

Кафедра ССС

УТВЕРЖДАЮ
ЗАВЕДУЮЩИЙ КАФЕДРОЙ
В.В. Котов
“ ____ ” _____ **2019** года

ЛЕКЦИЯ

Тема № 01. Анализ основных характеристик и особенностей применения современных направляющих систем и военно-полевого комплекса систем передачи с ЧРК

Занятие № 01. Анализ допустимых областей применения современных направляющих систем

Обсуждена на заседании кафедры ССС
Протокол № _____
от “ ____ ” _____ 2018 г.

Санкт-Петербург
2018

I. Учебные цели

1. Систематизировать знания слушателей по допустимым областям применения современных направляющих систем проводных линий передачи.

II. Воспитательные цели

1. Углубить у слушателей навыки поиска, обобщения и изложения учебного материала.
2. Привить чувство ответственности за изучение современных направляющих систем проводных линий передачи для их грамотного применения в системах военной связи.

III. Расчет учебного времени

Содержание и порядок проведения занятия	Время, мин
ВСТУПИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	80
Учебные вопросы:	
1. Классификация направляющих систем.	10
2. Параметры передачи и взаимных влияний цепей кабельных линий.	55
3. Назначение, классификация и основные электрические характеристики военно-полевых кабелей связи.	15
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ	5
ответы на вопросы, подведение итогов занятия, задание на самоподготовку	

IV. Литература

1. Военные системы многоканальной электросвязи. /С.С.Дудко и др. -Л.: ВАС, 1990. -228с.

V. Учебно-материальное обеспечение

Наглядные пособия (схемы):

1. Схема «Первичные и вторичные параметры кабелей связи».
2. Схема «Основные характеристики ПКДС».

Раздаточный материал:

1. Электромагнитные процессы в цепях линий связи.
2. Электромагнитное поле симметричной цепи.
3. Процесс непосредственного взаимного влияния.
4. Основные тактико-технические данные военно-полевых кабелей связи.

VI. Текст лекции

Введение

В рамках дисциплины «Средства и комплексы военной техники связи и автоматизации, их боевое применение» на основные виды занятий для кафедры «Военных систем многоканальной электропроводной и оптической связи» выделено 34 учебных часа (10 ч – лекции, 8 ч – групповые занятия, 14 ч – практические занятия и 2 ч – зачет с оценкой). За это время необходимо в достаточно напряженном ритме рассмотреть: современные направляющие системы проводных линий передачи; проанализировать общие характеристики базового военно-полевого комплекса каналообразования с ЧРК и основы его эксплуатации; изучить особенности боевого применения аппаратуры военно-полевого комплекса П-331; изучить общую характеристику и основы эксплуатации аппаратуры базовых комплексов ВОСП.

Поэтому целью первой лекции является анализ допустимых областей применения современных направляющих систем.

Необходимо отметить, что при создании и развитии территориальной системы связи (ТСС) Вооруженных Сил РФ, как сети связи общего пользования межведомственного применения, должны комплексно использоваться все средства радио-, радиорелейной, тропосферной, космической и проводной связи различной видовой и ведомственной принадлежности. Предмет изучения этой лекции – направляющие системы.

Определение: Направляющая система проводной линии связи представляет собой устройство непрерывной конструкции, способное передавать электромагнитную энергию в заданном направлении.

Направляющим (канализующим) свойством в отношении ЭМ энергии обладает граница раздела двух сред, например, таких как металл-диэлектрик, диэлектрик-воздух, два диэлектрика с различными электрическими свойствами. На этом свойстве данных сред и основано создание НС проводных линий связи. Рассмотрим классификацию направляющих систем.

Учебные вопросы

1. Классификация направляющих систем

Современные направляющие системы передачи высокочастотной энергии разделяются на:

Наименование	Частота, Гц	Длина волны	Возможное число КТЧ	Существующая система связи
Воздушные линии связи (ВЛС)	10^5	км	10	В-12
Симметричные кабели	10^6	м	100	К-60, К-1020
Коаксиальный кабель	10^8	м	1000...10000	К-1920, К-3600, К-10800
Сверхпроводящие кабели (-269°C)	10^9	см		---
Волновод	10^{10-11}	мм	100000	---
Световод	10^{14-15}	(0,85-1,55) мкм	>100000	ИКМ-480; 1920; 7680

Анализ таблицы показывает, что данные типы НС классифицируют по их конструкции и по частотному диапазону. В конструктивном отношении НС в ВЛС и СК является симметричная цепь, в КК - несимметричная цепь.

Определение: Симметричной цепью называется пара изолированных проводников с одинаковыми конструктивными и электрическими свойствами, расположенными симметрично относительно ее продольной оси. Несимметричная (коаксиальная) цепь представляет собой пару соосных проводников, изолированных друг от друга.

В военных системах многоканальной электропроводной связи наибольшее применение нашли направляющие среды в виде симметричных и коаксиальных кабелей связи. Ограниченное

КУД 8215 Л №1

применение находят воздушные линии связи. Начинают широко внедряться волоконно-оптические кабели, которые в ближайшем будущем, благодаря своим достоинствам, могут полностью заменить кабели на основе электрических проводников.

2. Параметры передачи и взаимных влияний цепей кабельных линий

Процесс передачи ЭМ энергии по цепям линий связи сопровождается следующими явлениями (рис. 2.1):

- распространением ЭМ энергии вдоль цепей линий связи;
- постепенным поглощением ЭМ энергии в цепях (в металле и диэлектрике);
- взаимным переходом ЭМ энергии между соседними цепями линий связи.

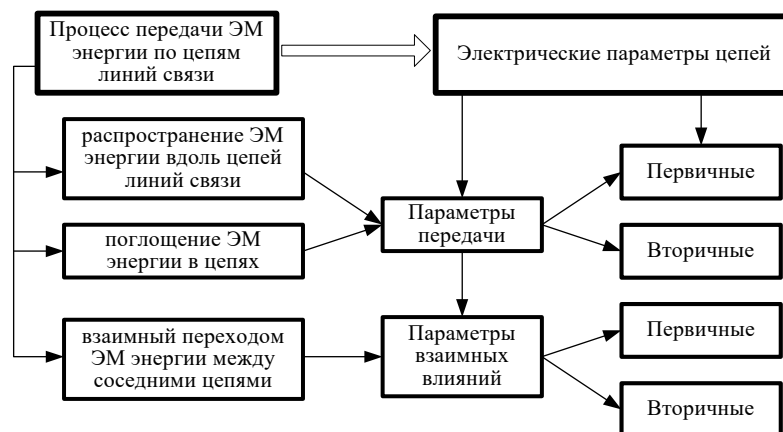


Рис. 2.1. Электромагнитные процессы в цепях линий связи.

