ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ СВЯЗИ.

Одним из главных условий совершенствования и укрепления материально-технической базы общества является наличие разветвленной, технически совершенной связи. В нашей стране для этого создается Единая автоматизированная сеть связи ЕАСС. Важную роль в развитии ЕАСС имеют средства радиосвязи: радиорелейные, тропосферные и спутниковые.

Изучение распространения ультракоротких (метровых) радиоволн в нашей стране началось в 1926 г. Под руководством академика Б. А. Введенского, а первые линии связи на метровых волнах появились в 1932 ... 1934 гг. В 1946 г. в Киргизии была организована радиорелейная линия протяженностью 250 км.

Развитие многоканальной радиорелейной связи относится к началу 40-х годов, когда появляются первые 12-канальные радиолинии, использующие тот же, что и для кабельных линий, способ частотного разделения каналов и ту же каналообразующую аппаратуру, а также частотную модуляцию сигнала.

В начале 50-х годов появилось сразу несколько типов отечественной аппаратуры РРЛ («Стрела», Р-60/120, Р-600). В дальнейшем на сети связи страны появились радиорелейные системы прямой видимости РРСП «Рассвет», «Восход», КУРС (комплекс унифицированных радиорелейных систем), «Электроника-связь» и др. Общая протяженность РРЛ, эксплуатируемых в народном хозяйстве СССР, составляет более 100 тысяч км.

Освоение природных богатств Дальнего Востока и Сибири потребовало резкого увеличения протяженности ретрансляционных участков РРЛ для обеспечения связью труднодоступных и отдаленных районов нашей страны. Для создания линий связи, удовлетворяющих этим требованиям, был использован открытый в начале 50-х годов эффект дальнего тропосферного распространения ДТР дециметровых и сантиметровых радиоволн. Используя ДТР, удалось создать новый тип тропосферных радиорелейных систем передачи ТРСП с расстояниями между соседними станциями 150 ... 300, а в отдельных случаях и 600 ... 800 км. К 1965 г. в мире эксплуатировалось уже более 100 тысяч км. Тропосферных линий. В Советском Союзе было создано несколько типов ТРСП «Горизонт-М», ТР-120/ДТР-12 и др.

Развитие космической техники, пионерами создания которой являлись такие советские ученые, как академики С. П. Королев и М. В. Келдыш, позволило создать спутниковые системы передачи ССП. В 1965 г. вступила в строй первая советская спутниковая система, использующая ИСЗ «Молния-1» и предназначенная для передачи сигналов многоканальной телефонии и телевидения. В последующие годы были созданы ССП, использующие ИСЗ «Молния-2», «Молния-3», «Экран», «Радуга», «Горизонт» и др.

Спутниковые системы передачи позволяют (совместно с РРСП) обеспечить более 90% населения нашей страны одной телевизионной программой и около 75% двумя и более.

Построение системы передачи зависит от многих факторов, таких как вид сообщения, критерии качества передачи сигнала, стоимости и т. д. Обычно при проектировании системы передачи информации предполагается заданным вид сообщения, а также корреспондирующие пункты. Уже на первом этапе проектирования должен быть сделан выбор наиболее подходящей системы, удовлетворяющей требованиям к пропускной способности, качеству передачи и дальности связи и учитывающей соображения социально-экономического характера.

Основным критерием выбора системы передачи является экономическая эффективность, определяемая капитальными затратами и эксплуатационными расходами. При окончательном выборе учитывают и такие показатели, как надежность передачи информации по каналам, продолжительность действия и скорость внедрения системы, повышение производительности труда, расход электроэнергии (особенно при отсутствии централизованного энергоснабжения) и т. д. Так, для определения экономической эффективности затраты на строительство и эксплуатацию РРСП целесообразно сравнить с соответствующими затратами при использовании симметричного коаксиального кабелей. Для многоканальных систем необходимо учитывать также: как эти затраты уменьшаются с увеличением числа каналов.

