

Конструкция проводников коаксиальных кабелей

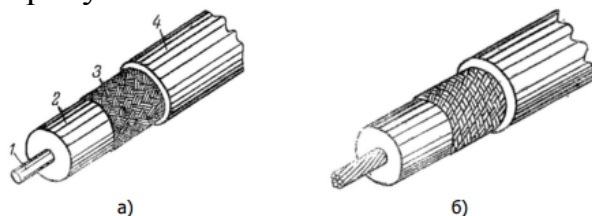
Основными элементами коаксиального кабеля являются металлические проводники, изоляция и защитная оболочка. Конструктивной особенностью проводников является их коаксиальное расположение: один проводник внутри другого, так, что геометрические центры проводников совмещены.

В зависимости от диаметров внутреннего и внешнего проводника и их соотношения коаксиальные пары делятся на несколько разных типов, наиболее распространенными из которых являются:

- малые с диаметром внутреннего проводника 1,2 мм, внешнего – 4,6 мм (обозначение 1,2/4,6 мм);
- средние – 2,6/9,4 мм;
- большие – 5/18 мм.

Кабели среднего типа 2,6/9,4 мм находят применение в основном на магистральных линиях. Кабели малого типа – малогабаритные – используются в основном на внутризоновых сетях связи. Кабели большого типа используются на подводных кабельных линиях.

Внутренний проводник выполняется из металла, имеющего высокую удельную проводимость. Чаще всего в этих целях используется медь – как и для симметричных кабелей – мягкая, отожженная марки ММ с удельным сопротивлением $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Иногда используется алюминий, обладающий удельным сопротивлением в 1,65 раз большим: $\rho = 0,0295 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Внутренний провод коаксиального кабеля либо выполняется сплошным (а), либо свивается из нескольких проводников (б), как показано на рисунке



Цифрами обозначены следующие элементы конструкции: 1 – внутренний проводник, 2 – изоляция; 3 – внешний проводник; 4 – защитная оболочка.

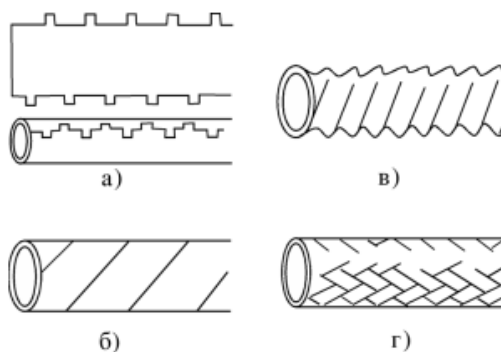
Витой провод применяется в тех кабелях, которые по условиям эксплуатации должны иметь повышенную гибкость. При этом он обладает большими потерями, чем сплошной проводник, поскольку при той же площади поперечного сечения имеет большее сопротивление на единицу длины.

Внешний проводник также изготавливается из меди или алюминия. Применение обоих медных проводников является наилучшим вариантом с точки зрения характеристик передачи, однако достаточно дорогим. Использовать алюминиевые проводники вместо медных намного дешевле, однако это приводит к значительному ухудшению параметров передачи сигнала. Компромиссным является вариант, когда материалом внутреннего проводника служит медь, а материалом внешнего – алюминий. В этом

случае удастся добиться снижения стоимости кабеля по сравнению с кабелем, имеющим оба медных проводника, за счет небольшого ухудшения параметров передачи: сопротивление цепи электрическому току возрастает всего на 6% (для кабелей среднего типа).

С точки зрения уменьшения потерь наилучшей формой внешнего проводника коаксиального кабеля является однородная по всей длине трубка, однако изготовить достаточно длинный гибкий кабель со сплошным цилиндрическим внешним проводником крайне затруднительно. Промышленность производит следующие конструктивные разновидности гибких внешних проводников коаксиального кабеля, приведенные на рисунке:

- с продольным швом типа «молния» (а);
- ленточный (б);
- гофрированный (в);
- оплеточного типа (г).