Анализ рис. 2.1. показывает, что электрические свойства цепей кабелей связи характеризуются параметрами передачи и параметрами влияния. *Параметры передачи* определяют условия распространения электрических сигналов по цепям линий связи. *Параметры влияния* определяют степень взаимного влияния между цепями линий связи при передаче электрических сигналов.

Параметры передачи относят к единице длины линии, за которую, как правило, принимается 1 км. Параметры передачи делятся на первичные и вторичные.

Первичные параметры непосредственно зависят от материалов и конструкций цепей линий связи. К первичным параметрам передачи цепей линий связи относятся:

- R – активное сопротивление (Ом/км);
- L – индуктивность (Гн/км);
- C – электрическая емкость (Ф/км);
- G – проводимость изоляции (см/км).

Приступим к рассмотрению параметров передачи цепей линий связи.

Активное сопротивление цепи.

Активное сопротивление можно представить в виде следующей суммы сопротивлений:

$$R = R_0 + R_{нз} + R_{эб} + R_M, \quad (2.1)$$

где R_0 – сопротивлением цепи постоянному току вызванное тепловыми потерями; $R_{нз}$ – сопротивление, вызванное поверхностным эффектом; $R_{эб}$ – сопротивление, учитывающее эффект близости; R_M – сопротивление, вызванное потерями ЭМ энергии в окружающих данную цепь металлических массах.

Сопротивление цепи постоянному току обусловлено потерями ЭМ энергии на сообщение поступательного движения электронам. При этом увеличивается интенсивность их столкновения с атомами металла, что приводит к его нагреву, т.е. к тепловым потерям. R_0 рассчитывается на основе закона Ома с учетом сопротивления каждого проводника цепи в соответствии с выражением:

$$R_{np} = \rho \frac{l_{np}}{S}. \quad \text{Ом} \quad (2.2)$$

где ρ - удельное сопротивление материала проводника, Ом×мм²/м; $S = \pi \times d_0^2 / 4$ - площадь поперечного сечения проводника, мм²; d_0 - диаметр проводника цепи, мм; $l_{np} = \chi \times 1000$ м - длина проводника цепи с учетом коэффициента укрутки жил, м.

Таким образом, сопротивление цепи постоянному току прямо пропорционально удельному сопротивлению материала провода и длине провода, обратно пропорционально площади его сечения.

Сопротивление, вызванное поверхностным эффектом, состоит в том, что при протекании в проводнике переменного тока силовые линии внутреннего магнитного поля, пересекая толщину проводника, наводят в нем вихревые токи. При этом согласно правилу Ленца, происходит перераспределение плотности тока по их сечению. Плотность тока в центре провода становится меньше, чем у его поверхности. Вихревые токи в центре проводника направлены навстречу основному току, а вблизи поверхности совпадают с ним. Соответственно суммарная плотность тока в центре проводника уменьшается, а вблизи поверхности – увеличивается. Это приводит к уменьшению полезной площади поперечного сечения проводника, т.е. увеличению его активного сопротивления.

Величину R_{ns} приближенно можно оценить с помощью выражения:

$$R_{ns} = \left(\frac{d_0^2 - 2\theta}{d_0^2 - (d_0^2 - 2\theta)^2} \right) R_0, \quad \frac{\text{Ом}}{\text{км}} \quad (2.3)$$

где $\theta = \frac{\sqrt{2}}{\kappa} = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_a \delta}}$ - эквивалентная глубина проникновения переменного тока в толщину проводника (такая глубина проникновения, при которой ток внутри проводника уменьшается в $e = 2,718$ раза). Здесь $\kappa = \sqrt{\omega \mu_a \delta}$ - коэффициент вихревых токов; $\mu_a = \mu 4\pi \cdot 10^{-4}$ Гн/км - абсолютная магнитная проницаемость цепи; δ - угол диэлектрических потерь

Явление ПЭ увеличивается с ростом частоты тока, магнитной проницаемости, проводимости и диаметра проводников.

Сопротивление, учитывающее эффект близости, вызывается взаимодействием внешних магнитных полей проводника в цепи. Неравномерное распределение плотности тока по сечению провода ведет к увеличению активного сопротивления. Величину R_{nb} приближенно можно оценить с помощью выражения:

$$R_{nb} \cong \frac{k}{a^2} \sqrt{d_0} = \frac{1}{a^2} \sqrt{\omega \mu_a \delta d_0}, \quad (2.4)$$

где a – расстояние между центрами жил цепи.

Степень ЭБ также пропорциональна частоте, магнитной проницаемости, проводимости и диаметру проводников. Кроме того, она зависит еще и от расстояния между проводниками и с уменьшением его – ЭБ возрастает в квадрате.

КУД 8215 Л №1

Сопротивление, вызванное потерями ЭМ энергии в окружающих данную цепь металлических массах, состоит в том, что ЭМ поле цепей наводит вихревые токи в металлической влагозащитной оболочке, экране и броневых покровах кабеля, которые нагревают эти элементы, создавая дополнительные потери энергии.

Таким образом, энергия ЭМ поля цепи частично теряется в окружающих цепь металлических массах, что эквивалентно увеличению активного сопротивления цепи на некоторую величину R_m .

Потери R_m учитываются на частотах свыше 30 кГц. Величина R_m устанавливается экспериментально для каждого типа кабеля на одной из частот (обычно 200 кГц) и приводится в справочниках.

Пересчет величины R_m для других условий производится по следующим формулам:

$$R_m = (R_1 + R_2) \sqrt{\frac{f(\Gamma_{\text{ц}})}{2 \cdot 10^5}}, \quad (2.5)$$

где R_1 и R_2 - табличные значения сопротивления, эквивалентного потерям соответственно в смежных цепях и металлических оболочках на частоте 200 кГц;

Очевидно, что R_m будет уменьшаться с увеличением расстояния проводников от металлических масс кабеля.

Полученные выше приближенные выражения удобны для анализа характера зависимости активного сопротивления от частоты и конструкции цепей. Точные выражения для расчета активного сопротивления цепей могут быть получены на основе решения уравнений Максвелла.

На практике величина активного сопротивления одиночных проводников определяют приближенно по справочным таблицам в соответствии с выражением

$$R = R_0 \left[1 + F(x) + p \frac{G(x) \cdot (d_0/a)^2}{1 - H(x) \cdot (d_0/a)^2} \right] + R_m \sqrt{f/200}. \quad (2.6)$$

где $F(x)$ - функция, учитывающая действие поверхностного эффекта; $G(x)$ и $H(x)$ - функции, учитывающие эффект близости; p - поправочный коэффициент, учитывающий тип линии связи.

