

§1. Взаимосвязанная сеть России (ВСР).

Единая сеть электросвязи (ЕСЭ) - сетевая основа ВСР. и объединяет все сети э-зи на территории России.

ЕСЭ состоит из:

1. Сети связи общего пользования
2. Выделенные СС.
3. Технологич-е СС
4. Сети спец. назначения.

Основой раз-ия ЕСЭ яв-ся первич. сеть, кот. включает в себя все каналы (кабельные, радио-релейные, спутн. и т.д.) без подраз-я их по назнач-ю, типам передач, сетевые узлы и сетевые станции.

Первичная сеть:

- Магистральная
- Внутризонавая
- Местная

Вторич. сеть базируется на каналах первич. сети и включает в себя каналы разн. назнач-я (ТВ, телеграф, радио.)

Магистр. сеть соединяет Москву с обл. центрами, с Центральные республик и последние между собой.

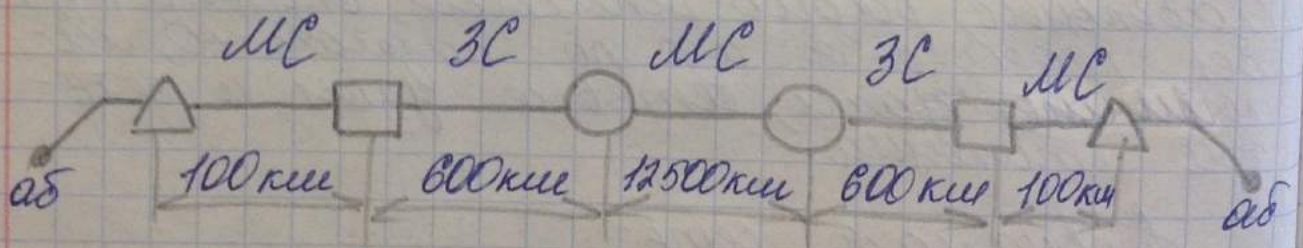
Внутрир. сеть соединяет обл. центр с рай. центрами, городами рай. подчинения

Местная подраз-ся на городскую и сельскую.

Корветная сеть - некоммутируемая.

Коммутация - соединение по команде абонента.

Протяженность перв. сети - 13900 км.



+ 7 XXX XXXXXXXX
код зоны

§2. Основные принципы развития междугород. телегр. связи. Аналог. и цифровые сис-мы передач.

Принципы:

1. Концентрация большого числа телегр. каналов на основе ког. созд-ся гр. типы каналов.

4кГц - на один телегр. аналого-вый канал.

0,3-3,4 МГц - телеформия

ВсМГц - ТВ.

Все виды каналов путем объеди-нения телегр. каналов.

2. Обеспечение требуемой дальности.

Макс. длина линии - 25 тыс. км.

Такую дальность обеспеч-ют как цифровые так и аналоговые системы.

В аналог. с-мах каналы обр-ся путем частот. уплотнения с исп-ем фильтров. А в цифр. с-мах кана-лы обр-ся по временному призна-ку.

ВсМГц - цифровой канал

4кГц - аналоговый канал

1Гц - одно колебание в секунду

Аналоговая с-ма обозн-ся "К"

Цифр-ые с-мы: СТМ1 - ск-ть передачи
155 Мбит/с
СТМ2 - 622 МБ/с
СТМ4 - 10 ГБ/с
СТМ5 - 40 Гбит/с

§3. Направляющие с-мы передачи (НСП) Классиф-я НСП.

НСП - устр-во непрерыв. конструкции,
позволяющее передавать электро-
мagn. энергию в зад. направ-ии.

Такие св-и обладает любая гра-
ница раздела ме-диэлектрик

$n_1 \neq n_2$ - коэф-т преломления.

Роль НСП могут вып-ть, как ме с-мы,
так и диэлектрик-е с-мы.

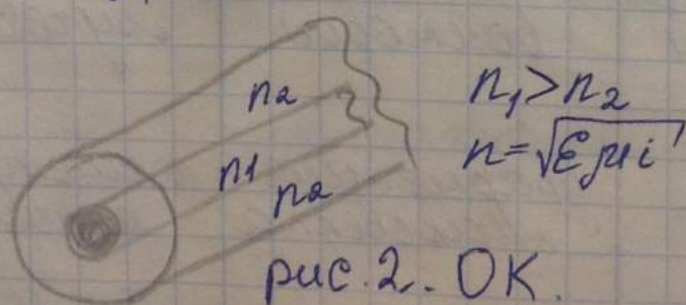
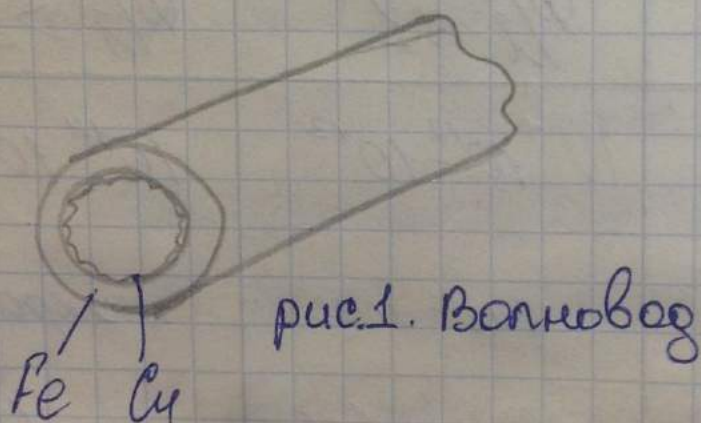
Современные направл-ие с-мы передачи
подразделяются на:

1. Воздушные линии связи (ВЛС)
2. Симметричные кабели (СК)
3. Коаксиальные кабели (КК)
4. Сверхпроводящие кабели (СПК)
5. Волокновод (В)

6. Оптический кабель (ОК)
7. Линия поверхностной волны (ЛПВ)
8. Диэлектрик-й волновод (РВ)
9. Коаксиальная линия (ПЛ)
10. Ленточный кабель (ЛП)
11. Радиочастотный кабель (РК)

Симметричная цепь сост из двух одинак. проводников с одинак. механич и электр. пар-ми.

КК - несимметрич. цепь.



Сверхпроводимость - -263°C .

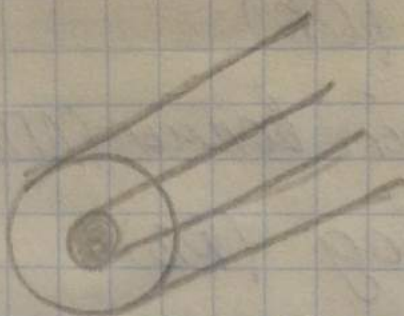


рис. 3. ППВ



рис. 4. ПЛ

РК, РВ, 1 принимаются в качестве
сигналов для передачи на короткие рас-
стояния.

Рассмотрим три зоны НС в зав-ти
от соотношения D/λ

соотнош. параметр	$D/\lambda \ll 1$	$D/\lambda \approx 1$	$D/\lambda > 1$
f	$10^3 - 10^8$	$10^9 - 10^{12}$ $10^{12} - 10^{13}$	$10^{14} - 10^{15}$
λ	км - м	см - мм	микроны
Процесс	колебат-й	волновой	лучевой
Теория	теория цепей	уравнения Максвелла	геометрич. оптика
Тип волны	Т	Волны высшего порядка (ЕиН)	ЕиН
Напрв. е-лов	Возд. СК и др. (коакс.)	Волновод КК	Оптическ. кабель

проб

Воздушные линии связи

Возд. линии связи сост-т из ме проводов, кот. подвешены на опорах при помощи изоляторов и спец. арматуры.

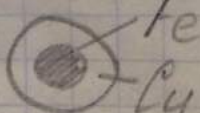
Преимущества: дешевизна и простота эксплуатации.

Недостаток: раскрывает объект.

ВЛС бывает трех классов: первую, вторую и третью.

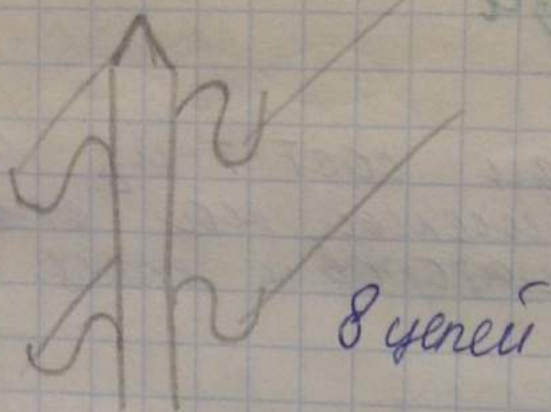
Опоры бывают:

1. Облегченные - 60 м
2. Нормальные - 50 м
3. Усиленные - 40 м
4. Особоусиленные

 Fe - биметаллический провод.

3 класса линии - 1,8 - 1 диаметр провода; 2,5 - 2 класса; 4 - 1 класса

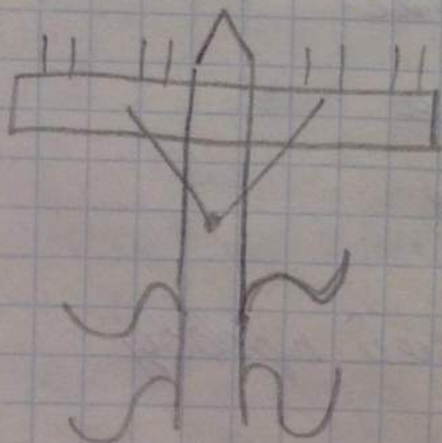
Хребтовой профиль



Траверсный профиль



Смешанный профиль



Изоляторы:

1. Телескопическо-фарфоровые (изоляция = 5 тыс. МВ·см)
2. Стеклоэмалевые (изоляция = 5 тыс. МВ·см)

Оперы:

1. Срошечные
2. Ушковые 
3. Кабельные
4. Измерительные
5. Счетные и т.д.

ВЛ укладываются максимально до 500 кВ.

Симметричные кабели.

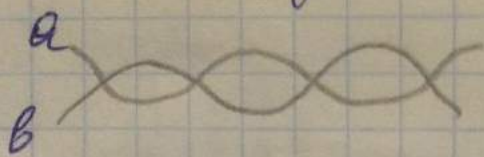
По назначению подразделяются:

- городские
- междугородные
- сельской связи

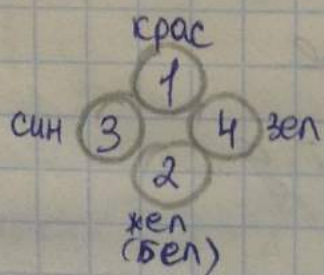
Осн. эл-т-цепь, состоящая из двух изолированных проводников, к-е скручиваются между собой. Скрутка имеет кожух с жар-ки сердечника кабеля и усиливает взаимное влияние между цепями.

Два типа скрутки: парная и звездная.

Ларная - два проводника



Звездная - четыре проводника



Проводники: медные 0,32; 0,5; 0,6; 0,7 - городские; 0,9; 1,1 - сельские; 1,2 - междугородные кабели (диаметр).

ρ - удельная проводимость

$$\rho_{\text{Cu}} = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$\sigma_{\text{Cu}} = 57 \frac{\text{м} \cdot \text{Ом}}{\text{мм}^2} - \text{удельное сопротивление.}$$

Диэлектрик - кабельная бумага, по-
лиэтилен, этиролекс.

ϵ - диэл. проицу-ть; $\epsilon = 1$

$R_{\text{из}}$ - сопр-е изоляции; $\text{tg } \delta = 0$

$\text{tg } \delta$ - тангенс угла потерь; $U_{\text{пр}} = \infty$

$U_{\text{пр}}$ - пробивное напр-е; $R_{\text{из}} = \infty$

В кабелях связь комбинированная
изоляция: воздух + тв-диэлектрик.

Маркировка между город. кабелями:

МК Х ^{тип оболочки} Х Б
изоляция броня

МКС - стирролекс. из-я

МКП - полистир. из-я

МКПП - перисто-полистир. из-я.

МКСТ - об-ка свинцовая

МКГ - кордильно-бум. изоляция
в свинц. оболочке

МКСА - алум. оболочка.

МКСАК - бронирование круглыми
(под водой) проволоками.

Основное назначение оболочки
чтобы защитить сердечник от влаги.
и от внешних ~~и~~ электромаг-х
влияний.

МКСАБ: 4x4x1,2

Центр. кордель: чтобы уменьшить
влияние между цепями.



жестко-бумажная
нить определенного
цвета.

Коаксиальные кабели (КК)

КК - одна из осн. направ-х сред.

Радиочастотное - КК

КК - миллиметровый кабель

Круглая медная жила - внут. проводник

Плая медная трубка - внеш. проводник

Осн. элемент КК - коаксиальная пара.

В КК два типа коак. пар:

1) стандартизованная
 $d \times D = 2,5 \times 9,5$ $R = 75 \text{ Ом}$
внутр. D внутр. D
проб. проб.

2) малобаритные $d \times D = 1,2 \times 4,6$

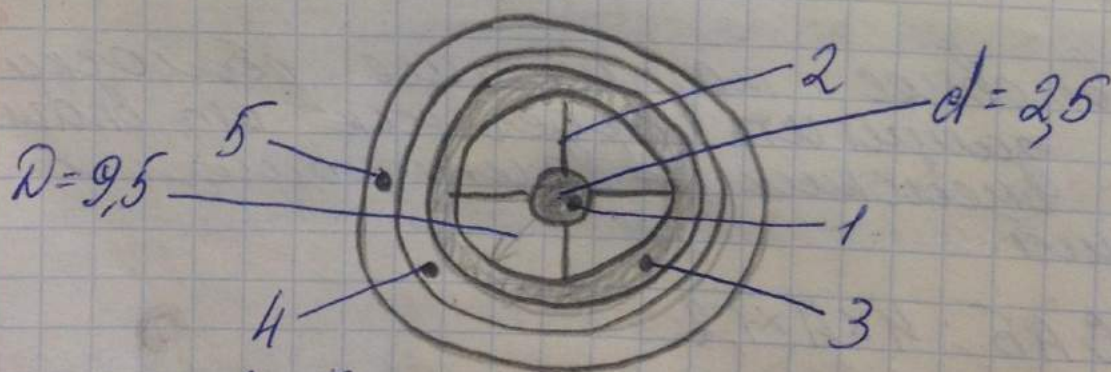
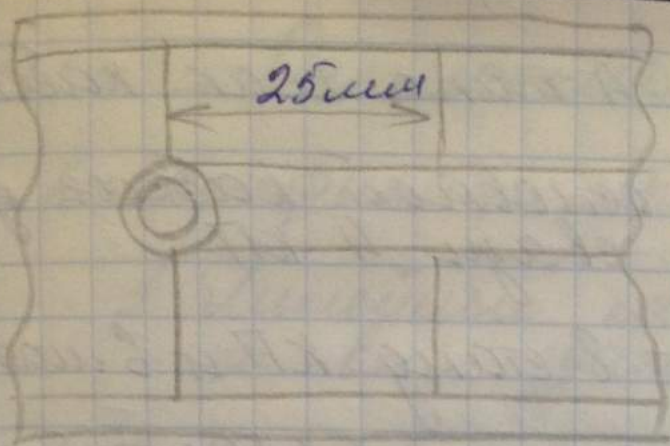


рис. 1. Конструкция станд-й коак. пары

- 1 - внутренний медный проводник
- 2 - изоляционная прокладка (полиэтилен-я (или))
- 3 - внешний проводник (плая трубка)
- 4 - экран из двух стальных листов (защита от помех КТ на низких частотах, с уменьшением частоты помехи возрастают)
- 5 - два слоя оплыва К-12 или К-17.



25мм

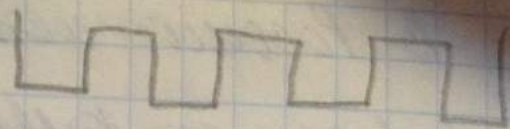


рис. 3 Шов типа
"молния"

рис. 2. Шайбовая изоляция
(поместительная)

У манометра-и КП трубчатая изоляция

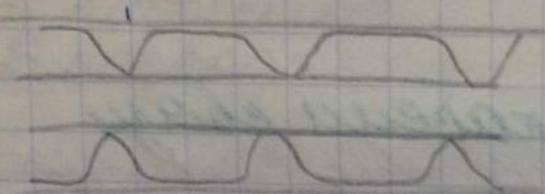


рис. 4. Трубчатая изоляция

Манометр-е КП- для соедин. шнуров.

Преимущества коакс. цепи:

1. Закрытая система

По одной коак. паре - передача, по
другой КП - прием. Подкабельная
связь

2. Обеспечивается большой диапа-
зон частот

3. Позволяет исп-ть однокабельную
связь.

4. Обеспечивает экономичность

В России исп-ся 4 типа коак. кабелей:

1 тип - КМБ-4 - основной кабель для междугор. связи 4 КЛ

2 тип - КМБ-8/6 - 8 станд. КЛ и 6 малом. КЛ

3 тип - МКТП-4 - 4 малом. КЛ с трубчатой изоляцией

8 4 тип - ВКАП-1 - малом. коакс. кабель (исп-ся для подвески).

Расут - х/б пряжа, пропитанная битумом.

Подводные кабели связи

Кабели на коак., но имеют отличия.

Всн. требования:

- 1) легкость конструкции
- 2) большая прочность
- 3) защита от изгибов и давления воды

10 метров - давление 1 атм. со дна

Внешний - ленточный

Внутренний - многожильный

КПК - подводный кабель. Передача одной кабельной. Длина от 20 до 500 км.

В наст. время подводные кабели - это оптоволокно.

Осн.
 $n_1 \neq$
 $n_1 > 1$

1 - с
2 - о
3 - з

Оптические кабели

Классификация по назначению:

1. Линейные кабели - для прокладки вне зданий (наружной)
2. Интерсоединительные - для прокладки внутри зданий.

Линейные кабели предназначены создавать сети во всех средах: на суше, в воде, в воздухе. Поэтому их можно классифицировать:

- 1) подземные
- 2) подводные
- 3) воздушные

Интерсоединительные можно классифицировать:

- 1) стационарные (монتاжные)
- 2) распределительные

Конструкция оптических кабелей.

Осн. эл-т - оптическое волокно (световод)

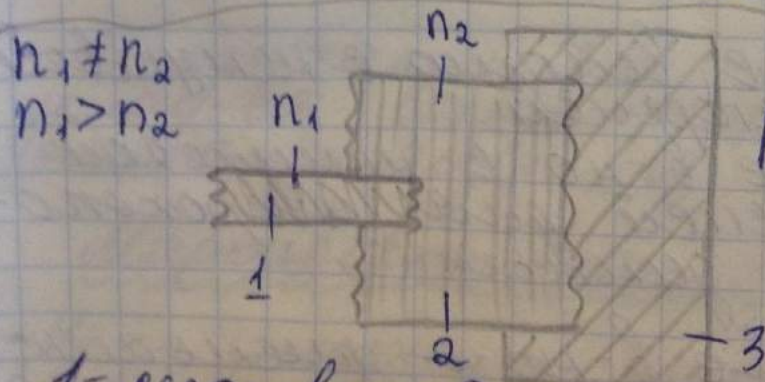


рис. 1. Конструкция световода

- 1 - сердцевина
 - 2 - оболочка
 - 3 - защитное покрытие
- из кварца (стекло)

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

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

$$n_1 = \sqrt{\epsilon_1}$$

$$n_2 = \sqrt{\epsilon_2}$$

делают
примеси,
 n_1 и n_2
отличаются
в 6-м
значе

Сердцевина - по ней распр-ся энергия.

Оболочка защищает распр-е энергии, за счет отражения от оболочки.

Защитное покрытие - предохранение световода от мех. повреждений, а также же для маневренной расцветки. Защ. покрытие - двухслойное: 1 слой - кремнийорганический компаунд (смесь) - ССЭП; 2 слой - метакрилат, полистирол, лат. Толщина покрытия - 60 мкм. Общий диаметр волокна - 245 мкм. Сердцевина - 90 мкм; оболочка - 50 мкм.

В наст. время исп-ся след-е волокна:

1. G651 - многомодовое 50/125 мкм опт. волокно с град. профилем показателя преломления
2. G652 - станд. одномод-е волокно
3. G653 - одномод-е волокно с нулевой дисперсией
4. G654 - одномод-е волокно со смещенной дисперсией
5. G655 - одномод-е волокно с ненулевой дисперсией
6. G656 - одномод-е в-но с ненулевой дисперсией для широкополосной передачи данных
7. G657 - одномод-е в-но с уменьшенными потерями на изгибах для прокладки вне помещений

Волоконно-оптич-е линии пере-
дачи - ВОЛП

В ВОЛП ск-ть не превышает 94 Гб/с
аппаратура STM-16; раст. между
ретрансляторами - 100 км; исп-ся
волокно G102.

С началом исп-я оптических ус-
ищений раст-е между ретрансляторами
уже не ограничивается потерями в
волокне. В наземных раст-е - 100 км.
В подземных до 10 тыс. км. Скорость пере-
дачи ув-ся до 10 Гб/с - STM-64 и до 40 Гб/с
- STM-256. Ограничение - зр-е свет дис-
персии оп-го волокна. С внедрением
опт. ус-пей в ВОЛП, стало целесообра-
тельно экономические передачи ем-ти
по одному волокну на многих дил-
лах конт-а, т.е. спектральное уплотне-
ние. Предельная пропускная способ-
ность одного волокна, при технологиях
WDM, DWDM, CWDM (зависит от длин волн)
100 Тбит/с.

Дальше оп-е волокно образуют в мо-
дули. Оптический модуль - трубчатый,
бенгочный, профилированный

В трубчатых OM - волокна свободно
уклад-ся вокруг центрального емисового
эле-та. В модуле от 1-до 50 волокон.

Маркировка оптич-х кабелей.

Нет универс-х маркировки.
Указ-ся осн. пар-ры оптич. кабеля:
назначение и обл-ть применения;
Конструкция сердечника, материал на-

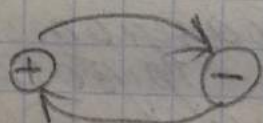
ручной и прошежут. оболочек, тип
фронт; число опт. модулей и опт. воло-
кон; величина коэф-та затухания;
величина дисперсии и растягиваю-
щее допустимое уширение

ОКЛК 04102)-8-96-10/125-0,36/0,22-2700

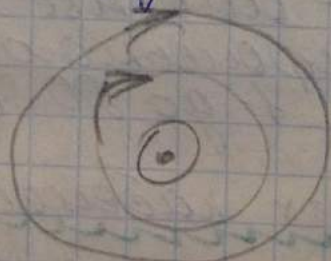
Электродинамика направленных систем.

Э. маг. поле - отражает все св-ва
материи; суперпозиция
двух полей: электр. и
магнитного.

Два основных поля в поле:
потенциальное и (магнитное) вихревое.
(электрическое)
Потенц. - $от + к -$ (электрическое)



Вихревое - круговое (магнитное)



ϵ - диэлектрическая прониц-ть
 μ - маг. проницаемость
 σ - электр. проводимость

Любую среду можно характери-
зовать ϵ, μ, σ .

$$\epsilon_a = \epsilon_0 \epsilon_r \quad \epsilon_0 = \frac{10^{-9}}{36\pi} \text{ Ф/м}$$

$$\mu_a = \mu_0 \mu_r \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 377 \text{ Ом} - \text{волновое сопр-е.}$$

Скалярная величина - обозначает
только величину, а векторная - задает
еще направление.

Эл. маг. - векторная величина

Среды:

- изотропная - одинак. пар-ры
среды во всех напр-ях.

- анизотропная - разн. пар-ры
среды зависят от направлений.

Рассмотрим гармонические
колебания.