Внешний проводник со швом типа «молния» представляет собой непрерывную цилиндрическую трубку с одним продольным швом. Для изготовления используется медная лента толщиной 0,25-0,3 мм, на краях которой расположены смещенные друг относительно друга зубцы. При изгибе ленты образуется жесткий и устойчивый цилиндр с высокой электрической однородностью. Данная конструкция внешнего проводника нашла широкое применение в малых и средних коаксиальных парах. Ее использование в больших коаксиальных парах затрудняется излишней жесткостью конструкции.

При изготовлении ленточного проводника по длине кабеля встык друг к другу накладываются по винтовой спирали с большим шагом медные ленты прямоугольного (а) или фасонного (б) сечения. Известны также конструкции внешнего проводника из круглых металлических проволок (в). Существенным недостатком внешнего проводника такого типа является неустойчивость электрических параметров в процессе длительной эксплуатации.

Гофрированный внешний проводник изготавливается из гофрированной по винтовой спирали ленты и имеет один продольный шов. Известны также бесшовные конструкции. В качестве материала обычно используется алюминий. Главное достоинство гофрированного проводника - его высокая гибкость. Для защиты от взаимных помех

такой проводник обычно снабжается дополнительным экраном. В магистральных кабелях экран выполняется как правило в виде обмотки из двух стальных лент толщиной 0,15-0,20 мм и шириной 10-15 мм, накладываемых с перекрытием на внешний проводник.

Изоляция в коаксиальном кабеле находится между двумя проводниками и выполняет следующие функции:

- предохранение проводников от соприкосновения между собой;
- фиксация положения проводников по всей длине кабеля.

Основной характеристикой изоляции является величина ее диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$. В качестве изоляции может выступать как сплошной материал (например, слой пенопласта), так и его комбинация с воздухом. В последнем случае говорят о комбинированном диэлектрике. Комбинированная изоляция в свою очередь делится на воздушно-пластмассовую и воздушно-керамическую. Соотношение объемов диэлектрика V_d и воздуха V_v в существующих кабелях с комбинированной изоляцией составляет 1:10 - 1:20.

Если изоляция коаксиальной пары комбинированная, то вместо диэлектрической проницаемости используется ее эквивалентная величина, которая в общем случае рассчитывается по формуле:

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

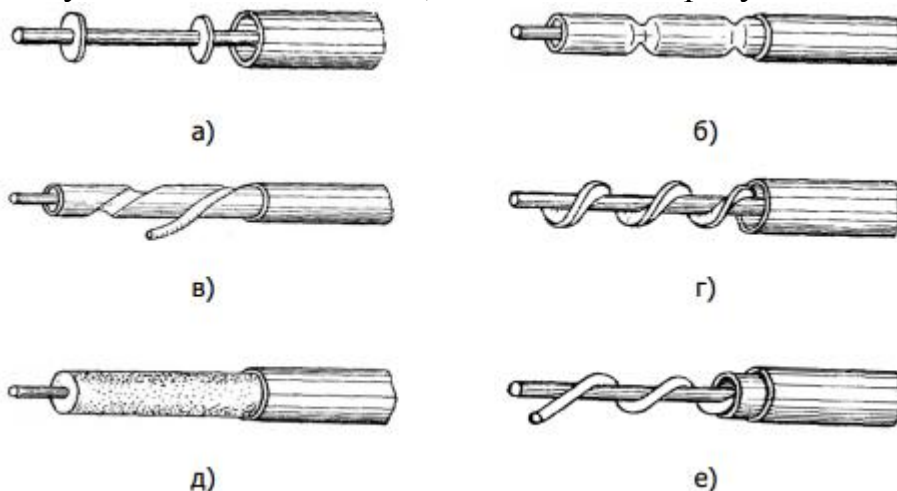
где ϵ_1 и ϵ_2 – относительные диэлектрические проницаемости первого и второго диэлектриков; S_1 , S_2 – площади поперечного сечения первого и второго диэлектрика.

При этом вместо тангенса угла диэлектрической проницаемости также используется его эквивалентная величина, рассчитываемая по формуле

$$\operatorname{tg}\delta_3 = \frac{\epsilon_1 \operatorname{tg}\delta_1 S_1 + \epsilon_2 \operatorname{tg}\delta_2 S_2}{\epsilon_1 S_1 + \epsilon_2 S_2},$$

где $\operatorname{tg}\delta_1$ и $\operatorname{tg}\delta_2$ – тангенс угла диэлектрических потерь первого и второго диэлектрика.