В общем случае, как следует из полученных выше выражений, R зависит от частоты f , конструкции и материалов кабеля (рис 2.2). Анализ рис. 2.2 позволяет сделать следующие выводы:

1. С ростом частоты сопротивление возрастает от R_0 в результате действия ПЭ и ЭБ.

2. С увеличением расстояние между центрами жил цепи сопротивление уменьшается из-за ослабления действия ПЭ и ЭБ и в пределе стремится к сопротивлению уединенных проводов.

3. С увеличением диаметра проводника R уменьшается, однако при этом усиливается действие ЭБ (вследствие уменьшения "а"). Поэтому вначале R резко уменьшается, а затем его уменьшение замедляется.

Реальные значения R для существующих симметричных кабелей связи составляют $R = (30...100)$ Ом/км.

Вывод: Активное сопротивление цепей линий связи R определяется тепловыми потерями и потерями на вихревые токи, в результате действия которых происходит перераспределение

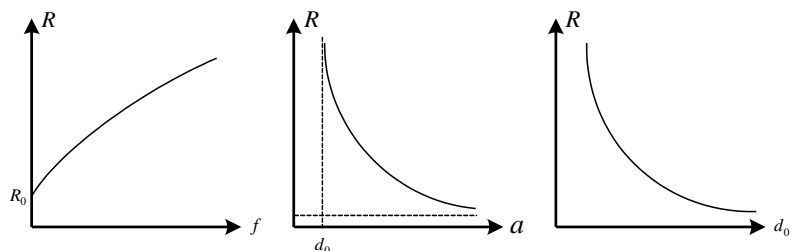


Рис. 2.2. Зависимость активного сопротивления.

КУД 8215 Л №1

плотности тока по сечению проводников, а также нагревание металлических конструкций кабеля связи.

Индуктивность.

При протекании по проводникам цепи тока вокруг каждого проводника возникают магнитные поля. Магнитный поток этих полей пронизывает толщу каждого проводника и пространство между проводниками (рис.2.3).

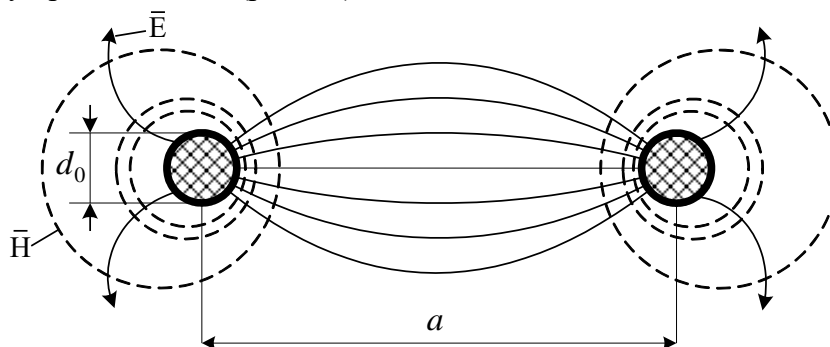


Рис. 2.3. Электромагнитное поле симметричной цепи

Следовательно, в цепи действует суммарный магнитный поток, состоящий из внутренних магнитных потоков каждого проводника и внешнего магнитного потока между проводниками и можно сделать вывод, что индуктивность цепей линий связи будет определяться действием потоков и будет равна сумме внутренней и внешней индуктивности цепи:

$$L = L_{вн} + L_{вн}, \quad (\text{Гн/км}) \quad (2.7)$$

где $L_{вн}$ - внутренняя индуктивность; $L_{вн}$ - внешняя индуктивность.

Окончательно для цепей симметричных кабелей выражение для полной индуктивности будет иметь вид

$$L_{ск} = \chi \left[\mu Q(x) + 4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} \right] \cdot 10^{-4}. \quad (2.8)$$

где $Q(x)$ - функция, учитывающая частотную зависимость внутренней индуктивности вследствие действия поверхностного эффекта; μ - относительная магнитная проницаемость материала проводника.

Анализ выражений (2.7, 2.8) и рис. 2.4 позволяет сделать следующие выводы относительно характера зависимости индуктивности от частоты и конструкции цепей:

1. С ростом частоты сильнее проявляется ПЭ и уменьшается при этом магнитный поток внутри проводов цепи. Индуктивность цепи будет уменьшаться, при этом уменьшается внутренняя индуктивность, а внешняя индуктивность от частоты не зависит.

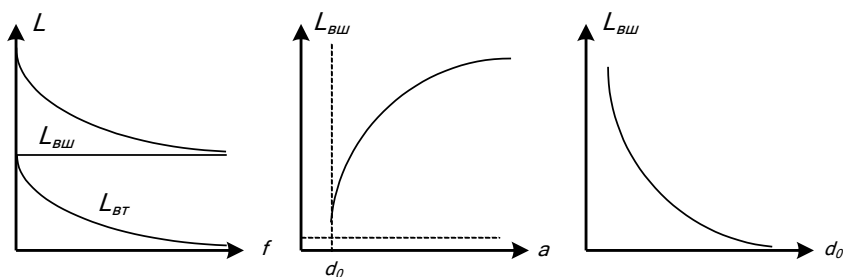


Рис. 2.4. Зависимость индуктивностей.

2. С увеличением расстояния между проводниками будет возрастать внешняя индуктивность за счет увеличения поверхности, пронизываемой магнитным потоком между проводниками.

3. С увеличением диаметра проводника индуктивность цепи уменьшается из-за уменьшения расстояния между проводниками вследствие уменьшения напряженности

КУД 8215 Л №1

внутреннего магнитного поля. Внешняя индуктивность также уменьшается из-за уменьшения пронизываемой магнитным потоком поверхности между проводниками.

В современных симметричных кабелях связи индуктивность реально составляет $L = 0,6...2,0$ мГн/км.

Таким образом, индуктивность цепи с ростом частоты уменьшается и при высоких частотах становится равной внешней индуктивности.

Емкость.

Емкость характеризует способность каждого участка цепи единичной длины (1 км) накапливать электрические заряды при разности потенциалов между проводниками, равной 1 В (рис. 2.5.):

$$C = \frac{Q}{U}, \text{ Ф/км.} \quad (2.9)$$

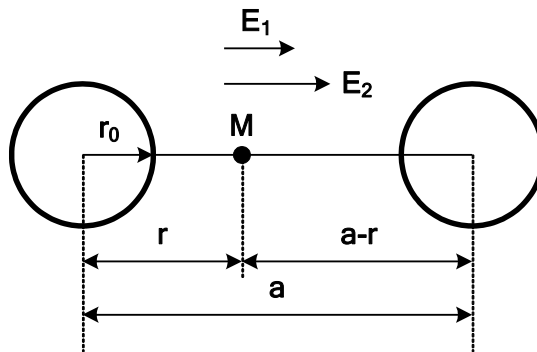


Рис. 2.5. К определению рабочей емкости цепи.