Запишем уравнения Макс-
велла в дифференциальной
форме.

$$\text{rot } \dot{H} = \sigma \dot{E} - j\omega \epsilon_0 \dot{E}$$

$$\text{rot } \dot{E} = -j\omega \mu_0 \dot{H}$$

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

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

Ротор - это векторный дифференциальный оператор или векторный потенциал (хар-е) в некотором смысле и вращательную составляющую поля в сфер. точках

ρ - плотность электр. заряда

Див-я показывает характер изменения поля в любой точке. Это есть величина потока, отнесенная к единице объема.

$\sigma \dot{E}$ - хар-ет токи проводимости ($I_{пр}$)

$j\omega$ - хар-ет токи смещения ($I_{см}$).

В металлах. средах $I_{пр} \gg I_{см}$

В диэлектриках $I_{см} \gg I_{пр}$

1 ур-е: всякому изменению эл. поля соотв-ет изменение маг. поля

(эл. ток и изменение эл. индукции порождают маг. поле)
2 ур-е: всякому изменению маг. поля соотв-ет изменение эл. поля

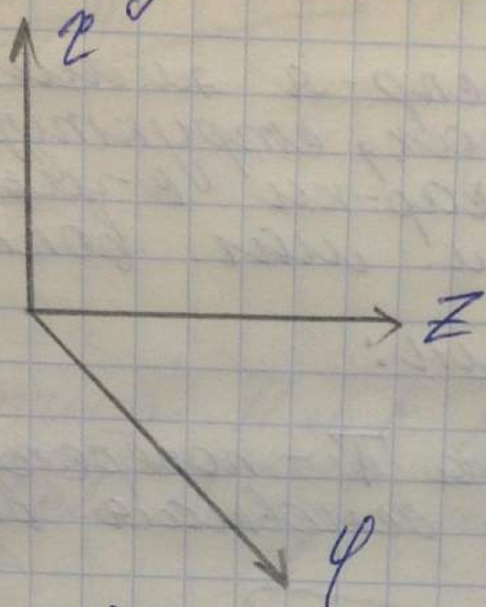
3 ур-е: эл. заряд эв-ся источником эл. поля
триг. индукции

4 ур-е: маг. поле непрерывное (не существует магнитных зарядов)

Div определяет "насколько расходятся" векторы E и H из данной точки поля.

изменение маг. индукции порождает изменение эл. поля.

Рассматривается цилиндрическая система координат:



У-я Максвелла для металлов:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

$$\text{rot } \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

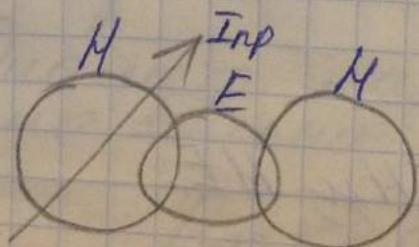
$$\text{div } \vec{D} = \rho$$

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

Процессы в металле: ВЛС, СК, КК

Процессы в диэлектриках: ДВ; ОК.

Токи проводимости и токи смещения яв-ся возмущениями маг. поля H . А изменение H , вызывает появление электр. поля.



Типы и классификация электромагнитных волн.

Характер распр-я э.маг. волны в направ-щих с-мах, структура поля и частотные хар-ки с-мы зависят от класса э.маг. волны.

Классы волн:

- 1) Волна типа Т - поперечная э.маг. волна или основная волна



$$E \perp H$$

$$E_z = 0; H_z = 0.$$

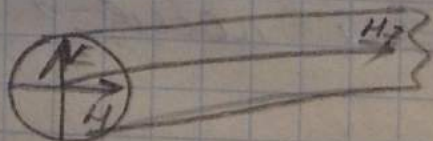
Волна потенциальная; обязательно должны быть два проводника, ток-электроны.

В симметрич. шнуров, воздушных линиях, коаксиальных кабелях.

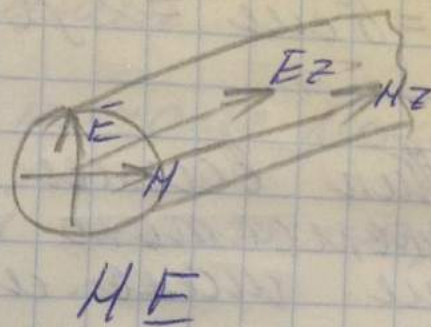
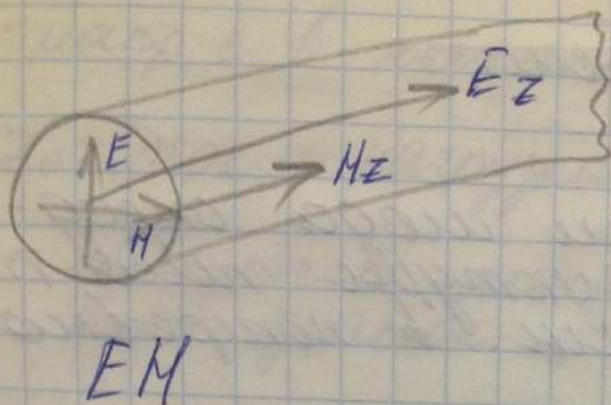
- 2) Волна типа Е - продольная электрич. волна $E_z \neq 0; H_z = 0$



- 3) Волна типа Н - продольная магнитная волна.



- 4) Гибридные волны: ЕН и НЕ.

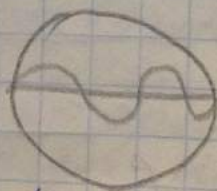
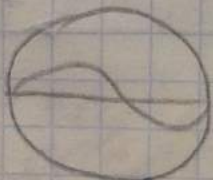


Волны типа H и E распр-ся в волноводе, а гибридные волны - в оптической кабеле и диэлектрическом волноводе.

Процесс передачи основной волны T связан с потенциальными полями

Процесс передачи волн типа E, H, EH и HE связан с вихревыми полями, поэтому действительно однопроводной системы.

Для эффект. передачи волн высших порядков необходимо, чтобы по сечению напр. e -м.ы укладывалось целое число поперек.



2 поперек и поперек

Диаметр напр.-цей e -м.ы значительно больше диаметра волновода

$$D_{\text{нв}} \gg \lambda.$$

$$D = 5 \text{ см} \Rightarrow \lambda < 5 \text{ см.}$$

Тип волны или мода сред-ся
емкостного структуры поля, т.е. че-
или макс. и мин. в поперечном
сечении

Мода хар-ся m и n

m - число изгибов поля по диа-
метру

n - число изгиб-й поля по периметру

E_{nm} и H_{nm} .

Уравнение однородной
длиной линии. Квази-
стационарный режим. Частота
до 10^8 Гц.



U_0 - напр-е в начале линии

I_0, Z_0 - ток и нагрузка в начале линии

dZ - бесконечно-малый элементарный участок цепи

Z_b - волновое сопр-е участка цепи

R - акт. сопр-е цепи

C - емкость цепи

G - проводимость ^{изоляции} цепи

L - индуктивность цепи

R, C, L, G - первич. пар-ры цепи

R, L - хар-ют процессы в металле.

C, G - хар-ют процессы в диэлектрике.

R - хар-ют потери на вихревые токи в металле (тепловые потери)

G - хар-ют потери в диэлектрике, кот. расходятся на поляризацию диэля.

Введем эту модель дюр. ур-ни.

$$\begin{aligned} U_0 &= U_e \cdot e^{\gamma l} \\ I_0 &= I_e \cdot e^{\gamma l} \end{aligned}$$

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

$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}$ - коэф-т распространения

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

Рассмотрим физ. сущность коэф-циента распространения и др. параметров.

С 2000 м. называются длинные линии.

В длинных линиях из ур-й Максвелла исключается.

γ, Z_B, β, ν - вторичные параметры цепи.

$$\gamma = \alpha + j\beta$$

α - коэф-т затухания цепи

β - коэф-т фазы цепи

α и β хар-ют соотв. изменение затухания и изменение фазы тока, напряжения и мощности на участке кабельной цепи длиной в 1 км.

α измеряется в [ДБ] или "по-старому" в неперях

$$1 \text{ Непер} = 8,69 \text{ ДБ.}$$

$$1 \text{ ДБ} = 0,115 \text{ Непер.}$$

Если $f=0$, то $\alpha = \sqrt{RG}$, $\beta = 0$.

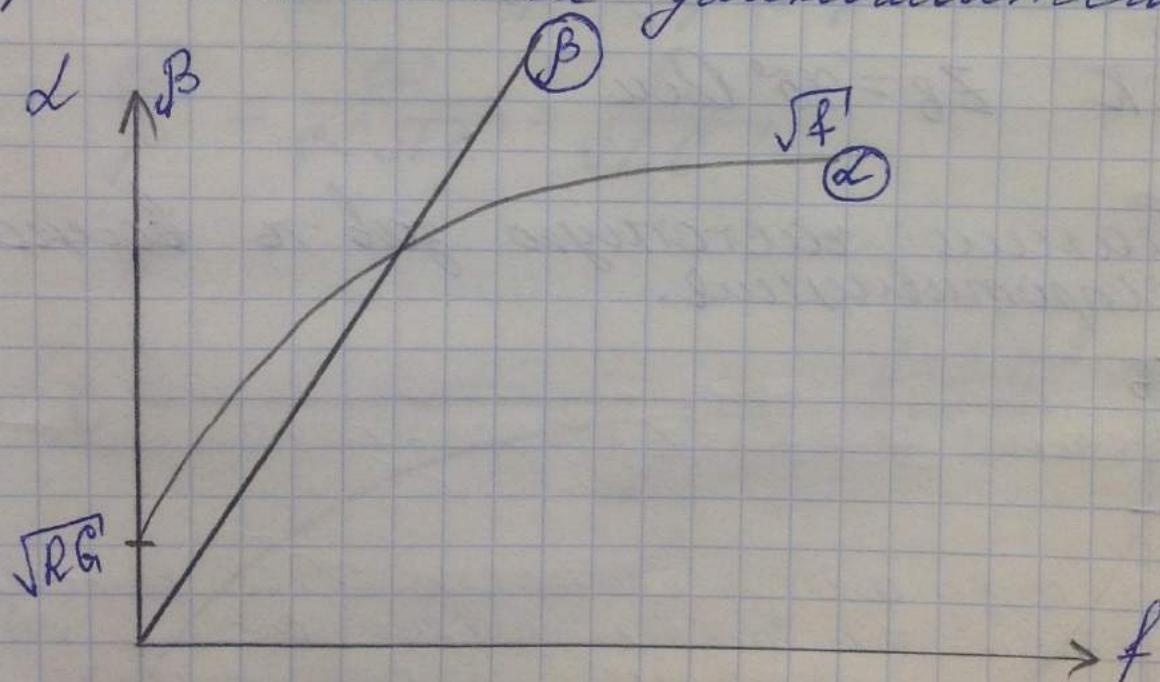
Если $f > 10 \text{ кГц}$, то выражение для α раскладывается в степенной ряд, тогда:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C'}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \left(\frac{\text{М}}{\text{км}} \right) \begin{matrix} \alpha_{\text{металла}} \\ \alpha_{\text{диэлектрика}} \end{matrix}$$

$$\beta = \omega \sqrt{LC'} \quad (\text{рад/км})$$

$$\alpha_m \gg \alpha_d$$

Погрешность этих выражений не больше 5%, тем выше частота, тем погрешность больше уменьшается.



Волновое сопротивление

$$Z_v = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_v| \cdot e^{j\varphi}$$

Если линия однородная:

$$Z_v = \frac{U_0}{I_0} = \frac{U_r}{I_r} = Z_{vx}$$

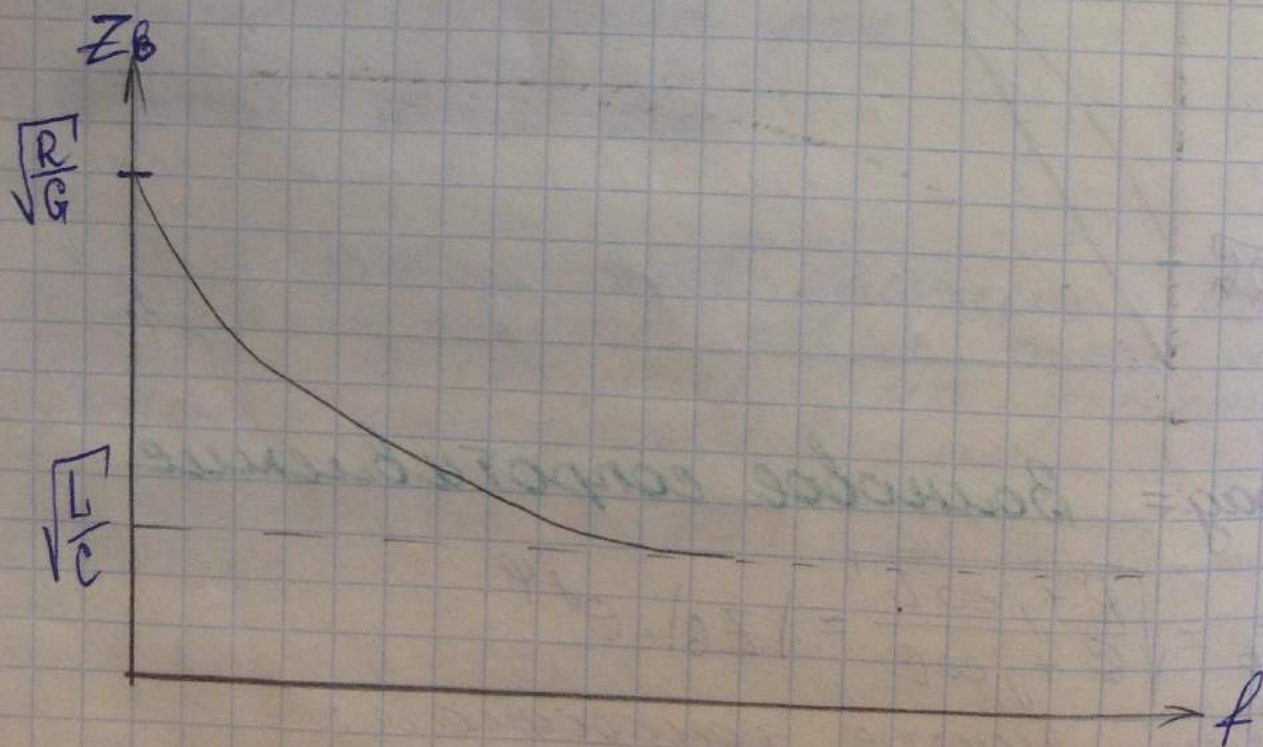
В реальных линиях $Z_B \neq Z_{BX}$

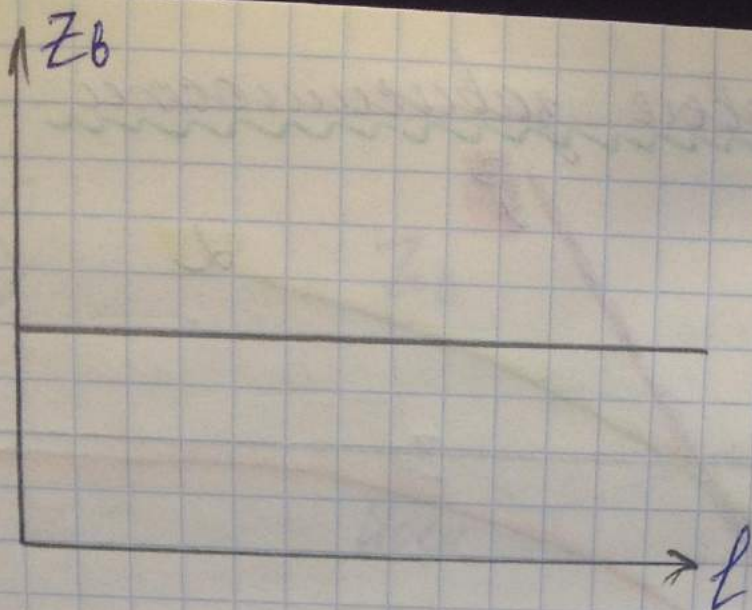
Если $\alpha L > 14 \text{ дБ}$, то отражениями от концов линии можно пренебречь и не учитывать, т.к. эти отражения не будут влиять на с-п в начале и конце линии и тогда: $Z_B = Z_{BX}$.

Номинальные значения Z_B :

- 1) ВЛС Fe $Z_B = 1400 \text{ Ом}$
- 2) ВЛС ст $Z_B = 600 \text{ Ом}$
- 3) Сим. кабель $Z_B = 180 \text{ Ом}$
- 4) КК $Z_B = 75 \text{ Ом}$

Покажем частотную зав-ть волнового сопротивления.

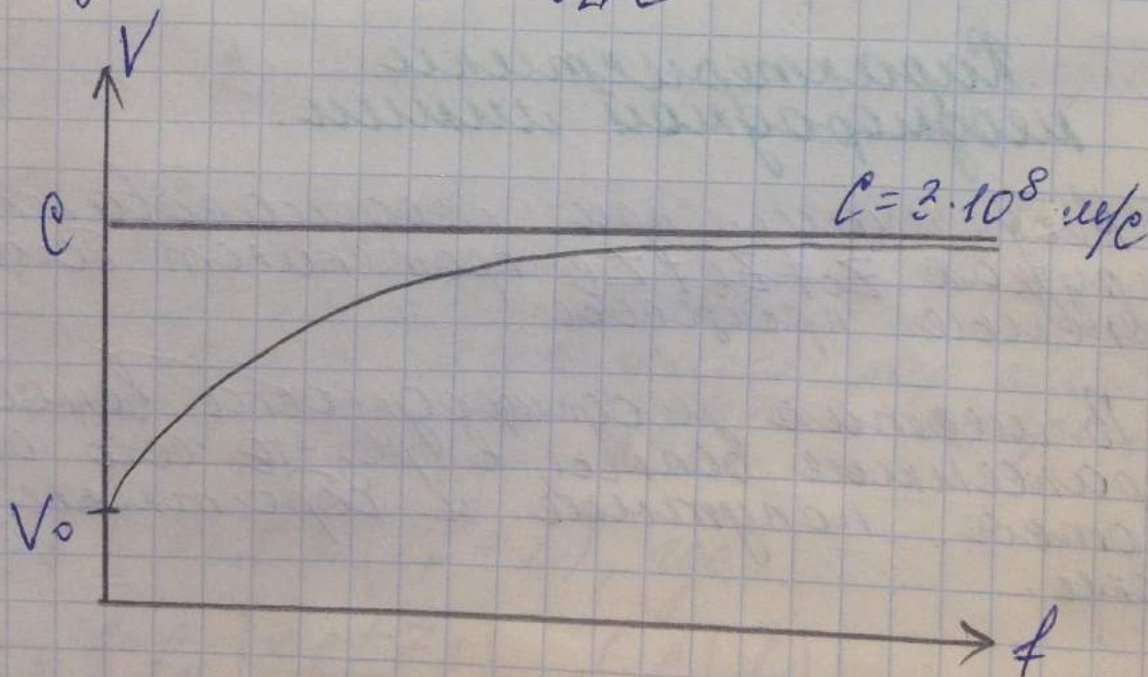




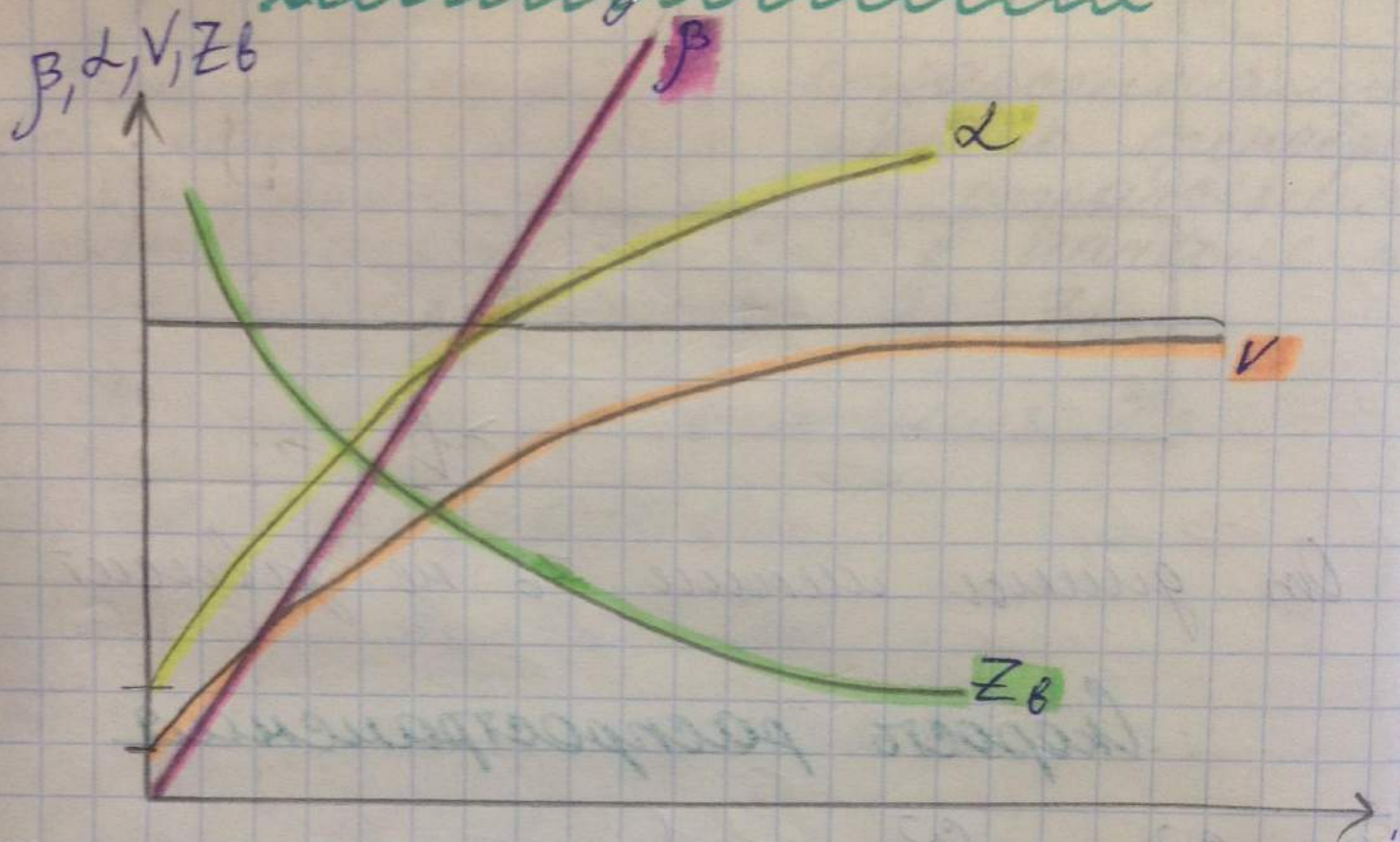
От длины линии Z_0 не зависит

Скорость распространения

$$V = \frac{\omega}{\beta} = \frac{\omega}{\omega \sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



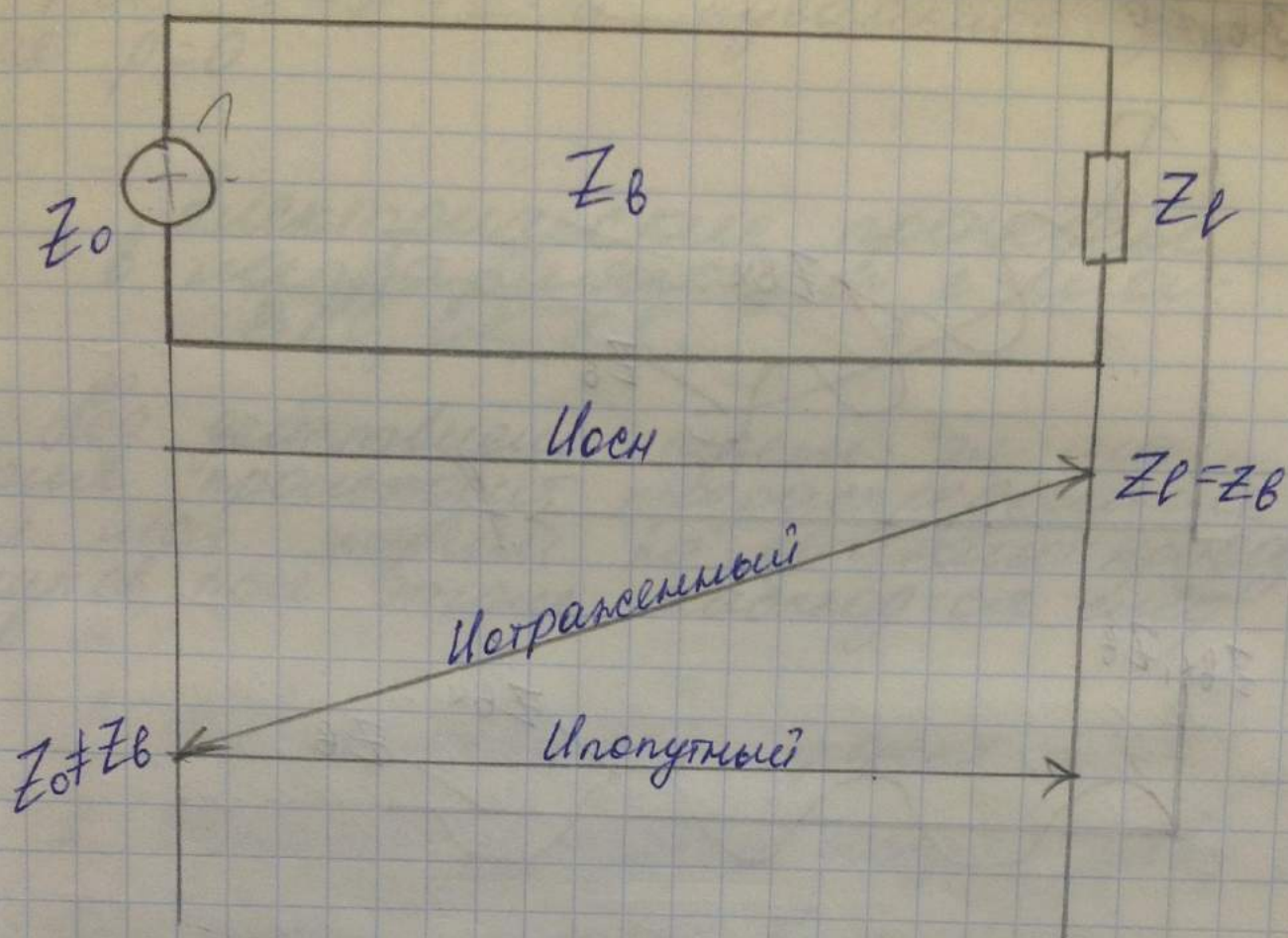
Линейные зависимости



Характеристики неоднородной линии.

