

1. СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

1.1. КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ЛИНИИ СВЯЗИ

Линии связи возникли одновременно с появлением электрического телеграфа. Первые линии связи были кабельными. Однако вследствие несовершенства конструкции кабелей подземные кабельные линии связи вскоре уступили место воздушным. Первая воздушная линия большой протяженности была построена в 1854 г. между Петербургом и Варшавой. В начале 70-х годов прошлого столетия была построена воздушная телеграфная линия от Петербурга до Владивостока длиной около 10 тыс. км. В 1939 г. была пущена в эксплуатацию величайшая в мире по протяженности высокочастотная телефонная магистраль Москва—Хабаровск длиной 8300 км.

Создание первых кабельных линий связано с именем русского ученого П. Л. Шиллинга. Еще в 1812 г. Шиллинг в Петербурге демонстрировал взрывы морских мин, используя для этой цели созданный им изолированный проводник.

В 1851 г. одновременно с постройкой железной дороги между Москвой и Петербургом был проложен телеграфный кабель, изолированный гуттаперчей. Первые подводные кабели были проложены в 1852 г. через Северную Двину и в 1879 г. через Каспийское море между Баку и Красноводском. В 1866 г. вступила в строй кабельная трансатлантическая магистраль телеграфной связи между Францией и США.

В 1882—1884 гг. в Москве, Петрограде, Риге, Одессе были построены первые в России городские телефонные сети. В 90-х годах прошлого столетия на городских телефонных сетях Москвы и Петрограда были подвешены первые кабели, насчитывающие до 54 жил. В 1901 г. началась постройка подземной городской телефонной сети.

Первые конструкции кабелей связи, относящиеся к началу XX века, позволили осуществлять телефонную передачу на небольшие расстояния. Это были так называемые городские телефонные кабели с воздушно-бумажной изоляцией жил и парной их скруткой. В 1900—1902 гг. была сделана успешная попытка повысить дальность передачи методами искусственного увеличения индуктивности кабелей путем включения в цепь катушек индуктивности (предложение Пупина), а также применения токопроводящих жил с ферромагнитной обмоткой (предложение Крауупа). Такие способы на том этапе позволили увеличить дальность телеграфной и телефонной связи в несколько раз.

Важным этапом в развитии техники связи явилось изобретение, а начиная с 1912—1913 гг. освоение производства электронных ламп. В 1917 г. В. И. Коваленковым был разработан и испытан на линии телефонный усилитель на электронных лампах. В 1923 г. была осуществлена телефонная связь с усилителями на линии Харьков—Москва—Петроград.

В 30-х годах началось развитие многоканальных систем передачи. В

последующем стремление расширить спектр передаваемых частот и увеличить пропускную способность линий привело к созданию новых типов кабелей, так называемых коаксиальных. Но массовое изготовление их относится лишь к 1935 г., к моменту появления новых высококачественных диэлектриков типа эскапона, высокочастотной керамики, полистирола, стирофлекса и т. д. Эти кабели допускают передачу энергии при частоте токов до нескольких миллионов герц и позволяют производить по ним передачу телевизионных программ на большие расстояния. Первая коаксиальная линия на 240 каналов ВЧ телефонирования была проложена в 1936 г. По первым трансатлантическим подводным кабелям, проложенным в 1856 г., организовывали лишь телеграфную связь, и только через 100 лет, в 1956 г., была сооружена подводная коаксиальная магистраль между Европой и Америкой для многоканальной телефонной связи.

В 1965—1967 гг. появились опытные волноводные линии связи для передачи широкополосной информации, а также криогенные сверхпроводящие кабельные линии с весьма малым затуханием. С 1970 г. активно развернулись работы по созданию световодов и оптических кабелей, использующих видимое и инфракрасное излучения оптического диапазона волн.

Создание волоконного световода и получение непрерывной генерации полупроводникового лазера сыграли решающую роль в быстром развитии волоконно-оптической связи. К началу 80-х годов были разработаны и испытаны в реальных условиях волоконно-оптические системы связи.

Основные сферы применения таких систем — телефонная сеть, кабельное телевидение, внутриобъектовая связь, вычислительная техника, система контроля и управления технологическими процессами и т. д.

В России и других странах проложены городские и междугородные волоконно-оптические линии связи. Им отводится ведущее место в научно-техническом прогрессе отрасли связи.

1.2. ВИДЫ ЛИНИИ СВЯЗИ И ИХ ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА

На современном этапе развития общества в условиях научно-технического прогресса непрерывно возрастает объем информации. Как показывают теоретические и экспериментальные (статистические) исследования, продукция отрасли связи, выражающаяся в объеме передаваемой информации, возрастает пропорционально квадрату прироста валового продукта народного хозяйства. Это определяется необходимостью расширения взаимосвязи между различными звеньями народного хозяйства, а также увеличением объема информации в технической, научной, политической и культурной жизни общества. Повышаются требования к скорости и качеству передачи разнообразной информации, увеличиваются расстояния между абонентами. Связь необходима для оперативного управления экономикой и работы государственных органов, для повышения обороноспособности страны и удовлетворения культурно-бытовых

потребностей населения.

В эпоху научно-технической революции связь стала составным звеном производственного процесса. Она используется для управления технологическими процессами, электронно-вычислительными машинами, роботами, промышленными предприятиями т. д. Непременным и одним из наиболее сложных и дорогостоящих элементов связи являются линии связи (ЛС), по которым передаются информационные электромагнитные сигналы от одного абонента (станции, передатчика, регенератора и т.д.) к другому (станции, регенератору, приемнику и т. д.) и обратно. Очевидно, что эффективность работы систем связи во многом предопределяется качеством ЛС, их свойствами и параметрами, а также зависимостью этих величин от частоты и воздействия различных факторов, включая мешающие влияния сторонних электромагнитных полей.

Различают два основных типа ЛС:

- линии в атмосфере (радиолинии РЛ)
- направляющие линии передачи (линии связи).

Отличительной особенностью радиолиний является распространение электромагнитных сигналов в свободном (естественном) пространстве (космос, воздух, земля, вода и т. д.). Дальность РЛ может простираться от нескольких сотен метров, как, например, при первой радиопередаче, осуществленной великим русским ученым А. С. Поповым в 1895 г., до сотен миллионов километров—расстояния между автоматическими космическими аппаратами и земными станциями.

Отличительной особенностью направляющих линий связи является то, что распространение сигналов в них от одного абонента (станции, устройства, элемента схемы и т. д.) к другому осуществляется только по специально созданным цепям и трактам ЛС, образующим направляющие системы, предназначенные для передачи электромагнитных сигналов в заданном направлении с должными качеством и надежностью. Вышеуказанные особенности РЛ и ЛС определяют их основные свойства и области применения. Так, РЛ используются для осуществления связи на различные расстояния, часто между абонентами, находящимися в движущемся относительно друг друга состоянии.

Характер распространения электромагнитных сигналов в различных средах в первую очередь зависит от частоты радиосигнала (несущей частоты). В соответствии с этим различают следующие типовые диапазоны длин волн и радиочастот:

Сверхдлинные волны (СДВ)	100... 10 км (3...30 кГц)
Длинные волны (ДВ)	10 ... 1 км (30 ... 300 кГц)
Средние волны (СВ)	1,0... 0,1 км (0,3... 3 МГц)
Короткие волны (КВ)	100... 10 м (3...30 МГц)
Ультракороткие волны (УКВ)	10 ... 1 м (30 ... 300 МГц)
Дециметровые волны (ДЦМ)	1 ... 0,1 м (0,3 ... 3 ГГц)

Сантиметровые волны (СМ)	10... 1 см (3...30 ГГц)
Миллиметровые волны (ММ)	10... 1 мм (30... 300 ГГц)
Оптический диапазон	10... 0,1 мкм

Кроме указанных выше достоинств радиолиний, определяемых возможностью установления связи на огромные расстояния с подвижными объектами, отметим еще высокую скорость установления связи, а также возможность обеспечения передачи массовым средствам информации (радиовещание и телевидение) с неограниченным числом слушателей и зрителей.

Основными недостатками РЛ (радиосвязи) являются:

- зависимость качества связи от состояния;
- среды передачи и сторонних электромагнитных полей;
- низкая скорость; недостаточно высокая электромагнитная совместимость в диапазоне метровых волн и выше;
- сложность аппаратуры передатчика и приемника;
- узкополосность систем передачи, особенно на длинных волнах и выше.

С целью уменьшения этих недостатков в ходе развития радиосвязи интенсивно осваивались более высокие частоты (сантиметровые, оптические диапазоны), что позволило повысить пропускную способность радиоканалов, создать узконаправленные системы радиосвязи на базе использования направленных антенн и лазерных устройств и привело к резкому уменьшению уровня помех и повышению степени электромагнитной совместимости. Например, линии радиосвязи, работающие на ДВ, СВ, КВ, позволяют осуществлять связь на большие расстояния, но имеют низкую пропускную способность (один-два канала тональной частоты — ТЧ) и подвержены помехам. Поэтому эти РЛ занимают малый удельный вес в общем объеме электросвязи и используются главным образом для радиофикации и связи между континентами и с труднодоступными районами.

Радиорелейные линии (РРЛ) работают на дециметровых— миллиметровых волнах в пределах прямой видимости. Они представляют собой цепочку ретрансляторов, устанавливаемых примерно через каждые 50 км (высота мачты 50... 70 м) При большей высоте антенной мачты ретрансляционные участки могут быть увеличены до 70... 100 км. Радиорелейные линии позволяют получать большее число каналов (300... 1920) на большие расстояния (до 12500 км); они получили широкое применение для телевидения, радиофикации и связи. Эти линии в меньшей степени подвержены помехам, обеспечивают достаточно устойчивую и качественную связь, хотя степень защищенности передачи по ним недостаточна.

Спутниковые линии связи (СЛ) используют, как и РРЛ, сантиметровый диапазон волн. Спутниковые линии действуют на принципе ретрансляции сигналов, осуществляемой аппаратурой, расположенной на искусственном спутнике Земли (ИСЗ). Фактически ИСЗ — это ретранслятор радиорелейной

линии, поднятый на большую высоту (рис. 1). Спутниковые линии позволяют осуществлять многоканальную связь на очень большие расстояния. На геостационарной орбите высотой 36 000 км спутник вращается со скоростью вращения Земли (один оборот за 24 часа). В этом случае можно с помощью трех спутников, расположенных под углом 120° , обеспечить связь на территории всего земного шара.

Спутниковые линии применяются в первую очередь для передачи программ вещания, телевидения и полос газет в труднодоступные районы Сибири, Крайнего Севера и Дальнего Востока. Достоинством СЛ является большая зона действия и передачи информации на значительные расстояния, к недостаткам относятся высокая стоимость запуска спутника и сложность организации дуплексной телефонной связи.

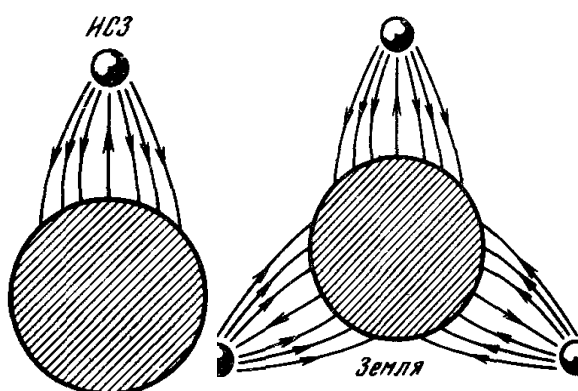


Рис.1. Космическая связь с помощью ИСЗ.

Достоинства направляющих ЛС состоят в обеспечении требуемого качества передачи сигналов, высокой скорости передачи, большой защищенности от влияния сторонних полей, заданной степени электромагнитной совместимости, относительной простоты оконечных устройств. Недостатки ЛС определяется высокой стоимостью капитальных и эксплуатационных расходов, а также относительно длительными сроками установления связи. Сравнивая ЛС и РЛ, следует отметить, что они не противопоставляются, а дополняют друг друга, способствуя решению глобальной задачи создания, развития и совершенствования сети связи России. Примером этого единства, в частности, является то обстоятельство, что во всех радиопередающих и радиоприемных устройствах используются проводные линии связи, с помощью которых осуществляется передача электромагнитных сигналов между элементами и блоками этих устройств. В настоящее время (данные на 1999 год) по линиям связи передаются сигналы от постоянного тока до оптического диапазона частот, а рабочий диапазон длин волн простирается от 0,85 мкм до сотен километров.

Различают три основных типа ЛС:

- кабельные (КЛ)
- воздушные (ВЛ)
- волоконно-оптические (ВОЛС).

Кабельные и воздушные линии относятся к проводным линиям, у которых направляющие системы образуются системами «проводник—диэлектрик», а

волоконно-оптические линии представляют собой диэлектрические волноводы, направляющая система которых состоит из диэлектриков с различными показателями преломления.

Проводные линии связи работают в килогерцевом и мегагерцевом диапазонах частот. Кабельные линии обеспечивают надежную и помехозащищенную многоканальную связь на требуемые расстояния.

Коаксиальные и симметричные кабели получили доминирующее развитие при организации городской и междугородной связи.

Воздушные линии широко использовались в 30—40-х годах. Однако низкая пропускная способность (12 каналов ТЧ), обусловленная недостаточной помехозащищенностью от взаимных помех, и подверженность атмосферно-климатическим воздействиям ограничивают их использование на зонной и сельской сети связи. Волоконно-оптические линии связи представляют собой системы для передачи световых сигналов микроволнового диапазона волн ($\lambda=0,8... 1,6$ мкм) по оптическим кабелям. Этот вид линий связи рассматривается как наиболее перспективный. Достоинствами ВОЛС являются низкие потери, большая пропускная способность, малые масса и габаритные размеры, экономия цветных металлов, высокая степень защищенности от внешних и взаимных помех.

В настоящее время (1999 год) различные виды ЛС распределяются на сетях связи примерно следующим образом: на магистральной сети насчитывается 70% КЛ, 25% РРЛ и 5% СЛ километров; на городских телефонных сетях—95% КЛ, 5% ВЛ; на зонных сетях—55% КЛ, 20% РРЛ, 25% ВЛ; на сельских сетях—62% КЛ, 38% ВЛ.

1.3. СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ ПО ЛИНИЯМ СВЯЗИ

На линиях связи организуются аналоговые и цифровые системы передачи информации (АСП и ЦСП). Аналоговые системы передачи основаны на частотном разделении сигналов, с помощью электрических фильтров весь передаваемый спектр делится на частотные полосы. В качестве базового принят телефонный канал шириной 4 кГц—канал ТЧ. Чем шире полоса частот, которую можно передавать по ЛС, тем больше можно получить каналов и дешевле их стоимость.

Цифровые системы передачи основаны на временном разделении каналов. Здесь передача по линии сигналов различных сообщений осуществляется поочередно, т. е. со сдвигом во времени. В этом случае по линии распространяются импульсы определенной последовательности и длительности, образующие цифровые сигналы. Для этого все виды информации (телефонная, радиовещание, телевидение и др.) предварительно кодируют. В современных цифровых системах связи наибольшее распространение получила импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) с импульсами микросекундной и наносекундной длительности.

Достоинством цифровых систем передачи являются:

- большая дальность связи;

- облегченные требования к защищенности цепей;
- возможность создания единой интегральной системы связи;
- простота технологии производства аппаратуры ЦСП;
- возможность непосредственного ввода и скоростной обработки импульсной информации с помощью ЭВМ;
- автоматизация передачи данных.

Недостатком является расширение полосы частот до 64 кГц на телефонный канал (при частотной системе 4 кГц).

Наибольшее применение получили аналоговые системы передачи по коаксиальным кабелям типов К-1920 и К-3600, К-5400. По малогабаритным коаксиальным кабелям широко используется система К-300. Основной системой передачи по междугородным симметричным кабелям является система К-60. Применяется также система К-1020. На кабельных линиях зонавой (внутриобластной) связи применяются системы на 60 каналов по симметричным кабелям и 120—420 каналов по однокоаксиальному кабелю. Сельская связь базируется на использовании облегченных пластмассовых кабелей и систем передачи на 6 и 12 каналов.

1.4. НАПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

В настоящее время (1999 год) наряду с широким применением кабелей получили развитие также другие средства передачи информации, такие как волноводы, световоды, линии поверхностной волны, сверхпроводящие и ленточные кабели и др. Все они объединены под общим названием — направляющие системы.

Направляющая система (НС)—это устройство, предназначенное для передачи электромагнитной энергии в заданном направлении. Таким канализирующим свойством обладают проводник, диэлектрик и любая граница раздела сред с различными электрическими свойствами (металл—диэлектрик, диэлектрик—воздух и др.). Поэтому роль НС могут выполнять металлическая линия (кабель, волновод), диэлектрическая линия (диэлектрический волновод, волоконный световод), а также металлодиэлектрическая линия (линия поверхностной волны).

Современные направляющие системы передачи высокочастотной энергии разделяются на:

- воздушные линии связи (ВЛС);
- симметричные кабели (СК), коаксиальные кабели (КК);
- сверхпроводящие кабели (СПК);
- волноводы (В);
- световоды (С), оптические кабели (ОК);
- линии поверхностной волны (ЛПВ);
- диэлектрические волноводы (ДВ);
- ленточные кабели (ЛК) (полосковые линии ПЛ);
- радиочастотные кабели (РК).

Воздушные линии и симметричные кабели относятся к группе симметричных цепей. Отличительной особенностью таких цепей является наличие двух проводников с одинаковыми конструктивными и электрическими свойствами. Известные конструкции симметричных кабелей содержат от 1х2 до 2400х2 жил под общей защитной оболочкой. Внутренний проводник концентрически расположен внутри проводника, имеющего форму полого цилиндра. Внутренний проводник изолируется от внешнего с помощью различных изоляционных прокладок (шайбы, баллоны, кордели и др.). Сверхпроводящий кабель имеет коаксиальную конструкцию весьма малых габаритных размеров, помещенную в условия низких отрицательных температур (-269°C). Диэлектрический волновод — это стержень круглого или прямоугольного сечения, выполненный из высокочастотного материала (полиэтилена, стирофлекса). Полосковая линия состоит из плоских ленточных проводников с расположенной между ними изоляцией. Оптический кабель представляет собой скрутку из оптических волокон — световодов, объединенных в единую конструкцию. Радиочастотные кабели имеют коаксиальную, симметричную или спиральную конструкцию. Последние три типа направляющих систем (ДВ, ПЛ, РК) имеют локальное назначение и используются в качестве фидеров передачи энергии на короткие расстояния от антенн к аппаратуре. Линия поверхностной волны предназначена главным образом для устройства телевизионных ответвлений от магистральных кабельных и радиорелейных линий небольшой протяженности (до 100 км). Остальные направляющие системы применяются для организации магистральной высокочастотной связи на большие расстояния для передачи различных видов современной информации (телефонирование, телеграфирование, телевидение, передача данных, вещание, фототелеграфирование, передача газет и др.). Направляющие системы могут быть классифицированы в первую очередь по длине волны и частотному диапазону их использования. Известно, что ВЛ используются в диапазоне до 10 Гц, симметричные кабели — до 1 МГц, а коаксиальные кабели — до 100 МГц для магистральной связи и до 1 ГГц для устройств антенно-фидерных трактов. Сверхпроводящие кабели имеют преимущественно коаксиальную конструкцию и предназначены для использования в частотном диапазоне коаксиальных систем (до 1 ГГц). Появление и разработка новых НС передачи, таких как волноводы и световоды (ОК), связаны с освоением новых, более высоких частот миллиметрового и оптического диапазонов. Волноводы междугородной связи предназначены для работы на частотах до 100 ГГц (миллиметровые волны), а световоды используют частоты 100000 ГГц (оптический диапазон волн 0,85... 1,55 мкм). Осваиваются также волны 2...6 мкм. Световоды и волноводы, использующие очень высокие частоты, принципиально позволяют образовывать огромное число каналов. Коаксиальные кабели также пригодны для передачи большого потока информации. Существенно меньше диапазон частот симметричных кабелей,

и очень мала пропускная способность воздушных линий связи.

1.5. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЛИНИЯМ СВЯЗИ

В общем виде требования, предъявляемые высокоразвитой современной техникой электросвязи к междугородным линиям связи, могут быть сформулированы следующим образом:

- осуществление связи на расстояния до 12500 км в пределах страны и до 25 000 для международной связи;
- широкополосность и пригодность для передачи различных видов современной информации (телевидение, телефонирование, передача данных, вещание, передача полос газет и т. д.);
- защищенность цепей от взаимных и внешних помех, а также от грозы и коррозии;
- стабильность электрических параметров линии, устойчивость и надежность связи;
- экономичность системы связи в целом.

Кабельная линия междугородной связи представляет собой сложное техническое сооружение, состоящее из огромного числа элементов. Так как линия предназначена для длительной работы (десятки лет) и на ней должна быть обеспечена бесперебойная работа сотен и тысяч каналов связи, то ко всем элементам линейно-кабельного оборудования, и в первую очередь к кабелям и кабельной арматуре, входящим в линейный тракт передачи сигналов, предъявляются высокие требования. Выбор типа и конструкции линии связи определяется не только процессом распространения энергии вдоль линии, но и необходимостью защитить расположенные рядом ВЧ цепи от взаимных мешающих влияний. Кабельные диэлектрики выбирают исходя из требования обеспечения наибольшей дальности связи в каналах ВЧ при минимальных потерях.

В соответствии с этим кабельная техника развивается в следующих направлениях:

1. Преимущественное развитие коаксиальных систем, позволяющих организовать мощные пучки связи и передачу программ телевидения на большие расстояния по однокабельной системе связи.
2. Создание и внедрение перспективных ОК связи, обеспечивающих получение большого числа каналов и не требующих для своего производства дефицитных металлов (медь, свинец).
3. Широкое внедрение в кабельную технику пластмасс (полиэтилена, полистирола, полипропилена и др.), обладающих хорошими электрическими и механическими характеристиками и позволяющих автоматизировать производство.
4. Внедрение алюминиевых, стальных и пластмассовых оболочек вместо свинцовых. Оболочки должны обладать герметичностью и обеспечивать стабильность электрических параметров кабеля в течение всего срока службы.

5. Разработка и внедрение в производство экономичных конструкций кабелей внутризоновой связи (однокоаксиальных, одночетверочных, безбронных).
6. Создание экранированных кабелей, надежно защищающих передаваемую по ним информацию от внешних электромагнитных влияний и грозы, в частности кабелей в двухслойных оболочках типа алюминий — сталь и алюминий — свинец.
7. Повышение электрической прочности изоляции кабелей связи. Современный кабель должен обладать одновременно свойствами как высокочастотного кабеля, так и силового электрического кабеля, и обеспечивать передачу токов высокого напряжения для дистанционного электропитания необслуживаемых усилительных пунктов на большие расстояния.