Емкость цепей симметричных кабелей связи зависит от наличия соседних жил и оболочки кабеля. Поэтому различают частичные емкости и рабочую емкость.

Рабочая емкость включает в себя частичную емкость между жилами цепи и частичные емкости этих жил относительно всех других жил и оболочки. Таким образом, рабочая емкость больше, чем частичная емкость между жилами. Ее величина зависит от степени удаления цепи от оболочки и других цепей в кабеле, что учитывается путем введения в формулу поправочного коэффициента ψ и коэффициент укрутки χ .

$$C_{ск} = \frac{\chi \epsilon_3 \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{2a\psi}{d_0}}, \text{ Ф/км} \quad (2.10)$$

где χ – коэффициент укрутки = 1.02...1.07;

ψ – поправочный коэффициент, учитывающий близость других цепей и оболочки кабеля. Значения коэффициента ψ определяются в зависимости от типа скрутки по формуле

$$\psi = \frac{(d_{zp} + d_1 - d_0)^2 - a^2}{(d_{zp} + d_1 - d_0)^2 + a^2},$$

где d_0 – диаметр провода без изоляции, d_1 – диаметр провода с изоляцией, d_{zp} – эквивалентный диаметр группы ($d_{zp} = d_n$ - при парной скрутке; $d_{zp} = d_3$ - при звездной скрутке; $d_{zp} = d_{0n}$ - при двойной парной скрутке).

Реально для парной скрутки $\psi_n = 0,608 - 0,665$, а для звездной скрутки $\psi_3 = 0,588 - 0,647$.

ϵ_3 – эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции (если жилы кабеля имеют комбинированную изоляцию, состоящую из воздуха и изолирующего материала),

$$\epsilon_3 = \frac{\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2 + \dots}{S_1 + S_2 + \dots},$$

КУД 8215 Л №1

где $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – диэлектрические проницаемости соответственно первого, второго и т. д. диэлектриков, составляющих изоляцию кабеля; S_1, S_2 – площади, занимаемые разными диэлектриками в поперечном сечении кабеля.

Например, значение ε , для кабелей с кордельно-полистирольной изоляцией составляет 1,2-1,3, а для кабелей с кордельно-бумажной изоляцией 1,3-1,4.

Анализ формулы (2.10) и рис. 2.6:

1. Емкость цепей линий связи не зависит от частоты (если не учитывать некоторую зависимость от частоты ε в случае если на проводах имеется иней или гололед. Тогда емкость становится больше, так как для льда ε больше единицы и изменяется с частотой).

2. С увеличением "а" емкость C уменьшается, т.к. увеличивается потенциальная энергия электрического поля.

3. С увеличением d_0 увеличивается поверхность проводников, уменьшается a и C возрастает

4. Рабочая емкость цепи пропорциональна ε , поэтому для уменьшения C используют изоляцию с малой ε .

5. Емкость цепей ВЛС в 5...7 раз меньше емкости цепей СК. Реально емкость цепей симметричных кабелей равна $C = 30 - 50$ нФ/км.

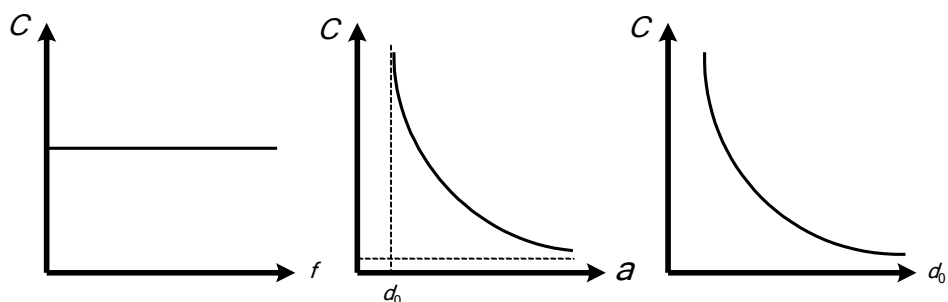


Рис. 2.6. Характер зависимости емкости цепей от частоты и конструкции цепей.

Таким образом, для уменьшения емкости в кабелях используют диэлектрики с малой диэлектрической проницаемостью – полиэтилен и полистирол. Наименьшей проницаемостью среди диэлектриков обладает воздух. В связи с этим в постоянных кабелях связи применяют неоднородную изоляцию, включающую большое количество воздуха, (пористую, кордельную), баллонную или шайбовую. В полевых кабелях связи для обеспечения высокой влагостойкости применяют сплошную изоляцию жил, поэтому емкость их цепей больше. Емкость цепи от частоты практически не зависит.

Проводимость изоляции.

Проводимость изоляции зависит от ее сопротивления изоляции постоянному току и от диэлектрических потерь в изолирующем материале при переменном токе:

$$G = G_0 + G_f, \quad (2.11)$$

где $G_0 = 1/R_{из}$ – проводимость изоляции при постоянном токе; $G_f = j \omega c \operatorname{tg} \delta$ – проводимость изоляции при переменном токе, обусловленная диэлектрическими потерями (δ – угол диэлектрических потерь).

Реально для кабелей местной связи $R_{из} \geq 2000$ МОм×км, а для междугородных кабелей $R_{из} \geq 10000$ МОм×км. Поэтому величина G_0 очень мала и ею пренебрегают в сравнении с G_f .

Следовательно

$$G_f \gg G_0 \text{ и } G = j \omega c \operatorname{tg} \delta, \text{ СМ/км} \quad (2.12)$$

КУД 8215 Л №1

Проведем анализ зависимости проводимости изоляции при изменении конструктивных параметров кабеля и частоты (рис.2.7).

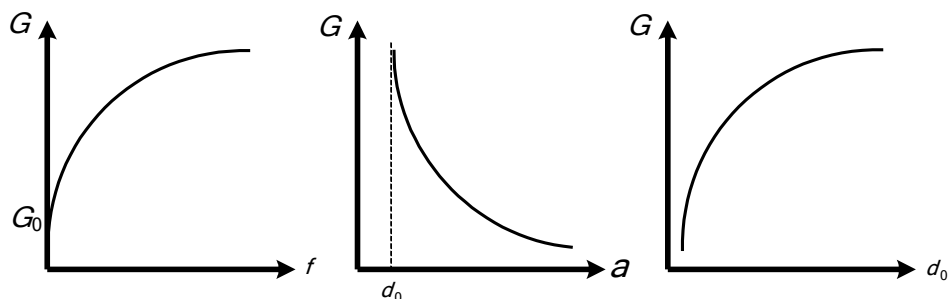


Рис. 2.7. Зависимость проводимости изоляции от частоты и конструкции цепи.