Неод. линии при несочетанных нагрузках $Z_0 \neq Z_b \neq Z_e$ протекают более сложные процессы.

В местах неоднородности возникают отраженные волны в результате чего образуются попутные и обратные потоки.



На тлф. схеме непрямо сказано, что отраженный с-п - эхо.

На ТВ схема - попутный сигнал - двойная картинка.

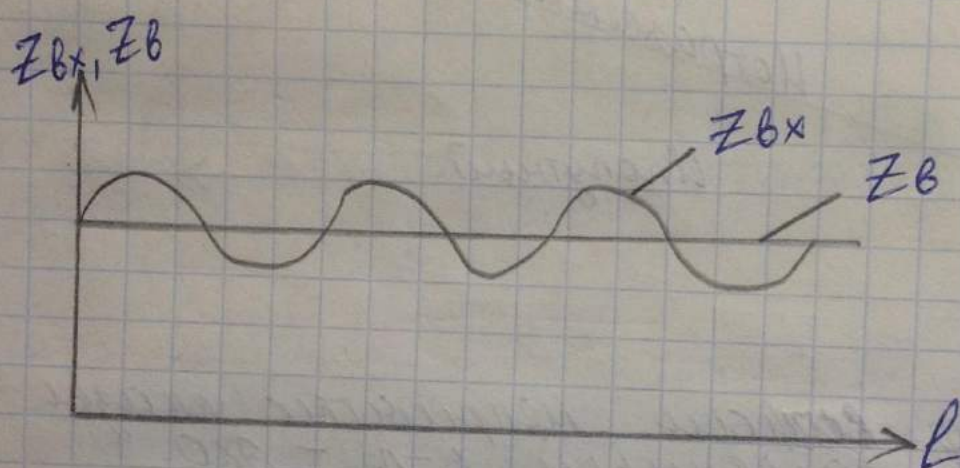
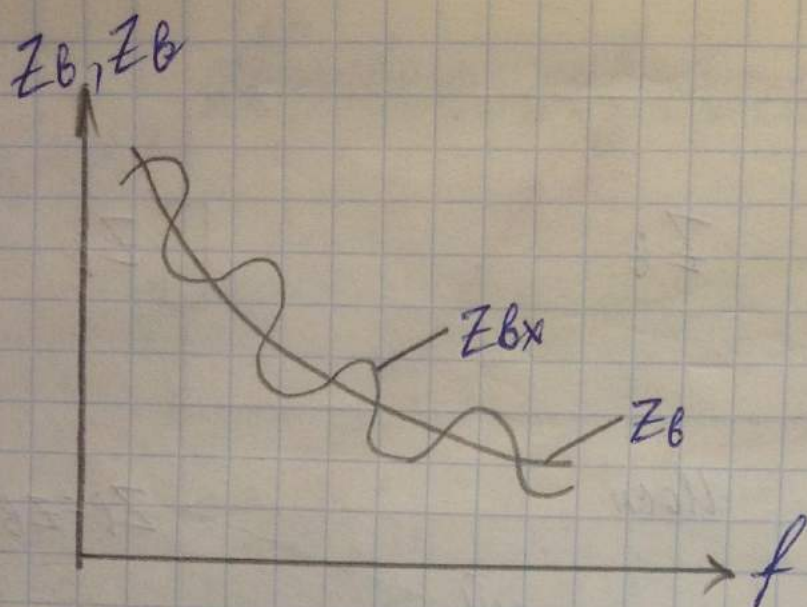
Отр. волны искажают хар-ки кабеля, поэтому приходится оперировать не с Z_B , а с Z_{Bx} .

$$Z_{Bx} = Z_B e^{h(\gamma l + n)}, \text{ где:}$$

$$n = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{Z_L + Z_B}{Z_L - Z_B} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{1}{\rho} \right|$$

ρ - коэффициент отражения

$$\rho = \frac{Z_L - Z_B}{Z_L + Z_B}$$



ρ характеризует коэффициент соотношения энергии поступившей к приемнику и отраженной от него в зависимости от волнового сопротивления линии.

$$\rho = \frac{Z_H - Z_B}{Z_H + Z_B}$$

Рассмотрим 3 случая:

1) К.х.: $Z_H = \infty$; $\rho = 1$

2) К.з.: $Z_H = 0$; $\rho = -1$

3) $Z_H = Z_B$; $\rho = 0$ - случай, к которому стремится.

Т.о. $-1 < \rho < 1$ и идеальное значение $\rho = 0$

Электрические процессы в направляющих е-мах. ВЛС, СК, КК.

Под действием перем. эл. маг. поля происходит перераспределение эл. маг. энергии по сечению проводников, при этом наблюд-ся след. яв-я:

1. Поверхностный эффект
2. Эффект близости соседних провод-в
3. Эффект потерь в металлических соседних проводниках.

В СК - все 3 явления и тогда сопротивление СК:

$$R_{\text{СК}} = R_0 + R_{\text{пэ}} + R_{\text{эб}} + R_{\text{м}}$$

В КК:

$$R_{\text{КК}} = R_0 + R_{\text{пэ}} + R_{\text{эб}}$$

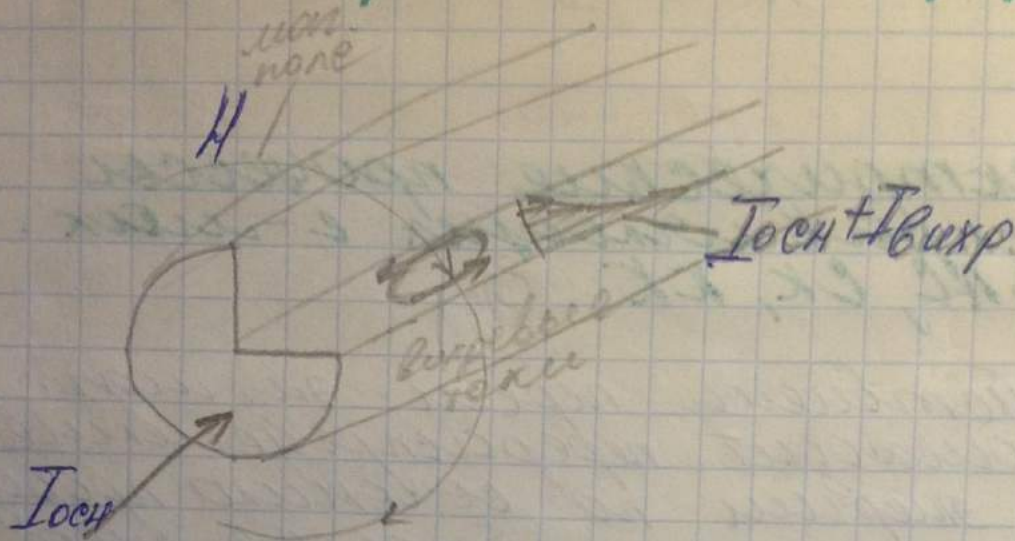
$R_{\text{м}}$ нет, т.к. нет внешнего поля.

В ВЛС:

$$R_{\text{ВЛС}} = R_0 + R_{\text{пэ}}$$

$R_{\text{эб}}$ и $R_{\text{м}}$ нет, т.к. проводники на расстоянии

Поверхностный эффект



Взаимодействие $I_{сн}$ и $I_{вхр}$ дает ток на внешней пов-ти проводника. Ток максимален промкнать по малой глубине:

$\delta = \frac{\sqrt{2}}{k}$; $k = \sqrt{\omega \mu \sigma}$ - коэф-т скин-эффекта
глубина проникновения токов.

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$$

Эффект Биллуста - это то же самое, только если в цепи ток течет в разных направлениях, то ток вытесняется на внутреннюю поверхность в цепи, а если в одном направлении, то - на внешнюю поверхность.

Сопротивление цепи СК: 5.17

$$R_{\text{ч ск}} = 2 R_0 \left[1 + F(kz) + \frac{\rho G(kz) \left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - H(kz) \left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] + R_{\text{ли}} \left[\frac{a_{\text{ли}}}{k_{\text{ли}}} \right]$$

$\mathcal{Z}$ - коэф-т учета скрутки

$$\mathcal{Z} = 1,01 \div 1,02$$

R_0 - сопротивление одного проводника

$$R_0 = \rho \frac{l}{S} \quad (l = 1000 \text{ м}; \rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}}{\text{мм}^2}; S = \frac{\pi d^2}{4})$$

$F(kz)$ - модифицированная ф-я Бесселя (из табл.), где k - коэф-т вихревых токов; z - радиус проводника.

ρ - коэф-т учитывающий тип скрутки (для парной $\rho = 1$; для звездной $\rho = 5$).

d - диаметр проводника

$R_{\text{ли}}$ - сопротивление потерь

$$R_{\text{ли}} = R_{\text{лит}} \sqrt{\frac{f}{200}}, \quad R_{\text{лит}} - \text{таблическое значение}$$

f - частота в кГц.

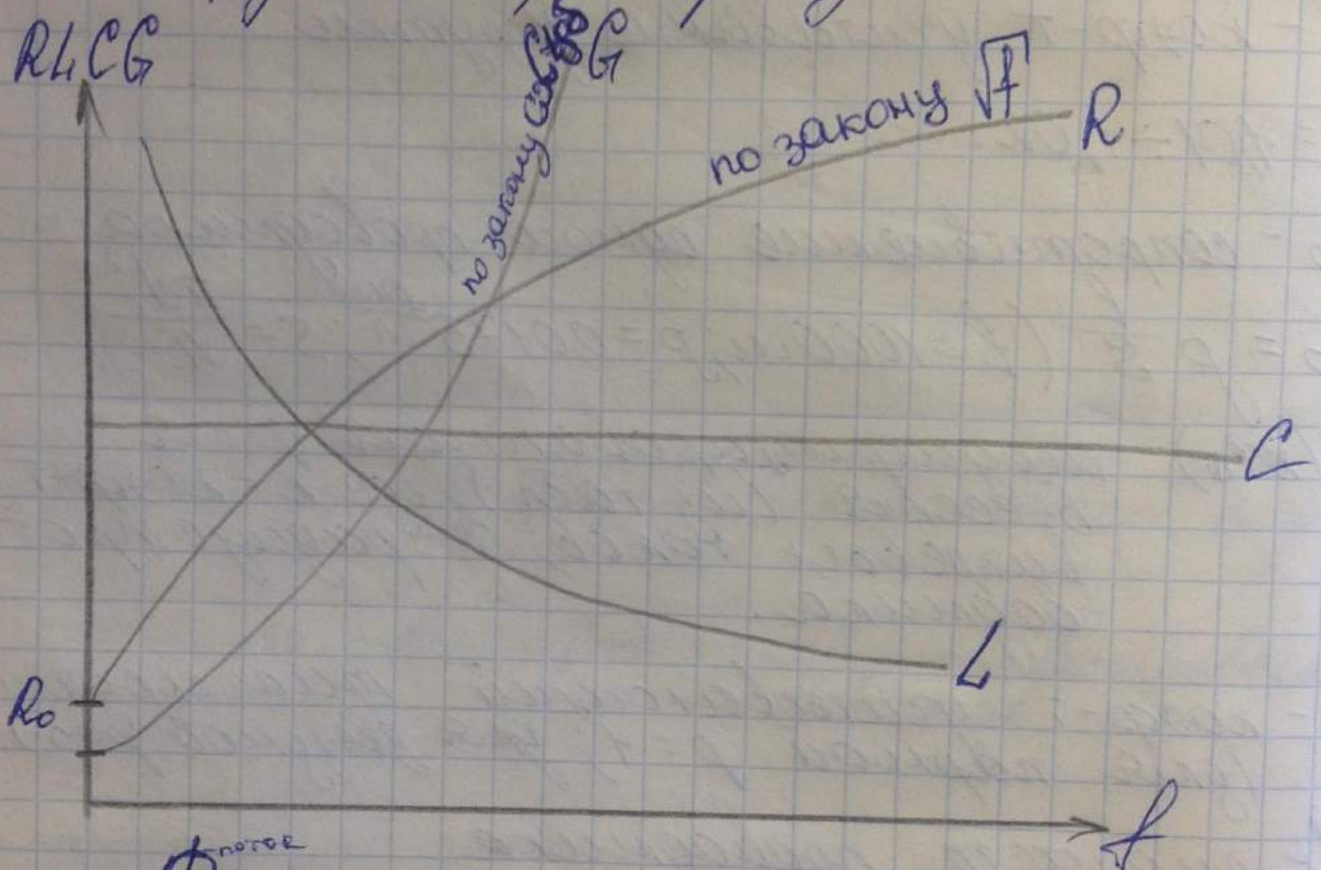
$$L = L_{\text{внеш}} + 2L_{\text{в}} = \left\{ 4 \ln \left[\frac{(a-z)/z}{2} \right] + \mu_0 Q(kz) \right\} \cdot 10^{-4}$$

$$\text{КК: } R = R_a + R_b = \frac{527 \text{ м}}{4 \pi \sigma} \left(\frac{1}{\sigma_a} + \frac{1}{\sigma_b} \right)$$

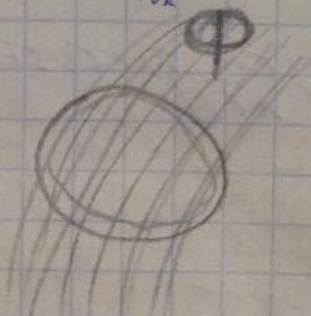
$$L = L_{\text{в}} + L_{\text{в}} + L_{\text{вн}} = \left[\frac{527 \mu\text{а}}{4 \pi k} \left(\frac{1}{\sigma_a} + \frac{1}{\sigma_b} \right) + 2 \ln \frac{\sigma_b}{\sigma_a} 10^{-4} \right]$$

Основные зависимости первичных параметров цепи.

Покажем завис-ть R, C, L и G от частоты, рассчитывая их для проводника, диаметра проводников.



$$L = \frac{\Phi_{\text{поп}}}{I_{\text{ток}}}$$



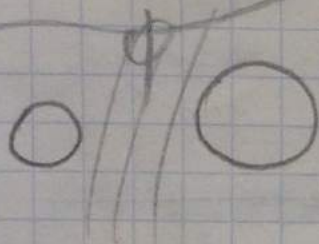
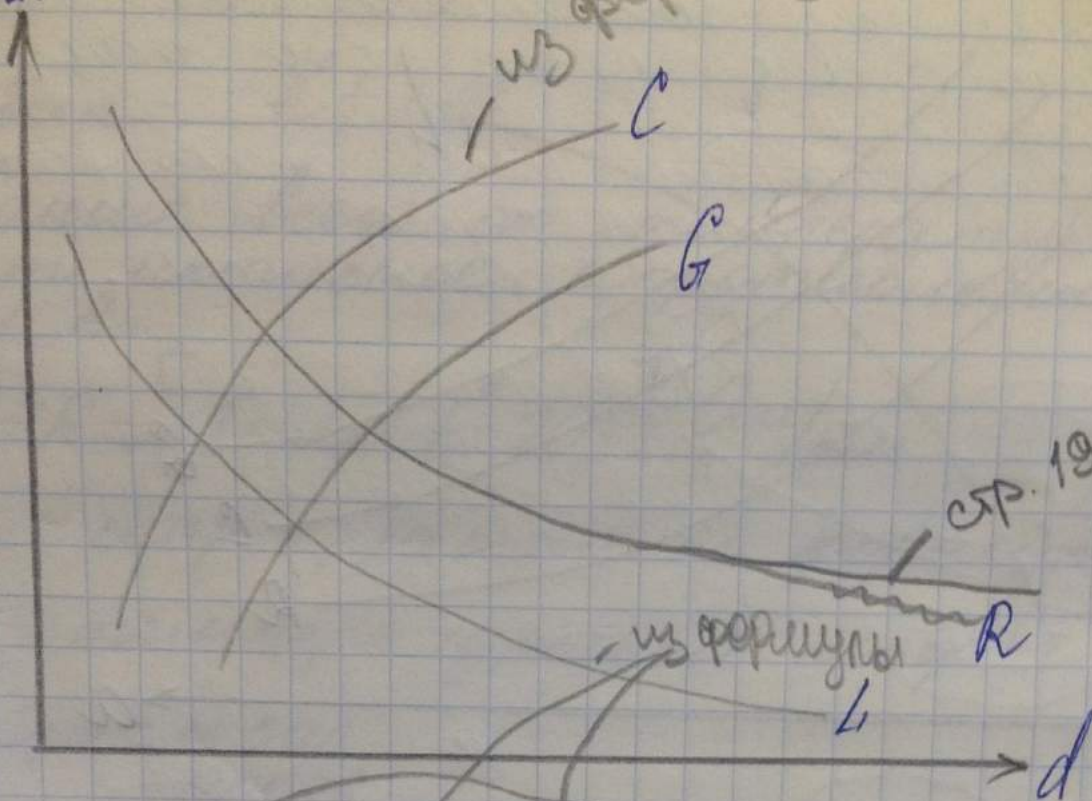
$$f \uparrow \rightarrow S \downarrow \rightarrow \Phi \downarrow \rightarrow L \downarrow$$

L уб. частоты уб-ся по-
вероятнейшей эффект.

Емкость от частоты не
зависит.

$$G = G_0 + G_f$$

RLCG

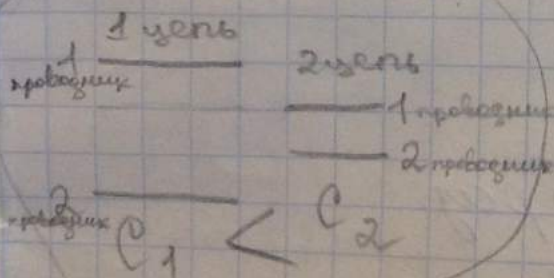


$$L \neq L_{\text{внеш}} + L_{\text{внут.}}$$

Чем дальше проводники
др. от др., тем $L_{\text{внеш}}$
~~меньше~~

$$d \uparrow \rightarrow L_{\text{внеш}} \downarrow \rightarrow L \downarrow$$

$$C = \frac{Q}{U}$$

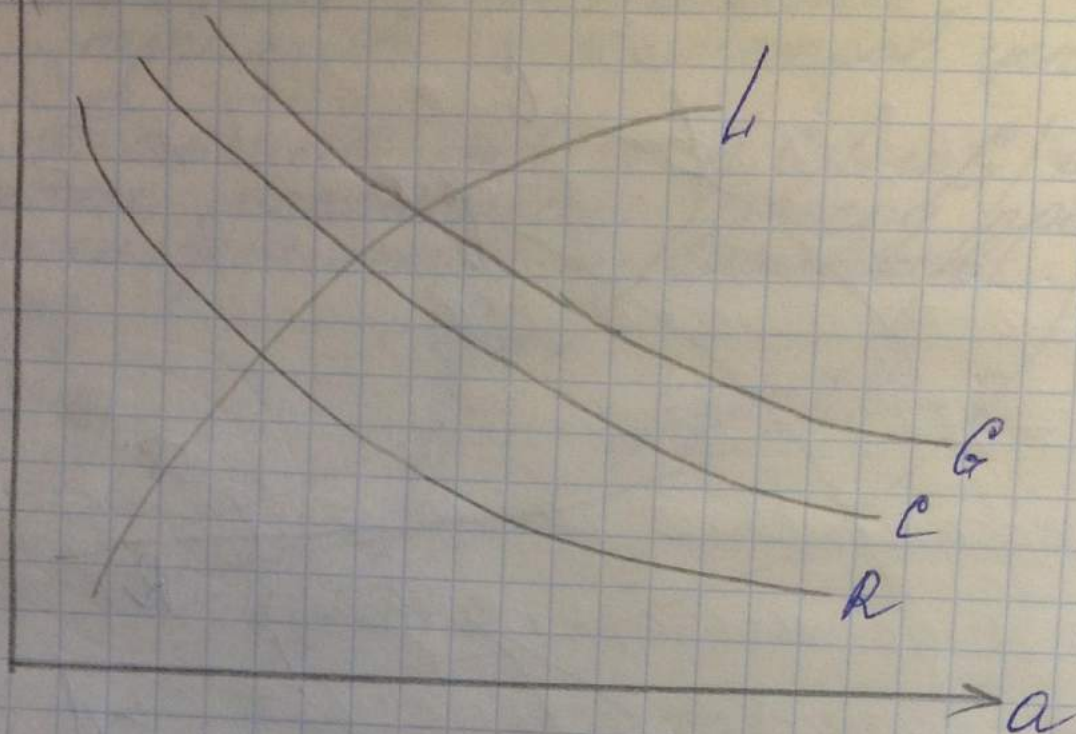


$$C \uparrow$$

Проводимость
изменяется всегда
повторяет
зависимость C .

$R \downarrow$ - обусловлено увеличением по-
терь на эффект близости

ALCG



1-проводник a $\rightarrow$ 2-проводник

$$R = 5 \div 100 \text{ Ом/км}$$

$$L = 0,6 \div 2 \text{ мГн/км}$$

$$C = 6 \div 52 \text{ нФ/км}$$

$$G = 1 \div 200 \text{ См/км}$$

$C_{кабели} > C_{впс}$ в 3-5 раз.

$L_{кабели} < L_{впс}$ в 2-3 раза.

На параметры цепи влияет повышение температуры

$$t_{\text{вн}} = -40^{\circ} \div +50^{\circ}$$

$$t_{\text{кабеля}} = -2^{\circ} \div +16^{\circ}$$

Большее всего от температуры зависит активное сопротивление цепи R.