Наиболее широкое применение в коаксиальных кабелях связи получили следующие типы изоляции, показанные на рисунке



- шайбовая (а) - шайбы из твердого диэлектрика, которые насаживаются на проводник через определенные промежутки (20-60 мм);
- балонная (б) - тонкостенная пластмассовая трубка, внутри которой свободно располагается проводник. Трубка периодически в точках или по спирали обжимается для удержания жилы в центре изоляции;
- спиральная (геликоидальная) (в,г) – равномерно распределенная по длине проводника пластмассовая спираль, имеющая прямоугольное сечение;
- пористая (д), образованная из слоя пенопласта;
- кордельная (е) - нить спирально расположенного на проводнике корделя, и ленты, которая накладывается поверх него.

В шайбовой изоляции внутреннее отверстие шайбы соответствует диаметру внутреннего проводника, а наружный диаметр – внутреннему диаметру внешнего проводника. Для изготовления шайбы чаще всего применяют полиэтилен, реже – керамику и полистирол. Внутреннее отверстие шайб обычно делается несколько меньше диаметра внутреннего проводника, тем самым за счет натяга шайба жестко фиксируется на своем месте. Шайбы имеют боковые надрезы, в целях придания кабелю прочности шайбы надеваются таким образом, что надрезы периодически меняют свое положение на 180°. Для шайбовой изоляции величины эквивалентной диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь можно рассчитать по следующим формулам

$$\varepsilon_z = \frac{\varepsilon_b b + \varepsilon_d a}{a + b},$$

$$\operatorname{tg} \delta_z = \frac{\varepsilon_d \operatorname{tg} \delta_d a + \varepsilon_b \operatorname{tg} \delta_b b}{\varepsilon_b b + \varepsilon_d a},$$

где а – толщина шайбы, мм; b – расстояние между шайбами, мм; ε_b – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха; ε_d – относительная диэлектрическая проницаемость материала шайбы; $\operatorname{tg} \delta_d$ – тангенс угла диэлектрических потерь материала шайбы; $\operatorname{tg} \delta_b$ – тангенс угла диэлектрических потерь воздуха.

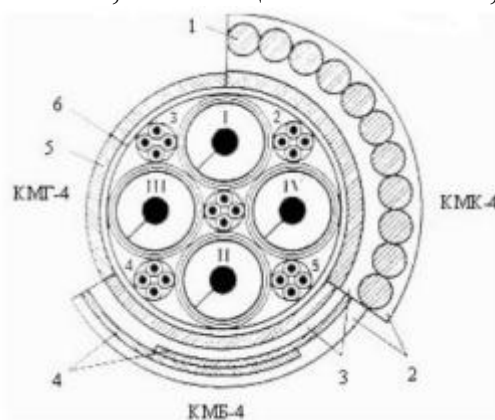
В изоляции спирального типа шаг наложения спирали и толщина твердого диэлектрика рассчитаны на обеспечение оптимальных механических и электрических характеристик. Например, в кабеле типа 2,6/9,4 мм шаг винтовой спирали 15-20 мм, а толщина диэлектрика 1,2-2,0 мм. Достоинствами спиральной изоляции являются высокие электрические свойства. Диэлектрическая проницаемость такой изоляции аналогична диэлектрической проницаемости шайбовой полиэтиленовой изоляции и составляет 1,08-1,10. Винтовая спираль обеспечивает хорошую гибкость, однородность параметров и надежность центровки проводников коаксиальной пары.

Маркировка коаксиальных кабелей связи осуществляется по алгоритму, аналогичному маркировке симметричных кабелей. Коаксиальные кабели для первичной магистральной сети связи России унифицированы и содержат стандартные коаксиальные пары 2,6/9,4 мм, 1,2/4,6 мм и

2,1/9,7 мм независимо от типа и марки кабеля. В эксплуатации в основном находятся два типа конструкций коаксиальных кабелей связи:

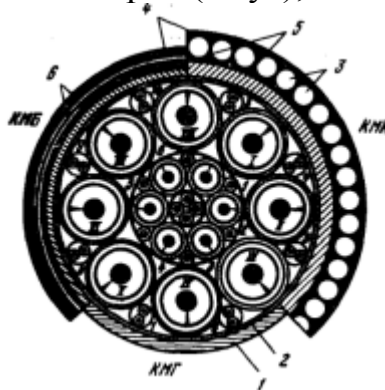
- типа КМ-4 с 4 средними коаксиальными парами;
- типа КМ-8/9 с 8 средними и 6 малогабаритными коаксиальными парами.

Такой кабель называется комбинированным. Коаксиальный кабель типа КМ-4 и типа КМ-8/6 предназначены для многоканальной связи и телевидения с уплотнением в диапазоне частот до 25 МГц. Его сердечник скручен из четырех средних коаксиальных пар 2,6/9,5 и пяти звездных четверок. В коаксиальных парах проводники медные. Изоляция из полиэтиленовых шайб толщиной 2,2 мм с расстоянием между ними 25 мм. Структура коаксиального кабеля типа КМ-4 приведена на рисунке, где цифрами обозначены 1. бронепроволока; 2. наружный покров (джут); 3. подушка; 4. две изолирующие оболочки; 5. свинцовая оболочка; 6. поясная изоляция



По кабелю КМ-4 можно организовать связь по двум системам К-1920 с расстоянием между усилителями 6 км или две системы К-3600 или К-5400 с расстоянием между усилителями 3 км. Возможно также применение цифровых систем передачи ИКМ-480 и ИКМ-1920.

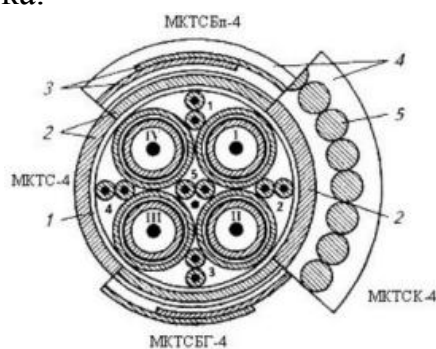
Структура комбинированного коаксиального кабеля КМ-8/6 приведена на следующем рисунке, используются следующие цифровые обозначения: 1. свинцовая оболочка; 2. поясная изоляция; 3. бронепроволока; 4. наружный покров (джут); 5. подушка.



Комбинированные коаксиальные кабели позволяют организовывать мощные пучки телефонных каналов и телевизионную передачу на большие расстояния по коаксиальным парам 2,6/9,5 мм с помощью систем передачи К-1920 и К-3600; обеспечивать распределительные каналы для

связи между городами и промежуточными пунктами, расположенными по магистрали, по коаксиальным парам 1,2/4,6 мм с помощью системы К-300 и системы ИКМ-480; позволяют обеспечивать выделение необходимого числа каналов в любом пункте трассы с помощью систем передачи К-300 и К-24; организовывать служебную связь и телесигнализацию по симметричным парам и четверкам.

Кроме вышеперечисленных магистральных кабелей в первичной сети связи РФ используются малогабаритные коаксиальные кабели типа МКТ-4. Они предназначены для использования в аналоговых системах передачи в диапазоне частот от 10 МГц и цифровых системах со скоростью передачи 34 и 140 Мбит/с. В зависимости от типа металлических оболочек кабели разделяются на две группы: - МКТС-4 в свинцовой оболочке; - МКТА-4 в алюминиевой оболочке. Структура малогабаритного коаксиального кабеля типа МКТ-4 приведена на следующем рисунке, где цифрами обозначены 1. поясная изоляция; 2. свинцовая оболочка; 3. две бронеленты; 4. наружный покров; 5. бронепроволока.



Малогабаритные коаксиальные кабели предназначены для строительства кабельных магистралей ограниченной протяженности, рокадных линий между магистралями, устройства глубоких вводов радиорелейных линий и обеспечения областных связей. Достоинствами этих кабелей являются простота конструкции, дешевизна и технологичность их изготовления.