1. С увеличением частоты проводимость растёт от величины G_0 , что обусловлено линейным возрастанием проводимости ёмкости ωC и диэлектрических потерь $tg \delta$.

2. С увеличением расстояния между проводниками "a" проводимость уменьшается вследствие уменьшения ёмкости C.

3. С увеличением диаметра проводников d_0 возрастает ёмкость цепи C и, следовательно, G_f . Отметим, что проводимость изоляции кабелей связи лежит в пределах $G = 5 \div 200$ мкСм/км.

Вторичные параметры передачи однозначно выражаются через первичные и дают представление об изменении электрических характеристик передаваемых сигналов.

Вторичными параметрами передачи являются:

- постоянная распространения – γ ;
- коэффициент затухания – α (Нп/км);
- коэффициент фазы – β (рад/км);
- волновое сопротивление цепи – z_{ω} (Ом).

Вторичные (волновые) параметры цепей линий связи определяются значениями их первичных параметров и рассчитываются по следующим формулам:

$$\gamma = \alpha + j\beta = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)}, \quad z_{\omega} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.13)$$

где γ – постоянная распространения; α – коэффициент затухания цепи; β – коэффициент фазы цепи; z_{ω} – волновое сопротивление цепи.

Постоянная распространения определяет характер изменения комплексных амплитуд и фаз падающей и отраженной волн через каждый км длины цепи

Коэффициент затухания характеризует уменьшение амплитуд напряжения, тока и мощности через каждый км длины цепи.

Коэффициент фазы, характеризует запаздывание фазы напряжения и тока (мощности) через каждый км длины цепи. Имеет размерность **рад/км**.

Волновое сопротивление - это сопротивление, которое испытывает ЭМ волна при распространении вдоль однородной линии в состоянии ее полного согласования.

Если частота равна нулю (при постоянном токе), то из выражения для волнового сопротивления получим:

$$\begin{cases} \alpha = \sqrt{R_0 G_0} \\ \beta = 0 \end{cases}, \quad z_{\omega} = \sqrt{\frac{R_0}{G_0}}$$

В области низких частот при $f \leq 10$ кГц $R > \omega L$; $G < \omega C$.

$$\alpha = \beta = \sqrt{\frac{\omega RC}{2}}, \quad z_{\omega} = \sqrt{\frac{R}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} e^{-j\frac{\pi}{4}}$$

КУД 8215 Л №1

Для кабельных цепей, начиная с 20-30 кГц $\omega L \gg R$ и $\omega C \gg G$. В этом случае можно пользоваться выражениями:

$$\alpha = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad \beta = \omega \sqrt{LC}, \quad z_0 = \sqrt{L/C}$$

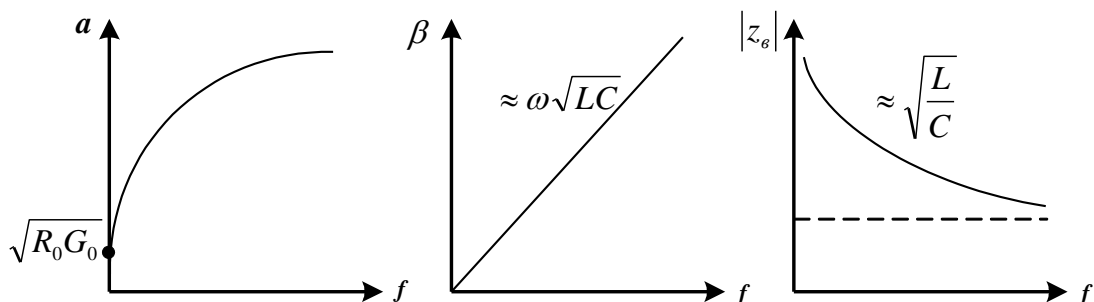


Рис. 2.8. Зависимость вторичных параметров передачи от частоты.

Анализ рис. 2.8 показывает, что поскольку с ростом частоты R и G цепей увеличиваются, а их индуктивность уменьшается, то коэффициент затухания возрастает, что приводит к амплитудным искажениям сигналов, состоящим в ослаблении высокочастотной части спектра сигнала.

Значение коэффициента фазы увеличиваются прямо пропорционально частоте, и обеспечивается одинаковое время задержки высокочастотных и низкочастотных составляющих спектра сигнала. Поэтому цепи кабелей связи фазовых искажений практически не вносят.

Модуль волнового сопротивления с ростом частоты уменьшается по закону уменьшения индуктивности и стремится к величине $\sqrt{L/C}$. В цепях симметричного кабеля стандарт волнового сопротивления с ростом частоты уменьшается с 600 Ом до 150 Ом, а в коаксиальных кабелях – до 75 Ом.

Необходимо отметить, что одной из главных задач при разработке кабелей связи является задача увеличения дальности связи без дополнительного расхода цветных металлов. Для этого оптимизируют конструкцию линии по критерию минимума затухания.

В реальных кабелях $RC \gg LG$. Следовательно, затухание может быть снижено либо уменьшением R , что увеличит расход меди, либо уменьшением C или увеличением L . Рост C связан с увеличением габаритов кабеля и нерационален. Таким образом, единственный путь снижения " α " – это увеличение L , т.е. внесение искусственной индуктивности. Этот способ получил название "пупинизация". Недостаток пупинизации – резкое увеличение затухания после предельной частоты пупинизации, что приводит к уменьшению используемого частотного диапазона.

Взаимные влияния между цепями практически проявляются в том, что передачи, ведущиеся по одной цепи, прослушиваются на параллельных цепях в виде внятного или невнятного мешающего переходного разговора. Невнятный переходный разговор (шум) снижает качество связи, так как маскирует или искажает передаваемые по цепи сигналы, а внятный переходный разговор, кроме того, нарушает скрытность передачи.

Взаимные влияния между цепями линий связи обусловлены воздействием переменного электромагнитного тока одной цепи, которая называется влияющей, на соседние, которые называют подверженными влиянию.

Переход энергии из одной цепи в другую определяется, главным образом, взаимным расположением проводов цепей.

Количественные характеристики взаимных влияний оцениваются, так называемыми, *переходными затуханиями на ближнем конце (БК) и дальнем конце (ДК)*, которые обозначаются A_0 и A_1 , соответственно (см. рис. 2.9).