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

R_{20} - сопр-е, рассчит. по формулам

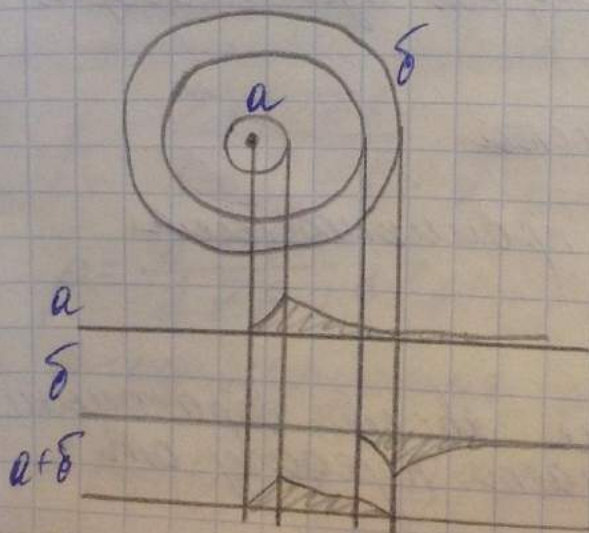
α_R - температурный коэф-т.

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{мед}} &= 0,004 \\ \alpha &= 0,0046 \end{aligned}$$

t - заданная температура.

Особенности передачи энергии по коаксиальному кабелю

Коак. кабели исп-ся для частот ВЧ и СВЧ, состоят из внут. и внеш. проводников, а также результирующее поле.

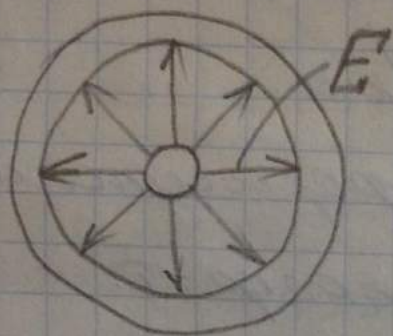


$$M_a^a = \frac{I}{2\pi r}$$

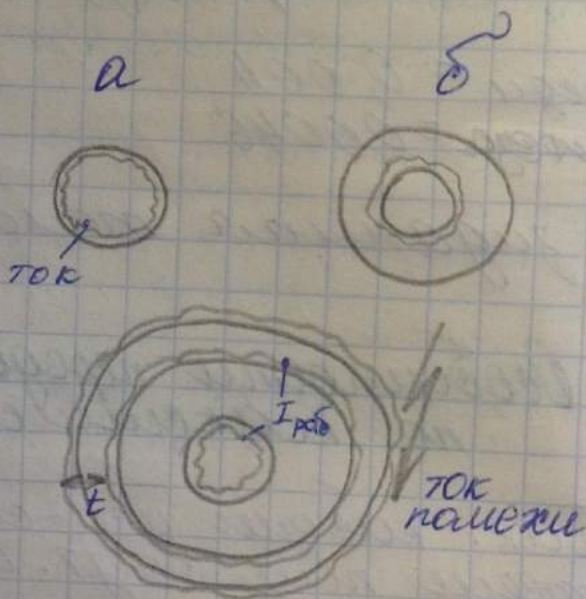
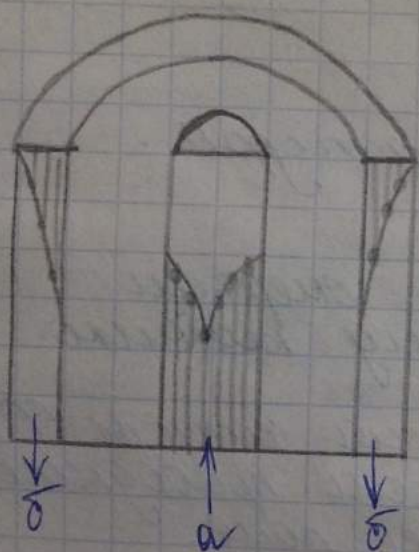
$$M_a^b = -\frac{I}{2\pi r}$$

$$M_a^a + M_a^b = 0$$

Внутри поле сначала возрастает, потом убывает. В полой трубе поле самое. Токи в проводниках а и б одинаковы по величине, но противоположны по знаку. Коак. пара — это закрытая с-ма. Эл. поле замыкается внутри коакс. цепи.



Рассмотрим, как действует поверхностный эффект на проводники коакс. цепи.



П.о. ток концентрируется на вращающейся поверхности.

t — толщина проводника

$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu \sigma}}$ — глубина проникновения

$t > 2\delta$

Проводник как-б цепи яв-ся обратным проводящей цепи и защищает передачу от

внешних помех. И чем дальше отделим
Траб от Тпом, тем лучше защитим кабель,
тем выше частота, тем лучше защита
от помех. На низких частотах, когда ток
распр-ся по всей толщине проводника, защи-
щенность мала, поэтому на частотах
60-100 кГц как-я пара экранируется эк-
раном из двух стальных плоских листов,
что позволяет ув-ть защищенность на
20-40 дБ.

Конструктивные неоднородности коаксиального кабеля

Коаксиальная цепь обладает малыми
затуханиями, поэтому основными недос-
тарками яв-ся наличие в ней конструк-
тивных неоднородностей

Неоднородности бывают: внутренние и
стыковые. Стыковые ^{30%} больше, чем внутренние ^{20%}.
Неоднородность наиболее опасна с точки зрения
ее влияния на волновое сопротивление.

$$Z_B = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \frac{D}{d} [\text{Ом}]$$

Наибольшее влияние имеют внутренний
и внешний диаметр.

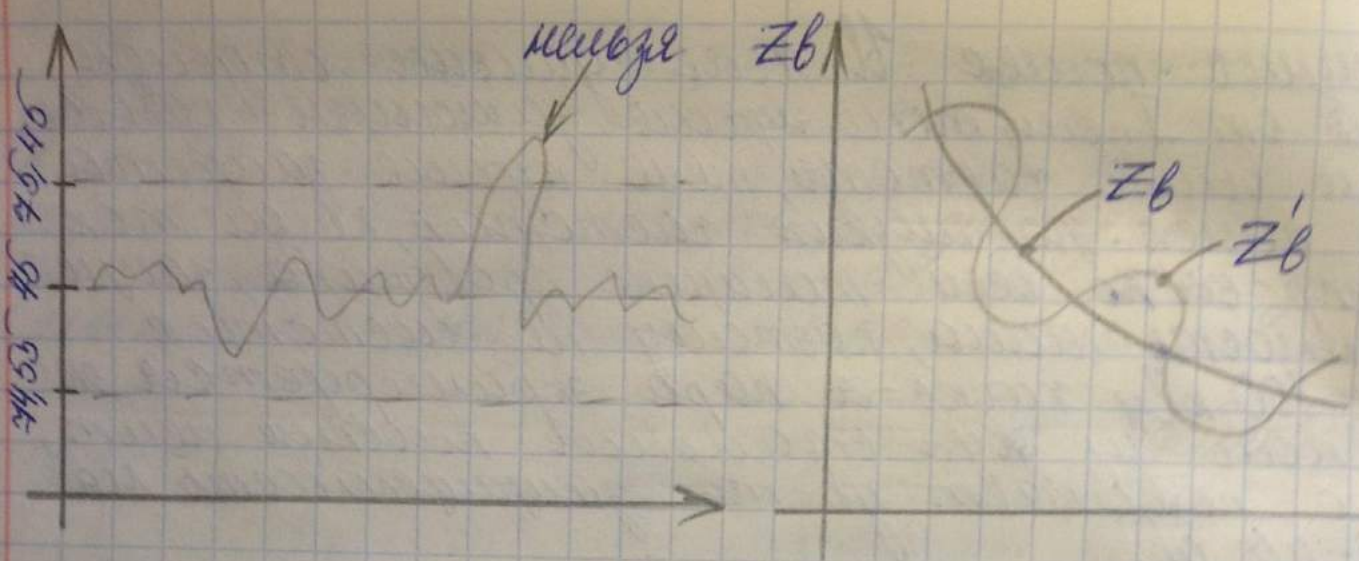
$$\rho = \frac{Z'_B - Z_B}{Z'_B + Z_B}, \text{ где } Z_B \text{ и } Z'_B - \text{сопротивления}$$

соседних неоднородных уч-в.

$$\rho = \frac{\Delta Z_B}{2 Z_B}; \Delta Z_B = 2 \rho Z_B$$

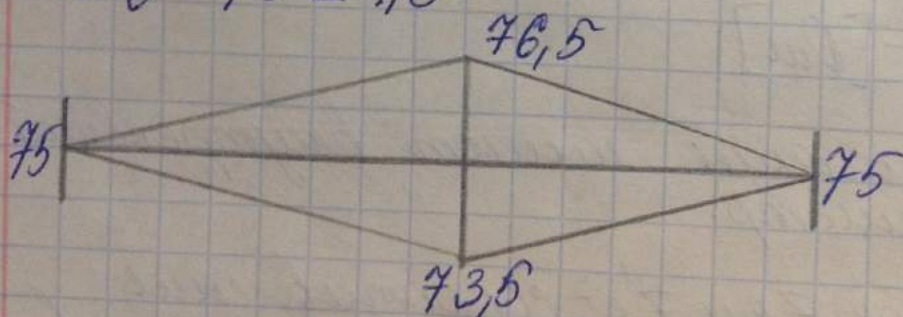
ρ нормируется и равен 0,003 (3%)

$$\Delta Z = 0,003 \cdot 2 \cdot 0,75 = \pm 0,45 \text{ Ом}$$



С целью уменьшения влияния неоднородностей, перед прокладкой строит. линии, производят их группирование. Группирование производят таким образом, чтобы Z_b строились по 2 линиям не отличающиеся больше чем на 0,3 м. При этом строит. линии располагаются так, чтобы величина Z_b постепенно уменьшалась от максимального в начале участка до максимального уменьшения в середине участка и снова достигалось максимальное значение в конце участка.

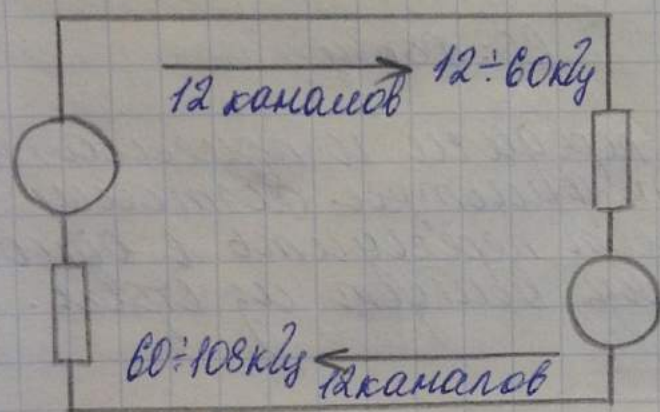
$$Z_b = 75 \pm 1,5$$



Принципы организации связи
по воздушным линиям связи
и кабельным линиям связи.

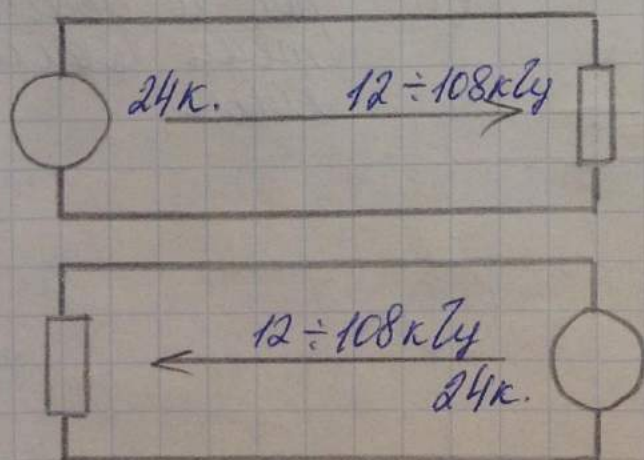
На междугородней линии связи связь по
кабельным линиям может организовываться по двух-
 или четырехпроводной схеме

Двухпроводная схема: передача в прямом
и обратном направлении организуется по
одной паре проводов (ВЛС)



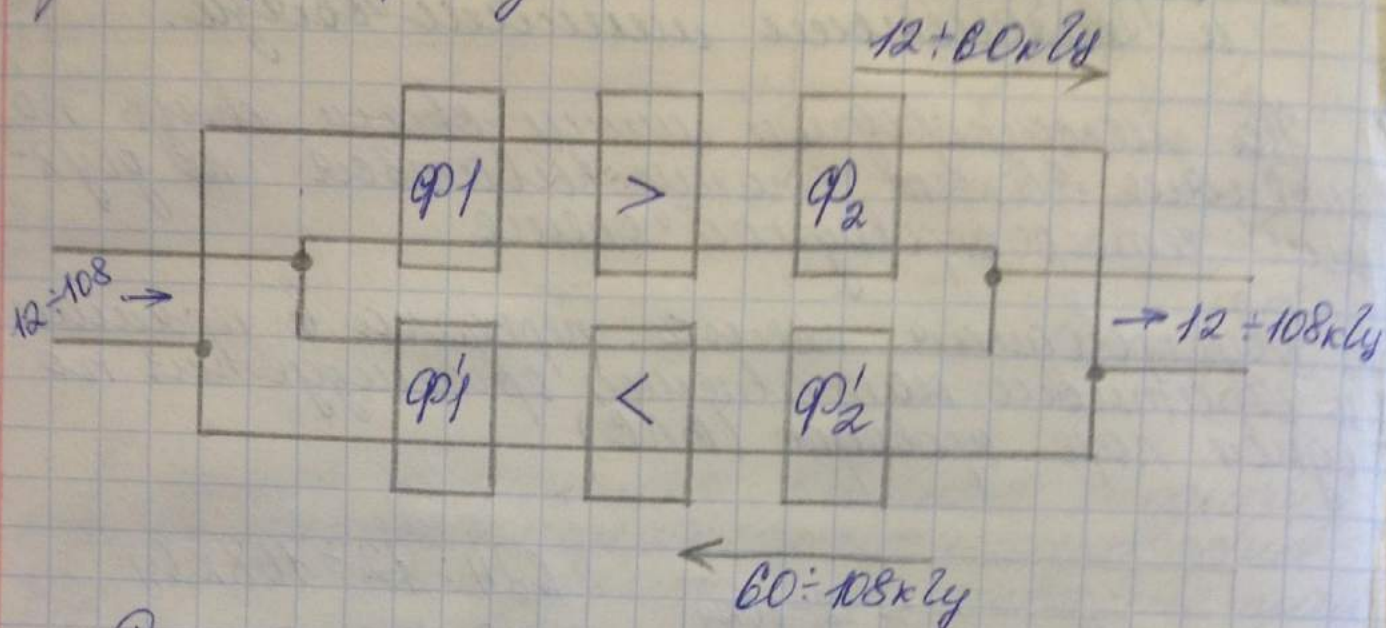
К24: $12 \div 108 \text{ кГц}$
В одной полосе
передача, по др.
полосе приём.

Четырёхпроводная схема:

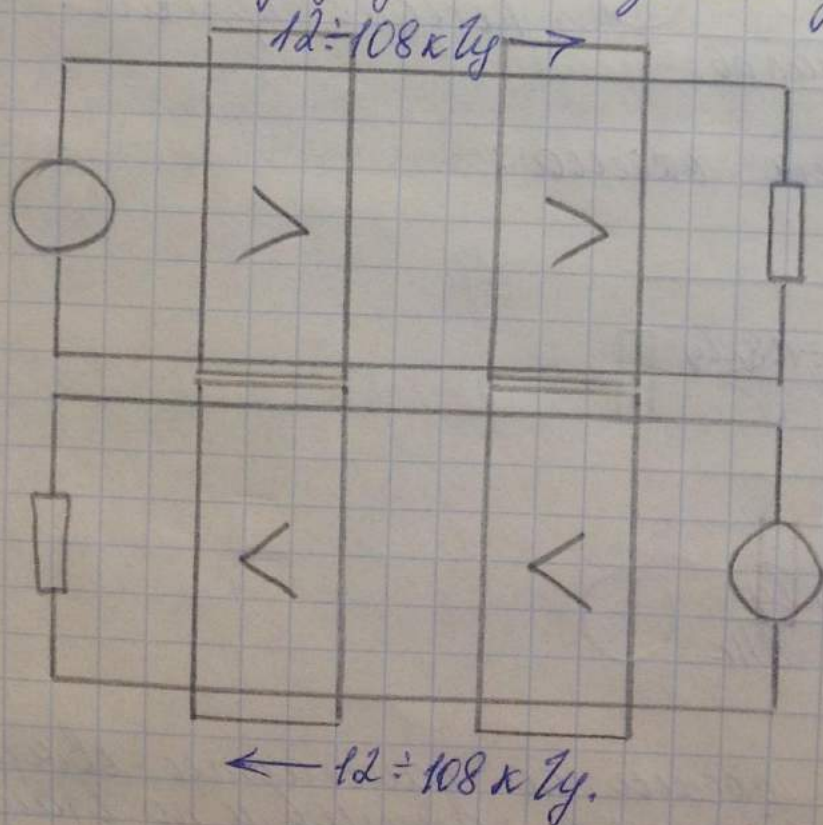


Сравните эти схемы по дальности связи,
по числу организуемых каналов и по взаи-
моиспользованию между цепями.

Во взаимосвязи чет-тес связи преимущества у четырехпроводной системы



Для разделения передачи и приема используется разделит. фильтры. Поэтому часть гармоник может перейти в одной цепи на другую $\Rightarrow$ связь выйдет из строя.



Нет разделит. фильтров и цепи имеют одинаковые

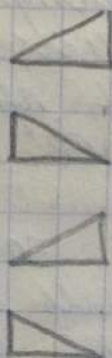
По числу каналов схемы передачи рав-
ноценны. По взаимозаменяемости двух-
проводная цепь превосходит

$$12 \div 108 \text{ кГц}$$



согласованной
режим работы
прямая
(2-ух провод.)

$$12 \div 108 \text{ кГц}$$



несогласованной
режим работы
прямая
(4-ух провод.)

Чтобы избежать от встречного
режима работы включается 2 см. к.

Если ВЛС — 2^{ух}-проводная 2^{ух}-полюсная
линия

Если симметричный кабель — 4^{ух}-про-
водная однополюсная 2^{ух}-кабельная

Если коаксиальный кабель — 4^{ух}-про-
водная однополюсная одноканальная

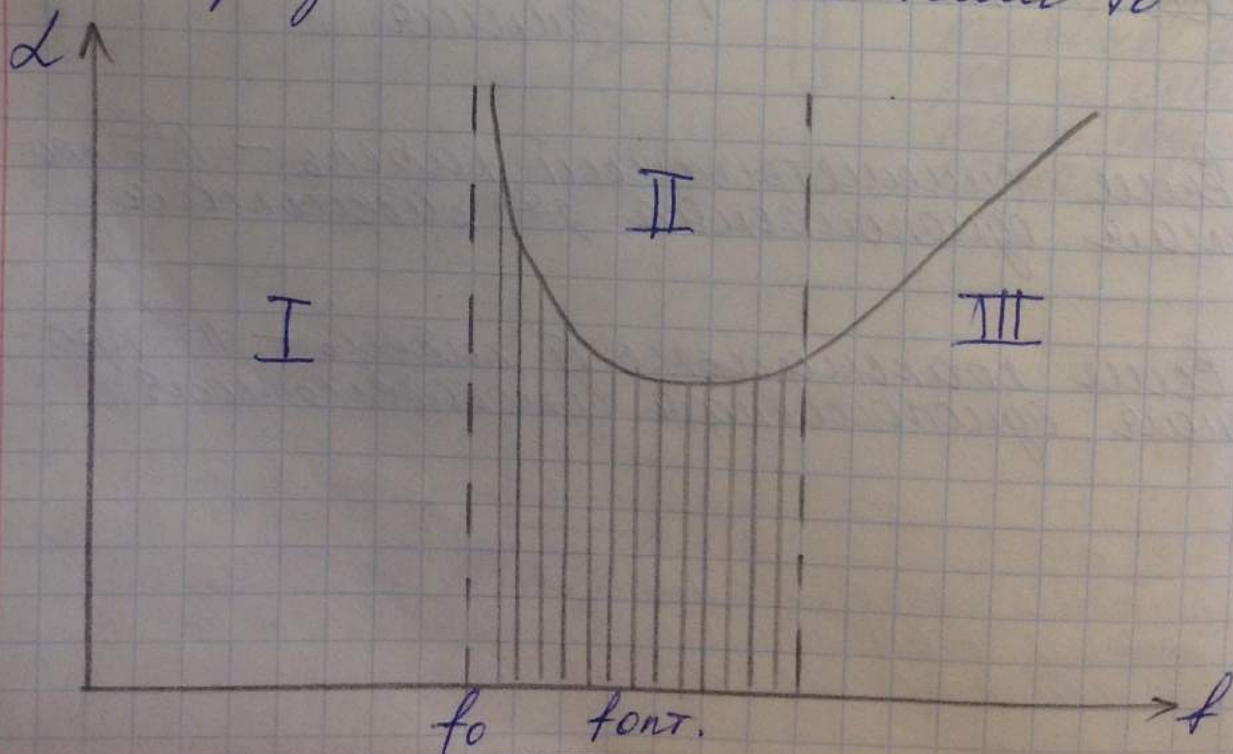
Волноводы дальней связи. Физ. процессы в волноводах.

Волновод — это устр-во, сосредотачивающее эл. маг. энергию в определенном пространстве и передающее её в заданном направлении.

В волноводах эл. магнитная энергия передается по тем же законам, что и в атмосфере, однако направление строго заданное и имеются ограничения по частоте. В волноводах могут передаваться лишь ВЧ колебания, длина волны которых меньше или сопоставима с поперечными размерами (диаметром). Существует критическая частота:

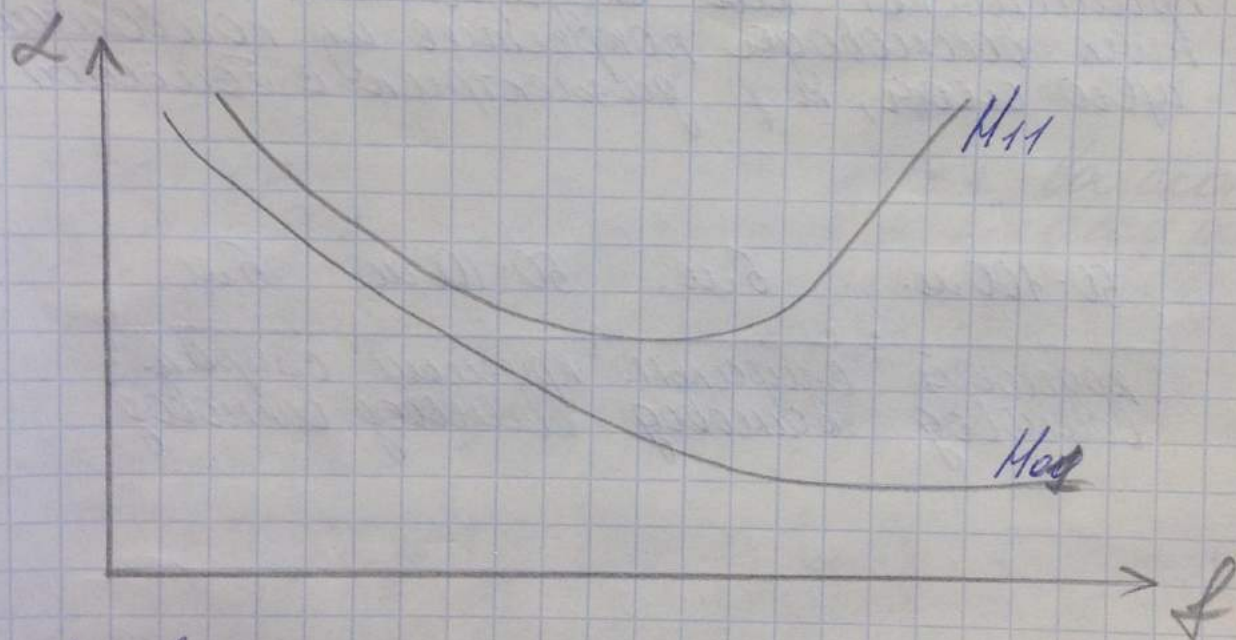
$$f_0 = \frac{c}{D} \leftarrow \begin{matrix} c - \text{ск-ть света} \\ D - \text{диаметр} \end{matrix}$$

Н.о. волновод действует с ВЧ, частота среза f_0 и пропускает все частоты выше f_0



- I - не передается энергия; волновод - ФВЧ.
- II - затухание уи-ся за счёт угнетения распространения энергии.
- III - затухание возрастает, за счёт возрастания потерь в стенках волновода.