Расчеты показывают, что удельные затраты с ростом числа каналов (свыше 60) убывают для радиорелейных систем быстрее, чем для кабельных. Это объясняется тем, что на кабельных линиях увеличение числа каналов связано с переходом от симметричного к более дорогому коаксиальному кабелю или с прокладкой дополнительных пар кабеля или сооружением усилительных устройств, т. е. с существенными дополнительными затратами. Увеличение числа каналов на РРСП приводит лишь к незначительному удорожанию аппаратуры. Кроме того, существенное увеличение числа каналов на РРСП можно получить, если увеличивать число рабочих стволов, при этом основные сооружения (технические здания, антенные опоры) остаются прежними, а удельные затраты на канало-километр резко сокращаются. Стоимость эксплуатации РРСП с числом каналов выше 60 ниже, чем кабельных, кроме того, меньше расход цветных металлов, строительство требует меньше времени. Это определяет широкое распространение таких РРСП при сооружении временных линий, линий связи с подвижными объектами.

Все это, однако, не означает, что везде и во всех случаях должны использоваться радиорелейные, а не кабельные линии или другие, например спутниковые. Каждый вид линий связи имеет свои преимущества. Кабельные линии, например, проще в эксплуатации и обеспечивают относительную скрытность связи, линии дальнего тропосферного распространения волн позволяют значительно увеличить расстояние между соседними ретрансляционными станциями, что выгодно при сооружении систем связи в отдаленных и труднодоступных районах страны. Спутниковые системы передачи наиболее экономичны при создании распределительных сетей (передаче центрального радиовещания, телевидения, фотогазет) и при больших расстояниях между корреспондентами.

Системы связи на декаметровых волнах используют чаще всего в радиовещании, однако, несмотря на развитие других средств, они не потеряли своего значения и для связи, особенно там, где не требуются мощные пучки каналов и экономически целесообразно иметь всего телефонный или телекодовый канал. Наиболее трудным для исследователя при построении конкретной оптимальной системы передачи является выбор критериев, поскольку должны быть оценены не только все наиболее существенные параметры, в том числе и стоимость, но и трудно описываемый математически социально-экономический критерий. Причем решение, дающее наилучший эффект по одному из критериев, чаще всего не обеспечивают его по другим. Более того, в процессе разработки системы передачи (длящемуся иногда более 4 ... 5 лет) выбранные критерии могут претерпевать такие изменения, что система, оптимальная в момент начала разработки, становится неоптимальной (по тем же критериям!) в конце.

Развитие техники и централизация управления породили множество важнейших задач, для решения которых необходима быстрая и точная реакция на события, происходящие географически удаленных районах. К таким задачам, например, относят управление движением самолетов и искусственных спутников Земли, сбор и обработку информации в больших системах и др. Решение этих задач увеличивает технические требования к системам передачи и определяет ускоренное развитие всех средств связи. Как отмечал еще академик А. А. Харкевич, количество информации растет примерно пропорционально квадрату промышленного потенциала, удваиваясь за 5 ... 10 лет. Быстрота и много альтернативность процесса принятия решений диктует необходимость использования быстродействующих электронных цифровых вычислительных машин. Создание систем, предназначенных для связи ЭВМ друг с другом, породило новые, более жесткие требования к качеству передачи и увеличило без того быстро растущий объем передаваемой информации. Требования уменьшить потери достоверности до 10 ... 10 и увеличить скорость передачи информации до сотен мегабит в секунду уже сегодня не является чрезмерным.

Передача в одном стволе радиорелейной или спутниковой линии связи тысяч, а в ближайшем будущем десятков тысяч, высококачественных ТЧ сигналов потребовала уменьшить все возможные виды искажений до фантастически малых значений. Например, коэффициент нелинейных искажений в модемах и групповых трактах таких линий исчисляется тысячными долями процента, а неравномерность группового времени запаздывания в полосе 30 ... 40 МГц – единицами и даже долями наносекунды. Такое повышение требований может быть удовлетворено только совместным совершенствованием технических средств передачи информации и теоретических исследований.

К задачам, требующим теоретических исследований, относятся:

экономически и технически целесообразное распределение трудностей, возникающих при выполнении столь высоких требований между оконечным канальным оборудованием (сложными кодирующими устройствами) и оборудованием тракта передачи (приемопередающими антеннами, аппаратурой и т. д.);

нахождение таких методов передачи и кодирования, которые в условиях воздействия аддитивных и мультипликативных помех приближали бы скорость передачи информации и ее точность к соотношениям, следующим из известной теоремы Шеннона (при сохранении разумной сложности оборудования).