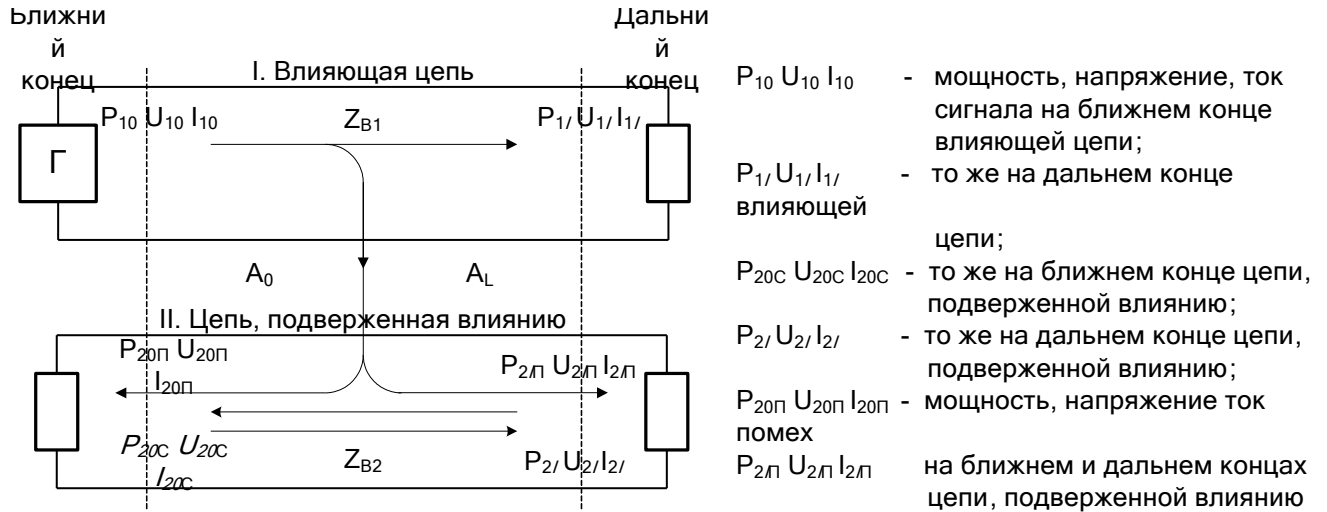


Рис. 2.9. Процесс непосредственного взаимного влияния.

Определение: переходным затуханием называется степень уменьшения тока и напряжения (мощности) сигнала при его переходе с влияющей цепи на цепь, подверженную влиянию.

Переходное затухание на БК определяется выражением:

$$A_0 = 10 \lg \frac{P_{10}}{P_{20п}}, \text{ [дБ]} \quad (2.14)$$

где P_{10} - полная мощность сигнала в начале влияющей цепи, МВт; $P_{20п}$ - полная мощность помехи на БК цепи, подверженной влиянию, мВт.

Переходное затухание на ДК определяется выражением:

$$A_l = 10 \lg \frac{P_{1l}}{P_{2л}}, \text{ [дБ]} \quad (2.15)$$

где P_{1l} - полная мощность сигнала в согласованной нагрузке ДК влияющей цепи; $P_{2л}$ - полная мощность помехи на ДК цепи, мВт.

Переходные затухания характеризуют с точки зрения взаимных влияний только линию. Для характеристики системы, содержащей линию, источник сигнала и источник переходной помехи, с точки зрения мешающего действия этой помехи используются понятия **защищенности от переходных помех на БК и ДК**.

Определение: Защищенность цепи - это логарифм отношения полной мощности полезного сигнала на нагрузке цепи, подверженной влиянию, к полной мощности переходной помехи на этой же нагрузке.

В соответствии с данным определением защищенность на БК и ДК будет соответственно равна:

$$A_{\text{БК}} = 10 \lg \frac{P_{20с}}{P_{20п}}, \quad A_{\text{ДК}} = 10 \lg \frac{P_{2л}}{P_{2л}}, \text{ [дБ]} \quad (2.16)$$

При увеличении частоты взаимное влияние, обусловленное электрическим и магнитным полями, возрастает. Поэтому переходное затухание на БК и защищенность на ДК между цепями симметричных кабелей связи уменьшаются.

Способы уменьшения взаимных влияний между цепями кабельных линий связи.

Меры по уменьшению взаимных влияний между цепями кабельных линий связи принимают на этапе разработки конструкции кабеля, на этапе изготовления строительных длин на кабельном заводе, а также в процессе строительства кабельной линии (развертывания полевой кабельной линии).

КУД 8215 Л №1

К конструктивным мерам уменьшения взаимных влияний относятся: скручивание кабельных жил в группы и групп в кабельный сердечник, а также экранирование цепей.

На этапе изготовления строительных длин основной мерой является ограничение конструктивных неоднородностей.

Комплекс мер, используемых при строительстве кабельных линий связи для уменьшения взаимных влияний, называется симметрирование кабеля.

Скручивание кабельных жил в группы, производится таким образом, чтобы для любой пары цепей переходная помеха, вызванная взаимным влиянием в участке кабеля определенной длины, компенсировалась переходной помехой, вызванной соседним участком такой же длины. Шаги скрутки разных групп различны. Они выбираются путем специального расчета.

Свивание групп в кабельный сердечник по своей сути аналогично скручиванию жил.

Экранирование цепей симметричных и коаксиальных кабелей является наиболее радикальным способом защиты от взаимных влияний и влияний внешних электромагнитных полей. Однако этот способ защиты, как правило, увеличивает стоимость кабеля и затухание цепей.

В низкочастотных кабелях экранируют цепи с высоким уровнем передачи (цепи радиовещания, селекторной железнодорожной связи и др.). В симметричных кабелях экранируют весь кабельный сердечник. В коаксиальных же экранируют каждую коаксиальную пару.

Экраны кабельных групп и сердечников имеют цилиндрическую форму и могут быть выполнены в виде спирально наложенных бумажных металлизированных лент, сплошных медных или алюминиевых лент и хлопчатобумажных графитированных лент. Для экранирования высокочастотных полевых кабелей в качестве экрана применяют металлические оплетки из медных и стальных проволок.

При экранировании электрическое поле, создаваемое в цепях, замыкается внутри экрана, стабилизируя емкость и проводимость изоляции цепей.

При изготовлении кабелей связи не удастся в достаточной мере избежать конструктивных неоднородностей, нарушающих симметричность отдельных кабельных цепей и групп. Поэтому при прокладке и монтаже кабеля приходится применять комплекс дополнительных мер по уменьшению взаимных влияний, который носит название "симметрирование кабелей".

Симметрирование кабелей производится при развертывании кабельной линии. Оно состоит из подбора строительных длин по средним значениям рабочих емкостей, систематического скрещивания цепей, выбора соединения цепей (оператора скрещивания) в симметрирующих муфтах по результатам измерения взаимных влияний и включения дополнительных конденсаторов и контуров противосвязи, состоящих из последовательно соединенных конденсатора и резистора. Иногда производят систематическое смешивание кабельных групп. Кроме того, при симметрировании НЧ кабелей обеспечивают устранение омической асимметрии.

