

Определение вторичных параметров коаксиальных линий

Поскольку коаксиальные кабели практически используются в спектре частот от 60 кГц и выше, где $R \ll \omega L$ и $G \ll \omega C$, вторичные параметры передачи можно определять по следующим формулам:

$$\alpha = 8,69 \left(\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right), \text{ [дБ/км]}; \quad \beta = \omega \sqrt{LC}, \text{ [рад/км]};$$

$$Z_B = \sqrt{L/C}, \text{ [Ом]}; \quad v = 1/\sqrt{LC}, \text{ [км/с]}.$$

Обычно вторичные параметры принято выражать непосредственно через габаритные размеры (d и D) и параметры изоляции (ϵ , $\text{tg}\delta$).

Коэффициент затухания:

$$\alpha = \frac{2,6\sqrt{f\epsilon}}{\ln(D/d)} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \cdot 10^{-3} + 9,08 \cdot f \sqrt{\epsilon} \text{tg}\delta \cdot 10^{-5}, \text{ [дБ/км]}.$$

Коэффициент фазы:

$$\beta = \omega \sqrt{\mu_a \epsilon_a} = \omega \sqrt{\epsilon}/c, \text{ [рад/км]}.$$

Волновое сопротивление:

$$Z_B = \frac{60}{\sqrt{\varepsilon}} \ln\left(\frac{D}{d}\right), [\text{Ом}].$$

Скорость распространения энергии:

$$v = \omega/\beta = c/\sqrt{\varepsilon}, [\text{км/с}].$$

Оптимальное соотношение диаметров проводников коаксиальной цепи

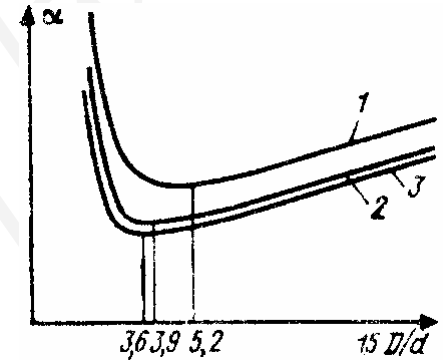
Оптимизация состоит в первую очередь в выборе соотношения диаметров внешнего и внутреннего проводников кабеля, при котором требуется минимум затрат материалов и средств на его изготовление, а также обеспечивается минимизация или максимизация одного из передаточных параметров.

Для кабелей связи, по которым необходимо обеспечить наибольшую дальность связи, основной задачей является *минимизация затухания*.

При использовании современных высококачественных диэлектриков коэффициент затухания α коаксиального кабеля может быть определен как:

$$\alpha = \frac{2,6\sqrt{f\varepsilon}}{\ln(D/d)} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D}\right) \cdot 10^{-3} = \frac{2,6\sqrt{f\varepsilon}}{\ln(D/d)} \frac{1}{D} \left(\frac{D}{d} + 1\right) \cdot 10^{-3}, [\text{дБ/км}].$$

Видно, что с увеличением D/d числитель растет линейно, а знаменатель пропорционален логарифму отношения D/d , что свидетельствует о наличии у зависимости $\alpha(D/d)$ оптимума. С помощью дифференциального анализа при условии $D = \text{const}$, получаем, что α минимально при соотношении $D/d = 3,6$.



Это соотношение справедливо для кабелей с одинаковыми (медными) проводниками (кривая 3). Если же проводники изготовлены из различных металлов (внутренний из меди, а внешний из: свинца (1) или алюминия (2)), то минимальное затухание определяется из выражения:

$$\ln(D/d) = 1 + d/D \sqrt{\sigma_d / \sigma_D},$$

где σ_d и σ_D – проводимости металлов внутреннего и внешнего проводников.

При конструировании коаксиального кабеля приходится отступать от оптимального соотношения D/d , если величина его волнового сопротивления строго нормирована.

При этом стараются выбирать отклонение соотношения D/d лишь в несколько большую сторону, поскольку отклонение в меньшую связано с довольно резким возрастанием коэффициента затухания.

Для обеспечения заданного Z_B соотношение D/d определяется как:

$$D/d = \exp\left(Z_B \sqrt{\varepsilon} / 60\right).$$

Таким образом, волновое сопротивление кабеля существенно зависит от величины диэлектрической проницаемости изоляции ε , например, для обеспечения $Z_B = 75$ Ом между D/d и ε должно выполняться соотношение:

ε	1,0	1,03	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,3
D/d	3,5	3,6	3,7	3,9	4,2	4,36	4,5	6,8

Если по кабелю необходимо обеспечить передачу большой мощности или требуется кабель на максимальное напряжение, как это обычно бывает в коаксиальных радиочастотных кабелях фидерного назначения, то оптимальная конструкция будет при другом соотношении D/d : по электрической прочности при $D/d = e = 2,718$, а по максимальной мощности при $D/d = 1,65$.