Совершенствование технических средств передачи информации идет в основном двумя путями.

Во-первых, это исследования и разработка новых каналов передачи информации, основанных на новых физических принципах: использование эффекта дальнего тропосферного распространения, освоение новых диапазонов волн, включая оптический, разработка и волоконно-оптических световодов, разработка и внедрение спутников Земли – носителей ретрансляционного оборудования.

Во-вторых, совершенствование аппаратуры, обеспечивающей передачу и обработку информации: использование новых изделий электронной промышленности – интегральных схем, транзисторов, способных функционировать на все более высоких частотах, в частности, использующих новые физические процессы; создание на базе микропроцессоров оконечного оборудования для приема и обработки дискретной информации, которое путем динамического программирования ЭВМ может обеспечить, например, изменение скорости или даже способа передачи в соответствии с изменением условий в канале связи.

На современном этапе развития сеть связи нельзя рассматривать только как совокупность отдельных устройств (оконечного оборудования, модемов, радиоканала). Нужен новый, более общий подход, позволяющий синтезировать наиболее экономичные и надежные сети с учетом реальных возможностей усложнения этих устройств. Следует ожидать усложнения оконечного оборудования, позволяющего выполнять операции кодирования и автоматического управления передачи информации. При создании интегрально-цифровой сети связи следует ожидать еще большего изменения соотношения их стоимости. В ближайшее десятилетие ожидается постепенный переход к передаче информации в цифровом виде, однако по крайней мере 10 ... 15 лет аналоговые системы останутся основными при передаче сигналов телевидения и телефонии.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ.

Радиосистема передачи, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется радиорелейной системой передачи РРСП. Цепочка радиорелейных станций образует радиорелейную линию связи РРЛС. Сигналы от первой станции принимаются второй, усиливаются и передаются далее к третьей станции, там вновь усиливаются и передаются к четвертой станции и т. д.

Станции, устанавливаемые на конечных пунктах РРЛС и предназначенные для введения и выделения передаваемых сигналов электросвязи, называются оконечными радиорелейными станциями ОРС, станции ретрансляции называются промежуточными радиорелейными станциями ПРС. На отдельных станциях осуществляется ответвление части сигналов для передачи в другом направлении или частичное выделение сигналов для передачи потребителям. Такие станции называются узловыми радиорелейными станциями УРС.

Аппаратура РРСП состоит из каналообразующей аппаратуры КОА, радиопередатчиков, радиоприемников и антенно-фидерных трактов. Один приемопередающий комплекс обычно может пропустить несколько сотен, а в ряде случаев и тысяч телефонных сигналов, или один телевизионный. В тех случаях, когда РРСП предназначена для передачи большего числа сигналов, она образуется несколькими приемопередающими комплексами, работающими в одном направлении на различных частотах. Каждый из таких комплексов сверхвысокочастотных приемопередатчиков принято называть стволом.

На ОРС с помощью КОА формируется группой сигнал из нескольких исходных сигналов. Он является модулирующим для несущей частоты f1. Модулированный радиосигнал с выхода радиопередатчика через разделительно-полосовой фильтр РПФ подводится к антенне и излучается в сторону ближайшей РПС. Без РПФ обойтись нельзя, так как на одну антенну, как правило, работают одновременно несколько радиопередатчиков разных стволов.

Радиосигнал, принятый антенной ПРС, вновь поступает на РПФ, который теперь выполняет функцию распределения сигналов каждого радиопередатчика на вход «своего» радиоприемник. Радиосигнал, пройдя РПФ, усиливается в радиоприемнике и радиопередатчике. При этом осуществляется преобразование частоты радиосигнала f1 в частоту f2. После преобразования радиосигнал излучается антенной в направлении следующей станции. На УРС между радиоприемниками и радиопередатчиками включается КОА, позволяющая выделить или дополнительно ввести часть сигналов.

Процесс приема радиосигналов на ОРС не отличается от рассмотренного на ПРС или УРС. С выхода радиоприемника групповой сигнал поступает на вход каналообразующей аппаратуры, которая осуществляет разделение сигналов для соответствующих потребителей. Ими обычно являются междугородная телефонная станция, телецентр, междугородная вещательная аппаратная.