Особенности волны H_{01}



H_{01} всегда уменьшается.

Во волноводу можно организовать 1000 каналов.

Недостатки H_{01} :

конфигурация поля не связана со стенками волновода, и при малейшем изгибе стенок H_{01} переходит в другие (H_{11} , H_{21} , H_{31} и т.д.) за счёт этого возникает доп. затухание и попутный поток, кот. искажает передаваемую инф-цию.

Эти недостатки устраняются:

- 1) при изготовлении добавляются максимальные однородности волновода
- 2) применяют спиральное волноводы периодической структуры, кот. обладают фазоструктурными свойствами для волн высших порядков (пропускает только H_{01})
- 3) применяют на внутренних поверхностях волновода покрытие из полиолефинового слоя, μ_r диэлектрик с большой ϵ_r

50-100 м.	Б.м.	50-100 м.	Б.м.
круглый волновод	спиральн. волновод	круглый волновод	спирал. волновод

Оптические кабели связи.

Раз. процессы в световодах

Преимущество опт. кабеля — крайне большой широкополосности (до сотни тысяч волновых каналов) он не требует для своего изготовления цветных металлов (меди и свинца). Ведь при изготовлении опт. кабелей исп-ся 99% меди и 25% свинца из всех добываемых.

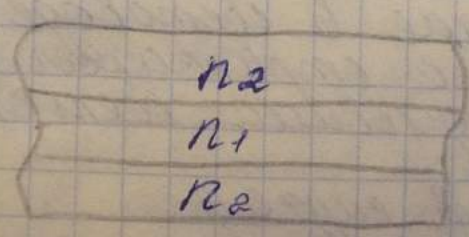
Первая конструкция ОК разработана в США в начале 50-х гг. прошлого века.

Основным э-м в ОК ав-ся волноводной световод, кот. относится к классу диэлектрических волноводов, принцип работы которого основан на переносе энергии с помощью отражения энергии на границе раздела двух диэлектриков ($n_1 \neq n_2$; $n = \sqrt{\epsilon}$).

В ВЛС, СК и КК источником передачи энергии ав-ся э. ток — электроны, а в ОК — лазерный луч, причем $\lambda < D$, где D — диаметр сердечника.

Наиб. широкое распр-е получили волноводы двух типов:

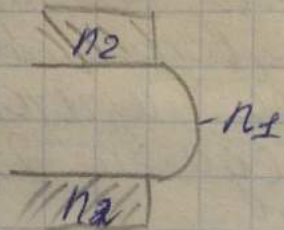
1. Ступенчатый волновод (СВС)



ВЛС — световод
 ВЛС — световод
 волноводный ступенчатый
 волноводный ступенчатый

2. Градиентный волновод (СВГ).

Коэф-т преломления изменяется от центра к периферии



Известно, что свет имеет двойственную структуру - волновую или квантовую.

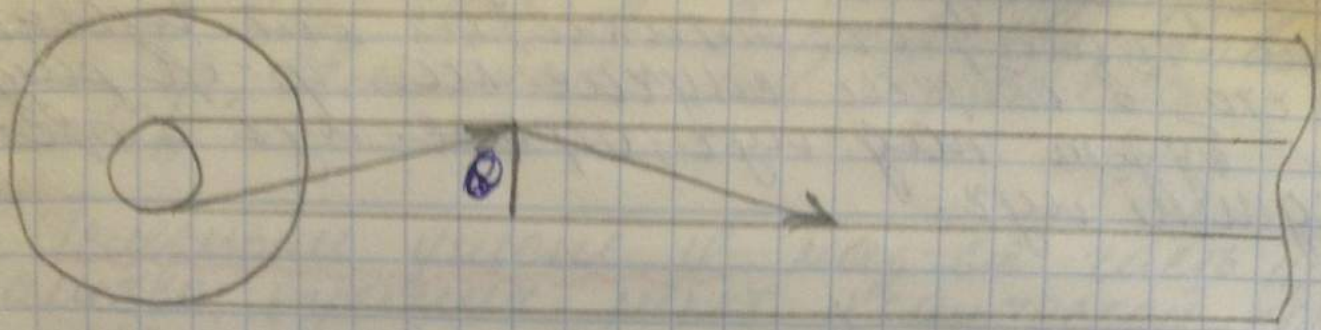
Волновая теория утверждает, что св-ва света совпадают со св-ми эл. маг. волн, т.е. свет явл-ся радиоволнами эл. маг. колеблющейся очень высоких частот - 10^{14} - 10^{15} Гц.

В квантовой теории свет - это движущиеся частицы, корпускулы, кот. излучаются светящимися телами отдельными квантами.

Поэтому определить пор-ры можно с помощью двух теорий. Т.к. квантовая теория менее громоздка, дает наглядные результаты, кот. объясняют процессы, происходящие в СВ, то и используем эту теорию. Рассмотрим процесс распр-я энергии в световоде на основе лучевой теории с помощью пон. оптики.

В общем случае в световоде распр-ся луч, многократно отражаясь от границ, выделенная сердцевина - оболочка.

Рассмотрим 3 случая.



1. Короткие волны $\lambda \rightarrow 0$; $\theta \rightarrow 90^\circ$; $f \rightarrow \infty$

Луч образует угол θ и распр-ся по окружности под углом 2θ

$2\theta \rightarrow 180^\circ$, со-во отражений ун-ся, качество ухудшается

2. $\lambda \rightarrow 0$; $\theta \rightarrow 0$; $f \rightarrow f_{\text{критич}} = f_0$

Ко-во отражений уб-ся, угол θ ун-ся частота $f \rightarrow f_0$, угол $2\theta \rightarrow 0 \Rightarrow$ ко-во отражений уб-ся $\Rightarrow$ условия распр-я хуже

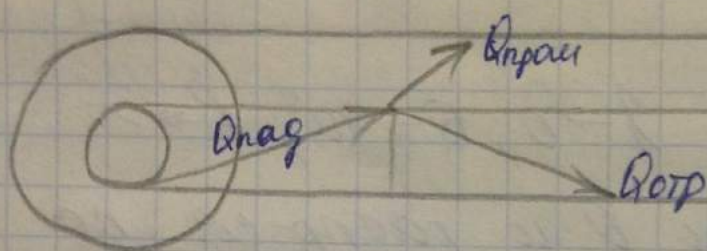
3. $\lambda = 0$; $\theta \rightarrow 0$; $f = f_0$

Решение стоячей волны. Луч попадает на границу раздела; распр-е отсутствует.

Т.о. в световоде могут распространяться только волны $\lambda \neq 0$.

Однако, учитывая то, что граница раздела яв-ся прозрачным стеклом, возможно не только отражение, но и преломление луча в оболочку. Для предотвращения перехода энергии в оболочку необходимо соблюдать условие полного внутр. отраж-я.

Распр-е луча происходит по законам геометрич. оптики, из кот. известно что в общем случае на гр-е раздела будет пад. луч, отраж. луч и прошедший луч.



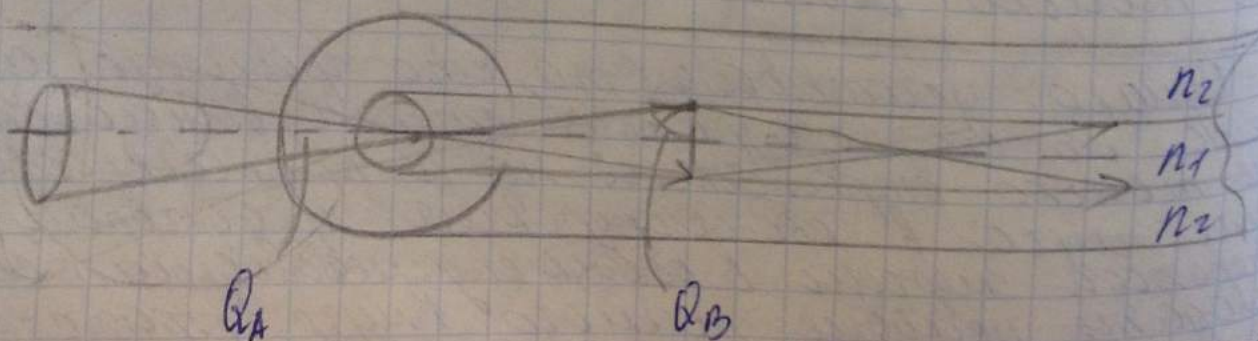
При переходе луча из среды с меньшей плот-ю в среду с большей плот-ю луч при опред. угле падения не переходит в др. среду

Угол падения, начиная с кот. вся энергия отраж-ся от границы раздела сред, наз-ся **углом полного внутр. отражения**:

$$\sin \theta_B = \frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}}$$

Если $n_1 = 1,3$, $n_2 = 1,1$, то $\theta_B = 68^\circ$

Решим проблему полного внутр. отражения, когда $\theta_{пад} = \theta_B$, предопределяет подачу энергии на вход волоконного световода



Как видно из рисунка световод пропускает энергию без потерь в пределах телесного угла φ , величина кот. обусловлена углом φ_0 .

Телесный угол φ мал-ся частью пространства, огранич. некот. конической пов-ю, измеряется в ср. . Телесный угол φ хар-ся апертурой - углом между оптич. осью и одной из образующих свет-го конуса, попадающего в торцы внешнего кабеля.

$$NA = n_0 \sin \varphi_A - \text{числовая апертура}$$

n_0 - показатель преломления воздуха
 $n_0 = 1$.

$$\sin \varphi_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Между углом полного внутр. отражения и апертурным углом суц-ет взаимосвязь, тем меньше φ_0 , тем больше φ_A .

$$\lambda_0 = \frac{\lambda}{n_1 \sqrt{n_1^2 - n_2^2}} - \text{критич. длина волны}$$

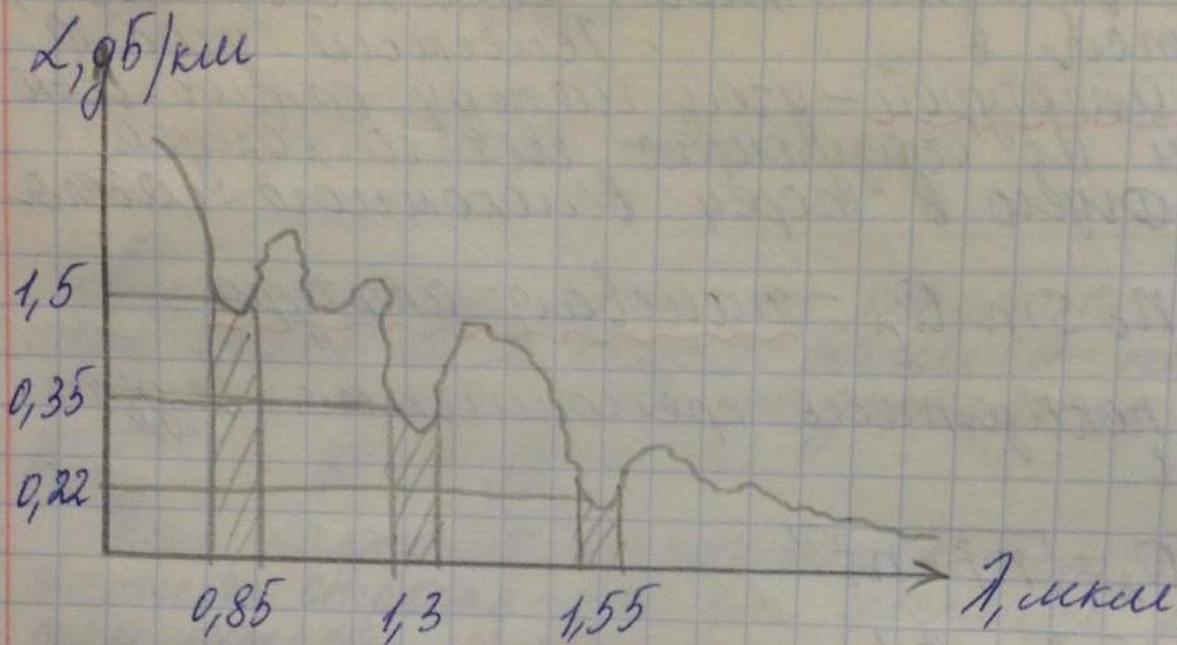
$$f_0 = \frac{c}{\lambda_0} - \text{критич. частота}$$

При $f > f_0$ энергия рассеивается в простр-ве.

Суц-ет два режима работы световода: односторонний и многосторонний.

Затухание оптических световодов

Покажем и наметим затухание оптич. световодов в зав-ти от длины волны для кварцевого стекла без примесей.



Имеется 3 окна прозрачности:

$\lambda = 0,85$ - местное и ближн

$\lambda = 1,3$ - зонное и местные и ближн

$\lambda = 1,55$ - магистральное и ближн

В ув-ии длины волны затухание уменьшается.

Длина регламента у-ка на длине волны $\lambda = 1,55$ 100 км.

В реальных ок затухания обуслав-ся собств. потерями в ов и деп. кабельных потерями: α_c и α_k .

Кабельные потери возникают в процессе производства, в идеале $\alpha_k = 0$.

Собств. потери состоят из потерь поощения и рассеивания.

$$\alpha_c = \alpha_{\text{поп.}} + \alpha_{\text{рассеив.}}$$

Затухание поощения связано с потерями на диэлектрик. поощения линейно растет с частотой и существенно связано с материалами

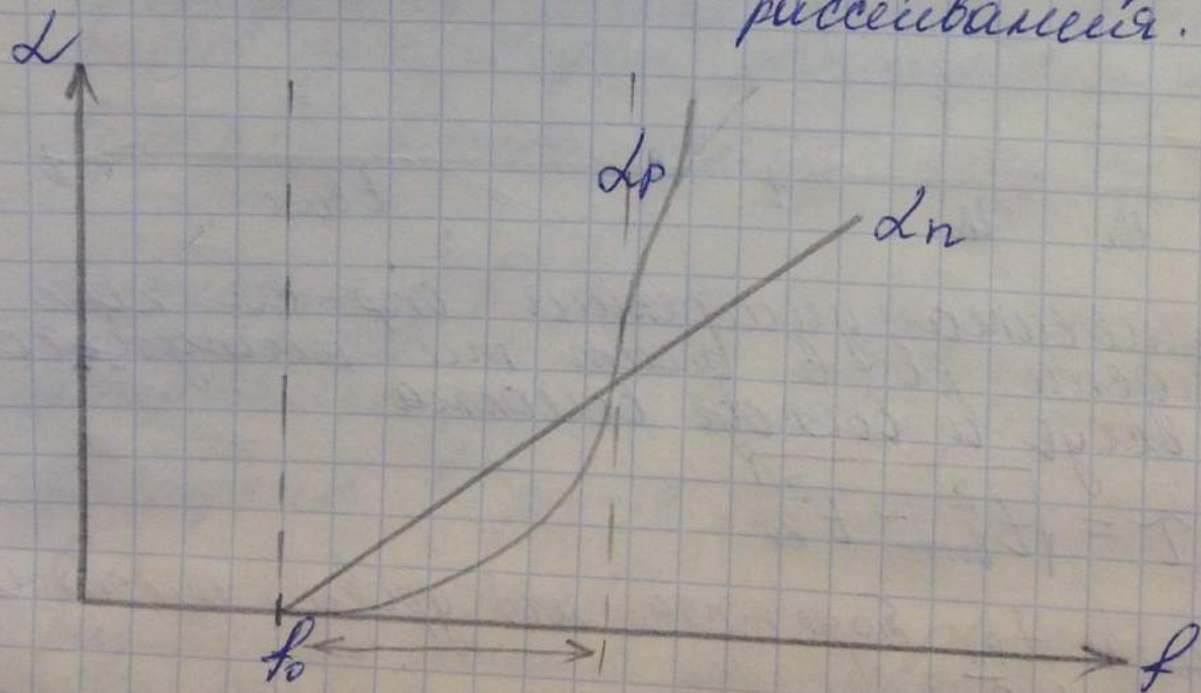
$$\alpha_n = \frac{\pi n}{\lambda} \operatorname{tg} \delta$$

$$\alpha_p = \frac{k}{\lambda^4}$$

n - коэф-т преломл.

$\operatorname{tg} \delta$ - тангенс угла
препоощения диэл.
потерь

$k = 1 \dots 1.5$ - коэф-т
рассеивания.

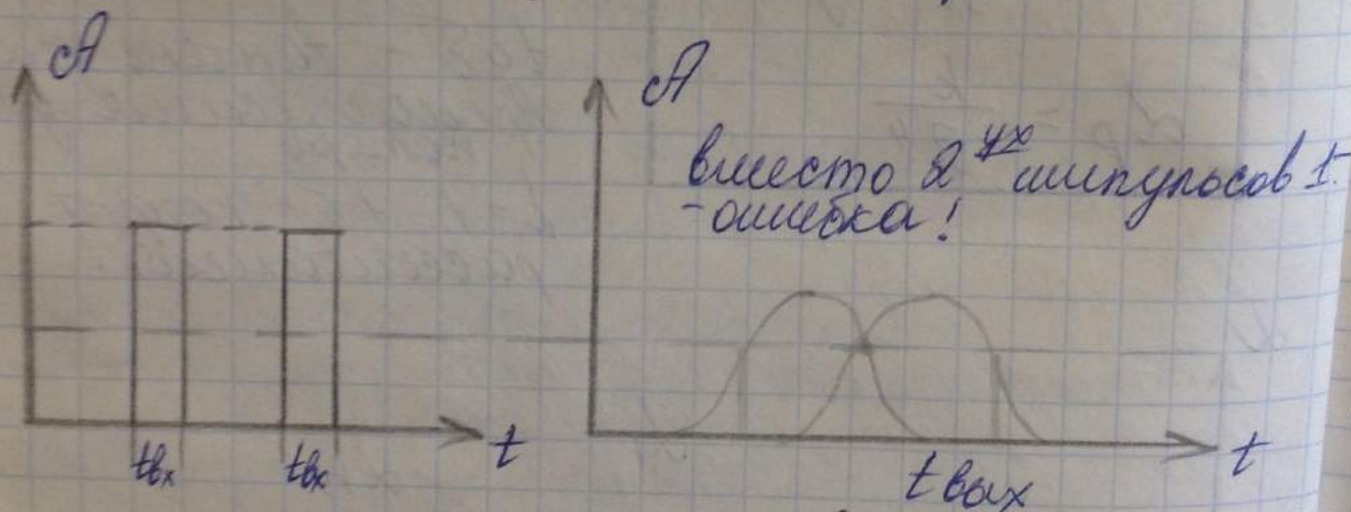


$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_k$$

Дисперсия и пропускная способность световода

Теоретически по ОВ можно передать любую волну, а практически частота ограничена дисперсией. Чем больше длина волны, тем больше разность сигналов.

Дисперсия — рассеивание во времени спектральных или модовых составляющих опт. с-па, приводящее к уширению импульсов на приеме.



Величина уширения опр-ся как разность кв-в вшит-ти импульсов на входе и выходе волокна

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

$t_{\text{вых}}$ и $t_{\text{вх}}$ берется на уровне амплитуды 0,5.

Важной хар-й световода яв-ся пропускная сп-ть по частот, передаваемой по световоду. (ΔF). Связь между дисперсией и ΔF можно опр-ть выражением:

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

Пример: $\tau = 20 \text{ нс/км} \Rightarrow \Delta F = 50 \text{ МГц/км}$

С ростом длины волны дисперсия будет уменьшаться.

Пропускная сп-ть ОВ зависит от типа и св-в световодов; Н-р, одномодовые, многомодовые; а также от типа излучателя (лазер, светодиод). Приемник фотодиод.

Причины возникновения дисперсии:

1. Некогерентность ист-ка излучения и появление спектра λ (не одна длина волны, а $\Delta\lambda$). Т.к. разные волны, то у них разная ск-ть, они приходят в разное время, за счет этого происходит расширение пик в
2. Выз-е большого числа мод.

Дисперсия в рез-те (1) наз-ся хромотической и она подразд-ся на материальную и волноводную

Дисперсия в рез-те (2) наз-ся модовой

Дисперсия проявляется по разному в различных типах световода. При многомодовом режиме работы свс определяющей явл-ся модовая дисперсия. $\tau = 20 \div 50 \text{ нс/км}$. В свс при одномодовом режиме работы модовая дисперсия отсутствует, а имеет-ся волноводная и мат-я д. и направлены в противоположе

др. др. поэтому происходит их взаимная компенсация $\tau \leq 1 \text{ нс/км}$. В СВЧ определяющей яв-ся мат-я дисперсия $\tau = 3 \div 5 \text{ нс/км}$.

Основное волокно - В = 652-ступенчатое

$$\lambda = 1,3 \quad D < 3,5 \text{ пс/нм} \cdot \text{км}$$

$$\lambda = 1,55 \quad D < 18 \text{ пс/нм} \cdot \text{км}$$

! Чем меньше дисперсия тем больше полосу пропускания !

Полоса частот и длина линии взаим-ны.

1) для коротких линий до 8 км:

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \frac{L_x}{L}, \quad \Delta F, L - \text{заданные знач.}$$

$\Delta F_x, L_x - \text{искомые знач-я}$

2) для длинных линий:

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{L_x}{L}}$$

Пример: кабельная промышлен-ть производит кабель 1 км с $\Delta F = 50 \text{ МГц/км}$. Опред-ть ΔF на длине линии 10 км.

$$\frac{50}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{10}{1}}; \quad \Delta F_x = 15,8 \text{ МГц/км}$$

Применительно к чиср. с-мам, у кот. в регенераторе с-л полностью восст-ся под действием такой с-л-ве считается длина регенерационного участка. Длина регенерат. уч-ка уменьшается с-я дисперсией и затух-ем, поэтому в реал. слух-х рассчет-х D и α берут худший вар-т, кот. дает min длину

Пример: $\alpha = 30 \text{ км}$; $D = 25 \text{ км}$,
выберем

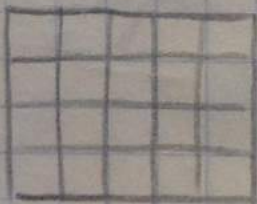
Сверхпроводящие кабели связи.

Физ. процессы в металлах и
диэлектриках при низкой
температуре.