Действие конденсаторов и контуров противосвязи состоит в том, что дополнительно к токам помех создаются компенсирующие токи. При этом номиналы и провода, между которыми они включаются, выбирают так, чтобы токи за счет влияний и контурные токи были бы одинаковы по величине и обратны по фазе. Тогда происходит взаимная компенсация и защищенность (переходное затухание) возрастает.

Строительные длины с большим переходным затуханием прокладываются по концам усилительных участков.

На усилительном участке ПКЛ не допускается:

- более двух строительных длин (по одной с каждой стороны на удалении не менее пяти строительных длин от каждого из концов усилительного участка) с пониженным переходным затуханием на БК однокабельных ПКЛ;

- более одной строительной длины с пониженной защищенностью на ДК двухкабельных ПКЛ.

3. Назначение, классификация и основные электрические характеристики военно-полевых кабелей связи

Определение: кабелем связи называется система, состоящая из совокупности изолированных проводников, скрученных между собой по определенному закону и заключенных во влагозащитную оболочку, наружные броневые и защитные покрытия.

Современные кабели связи различаются по назначению и области применения, по условиям прокладки и эксплуатации, по спектру передаваемых частот, по конструкции и материалам различных элементов кабеля, что определяется многообразием требований к организации связи и условиям эксплуатации проводных линий связи. В данном вопросе лекции мы рассмотрим военно-полевые кабели связи.

Военно-полевые кабели связи предназначены для быстрого и многократного развертывания полевых кабельных линий, которые должны обеспечить устойчивую связь на необходимые дальности в различных атмосферно-климатических условиях.

В зависимости от назначения различают:

- полевые кабели дальней связи, предназначенные для обеспечения связи на значительные расстояния (до 2500 км);
- легкие полевые кабели, используемые для организации связи на сравнительно небольшие расстояния (десятки километров);
- внутриузловые полевые кабели – вводно-соединительные и распределительные полевые кабели, предназначенные для устройства вводов линий в узлы связи и усилительные (контрольно-испытательные) пункты и соединения их элементов между собой, а также для устройства распределительной сети внутренней связи на пунктах управления.

Полевые кабели дальней связи (ПКДС) предназначены для работы по ним многоканальных систем передачи. Все они – одночетверочные.

ПКДС делятся на пупинизированные (с ограниченным диапазоном частот из-за вмонтированных в полумуфты строительных длин специальных катушек индуктивности) и непупинизированные (без ограничения диапазона используемых частот):

- пупинизированные: – П-272 – (до 16 кГц) – для работы аппаратуры П-309-I и П-309-II; – П-270 – (до 60 кГц) – для работы СП П-304 и П-310М;
- непупинизированные: – П-296, П-296М, К-7 («Кушетка-7») – для работы СП комплекса «Топаз», «Азур» (на 6, 12, 24 и 60 каналов), ЦСП комплексов П-331 и П-331М, ВОСП П-335-1 (по электрическому выходу).

ПКДС в основном применяются в высших звеньях управления (фронт, армия). ПКДС используются для развертывания осевых и рокадных линий полевой опорной сети связи (ПОСС), линий привязки узлов связи (УС) пунктов управления (ПУ) к опорным узлам связи (ОУС), линий привязки к узлам связи ТСС ВС РФ. Кроме того, на полевых узлах связи ПКДС развертываются между каналаобразующими аппаратными на линиях передачи каналов, в частности: основной первичной группы 60-108 кГц (ПГТ или ШК-48).

ПКДС находят широкое применение и в ТСС ВС на, так называемых, «полевых кабельных линиях длительного действия (ПКЛД)».

ПКДС прокладываются, как правило, в земле на глубине (0,2-0,5) м и по своим общим свойствам приближаются к постоянным кабелям связи. Темп прокладки может быть достаточно высоким. Например, кабелеукладчик П-286 обеспечивает заглубление кабеля в грунт со скоростью до 4 км/час. Скорость прокладки кабеля бункерным способом (с бортового грузового автомобиля) по поверхности грунта может составлять по дорогам до 30 км/час, вне дорог – до 15 км/час.

Легкие полевые кабели связи (ЛПКС) предназначены для организации связи между ПУ в тактическом звене управления (ТЗУ), а также для развертывания абонентских линий. Наиболее распространены в войсках кабели П-268, П-274М и П-275. Дальности НЧ ТЛФ связи на абонентских линиях при применении указанных кабелей составляют 40-45 км, 20-30 км и 8-14 км, соответственно. Кроме того, кабели П-268 и П-274М обеспечивают работу малоканальных систем передачи:

- П-274М – для одноканальных СП в двухполосном режиме П-330-1, а также СП П-309-I и П-309-II;

КУД 8215 Л №1

- **П-268** – для одноканальных СП в двухполосном режиме П-330-1(П-309-I и П-309-II), трехканальных СП в двухполосном режиме П-330-3, а также для шестиканальных СП П-330-6 (двухкабельный ЛТ);

Номенклатура **ЛПКС** в последнее время пополнилась двумя новыми кабелями (серии «Планировщик»): двухпроводным **П-2** и четырехпроводным **П-4**. Эти кабели ориентированы на постепенную замену в войсках указанных выше кабелей П-274М и П-268. Кроме того, кабели П-2 и П-4 разрабатывались с учетом их применения и для военно-полевых ЦСП. Так, например, кабель П-4 при использовании ЦСП П-331М-2Л обеспечивает передачу цифровых сигналов со скоростью 48 кбит/с на расстояние до 15 км.

В последнее время области применения **ЛПКС** резко расширились. Развитие и совершенствование методов цифровой обработки сигналов, способов их передачи по кабелям связи с использованием более эффективных многоуровневых линейных кодов привело к возможности передачи по **ЛПКС** цифровых сигналов со скоростями до 2048 кбит/с, созданию двухпроводных цифровых ЛТ. Так, проводимые на нашей кафедре совместно с промышленностью испытания (2001-2002гг) современных модемов (технология HDSL) показали, что по двухпроводному кабелю П-274М можно передать информационный поток Е1 (2048 кбит/с) на дальность до 5 км.

Прокладка **ЛПКС** осуществляется с телефонных катушек и станков для размотки (намотки) внутриузловых кабелей. **ЛПКС** в зависимости от выполняемой частью задачи прокладываются по поверхности земли или подвешиваются на местных предметах, а также могут прокладываться с заглублением в грунт на 0,2-0,3 м как на суше, так и под водой.