# По пропускной способности различают следующие РРЛС: многоканальные, с числом каналов ТЧ свыше 300; средней емкости – от 60 до 300 каналов ТЧ; малоканальные – меньше 60 каналов ТЧ.

## По области применения РРЛС делятся на магистральные, протяженностью 10 ... 12 тысяч км, зоновые – республиканского и областного значения, местные. Магистральные РРЛС являются многоканальными, зоновые имеют среднюю емкость, а местные – малоканальные.

## По способу разделения каналов РРЛС могут быть с частотным и временным разделением каналов, а по диапазону используемых частот – дециметрового, сантиметрового и миллиметрового диапазонов.

## 

# РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

# ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

# Чтобы обеспечить радиорелейную связь в пределах прямой видимости, необходимо поднять антенны над уровнем земли на башнях или мачтах. Высоты антенных опор в зависимости от длины и профиля каждого пролета между соседними станциями могут достигать 100 ... 120 м. Когда станция расположена на естественной возвышенности, антенны могут быть установлены на крыше здания, в котором находится приемопередающая аппаратура.

Длина пролета между соседними РРС обычно 30 ... 70 км. В диапазонах частот выше 8 ГГц это значение может уменьшаться с повышением частоты. В отдельных случаях длина может быть уменьшена до 20 ... 30 км из-за необходимости размещения РРС в заданном пункте, а также когда на трассе РРЛ имеется препятствия.

Коэффициент усиления ретранслятора ПРС с учетом запаса на замирания сигнала составляет 160 ... 200 дБ (при коэффициенте усиления каждой из двух антенн 30 ...46 дБ). Мощность передатчика РРС 0,3 ... 10 Вт, коэффициент шума приемника 7 ...10 дБ (в варианте с малошумящим усилителем 3 ... 5 дБ). Наибольшее распространение получили магистральные РРСП в диапазонах частот 4 и 6 ГГц и внутризоновые в диапазонах 2 и 8 ГГц. Магистральные РРСП – многовольтные, число дуплексных радиостволов, организуемых на участке РРЛ, в одном диапазоне частот достигает восьми. Для автоматического резервирования стволов обычно используют несколько рабочих (2 ... 7) и один резервный стволы.

Радиорелейные системы передачи прямой видимости формируются с помощью комплексов оборудования, называемых радиорелейными станциями связи прямой видимости РРСС. В состав РРСС входят: антенно-фидерные устройства; приемопередающая аппаратура; оконечная аппаратура телефонных, телевизионных и цифровых радиостволов; аппаратура систем автоматического резервирования стволов; аппаратура служебной связи, телесигнализации и телеуправления; оборудование систем гарантированного электропитания и оборудование жизнеобеспечения РРС.

Радиорелейные системы передачи служат для создания типовых каналов и трактов между сетевыми станциями и узлами связи. Совокупность РРСП или линейных трактов, действующих на определенной трассе и использующих одни и те же антенные опоры, станционные сооружения, первичные источники электроэнергии и вспомогательные устройства, называется радиорелейной линией связи. На РРЛ действуют не только системы передачи, но и отдельные линейные тракты, связанных с особенностью передачи телефонных сигналов, для которых преобразовательная аппаратура должна располагаться на междугородной телефонной станции. Линейный тракт может быть чисто радиорелейным, когда он образован с помощью телефонного ствола и пассивных кабельных соединительных линий, либо комбинированным, когда кроме радиорелейного тракта включают кабельные линейные тракты большой протяженности.

В отличие от телефонного ствола, телевизионный ствол в совокупности с пассивными кабельными линиями образует систему передачи, включающую преобразовательную аппаратуру и линейный тракт.

Структурная схема РРСП прямой видимости не отличается от РСП других типов.

С помощью РРСП обычно передают очень широкополосные сигналы, например телевизионные или большие группы телефонных сигналов. Качественная передача таких сигналов возможна только в диапазонах дециметровых и более коротких волн. Известно, что радиоволны этих диапазонов могут устойчиво распространяться лишь в пределах прямой видимости между пунктами передачи и приема. Если наземные станции размещаются одна относительно другой на расстоянии прямой видимости между антеннами этих станций, то такая система называется РРСП прямой видимости. При высоте антенны 40 ... 50 м расстояние между станциями обычно не превышает 40 ... 50 км.