Ряд ме и сплавов обладает явл-м
сверхпроводимости при температуре,
близкой к абс. нулю 273°C (0 К). Сопр-е
сверхпроводящих мет-в уст-ля мн. вели-
ку 10^{-14} степени по срав-ю с $t = 20^\circ\text{C}$

При сверхпровод-ти полностью
экранир-ся эл. маг. поле, т.е. нет
внешней и практич-ки очень малой
ур-ня собственных шумов

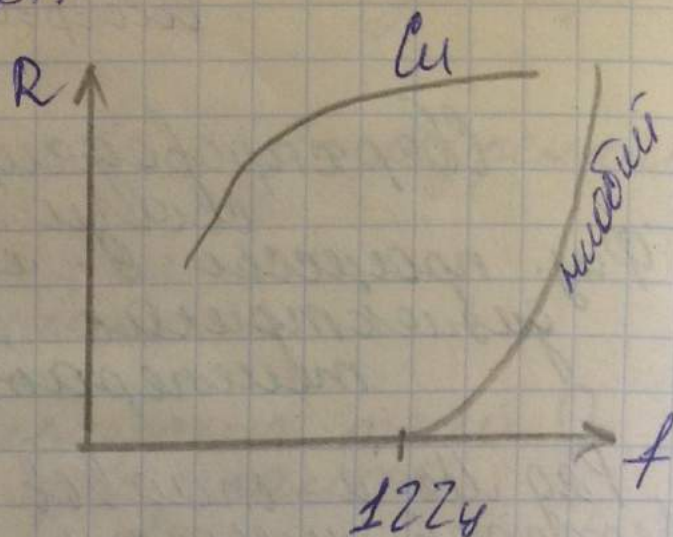
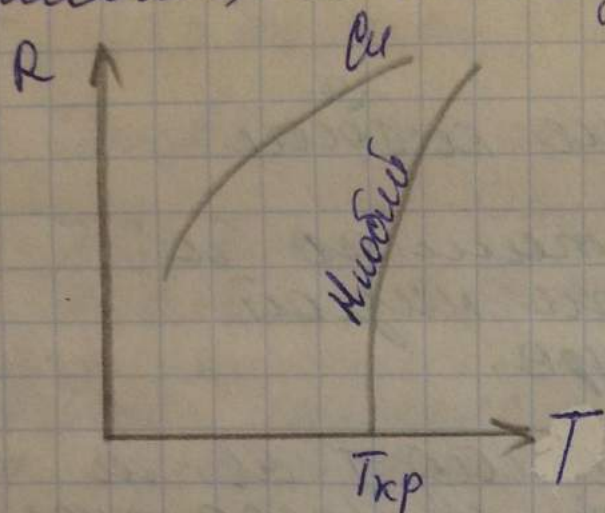
Эффект сверхпр-ти упрощенно объяс-
няется след. обр-м: известно, что эл.
ток - это поток е в ме. ме имеет



мет. решетку, через кот.
движутся е, тем выше t ,
тем интенсивнее движе-
ние решетки; при низких
 t , движущиеся ет-ся, е без-
препятственно проходят через
решетку, сопр-е равно 0.

Для каждого ме и сплава име-
ется своя критич. t , при кот. возни-
кает сверхпроводимость, кот. наступает
резко, скачком при достижении критич.
температуры. Медь, золото, серебро сверх-
провод-ю не обладают

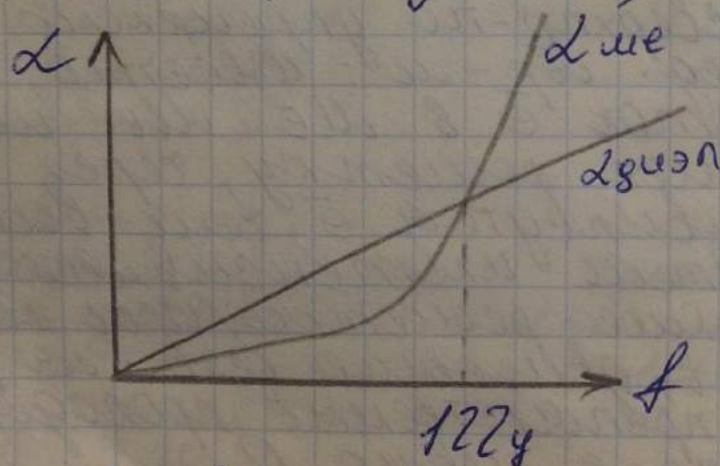
Сверхпроводники: свинец, алюминий, ниобий, олово и др.



Уменьшение темпер-ры влияет на диэлектрике. Там же угла диэл. потерь уи-ся в 100 раз - хорошо; Если же уи-ся, пробивное напр-е уб-ся.

$$\alpha = \alpha_{\text{ме}} + \alpha_{\text{диэл.}}$$

$$\alpha = 0,05 f^2 + 0,5 f \text{ дБ/км, } f \text{ в ГГц}$$



Использование сверхпроводящих кабелей на частоте выше 122г проблемно, т.к. резко уб-ся затухание

Наиб. предпочтительные сверхпроводники: ниобий-олово и свинец-РВ



$$d = 0,25 \div 0,35 \text{ мм}$$

$$D = 1,2 \div 2,5 \text{ мм}$$

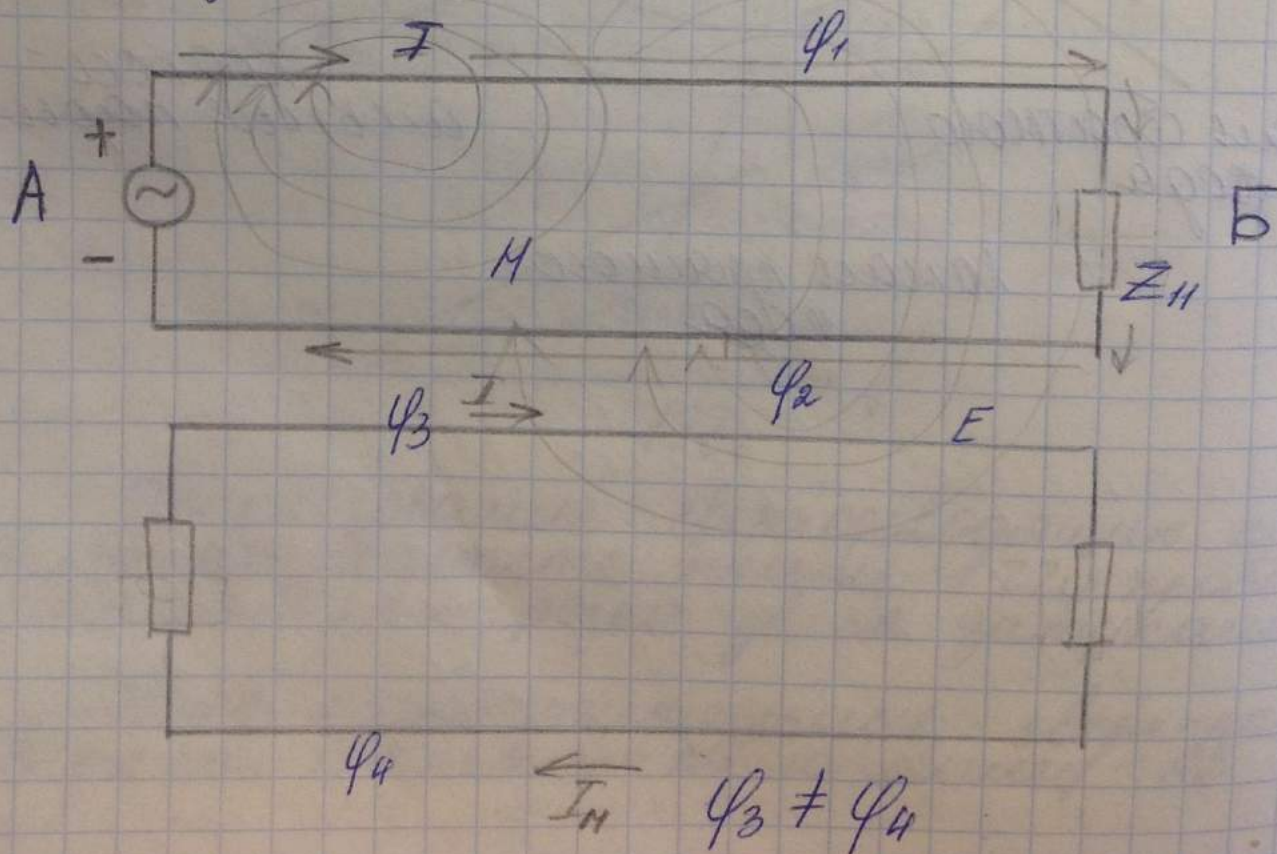
вакуум (для изоляции
от холода от Земли).



Теория взаимных влияний между цепями связи и меры защиты

Физическая сущ-ть взаим-го влияния между ссм. цепями связи

При передаче э. маг. э-ми по ссм. цепям кроме того, что она распр-ся вдоль цепи, часть энергии переходит с одной цепи на другую. Т.к. процесс распр. энергии происх-т по всем цепям, то энергия переходит с каждой цепи на каждую. Поэтому такое влияние на-зывается **взаимным**. Взаим. влияние прояв-ся в виде переходного развора или шума. Переход э-ми с одной цепи на др. обусловлен э. маг. взаимодей-ем между цепями. Условно влияние между цепями можно пред-ть в виде дейст-вия отдельного электрич и маг-го полей.



Чем выше частота, тем больше мал.
сигналов и тем, след-но влияние между
цепями уб-ся, а зашум-ть уи-ся.

Первичные пар-ры влияния

Э. мал. влияние между двумя цепя-
ми пар-ся электр. K_{12} и магнитной
 M_{12} связями.

$$K_{12} = g_{12} + i\omega k_{12} \text{ [См]}$$

$$M_{12} = r_{12} + i\omega m_{12} \text{ [Ом]}$$

g_{12} - актив. состав-щая эл. связи

k_{12} - емкостная связь

r_{12} - актив. сост-щая мал. связи

m_{12} - ~~магнитная~~ ^{индуктивная} связь

При учете совместного действия мал.
и электр. связи их приводят к еди-
наковой размерности.

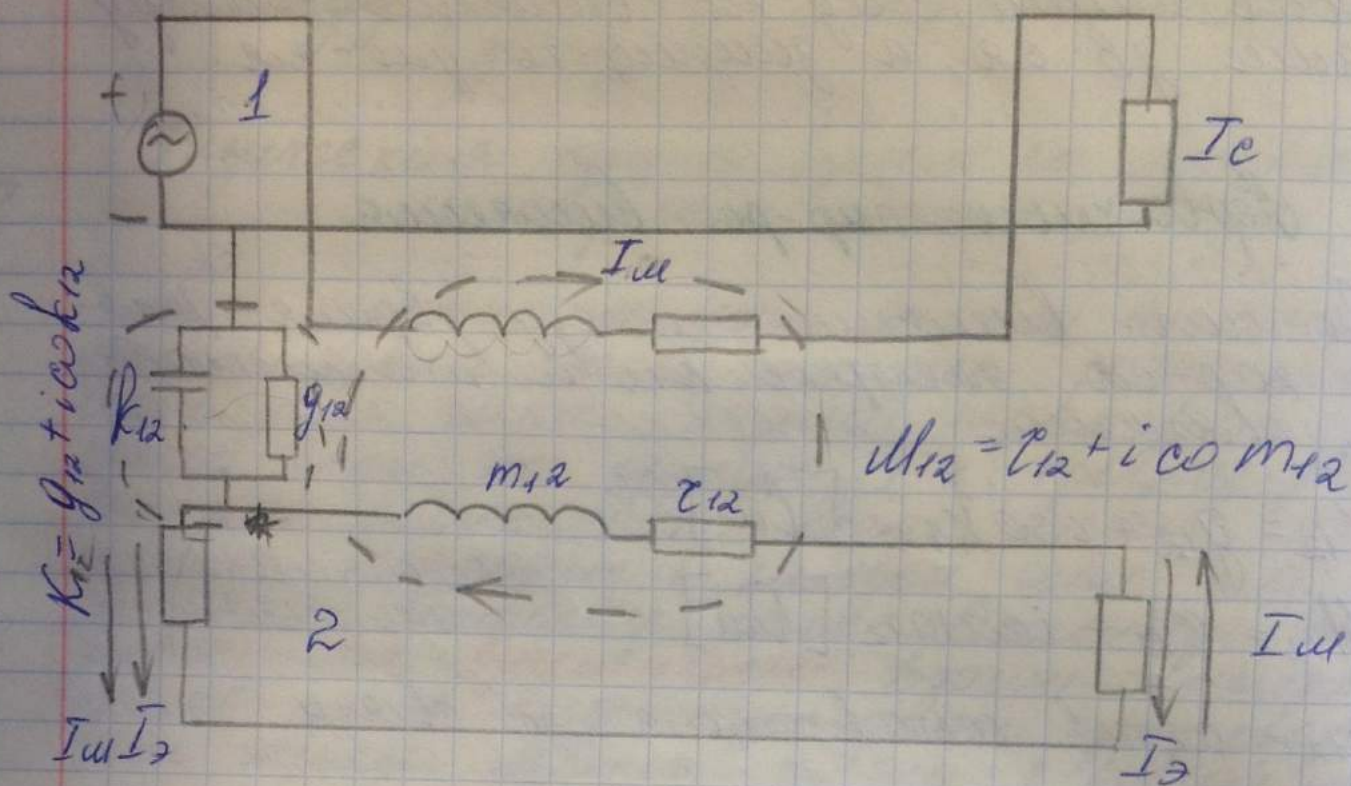
$$K_{12} = g_{12} + i\omega k_{12} \sqrt{Z_{B1} \cdot Z_{B2}}$$

$$M_{12} = r_{12} + i\omega m_{12} / \sqrt{Z_{B1} \cdot Z_{B2}}$$

Z_{B1}, Z_{B2} - волновое сопр-я $1^{\text{й}}$ и $2^{\text{й}}$ цепи.

Покажем пар-р действия эл. и мал.
действий между цепями. Эквив-я схема
эл. и мал. влиянием между двумя цепя-
ми имеет след-й вид:

Пер-ое рассмотрение в цепи



На ближнем конце токи склад-ся
 $\Rightarrow$ уси-ся взаимны (больше взаимны)

На дальнем конце токи вычит-ся $\Rightarrow$ умен-ся
 взаимны (взаимны меньше)

Конт-но связь на ближнем и на даль-
 нем конце определя-ся коэф-ици:

о на ближнем конце

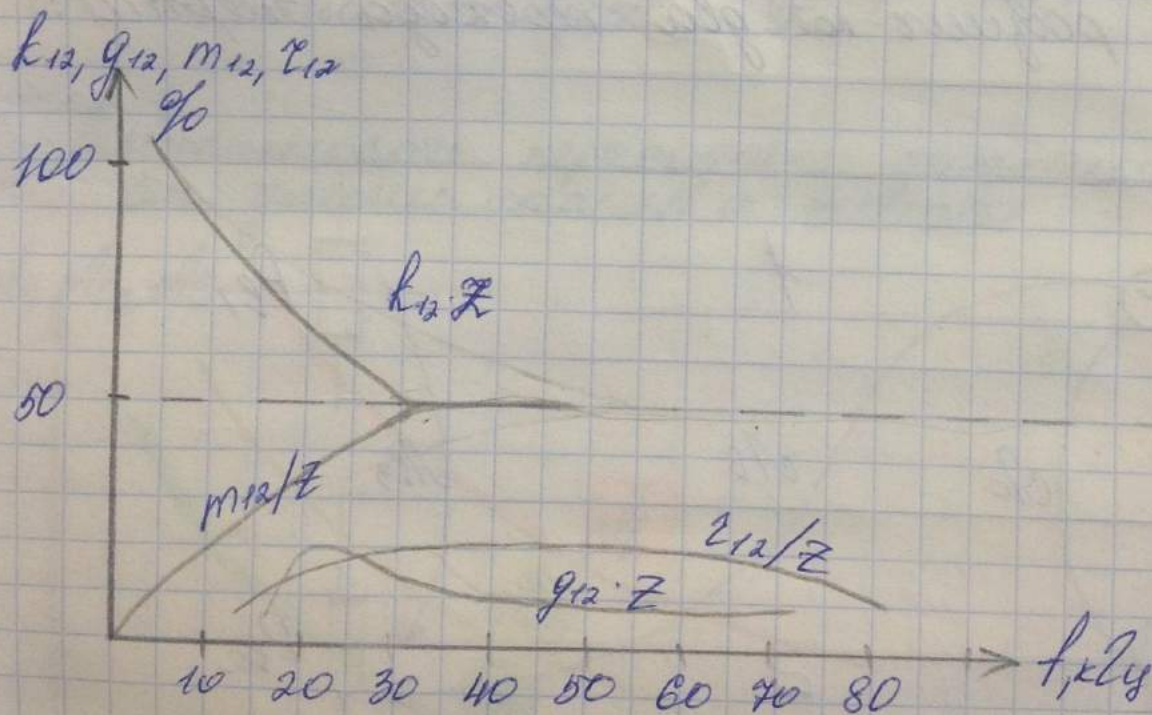
$$N_{12} = K_{12} + M_{12}!$$

о на дальнем конце

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

По аналогии с первич. пар-ми пере-
 даче пар-ры g_{12} , r_{12} , K_{12} , m_{12} мож-ся
 первичными пар-ми взаимны

Соотношение между эл. и маг. связями активными и реактивными составляющими могут быть различными в зав-ти от типа цепей, диапазона перед-х частот и др. факторов. В ВЧ, где провода находятся сравнит-но далеко и нет обеск- активными ест-цами можно пренеб- реть $\Rightarrow$ остаются $i_{ска}$ и $i_{сма}$. В ка- бельных цепях учиты-ся все составля- ющие, причем в зав-ти от диапазона частот соотношение удельная значи- мость их изменяется. Покажем частот- ную зав-ть процентного соотноше- ния пар-ров внутри четвертной ск- рупки кабелей.



На низких частотах определяющей ав-ся эл. связь. На частотах выше 30 кГц влиянием стан-ся сосредоточенными, надо учитывать и те и другие. Коэф-т емкост- ной связи нормир-ся.

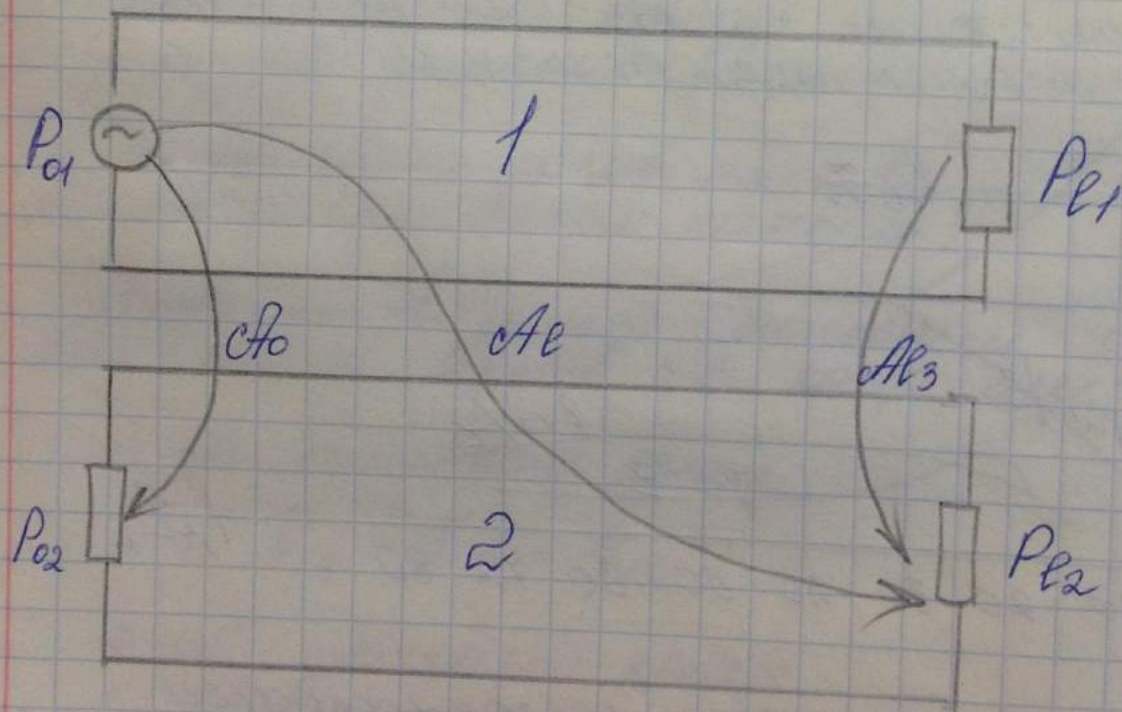
Вторичные параметры внешнего

$\sigma_0, \sigma_e, \sigma_e$ - вторич. пар-ры.

На усилит. ут-ке - вторич. пар-ры. До-
мовной мерой оценки св-в ионит свя-
зи по взаим. влиянию яв-ся **переход-
ное затухание**:

$$A = 10 \lg \left| \frac{P_c}{P_{порт}} \right| \text{ [дБ]}$$

При взаимном влиянии между цепя-
ми различ-ют три перехода энергии:



$$\sigma_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{02}} \right|$$

$$\sigma_e = 10 \lg \left| \frac{P_{01}}{P_{e2}} \right|$$

$$\sigma_z = 10 \lg \left| \frac{P_{e1}}{P_{e2}} \right|$$

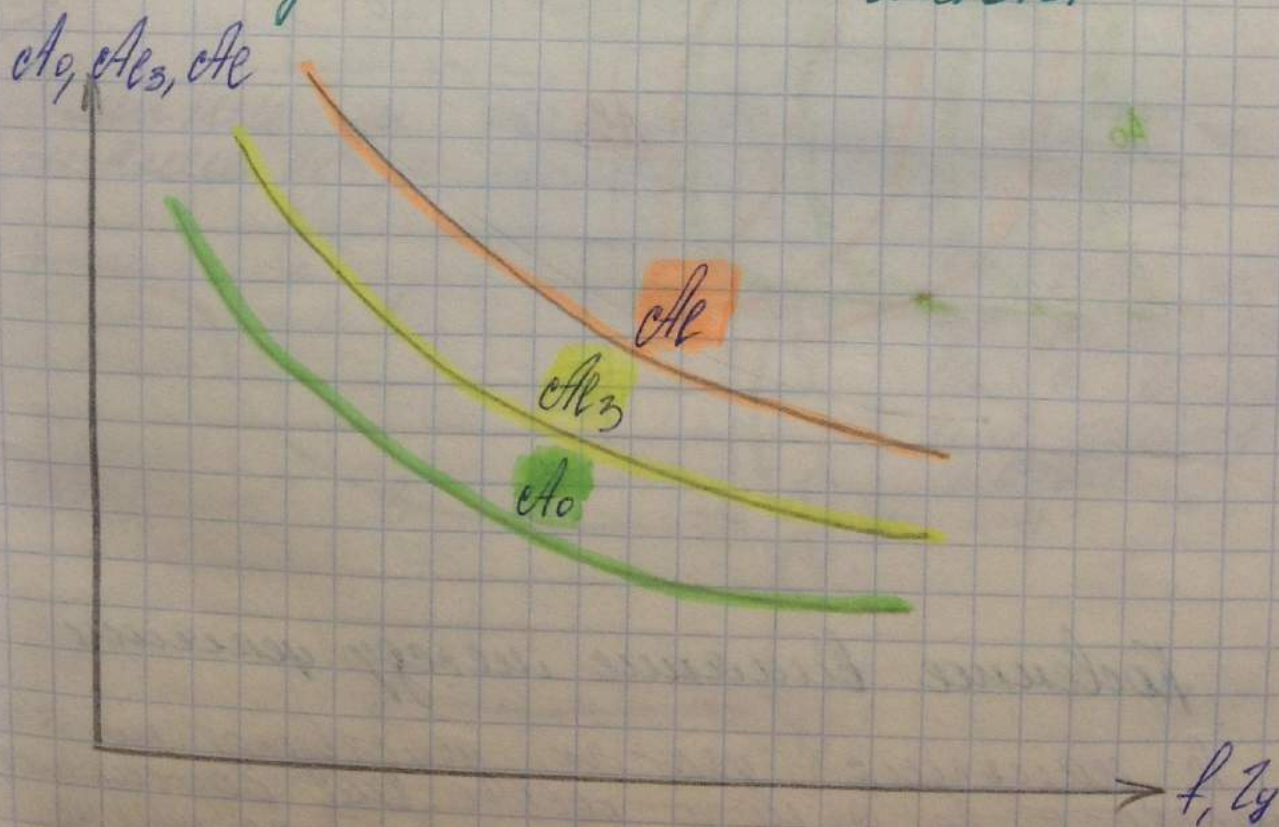
$$\sigma_e = \sigma_z + \alpha L$$

($P_{01} - P_{e1}$ хар-ся затух-
анием αL)