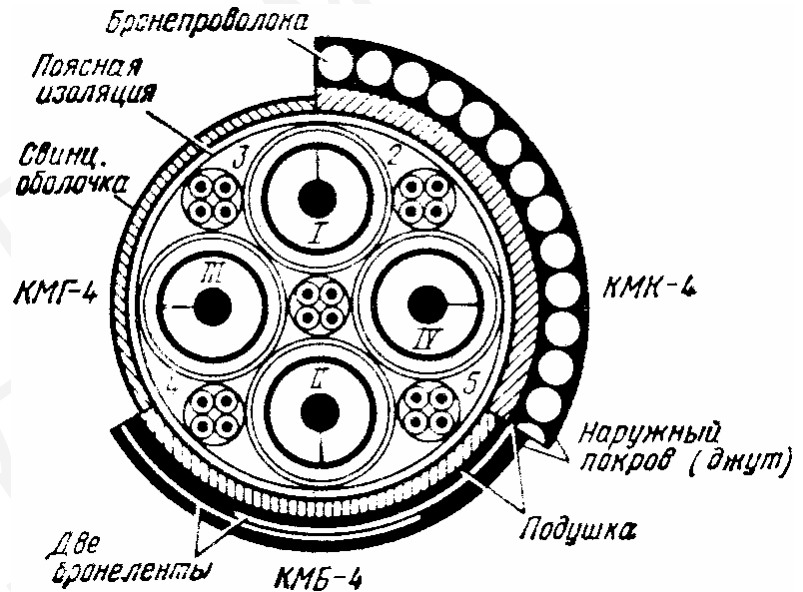
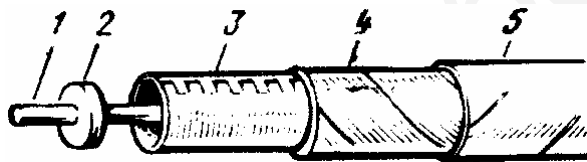
Конструкция коаксиальных кабелей и их характеристики

Коаксиальные кабели благодаря своей большой пропускной способности используются, в основном, на линиях магистральной и зонавой связи, кроме того они могут использоваться для соединительной городской и пригородной связи.

Наибольшее распространение для магистральной связи получили кабели:

- *среднего* (2,6/9,5) типа (КМ-4) – многоканальная связь и телевидение на большие расстояния между оконечными пунктами и крупными узлами связи;
- *малогабаритного* (1,2/4,6) типа (МКТ-4) – распределительные каналы между промежуточными пунктами и городскими узлами связи, расположенными по трассе магистрали;
- *комбинированные* – состоят из 4, 6 или 8 коаксиальных пар среднего типа и 4 или 6 малогабаритных пар, например КМ-8/6 (в числителе число коаксиальных пар среднего типа, в знаменателе – число малогабаритных пар).

Магистральный коаксиальный кабель КМ-4 типа 2,6/9,5 содержит четыре коаксиальные пары и пять звездных четверок. Каждая коаксиальная пара состоит из внутреннего медного проводника диаметром 2,6 мм (1) и внешнего проводника в виде медной трубки диаметром 9,5 мм с одним продольным швом (3). Коаксиальная пара имеет изоляцию из полиэтиленовых шайб толщиной 2,2 мм (2) с расстоянием между ними 25 мм. Поверх внешнего проводника расположен дополнительный экран в виде двух мягких стальных лент толщиной 0,15...0,2 мм (4), который покрывается одним—двумя слоями кабельной бумаги (5). Кабель имеет свинцовую оболочку и обычные бронепокрова и маркируется КМБ, КМГ, КМК.



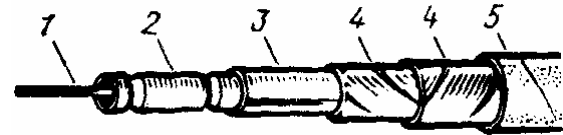
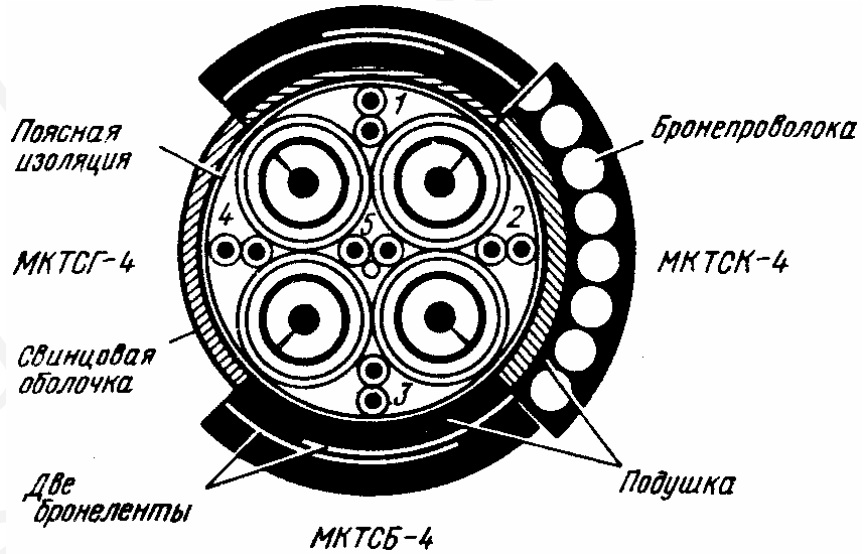
Основные электрические характеристики коаксиальной пары 2,6/9,4:

- номинальное волновое сопротивление $Z_B = 75 \text{ Ом}$;
- внутренняя неоднородность (коэффициент отражения) $\rho = 2 \cdot 10^{-3}$;
- переходное затухание $A_0 = 122 \text{ дБ}$ при частоте 300 кГц;
- коэффициент затухания α на частоте 1 МГц равен 2,48 дБ/км;
- испытательное напряжение $U = 3,7 \text{ кВ}$ постоянного тока.

Применяются также коаксиальные кабели в алюминиевой (КМА-4) и комбинированной (свинцовая поверх алюминиевой) оболочках (КМЭ-4). Эти кабели имеют повышенные экранирующие свойства и предназначены для прокладки в районах высокой грозодеятельности и на участках сближения с ЛЭП.

Малогабаритный коаксиальный кабель МКТ-4 типа 1,2/4,6 может изготавливаться в свинцовой (МКТС-4) и алюминиевой (МКТА-4) оболочках.

Внутренний проводник кабеля (1) медный, диаметром 1,2 мм. Изоляция (2) – воздушно-полиэтиленовая, баллонного типа. Внешний проводник (3) медный, с продольным швом, толщиной 0,1 мм. Экран (4) – из двух стальных лент толщиной по 0,1 мм. Вся конструкция покрыта поливинилхлорид-



ной лентой (5). Четыре коаксиальные пары скручивают вместе с пятью сигнальными парами диаметром 0,5 мм и покрывают поясной изоляцией. Снаружи располагается свинцовая оболочка и соответствующий броневой покров.

Снаружи располагается свинцовая оболочка и соответствующий броневой покров.

Основные электрические характеристики коаксиальной пары 1,2/4,6:

- волновое сопротивление кабеля 75 Ом;
- коэффициент отражения $(3...5) \cdot 10^{-3}$;
- коэффициент затухания на частоте 1 МГц равен 5,33 дБ/км;
- переходное затухание на частоте 60 кГц – не менее 104 дБ;
- электрическая прочность изоляции постоянному току 2 кВ.

Достоинством кабеля являются простота конструкции, дешевизна и технологичность изготовления.

Комбинированные коаксиальные кабели содержат средние пары 2,6/9,5 мм, малогабаритные коаксиальные пары 1,2/4,6 мм и симметричные группы.

Комбинированные кабели позволяют:

- организовать мощные пучки телефонных каналов и телевизионную передачу на большие расстояния по коаксиальным парам 2,6/9,5 мм;
- обеспечить распределительные каналы для связи между городами и промежуточными пунктами по коаксиальным парам 1,2/4,6 мм;

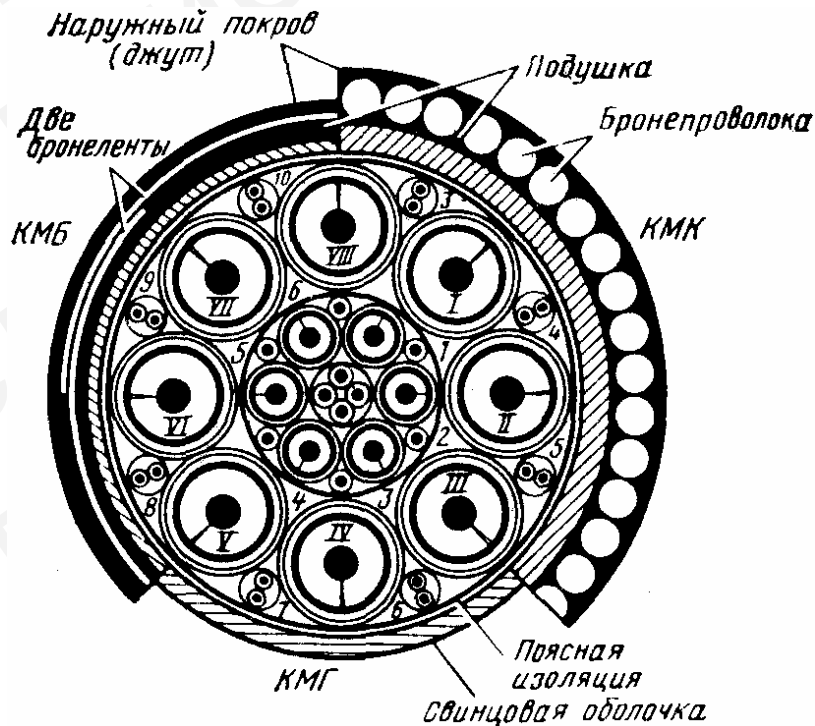
- обеспечить выделение необходимого числа каналов в любом пункте трассы по коаксиальным парам 1,2/4,6 мм;
- организовать служебную связь и телесигнализацию по симметричным парам и четверкам.

