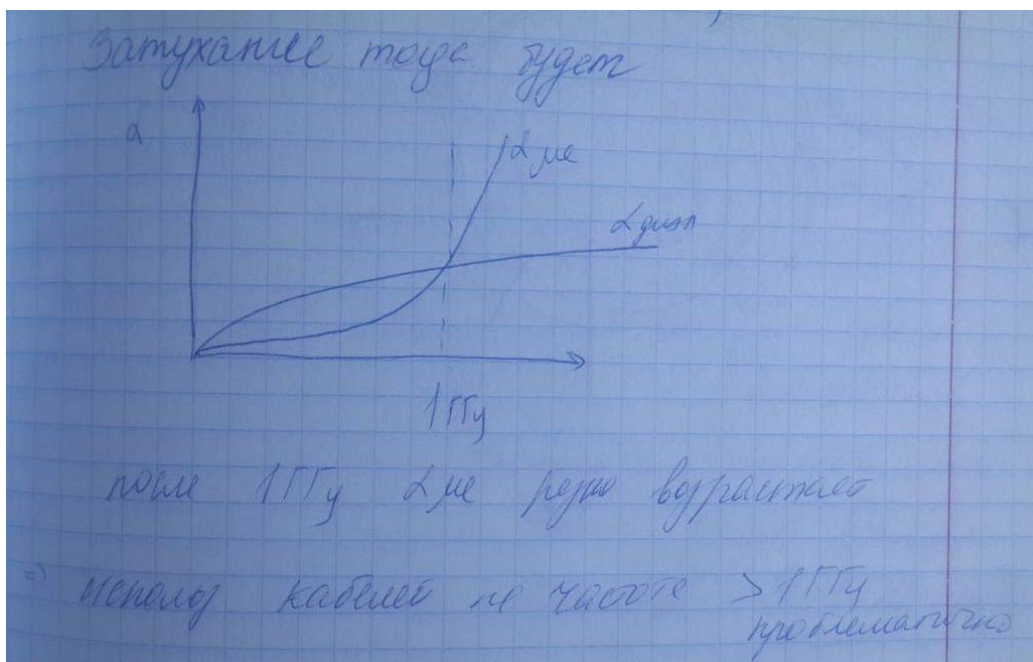
Увеличение температуры также влияет на диэлектрик (х-ки напряжения пробоя, диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь)

$\uparrow T, tg \downarrow$ в сотни раз, ϵ практически не изменяется, $U_{пр} \uparrow$

Затухание в сверхпроводящих кабелях определяется как:

$$\alpha = \alpha_{\mu e} + \alpha_{\text{диэлектрика}} = 0.05f^2 + 0.5f \text{ дБ/км}$$

$f \text{ в } GHz$



Как сделать сверхпроводящий кабель:

