

Режимы в линиях связи

СВЧ мощность по линии связи передается от источника (генератора) к нагрузке. Это можно показать схемой, приведенной на рис.



Рис. Схема передачи мощности по волноводу

Мощность от генератора к нагрузке переносится бегущей волной, комплексную амплитуду напряженности электрического поля которой при отсутствии потерь в волноводе можно представить в виде

$$\underline{E}_{\text{пад}} = E_0 e^{j\beta z}.$$

Если нагрузка не согласована с линией передачи, часть мощности отражается от нее и переносится в обратном направлении к генератору отраженной волной. Комплексную амплитуду напряженности электрического поля отраженной волны при отсутствии потерь в волноводе можно представить в виде

$$\underline{E}_{\text{отр}} = \Gamma_n E_0 e^{-j\beta z},$$

где $\Gamma_i = |\Gamma_i| e^{j\varphi_i}$ — комплексный коэффициент отражения нагрузки, φ_n — фаза коэффициента отражения нагрузки.

Падающая и отраженные волны интерферируют в линии передачи и суммарная комплексная амплитуда поля будет равна

$$E_{\Sigma} = E_0 e^{j\beta z} + \Gamma_i E_0 e^{-j\beta z} = E_0 \left[(1 - |\Gamma_i|) e^{j\beta z} + |\Gamma_i| \left(e^{j\beta z} + e^{-j\beta z + j\varphi_i} \right) \right].$$

Выражение, стоящее в последнем члене в круглых скобках можно преобразовать к более удобному виду

$$\begin{aligned} \left(e^{j\beta z} + e^{-j\beta z + j\varphi_i} \right) &= e^{j\varphi_i/2} \left(e^{j\beta z - j\varphi_i/2} + e^{-j\beta z + j\varphi_i/2} \right) = \\ &= 2e^{j\varphi_i/2} \cos(\beta z - \varphi_i/2). \end{aligned}$$

Тогда суммарное поле в волноводе равно

$$E_{\Sigma} = E_0 \left[(1 - |\Gamma_i|) e^{j\beta z} + |\Gamma_i| 2e^{j\varphi_i/2} \cos(\beta z - \varphi_i/2) \right].$$

Суммарное поле в волноводе зависит от значения модуля коэффициента отражения нагрузки, который не может превосходить единицу в пассивных устройствах. Теоретически могут встречаться 3 случая. Рассмотрим их.

Случай 1. Пусть $|\Gamma_i|=0$. Тогда

$$E_{\Sigma} = E_{i\hat{a}\hat{a}} = E_0 e^{j\beta z}.$$

При этом амплитуда суммарного поля постоянна в пределах всей линии передачи. Это показано на след. рис. а). Такой характер поведения амплитуды суммарного поля в волноводе называется режимом бегущих волн или режимом полного согласования.

Случай 2. Пусть $|\Gamma_i|=1$. Тогда

$$E_{\Sigma} = E_0 |\Gamma_i| 2e^{j\varphi_i/2} \cos(\beta z - \varphi_i/2).$$

При этом бегущая волна в волноводе отсутствует. Суммарное поле является полем стоячей волны и амплитуда суммарного поля в волноводе изменяется так, как показано на след. рис. б). Такой характер поведения амплитуды суммарного поля в волноводе называется режимом стоячих волн или режимом полного рассогласования.

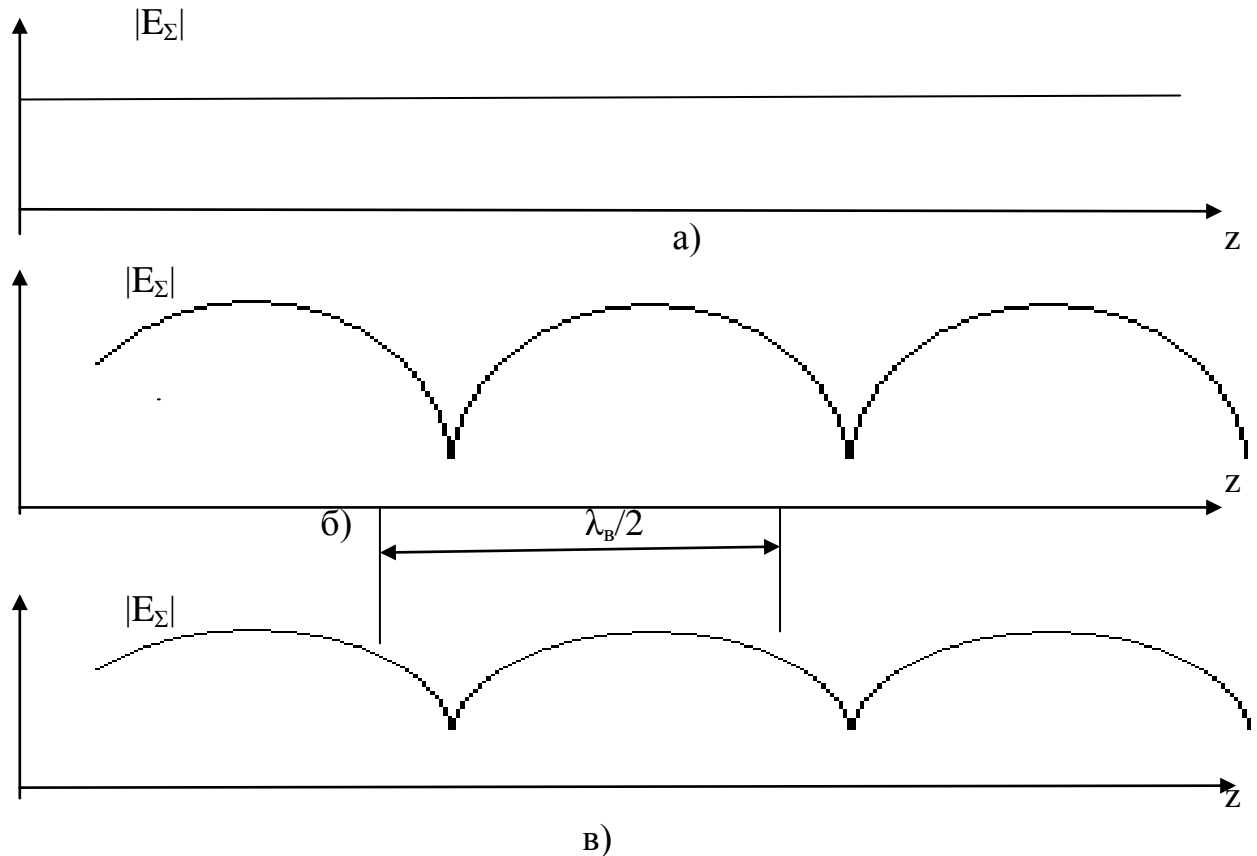
Случай 3. Пусть $1 > |\Gamma_i| > 0$. Тогда суммарное поле в волноводе будет описываться исходным выражением и состоять из поля бегущей волны с амплитудой

$$E_{\Sigma\hat{a}\hat{a}} = E_0 [1 - |\Gamma_i|]$$

и поля стоячей волны с амплитудой

$$E_{\Sigma} = E_0 [|\Gamma_i| 2 \cos(\beta z - \varphi_i/2)].$$

График амплитуды такого поля в волноводе показан на след. рис. в).



**Рис. Графики изменения амплитуды суммарного поля
в волноводе в различных режимах**

Такой характер поведения амплитуды суммарного поля в волноводе называется смешанным режимом или рассогласованным режимом.

Режим поля в волноводе может быть измерен в результате эксперимента с применением измерительной линии.