Кабель КМ-8/6 содержит:

- восемь пар 2,6/9,5 мм;
- шесть пар 1,2/4,6 мм;
- одну четверку;
- восемь симметричных пар и шесть отдельных жил.

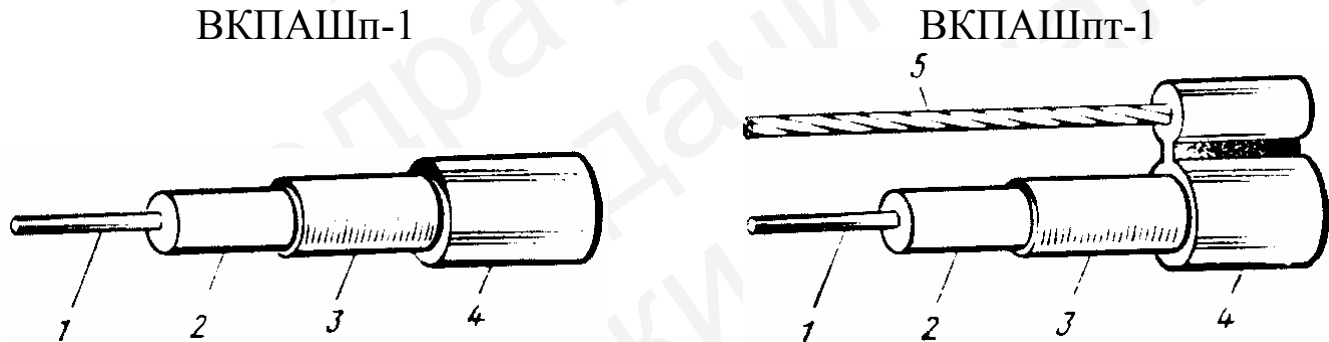
Все симметричные пары, четверки и отдельные проводники имеют медные жилы диаметром 0,9 мм с трубчато-полиэтиленовой изоляцией.

Электрические характеристики комбинированных кабелей аналогичны характеристикам кабеля КМБ-4 для пар 2,6/9,5 и МКТ-4 для пар 1,2/4,6.



Однокоаксиальный кабель ВКПАШп-1 (2,1/9,7) предназначен для организации зонной связи на расстояние до 600 км.

Конструктивно кабель выполняется в двух вариантах: подземный ВКПАШп-1 и подвесной самонесущий с встроенным тросом ВКПАШпт-1. Длина пролета подвесного кабеля 50...65 м.



Внутренний проводник кабеля (1) выполнен из медной проволоки диаметром 2,1 мм, изоляция (2) – из пористого полиэтилена с внешним диаметром 9,7 мм, внешний проводник (3) – алюминиевая прессованная трубка толщиной 0,8 мм. Эта же трубка играет роль экрана. Защитная оболочка (4) выполнена из светостойкого полиэтилена толщиной 2,2 мм.

В конструкцию подвесного кабеля в общую полиэтиленовую оболочку вмонтирован стальной трос (5) из 49 оцинкованных стальных проволок диаметром 0,34 мм. В поперечном сечении подвесной кабель имеет форму восьмерки.

Оптические кабели

Особая актуальность развития волоконно-оптической связи состоит в том, что ресурсы меди и свинца крайне ограничены, а кабельная промышленность потребляет до 50% меди и 25% свинца от общих мировых ресурсов.

Оптические кабели в отличие от электрических с медными проводниками не требуют дефицитных материалов и изготавливаются из стекла и пластмассы.

Основные достоинства оптических кабелей (ОК):

- широкополосность – передача большого потока информации;
- малое затухание и независимость его от частоты в широком диапазоне;
- высокая защищенность от внешних электромагнитных помех;
- малогабаритность и легкость (масса ОК в 10...12 раз меньше);
- надежная техника безопасности (невоспламеняемость, отсутствие КЗ).