Внутриузловые полевые кабели (ВуПК):

К ВуПК (вводно-соединительным и распределительным полевым кабелям) относятся:

- телефонно-телеграфный вводный кабель **ТТВК-5×2** (устаревший, сейчас в войсках встречается редко);

- вводно-соединительный экранированный кабель **ВСЭК-5×2**;

- полевые телефонные распределительные кабели **ПТРК-5×2**, **ПТРК-10×2** и **ПТРК-20×2**;

- современные полевые распределительные кабели **ПРК-5×2**, **ПРК-10×2** и **ПРК-20×2**;

- современные абонентские кабели с экранированными четверками и специальными парами для зашумления **П-269 (П-12)** разной емкости: **1×4+1×2**; **2×4+1×2**; **4×4+2×2**; **8×4+4×2**.

Кабель **ВСЭК-5×2** имеет экранированные пары, широкий диапазон используемых частот (до 150 кГц), благодаря чему широко применяется для передачи сигналов трехканальной предгруппы (ПРГТ или ШК-12).

Прокладка многопарных **ВуПК** осуществляется с использованием намоточных станков и тележки П-281МЗ. **ВуПК** прокладываются в траншеях (ровиках), которые в летний период отрываются в земле, а зимой – в снегу. Допускается прокладка **ВуПК** сначала по поверхности земли с последующей укладкой их в ровики глубиной 20-25 см и шириной 15-20 см и более. В межсезонье для исключения вмерзания в грунт и замокания кабель укладывается на траверсах, устанавливаемых в траншеях (ровиках).

Заключение

1. Современные типы НС классифицируют по их конструкции и по частотному диапазону. В конструктивном отношении НС в ВЛС и СК является симметричная цепь, в КК - несимметричная цепь.

2. Процесс передачи ЭМ энергии по цепям проводных линий связи в общем случае сопровождается явлениями распространения ЭМ энергии вдоль цепей, постепенным поглощением энергии в материалах цепей и взаимным переходом энергии между цепями. В количественном отношении явления распространения и поглощения ЭМ энергии описываются параметрами передачи цепей.

КУД 8215 Л №1

3. Первичные параметры передачи цепей проводных линий связи R , L , C и G непосредственно определяются конструкцией цепей и характеризуют процессы распространения ЭМ энергии вдоль цепей и ее поглощения в материалах цепей.

4. Вторичные параметры передачи однозначно выражаются через первичные и дают представление об изменении электрических характеристик передаваемых сигналов.

5. При увеличении A_0 и A_l уменьшаются переходные помехи соответственно на БК и ДК, и защищенность цепей A_{30} и A_{3l} возрастает. Увеличение затухания цепей приводит к уменьшению защищенности.

6. Современные военно-полевые кабели связи различаются по назначению и области применения, по условиям прокладки и эксплуатации, по спектру передаваемых частот, по конструкции и материалам различных элементов кабеля, что определяется многообразием требований к организации связи и условиям эксплуатации проводных линий связи.

Приложение

Основные тактико-технические данные военно-полевых кабелей связи

Таблица 1

Марка кабеля	Конструкция жилы	Материал			Наружный диаметр кабеля, мм	Масса кабеля, кг/км	Прочность на разрыв, кгс	Строительная длина, м	Сопротивление	
		изоляции жил	экрана	внешнего защитного шланга					постоянному току (не более), Ом/км	изоляции (не менее), МОм × км
Полевые кабели дальней связи										
П-270*	7м × 0,49	полиэтилен	алюминиевая фольга	поливинилхлорид	14,4	240	250	250	36	3500
П-272**	7м × 0,35	полиэтилен	графитированная перкалевая лента	поливинилхлорид	10,0	125	250	335	64,5	1335
П-296	7м × 0,35	полиэтилен	проволока медная 90 × 0,25мм	поливинилхлорид	11,4	184	250	500	55,5	5000
П-296М	7м × 0,35	полиэтилен	проволока медная 90 × 0,23мм	поливинилхлорид	11,4	184	250	500	53	5000
К-7	7м × 0,35	полиэтилен	лента медная 0,15мм	поливинилхлорид	9,5	113	250	660	54	5000
Легкие полевые кабели										
П-275	1м × 0,25 6ст × 0,25	поливинилхлорид	нет	нет	2,15 (1 жила)	14	60	600 или 750	500	5
П-274М	4м × 0,3 3ст × 0,3	полиэтилен	нет	нет	2,3 (1 жила)	15	40	500	125	1000
П-268	12м × 0,25 7ст × 0,25	полиэтилен	нет	нет	3,4 (1 жила)	35	65	1500 или 1000	66	1000
П-4	7м × 0,32	полиэтилен	алюминиевая фольга	полиэтилен	7,7	70	140	1000	34	5000
П-2	4м × 0,3 3ст × 0,3	полиэтилен	нет	полиэтилен	4,0	17,3	80	400	65	5000

Примечание: * - пупинизированный, обеспечивает эффективную передачу в полосе частот до 60 кГц;

** - пупинизированный, обеспечивает эффективную передачу в полосе частот до 16 кГц;

Основные тактико-технические данные внутриузловых распределительных и абонентских полевых кабелей связи

Таблица 2

Марка кабеля	Емкость кабеля	Конструкция жилы	Материал			Наружный диаметр кабеля, мм	Масса кабеля, кг/км	Проч. на разрыв, кгс	Строительная длина, м	Сопротивление	
			изоляции жил	экрана	внешнего защит. шланга					пост. току (не более), Ом/км	изоляции (не менее), МОм × км
ТТВК	5 × 2	7м × 0,35	резина	медная	резина	13	220	120	100, 50	53	500

КУД 8215 Л №1

	10 × 2			оплетка на каждой паре		20	410		100, 50		
ПТРК	5 × 2	7м × 0,26	полиэтилен	электропроводная ткань	поливинилхлорид	12,5	170	120	200, 100, 50	100	200
	10 × 2					14,5	260		100, 50		
	20 × 2					20	460		50		
ВСЭК	5 × 2	7м × 0,25	резина	медная оплетка на каждой паре	резина	14,5	250	120	100, 50	106	1000
ПРК	5 × 2	7м × 0,23	полиэтилен	повив из медных проволок	поливинилхлорид	13	240	120	150, 100, 50	135	500
	10 × 2					16	380		100, 50		
	20 × 2					21	700		50		
П-269 (П-12)	1×4 + 1×2	7м × 0,23	полиэтилен	алюмин. фольга на каждой четверке	поливинилхлорид	11 (11)	120 (140)	120	200, 100, 50	135	5000
	2×4 + 1×2					13 (13)	180 (200)		200, 100, 50		
	4×4 + 2×2					15 (15)	240 (300)		100, 50		
	8×4 + 4×2					21 (19)	460 (460)		50		