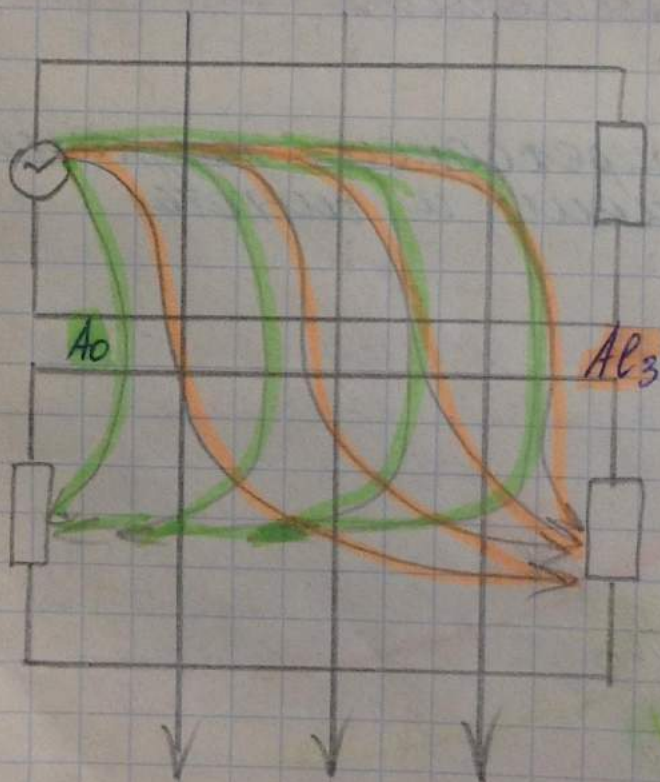
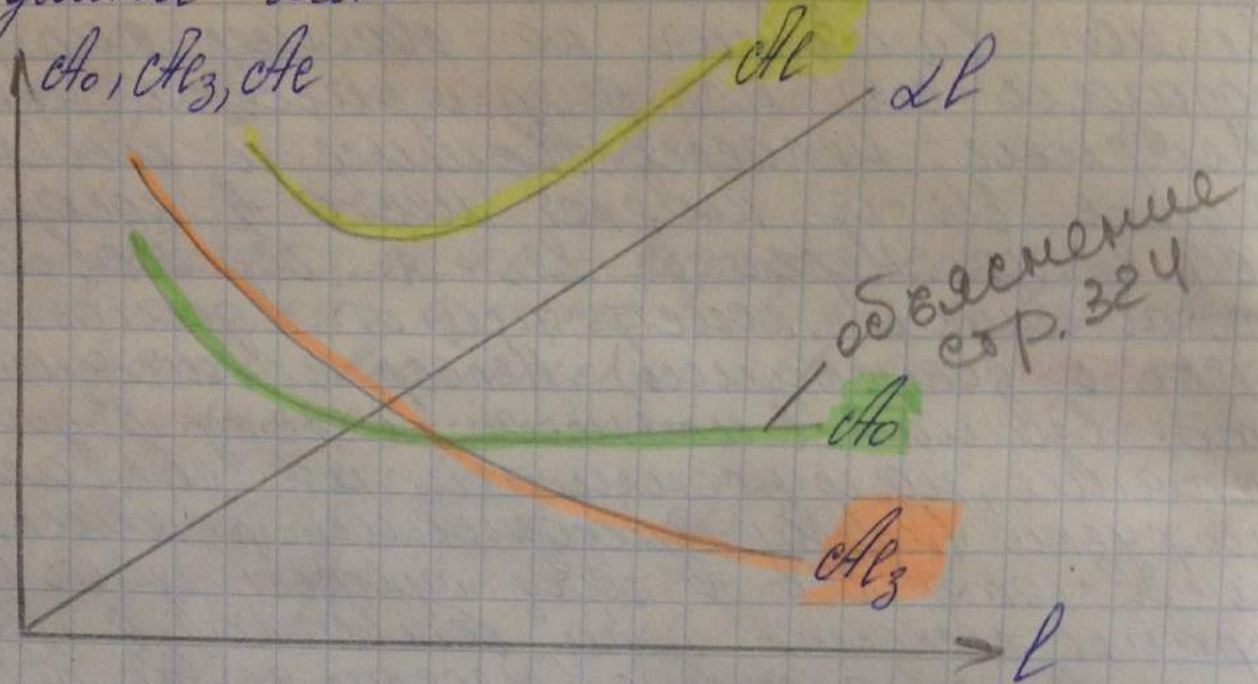
М.о. σ_0 и σ_{Σ} нормируется.

Зн. мал. влияния по своему характеру подразделяется на регулярное и нерегулярное; непосредственные и косвенные. Регулярное влияние имеет место в идеальной цепи. Нерегулярное влияние обусловлено отклонениями конструкции от идеальной (цепь с допусками). Непосредственное влияние это влияние между двумя цепями, непосредственными по составу и нагрузке (между однородными цепями). Кос. влияние это влияние через третьи цепи (мет. экраны, соседние цепи, обложки), а также за счет отражения нерегулярных цепей и от несомас-х влияний.

Зависимость переходного затухания от длины линии и частоты



Покажем зав-ть перех-го затухания
от длины линии



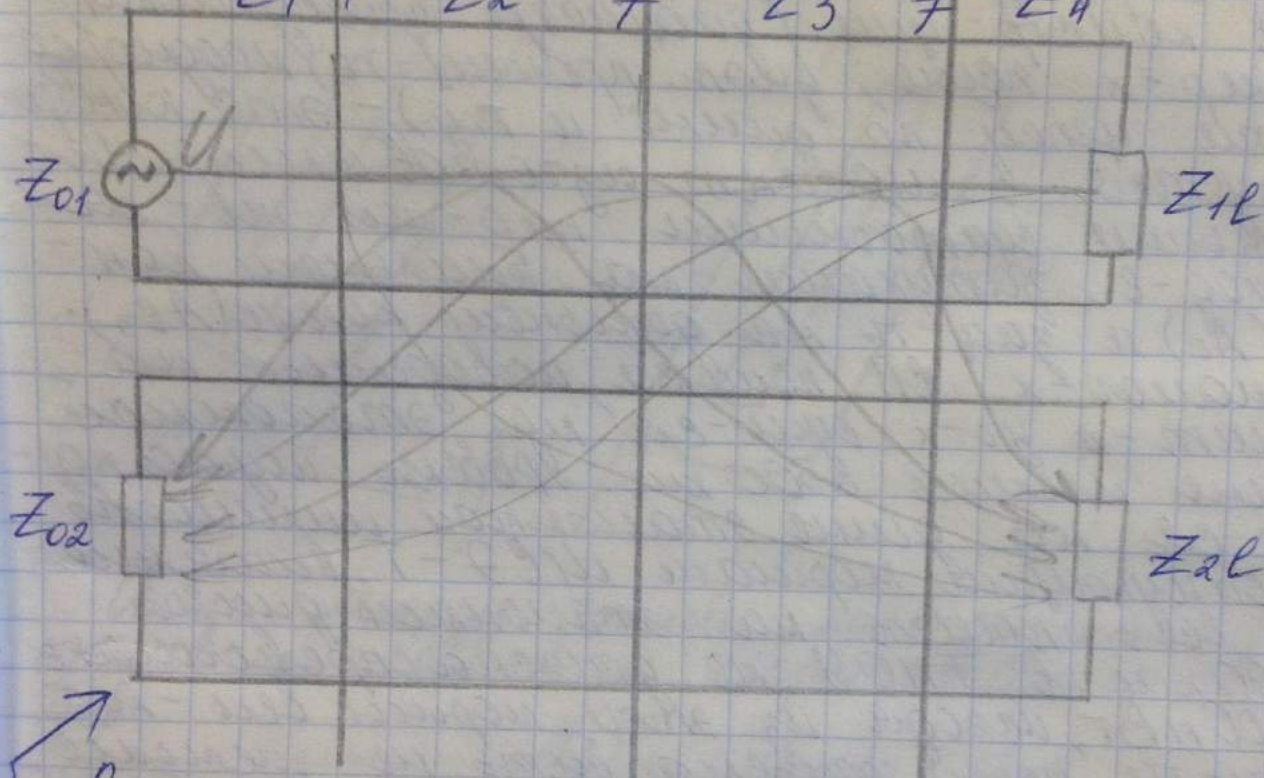
Аб погружен
математич-м
состоянием
ординат α_3 и α_e

Косвенное влияние между цепями

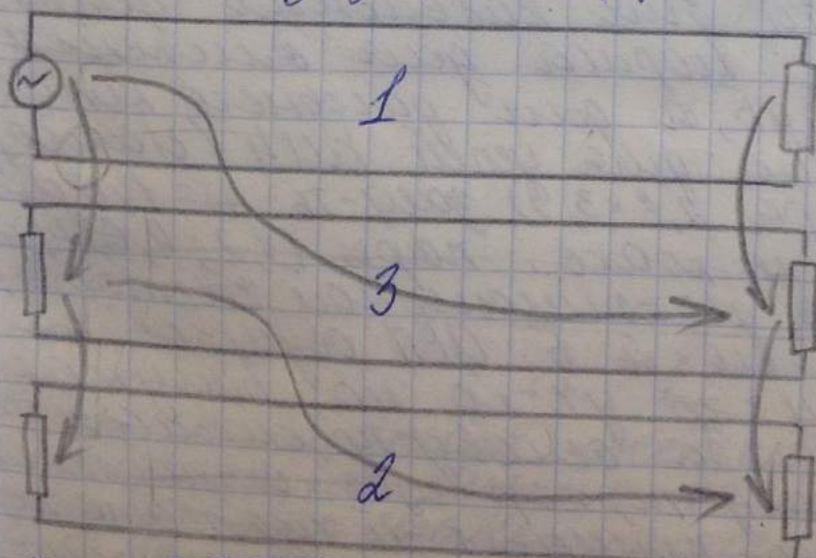
В рассматриваемых усл-ях действуют не только
непоср-е вл-я, но и кесв-е. Они возникают
за счет конструкт-х межд-тей по длине,
а также малые др. цепей.

Косв. влияние - ся с непосред-ны и сим-
плет показу-ть. Косв-е влияние
более сказ-ся на данной цепи в об-
ласти высоких частот и в ряде слу-
чаев превосходят непосред-е влия

$$Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3 \neq Z_4$$



Влияние за счет несиммет-х нап-к,
влияние из-за конструк-х неодн-ст



За счет треть-
их цепей кос-
венное влия-
ние учиты-
вается

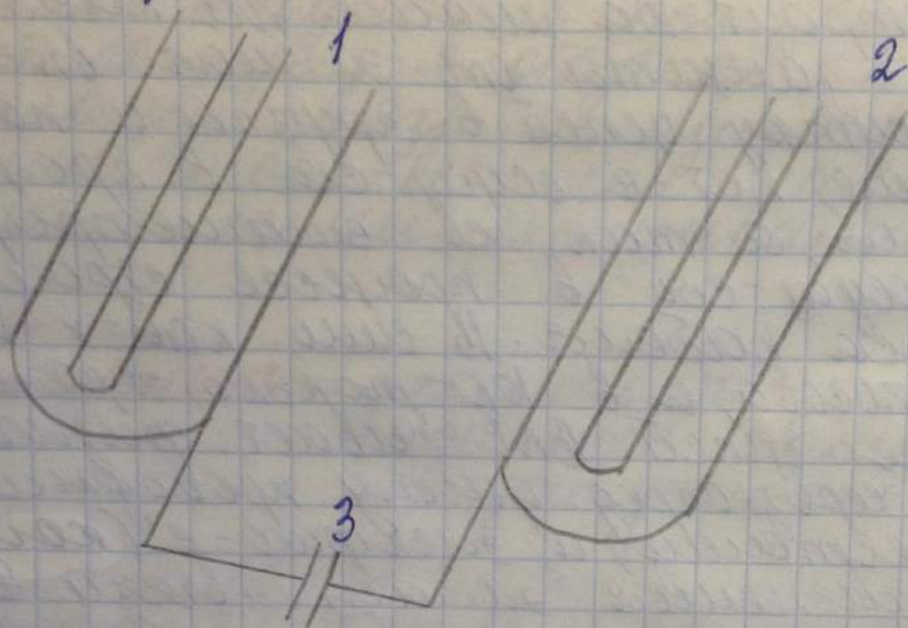
$$I_n = \sqrt{I_{отр}^2 + I_{ки}^2 + I_{тр.член}^2}; I_n = \sqrt{I_n^2 + I_k^2}$$

Нормы переходного затухания

Нормир-е пар-в в з. влияющей проводят по технологич-м и стандартным пар-м в т.ч. темп-х вх-т кар-ры, с помощью кот. контрол-ия электр. пар-ры иск-х эл-в констр-ции (диаметр проводника, изоляц-х псн; диэл. прониц-ть, неоднородности цепей по длине и т.д.) - это контролируется в момент изготовления. Ос-новными стандартными пар-ми яв-ся переход-е затухание на ближнем кон-це (A_0) и затух-ть на дальнем конце (A_z). В аналог-х СП показаны, наведенные на усилит-х ут-х сущ-ся на эталонной длине менее 2500 км. Уровень шума нормир-ся на длине эталонной ширины. Но действующими нормами ИСЭ-Т влияние от всех приех на эталонной длине 2500 км в ТМОУ не должно превышать 10000 мВТ, исходя из этой нормы вел-на затух-ти цепей должна быть не менее 54,7 дБ для 100% всех каб. ширины и 50,4 дБ для ВЛС. Исходя из нормы 54,7 нормир-ся величина затух-ти для кабельных цепей. На усилит. ут-х норма для ближнего конца - $A_0 \geq 60,8$ дБ, а для дальнего конца $A_z > 73,8$ дБ. Норма для цепей КМН (стандартиз-я коакс. пара 2,6x3,9) затух-ть $A_0 = 140$ дБ. А для многож-й коакс. пары (1,2; 4,6) $A_z = 100$ дБ. Все нормы для максимальной частоты. Нормир-е в з-х вл-й в ЦСП осущ-ся на длине реглам-го ут-ка на полутактовой частоте. За основу принимается тр-е бушое знач-е затух-ти, кар-щее отношение сигнала/шума на полутакт-й частоте, ко-е обеспеч-т вер-ть ошибки для квазитройного кода. Эта вел-на в зав-ти от ЦСП принимается равной 23-33 дБ.

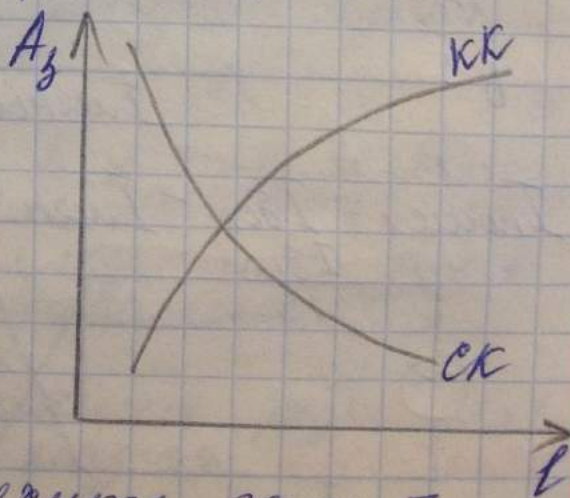
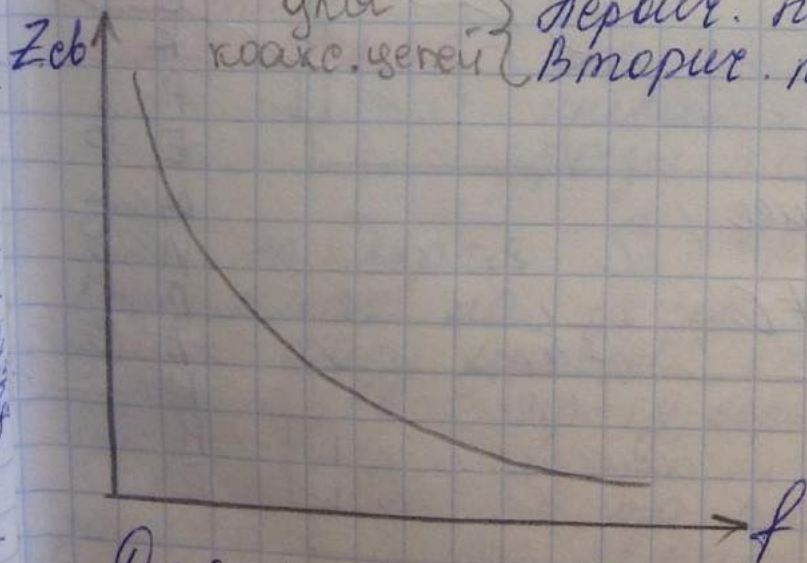
Особенности влияния в коаксиальных цепях.

В коак-х цепях с ростом частоты влияние уще-ся.



Связь между этими проводниками оценив-ся парал-л сопротивлением связи $Z_{св}$.

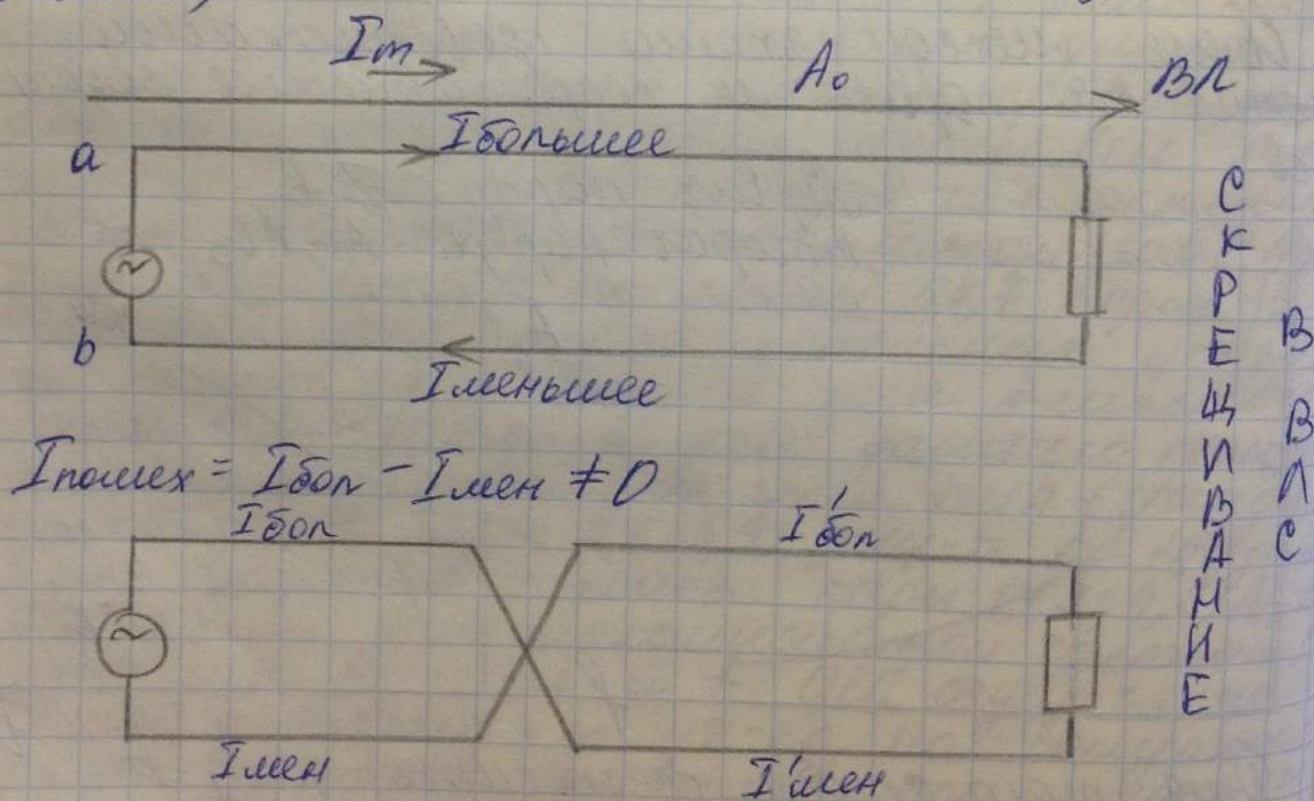
для коакс. цепей { Первый. пар-р: $Z_{св}$
Второй. пар-ры: $A_0, A_{сз}$



Для того, чтобы обеспечить затух-ть коак. цепи на низких частотах накладываются экран из двух стальных листов (0,2 мм), это уб-т затух-ть на 25-40 дБ.

Мера защиты от внешних и внутренних влияний.

На ВЛ для защиты от э. маг. вл-ий произв-ся скрепляющие цепи кот. вып-ся в процессе строит-ва шинной. На каб-х линиях для защиты от э. маг. вл-ий применяют скрутку цепей в группы и повивное экранирование, кот-е осущ-ся в процессе изг-я кабелей, а так же экранирование кот. осущ-ся в процессе строит-ва и монтажа кабеля. В сш. каб-х исп-ся все три способа, а в кк-только экранир-е. Скрепляющие цепи ВЛ бывают физичес-кие (когда через опред. длину проводники меняют местами) и электрич-е (проис-т за счет изменения э. маг. связи вдель шинной)



$$I_{\text{попех}} = I_{\text{большее}} - I_{\text{меньшее}} \neq 0$$

$$I_{\text{попех}} = (I_{\text{большее}} + I'_{\text{меньшее}}) - (I_{\text{меньшее}} + I'_{\text{большее}}) \approx 0$$

Скрутка в каб. цепях аналогично скрепляю-

При скрещивании результирующее вл-е значит-но меньше, но полной компенсации не происходит. Для дальнейшей эр-ти необходимо произ-ть дальнейшее скрещивание по длине цепей. Если две цепи скрещены в одной и той же точке, то эр-кт от скрещ-я отсут-ет т.к. знаки взаимной связи не изм-ся. Поэтому мож-но, чтобы все цепи на ВЛ имели разную-е схемы скрещивания

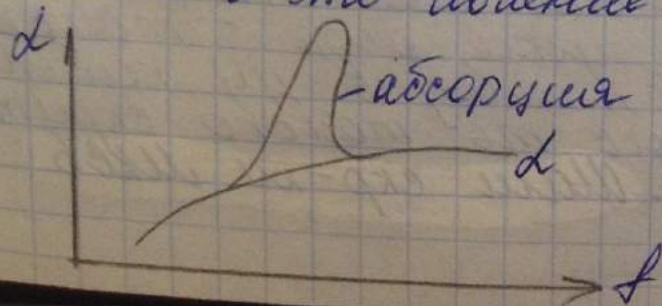
Схема скрещивания - закономер-ть распределения отidyных скрещ-й на каждой цепи.

Для цепов-го изобр-я служат индексы скрещ-я (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128). Индекс соотв-т числу пролетов, через кот. производится скр-е цепей.

Электрич-е скрещивание - это про-с естеств-го скрещивания за счет изм-я фазы тока в цепи.

Шаг эл. скр-я $S_{\Sigma} = \lambda/4$. В рез-те эл. скр. ток пошел на уг-е длиной $l = \lambda/4$ изме-няет фазу на 180° , т.е. меняет знак - это соотв-т эр-ту скрещивания.