Количественно режим поля в волноводе полностью определяется комплексным значением $\Gamma_i = |\Gamma_i| e^{j\varphi_i}$, но на практике удобнее бывает пользоваться величиной коэффициента стоячей волны (КСВ), определяемой непосредственно из результатов измерений

$$КСВ = \frac{|E_{\Sigma\max}|}{|E_{\Sigma\min}|} = \frac{|E_{\text{над}} + E_{\text{отр}}|}{|E_{\text{над}} - E_{\text{отр}}|} = \frac{1 + |\Gamma_n|}{1 - |\Gamma_n|}.$$

При этом, однако, для полного определения режима необходимо также измерять положение узлов стоячей волны в волноводе.

Симметричные кабели связи

Симметричная пара представляет собой два изолированных проводника (жилы) с одинаковыми конструктивными и электрическими свойствами. Используются проводники высокой электрической проводимостью, большой гибкостью; механической прочностью.

В симметричных цепях для кабельных жил применяется в основном мягкая проволока из меди марки ММ (отожженная мягкая медь) с удельным сопротивлением $\rho = 0,0175 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. Диаметр проводника зависит от области применения кабеля:

- для высокочастотных кабелей чаще всего используют проводники диаметром 0,9; 1,05; 1,2 мм;
- для кабелей городских телефонных сетей - диаметром 0,32; 0,4; 0,5; 0,7 мм.

Для предохранения токонесущих жил от соприкосновения между собой применяется изоляция, она позволяет строго фиксировать расположение жил в группе по всей длине кабеля. Изоляционные материалы характеризуются следующими параметрами:

- электрической прочностью $E_{\text{пр}}$ — минимальной напряженностью электрического поля, при которой происходит пробой изоляции;
- удельным электрическим сопротивлением при постоянном токе ρ , характеризующим ток утечки диэлектрика;
- диэлектрической проницаемостью ϵ ;
- тангенсом угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, характеризующим потери в диэлектрике.

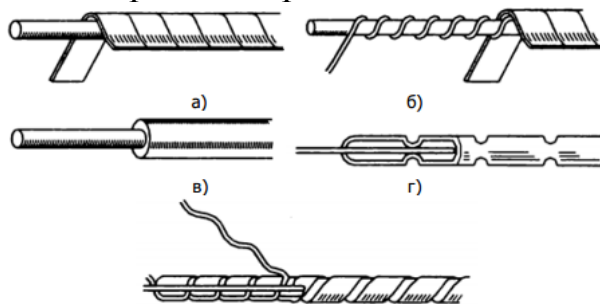
Материалы, изолирующие токонесущие жилы в кабеле связи, должны иметь высокое удельное сопротивление, малые диэлектрические потери, низкое значение диэлектрической проницаемости, обладать эластичностью. Кроме того, они должны легко поддаваться

технологической обработке, быть стойкими к старению в процессе эксплуатации.

По электроизоляционным характеристикам желательно, чтобы изоляция приближалась к свойствам воздуха ($\operatorname{tg}\delta = 0$, $\varepsilon = 1$, $\rho = \infty$), который является практически идеальным диэлектриком. В кабелях связи в качестве изоляции применяют комбинированный диэлектрик, состоящий из воздуха и твердого материала, что позволяет выполнять условие симметрии цепей. Наибольшее применение в качестве изоляционного материала в кабелях связи получили кабельная бумага, полистирол, полиэтилен и другие пластмассы. Характеристики основных кабельных диэлектриков приведены в таблице.

Диэлектрик	Плотность, г/см ³	ε	U , кВ/мм	$\operatorname{tg}\delta \cdot 10^{-4}$ при частоте 1 МГц
кабельная бумага	0,7	2...2,5	5	400
полистирол	1,05	2,5...2,7	40	2
полиэтилен сплошной	0,92	2,2...2,3	30	3
полиэтилен пористый	0,47	1,45...1,50	6...10	5
поливинилхлорид	1,26...1,40	3...6	30	400

Конструктивное выполнение изоляции на жилах кабеля показано на след. рис. Изоляция жил в процессе производства кабелей выполняется как



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

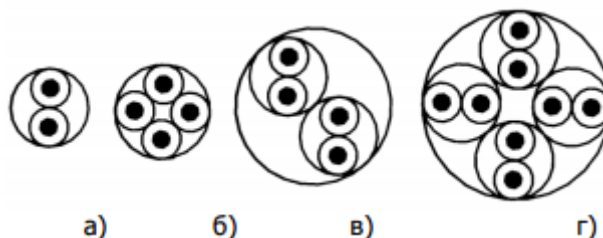
Наибольшее применение в настоящее время имеют следующие виды изо-ляции:

- для кабелей городской связи - трубчатая, выполненная в виде обмотки бумажными лентами, сплошная полиэтиленовая, пористая бумажная (однородный слой бумаги) или полиэтиленовая;

- для симметричных кабелей междугородней связи - кордельно-стирофлексная, баллонная, кордельно-трубчатая или пористая из полиэтилена.

В последние годы получила широкое распространение трехслойная пленко-пористая полиэтиленовая изоляция. При этом изоляция жилы состоит из трех концентрических слоев полиэтилена низкой плотности. Наружный и внутренний слои представляют сплошное пленочное покрытие. Между ними расположен основной промежуточный слой 3, имеющий вспененную (пористую) структуру.

Отдельные изолированные жилы внутри кабеля скручиваются в группы. При этом отдельные жилы ставятся в одинаковые условия по отношению друг к другу, электромагнитные связи между цепями снижаются, и повышается защищенность их от взаимных и внешних помех. Кроме того, скрутка жил придает дополнительную прочность кабелю при деформации на изгиб. Существует несколько способов скрутки жил в группы, показанные на след. рисунке:



- скрутка парная (а);
- скрутка звездная (б);
- скрутка двойная парная (в);
- скрутка двойная звездная ДЗ (г).

Наиболее экономичной, обеспечивающей лучшую стабильность по электрическим параметрам, является звездная скрутка. Эта скрутка получила преимущественное применение в высокочастотных симметричных кабелях связи. Парная скрутка является наиболее простой в производстве и применяется в основном при изготовлении городских телефонных кабелей.

Другие скрутки не получили широкого применения в существующих конструкциях симметричных кабелей связи из-за увеличения количества технологических операций при производстве кабелей.

Скрученные в группы изолированные жилы систематизируют по определенному закону и объединяют в общий кабельный сердечник. Различают две разновидности кабельной скрутки однородную, отличительным признаком которой является одинаковая структура и одинаковый диаметр всех образующих сердечник элементарных групп; и неоднородную, при которой сердечник кабеля образован из групп, разнородных по структуре и имеющих неодинаковый диаметр. Наибольшее распространение получила однородная скрутка.

В зависимости от характера образования сердечника различают повивную и пучковую системы скрутки. При пучковой скрутке группы

сначала скручиваются в пучки, содержащие по несколько десятков групп (наиболее распространены пучки из 50 и 100 групп), после чего пучки, скручиваясь вместе, образуют сердечник кабеля. Пучковая скрутка в основном применяется для кабелей городских телефонных сетей. В сердечнике повивной скрутки группы располагаются последовательными концентрическими повивами, накладываемыми один на другой поверх центральной группы. При этом смежные повивы должны иметь взаимно противоположные направления скрутки. Для облегчения разделки кабеля (подготовки к монтажу) при его монтаже каждый повив сердечника обматывается по открытой спирали хлопчатобумажной или капроновой пряжей. В каждом повиве есть контрольные группы, расцветка которых резко отличается от расцветки всех остальных групп, расположенных в данном повиве.

Сердечник кабеля, содержащий жилы, покрывают поясной изоляцией и заключают в герметичную оболочку, предохраняющую и защищающую кабель от механических воздействий, которые могут возникнуть в процессе транспортировки, прокладки и эксплуатации кабеля. Влагозащитные кабельные оболочки в зависимости от материала, используемого для их изготовления, разделяются на три основные группы:

- металлические;
- пластмассовые;
- металлопластмассовые.

К металлическим оболочкам относятся свинцовые, алюминиевые и стальные. Свинцовые оболочки накладываются на сердечник методом опрессовки в горячем виде. Чтобы свинцовая оболочка имела большую твердость и вибростойкость, ее изготавливают из легированного свинца с присадкой 0,4...0,8 % сурьмы.

Алюминиевые оболочки выпрессовывают в горячем виде или изготавливают из ленты со сварным продольным швом при помощи аргонно-дуговой сварки или сварки токами высокой частоты. Алюминиевые оболочки легкие, дешевые и обладают высокими экранирующими свойствами. Однако они сильно подвержены электрохимической коррозии, поэтому их защищают сверху полиэтиленовой оболочкой с предварительно наложенным слоем битума.

Стальные оболочки изготавливают путем сварки. Для повышения гибкости их гофрируют, а с целью защиты от коррозии покрывают полиэтиленовой оболочкой.

Из пластмассовых оболочек наибольшее применение получили полиэтиленовые и поливинилхлоридные. Пластмассовые оболочки сочетают влагостойкость, стойкость против коррозии, придают кабелю прочность на изгиб и вибростойкость. Однако через пластмассу постепенно проникают водяные пары, что приводит к снижению сопротивления изоляции кабеля. Поэтому полиэтиленовые оболочки используются в кабелях с дополнительной полиэтиленовой изоляцией жил. Поливинилхлоридные оболочки по причине низкой влагостойкости

применяются в основном в стационарных кабелях, размещаемых в помещениях. Достоинством поливинилхлоридных оболочек является большая огнестойкость.

Из металлопластмассовых оболочек в кабельной технике находит применение алюмополиэтиленовая оболочка, представляющая собой полиэтиленовую трубку, металлизированную внутри слоем алюминиевой фольги. При прокладке кабелей непосредственно в земле или в воде они обязательно снабжаются дополнительной защитой. Защита включает защитную подушку, наносимую на оболочку, броневой покров и наружный покров. Подушка бронированных кабелей обычно состоит из последовательно наложенных слоев битумного состава и пропитанной кабельной пряжи (джута). Броневой покров выполняется из стальных лент, плоской или круглой стальной проволоки. Поверх брони на кабель накладывается наружный покров, состоящий из пропитанной битумом кабельной пряжи.

В кабелях с алюминиевыми и стальными оболочками, которые сильно подвержены коррозии, применяются усиленные защитные покровы из вязкого подклеивающего битумного слоя и полиэтиленовой наружной оболочки.

Для классификации и удобства использования кабелям присваивается определенное условное обозначение — марка, система условных обозначений, отражающих при помощи букв и цифр основные классификационные признаки и конструктивные особенности кабеля.

Первые одна или две буквы определяют назначение кабеля:

- городские телефонные кабели обозначаются буквой Т;
- магистральные симметричные - буквами МК.

Последующие одна или две буквы обозначают особенность конструкции или материал изоляции кабеля:

- звездная скрутка НЧ кабеля обозначается буквой З;
- кордельно-полистирольная (стирофлексная) изоляция — С;
- полиэтиленовая изоляция — П;
- трубчато-полиэтиленовая — Т.

Бумажная изоляция в марке не имеет буквенных обозначений.

Последние одна или две буквы марки кабеля обозначают род защитного покрова:

- голый оцинкованный кабель обозначается буквой Г;
- алюминиевая оболочка обозначается буквой А;
- стальная оболочка буквой С или Ст;
- буква Б — бронирование кабеля двумя стальными лентами с наружным джутовым защитным покровом;
- К — бронирование круглыми оцинкованными проволоками с наружным покровом;
- БГ — бронированный голый, т.е. без наружного защитного покрова.

При наличии противокоррозионных изолирующих покровов в подброневой подушке к обозначению прибавляются буквы:

- л — слой поливинилхлоридных или других пластмассовых лент;
- 2л — два слоя лент, между которыми наложены битум и крепированная бумага;
- п — полиэтиленовый шланг;
- в — поливинилхлоридный шланг.

При наличии наружных покровов буквы Шп обозначают полиэтиленовый шланг или Шв — поливинилхлоридный шланг. В конце марки кабеля указывают число жил в группе, число групп в сердечнике и диаметр жил. Например, четырех-четверочный кабель с диаметром жил 1,2 мм имеет обозначение 4х4х1,2;

пятисотпарный городской кабель с жилами диаметром 0,4 мм имеет цифровое обозначение: 500х2х0,4.

Ввиду разнообразия типов выпускаемых промышленностью кабелей одинаковые буквы в маркировке иногда имеют разный смысл. Например, буквой З обозначаются звездная скрутка в низкочастотных кабелях, а также кабели зонной связи, буквой С — «связь», «стирофлекс», «сталь» и т.п. Поэтому при необходимости значения букв в каждом отдельном случае можно уточнить по ГОСТ или техническим условиям на кабели.

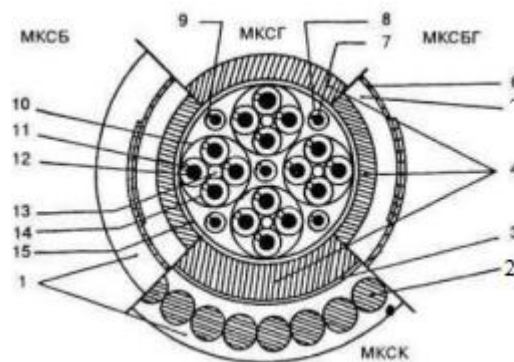
На первичной магистральной сети связи России протяженность линий передачи по кабелям вида МКС составляет примерно 63% общей протяженности магистральных линий СНГ, на внутризоновой сети — 20%, на соединительных линиях ГТС — 10% от общего объема выпуска кабелей вида МКС.

К кабелям вида МКС относятся следующие типы кабелей:

- МКС 4х4, МКС 7х4 с кордельно-полистирольной изоляцией жил в свинцовой оболочке;
- МКСА 4х4, МКСА 7х4 то же в алюминиевой оболочке;
- МКССт 4х4, МКССт 7х4 то же в стальной гофрированной оболочке.

Кабели с алюминиевой оболочкой имеют поверх алюминия антикоррозийный защитный покров в виде битума и полиэтиленового шланга. Такие кабели имеют в названии дополнительные буквы АШ и маркируются МКСАШп, МКСА-БпШп, МКСАКпШп и т.д. Толщина алюминиевой оболочки при высокочастотной сварке 1,0 мм, при прессовании 1,3 мм.

Параметры кабелей МКС в диапазоне частот аналоговых систем передачи до 500 кГц и цифровых систем передачи до 34 МГц регулирует ГОСТ 15125-92. Конструкция наиболее распространенных симметричных кабелей типа МКС 4х4х1,2 приведена на следующем рисунке.



1. наружный покров (джут);
2. бронепроволока;
3. две ленты крепированной бумаги;
4. свинцовая оболочка;
5. подушка;
6. две бронеленты;
7. медная проволока $D=0,9$ мм;
8. полистирольная лента;
9. кордель $D=0,8$ мм;
10. цветная х/б пряжа;
11. кордель $D=0,4$ мм;
12. токонесущая жила $D=1,2$ мм;
13. центрирующий кордель $D=1,1$ мм;
14. полистирольная лента;
15. поясная изоляция

Кабели МКСГ – это ВЧ-кабели в свинцовой оболочке без защитного покро-ва. Они применяются для прокладки в телефонной канализации, коллекторах и тоннелях, на вводах в помещения усилительных станций.

Кабели МКСБ – бронированные стальными лентами, с наружным покровом. Применяются для прокладки в грунтах всех категорий и при пересечении несудоходных, несплавных рек с незаболоченными и устойчивыми пологими берегами.

Кабели МКСК – бронированные круглыми стальными оцинкованными проволоками, с наружным покровом. Прокладываются при пересечении горных рек, судоходных и сплавных рек (включая заболоченные поймы этих рек), а также прокладываются в грунтах, подверженных мерзлотным деформациям.