Ограниченность расстояния прямой видимости не следует рассматривать как сугубо отрицательный фактор. Именно за счет невозможности свободного распространения радиоволн на большие расстояния устраняются взаимные помехи между РРСП внутри одной страны или разных стран.

Кроме того, следует подчеркнуть, что в указанных диапазонах практически отсутствуют атмосферные и промышленные помехи. Возможность создания антенн с очень узкой диаграммой направленности позволяет использовать в этих диапазонах радиопередатчики малой емкости.

### ТРОПОСФЕРНЫЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Тропосфера - это нижняя часть атмосферы Земли. Ее верхняя граница находится на высоте примерно 10 ... 12 км. В тропосфере всегда есть локальные объемные неоднородности, вызванные различными физическими процессами, происходящими в ней. Радиоволны диапазона 0,3 ... 5 ГГц способны рассеивать этими неоднородностями. Учитывая, что неоднородности находятся на значительной высоте, нетрудно представить, что рассеянные ими радиоволны могут распространяться на сотни километров. Это дает возможность расположить станции на расстоянии 200 ... 400 км друг от друга, что значительно больше расстояния прямой видимости.

Тропосферной радиорелейной системой передачи ТРРСП называется такая РРСП, в которой используется рассеяние и отражение радиоволн в нижней области тропосферы при взаимном расположении станций за пределами прямой видимости. Линии связи, оборудованные ТРРСП, подобно РРЛС прямой видимости состоит из ряда станций ОРС, ПРС, УРС. Такие линии строятся, как правило, в труднодоступных и удаленных районах страны, где сложно и дорого строить РРЛС прямой видимости. Значительные расстояния между ПРС, безусловно, выгодны при организации протяженных линий, поскольку требуется меньшее число станций. Однако специфика образования электромагнитного излучения в точке приема такова, что приходится сталкиваться с рядом трудностей в процессе приема радиосигналов. Во-первых, в процессе распространения радиоволн возникают глубокие замирания радиосигнала, что объясняется неустойчивостью пространственно-временной структуры тропосферы и многолучевостью радиосигнала (в одну точку приема приходят лучи от многих неоднородностей). Во-вторых, радиосигнал в точке приема очень ослабленный – ведь антенна улавливает только ничтожную долю энергии, рассеянной на неоднородностях. Ослабление сигнала компенсируется использованием мощных радиопередатчиков и радиоприемников с высокой чувствительностью. С глубокими замираниями бороться сложнее.

Наиболее часто применяемый способ это так называемый разнесенный прием. Различают пространственное и частотное разнесения. При пространственном разнесении прием ведется на две антенны, установленные на некотором расстоянии друг от друга. Антенны разносятся в направлении, перпендикулярном трассе линии. Частотное разнесение осуществляется за счет одновременной передачи сигналов электросвязи на двух частотах. Одновременная реализация пространственного и частотного разнесения получила название счетверенного приема. Характер замираний радиосигналов на разных частотах неодинаков. Другими словами, если на одной частоте наблюдаются замирания, то на другой их может и не быть.

Несмотря на применение столь сложной схемы приема, полностью избавиться от замираний и искажений передаваемых сигналов не удается. Особенно затруднена качественная передача широкополосных сигналов, например, телевизионных. Число телефонных каналов, образуемых по ТРРСП, не превышает 120.

Использование мощных радиопередатчиков, чувствительных радиоприемников в сочетании со сложной схемой разнесенного приема, в целом, повышает стоимость оборудования отдельных станций. Однако общая стоимость тропосферных РРЛС зачастую даже ниже по сравнению с РРЛС прямой видимости благодаря сокращению в 5-10 раз числа промежуточных станций.

Наряду со счетверенным приемом для борьбы с замираниями в последнее время используют специальные комплексы по обработке сигналов.

Список литературы.

1. Данилович О.С., Немировский А.С. Радиорелейные и спутниковые системы передач.-М.:радио и связь, 1986-390.

2. Радиорелейные линии. Сборник переведенных статей

под редакцией Калашникова Н.И.

3. Сборник статей под редакцией Смирнова.