Если $S_{\Sigma} = S_{\Sigma}$, то взаимная рез-е воз-растает и это явление наз-ся **абсорбцией**

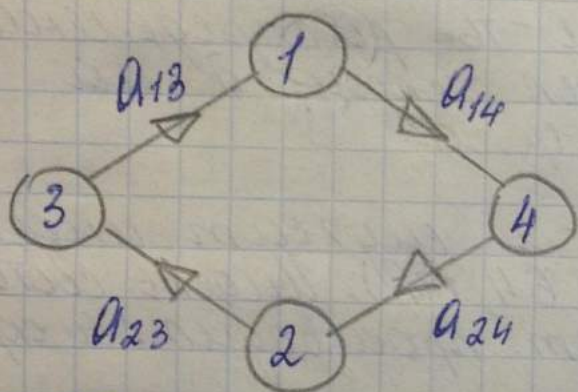


При выборе шага нужно вып-ть усл-е:

$$S_{\Sigma} < \lambda/8$$

Скрутка кабельных цепей

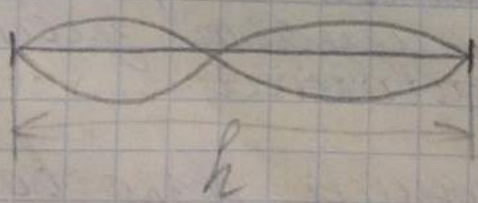
Кабельная скр-ка уч-ет эл. маг. связь и след-но влияющие между цепями. В кабельных цепях различают связи внутри групповые и межгрупповые (между цепями разных четверок). Наиб. опасная внутригр-я (связь между 1^й и 2^й цепью). Внутри четверки емкостная и индукт-я связи выраж-ся расстояниями между проводниками.



Первая цепь 1-2-внешняя, вторая цепь 3-4-подверженная влиянию. Вл-я не будет, когда:

$$\ln \left| \frac{A_{14} A_{23}}{A_{13} A_{24}} \right| = 0,$$

т.е. все расчет-я должны быть одинаковы. Поэтому центры цепи должны быть точно нах-ся по углам квадрата. Такое усл-я-в рез-те звездн. скрутки, еще в середине центрирующей корды. Связи зависят от шага скр-ки, поэтому все цепи скруч-ся с соосн. шагами скрутки. Подвер соосн-я шагов скр-ки производят по участкам, кот. нах-ся векторы симметрии.



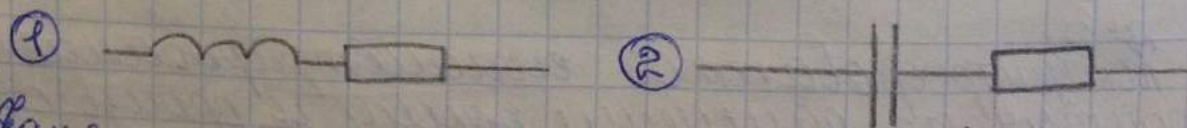
При расчете соосн-х шагов скр-ки следует уч-ть, что шаг, по которому пром-е цепи, а эл. - только достаточна соосн-ть только скрутки ближайших цепей.

Методы симметрирования цепей связи.

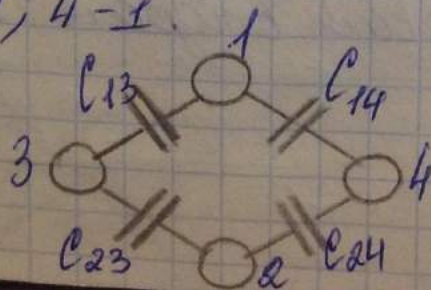
Симметрирование - комплекс мероприятий, проводимый в процессе монтажа кабелей с целью улучшения качества.

3 метода симметрирования:

- 1) **Скрещивание** - при монтаже строительных длин производится в НЧ и ВЧ кабелях; основано на компенсации эл. маг. связей одного отрезка кабеля связями др. отрезка путем скрещивания жил цепей.
- 2) **Конденсаторный метод**: при включении емк-х конденсаторов выравниваются емкостные связи, компенсируется электрическая связь $\Rightarrow$ применяется на НЧ кабелях.
- 3) **Шунтер-е**, путем включения контуров противосвязи: включаются между взаимнодействующими цепями, создают компенсирующие токи, применяются в ВЧ кабелях; т.к. эл. маг. связи имеют комплексный характер, то применяются и активные, и реактивные элементы.

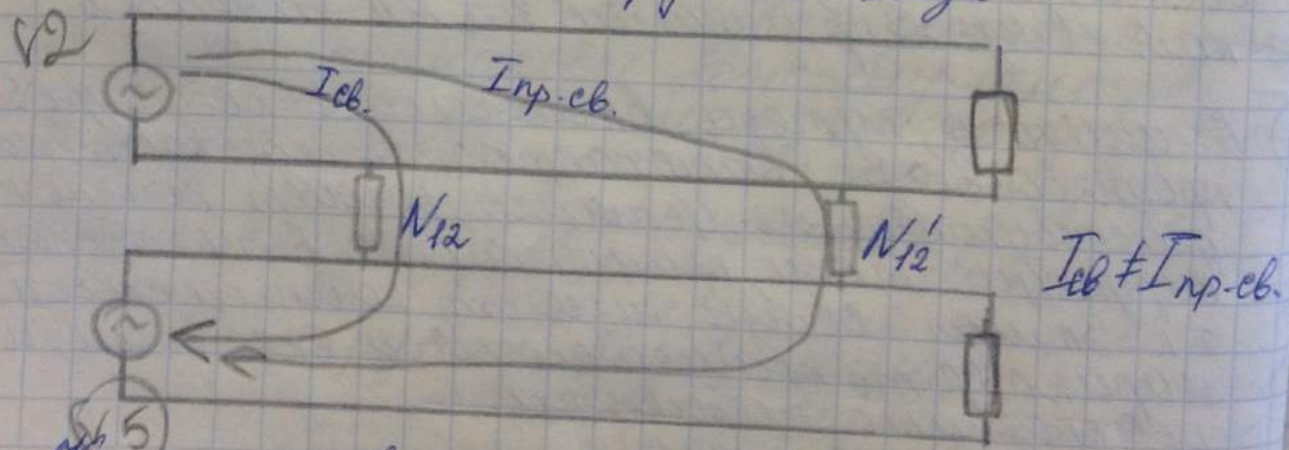
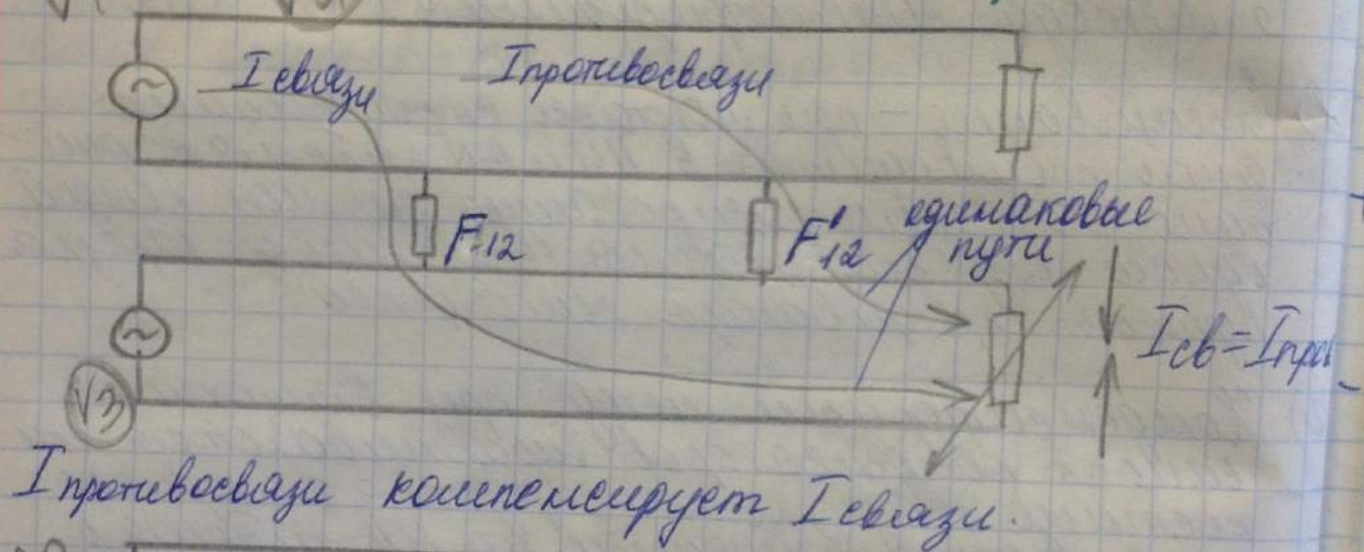


Также применяется контур ②. Эти контуры включаются между жилами 1-3, 3-2, 2-1; 4-1.

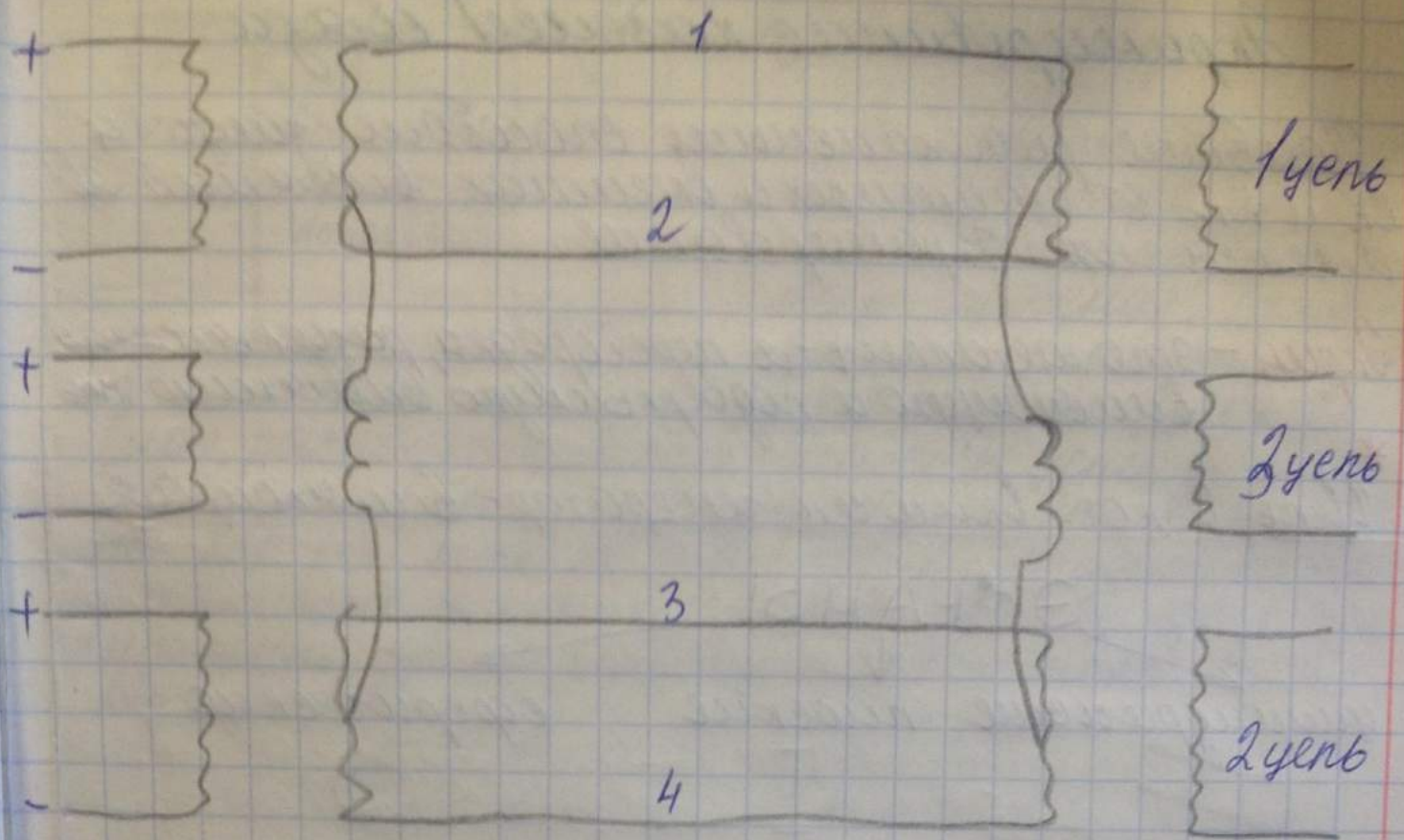


Симметрирование НЧ и ВЧ кабелей существенно отличается др. от др. НЧ осуществляется по однокабельной системе, а ВЧ - по двухкабельной системе. НЧ кабели сим-ся на длине шага 1,7-2 км, ВЧ кабели сим-ся на длине участка 10 км.

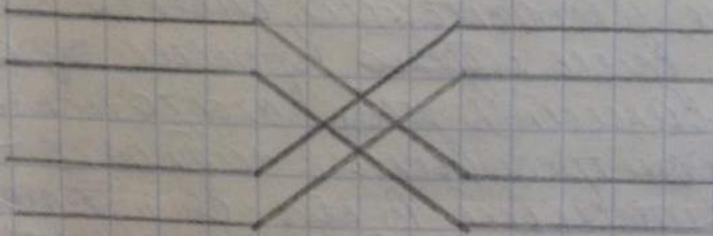
Концентрированное симметрирование



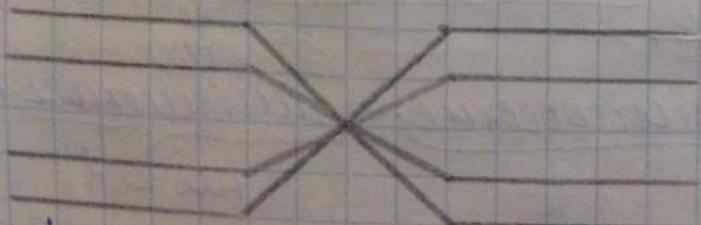
Концентрированное симметрирование проводится по данному контуру и производится на высшей измеряемой частоте. Необходимо помнить, что добитесь зашумленности 74,2. В четверке 3 цепи: первая, вторая, искусственная.



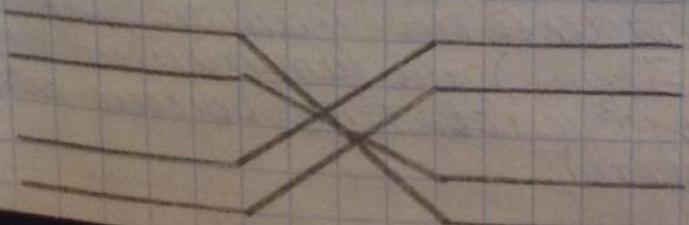
1 2 3 • • • - все цепи соединены напряжением



1 2 3
x x x - скрещены все 3 цепи



1 2 3
x • • :

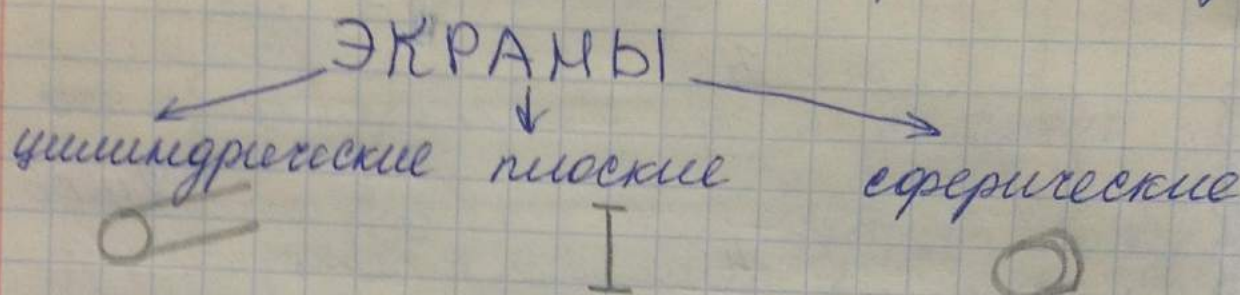


Экранирование кабелей связи.

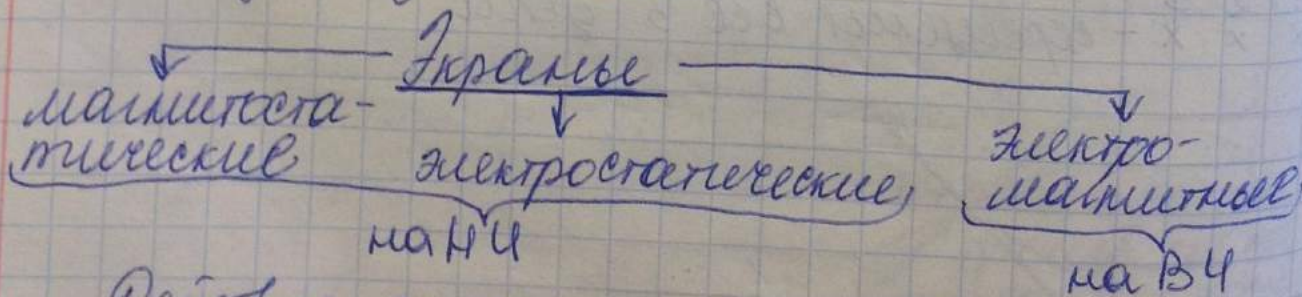
Наиболее радикальным способом защиты СК и КК от внешних и внутренних помех является их экранирование.

Экран - это металл-я перепородка, разделяющая внешнюю и внутреннюю среду кабеля.

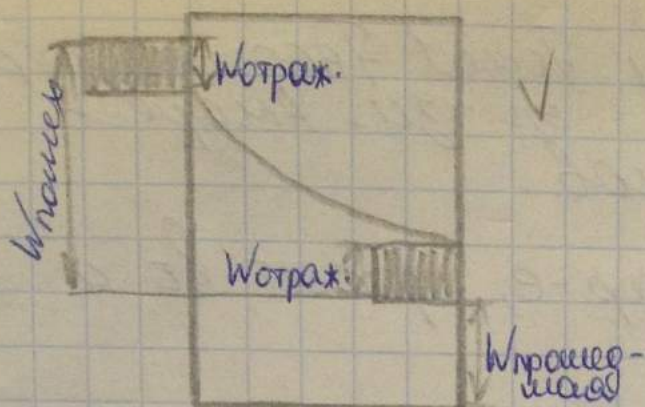
* Цепь, в кот. включен терматор-внешняя



В зависимости от требований по электрич. и механич. харак-ти экраны представляют собой сплошные, перфорированные, оплеточные, обмоточные. Если нужно хорошее экранирование и нет требований к жесткости, то используют экран. Если осн. требование жесткость - оплеточный или обмоточный. В кач-ве экранов используют медь, алюминий, сталь. Экран заземляется во всем диапазоне частот.



Действие э. маг. экрана основано на отражении энергии (на несотв-ии волновых сопротивл. металла экрана и диэлектрика на границе раздела) - диэлектрик; $Z_{вн} \neq Z_{внутр.}$; на затухании энергии в толще экрана (обусловл. тепловыми потерями на вихревые токи).



$$A_3 = A_{\text{погл.}} + A_{\text{отр.}}$$

В стальных экранах основные яв-ся поглощающие энергии, в медных - отражающие. Также делают калодимированные экраны $\text{Cu}-\text{Fe}-\text{Cu}$.

Слой, расположенный ближе к цепи должен быть с меньшим затуханием. Действие экрана определяется коэф-том экранир-я - отношением напряженности э. маг. поля в какой-либо точке, при наличии экрана к напряж-ти в этой же точке без экрана:

$$S = \frac{M_3}{H} = \frac{E_3}{E}; \quad 0 \leq S \leq 1$$

$S=0$ - идеальный экран; $S=1$ - экрана нет. Затухание экранирования $A_3 = 20 \lg \frac{1}{S} \pm 1,96$ дБ. Экран с $A_3 = \infty$. $A_3 = 0$ - экрана нет.

Источники опасных и мешающих влияний.

1. ВВЛ - высокочастотные линии передачи.
 - АЭП - линии электропередачи
 - контактные или электрофиз-е жел. дороги.
2. Мощные радиостанции
3. Атмосферное электричество (молнии)
4. Промышленные помехи (электродвигатели)

Внешние влияния

Электрические
(эл. поле)

магнитные
(маг. поле)

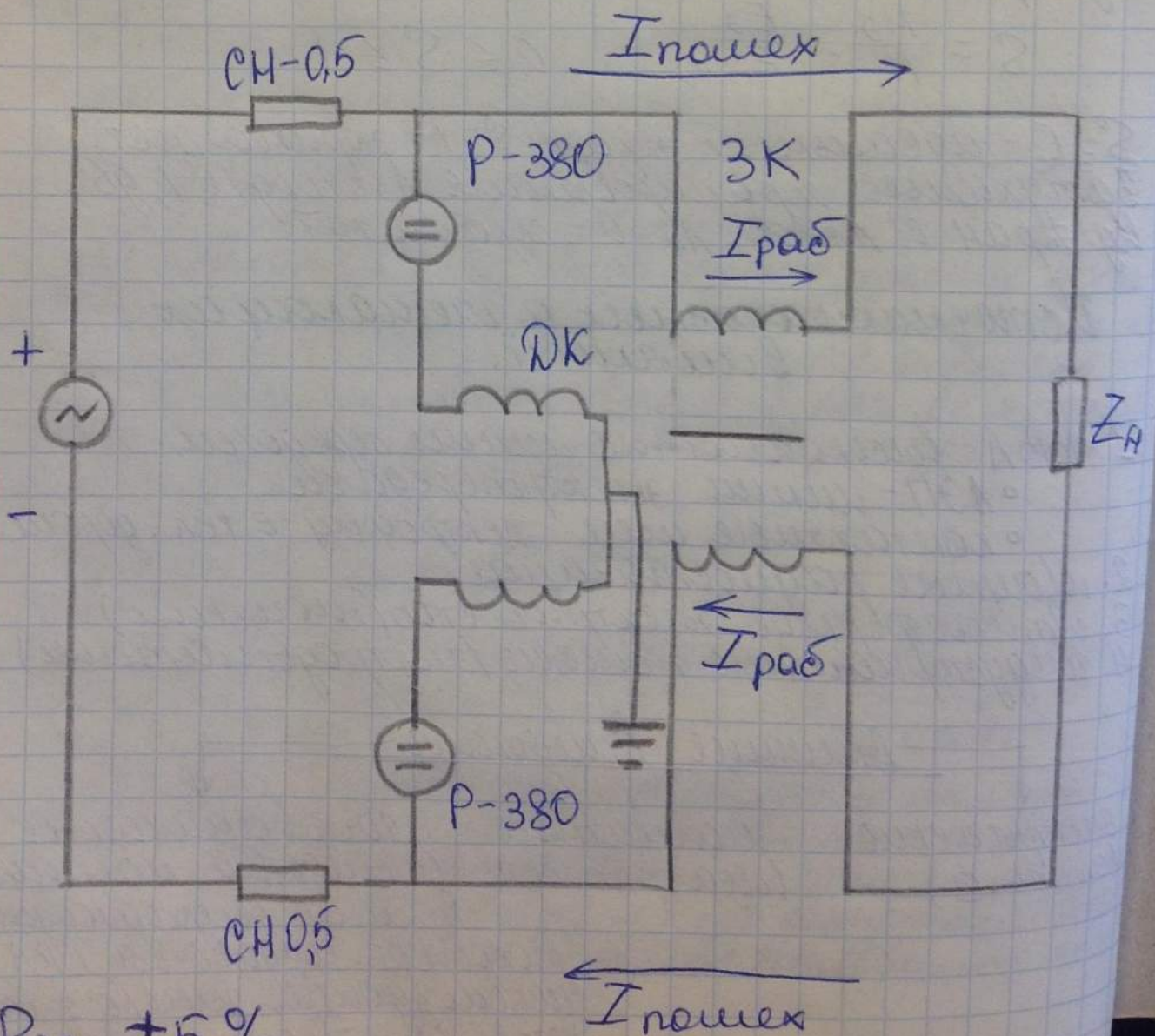
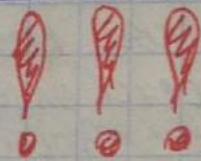
электромагнитные
(вследствие наличия в земле блуждающих токов, кот. создаются ВВЛ, использующие землю в качестве обратного проводника).

Напр. сис-мы эл-зи. Тош 1. Теория пере-
даче и, влияющая эл-зи - Андреев,
Косаровский, Портнов.

Том 2. ИСЭ. Проектар-е, строит-во 4
эксплуатация.

401 ayy.

СХЕМА ЗАЩИТЫ


$$P_{380} \pm 5\%$$