Лекция 6

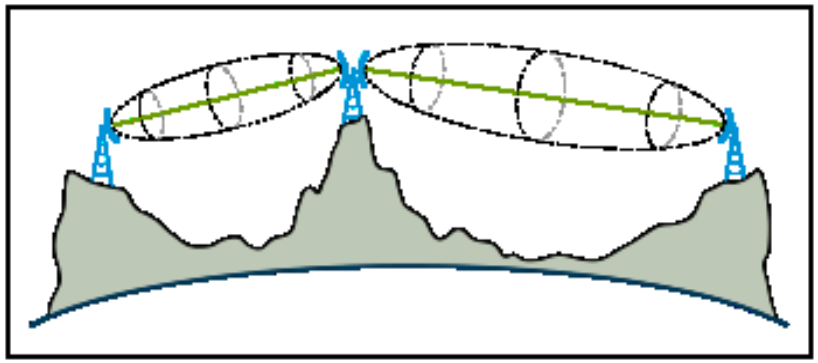
Основы построения радиорелейных систем передачи

Радиорелейная связь — один из видов наземной радиосвязи, основанный на многократной ретрансляции радиосигналов.

Радиорелейная связь

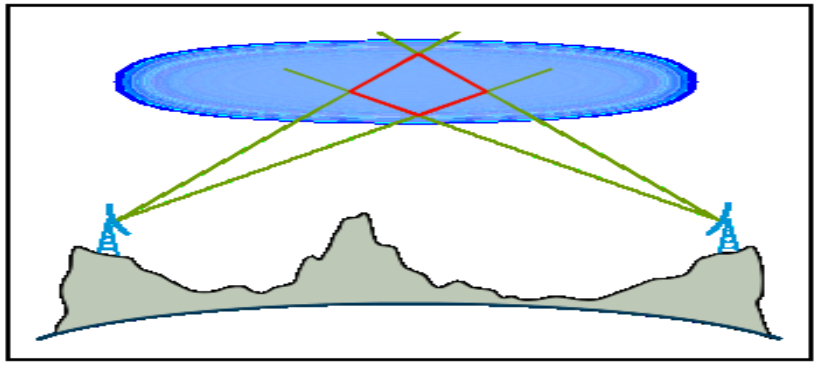
прямой видимости

антенны соседних станций располагаются в пределах прямой видимости; средняя дальность связи 40 – 70 км



тропосферная

используется эффект отражения дециметровых и сантиметровых радиоволн от турбулентных и слоистых неоднородностей в тропосфере; дальность связи до 300 км при отсутствии прямой видимости между станциями



Интересные факты истории развития РРЛ

Январь 1898 г. – пражский инженер Йоганн Маттауш опубликовал в австрийском журнале Zeitschrift für Electrotechnik идею использования «транслятора» по аналогии с трансляторами проводной телеграфии. Однако эта идея была примитивной и не могла быть реализована.

27 мая 1899 г. – 19-летний бельгийский студент итальянского происхождения Эмиль Гуарини-Форесио подал заявку на патент на изобретение в Бельгийское патентное ведомство, описав в ней устройство радиорелейного ретранслятора, представлявшего собою комбинацию приёмного и передающего устройств. Ретранслятор принимал сигнал, демодулировал его в когерере и использовал для управления реле, обеспечивавшего формирование обновлённых сигналов, которые затем переизлучались через антенну. Для ограждения цепи приёма от мощного излучения передатчика приёмный сегмент ретранслятора был окружен защитным экраном.

1901 г. - Гуарини-Форесио и Фернанд Понцеле провели серию успешных экспериментов по установлению радиорелейной связи между Брюсселем и Антверпеном с промежуточным автоматическим ретранслятором в Мехелене. В конце 1901 года такой же эксперимент был проведен между Брюсселем и Парижем.

31 марта 1931 г. – французский инженер-исследователь Андре Клавир с помощью экспериментальной радиорелейной линии, работающей на частоте 1,67 ГГц, успешно передал и принял телефонные и телеграфные сообщения, разместив две параболические антенны диаметром 3 м на двух противоположных берегах пролива Ла-Манш.

26 января 1934 г. – запуск первой коммерческой радиорелейной линии протяженностью 56 км над проливом Ла-Манш, соединявшей аэропорты Лимпн в Англии и Сент-Энглевер во Франции. Эта РРЛ позволяла одновременно передавать один телефонный и один телеграфный канал и использовалась для координации воздушного сообщения между Лондоном и Парижем.

Режимы работы радиорелейных станций

оконечный (ОРС)

РРС преобразует информационные сигналы, в радиосигналы, передаваемые по РРЛ либо производит обратное преобразование сигналов, приходящих по РРЛ в информационные

промежуточный (ПРС)

РРС передает принятые сигналы последующим станциям

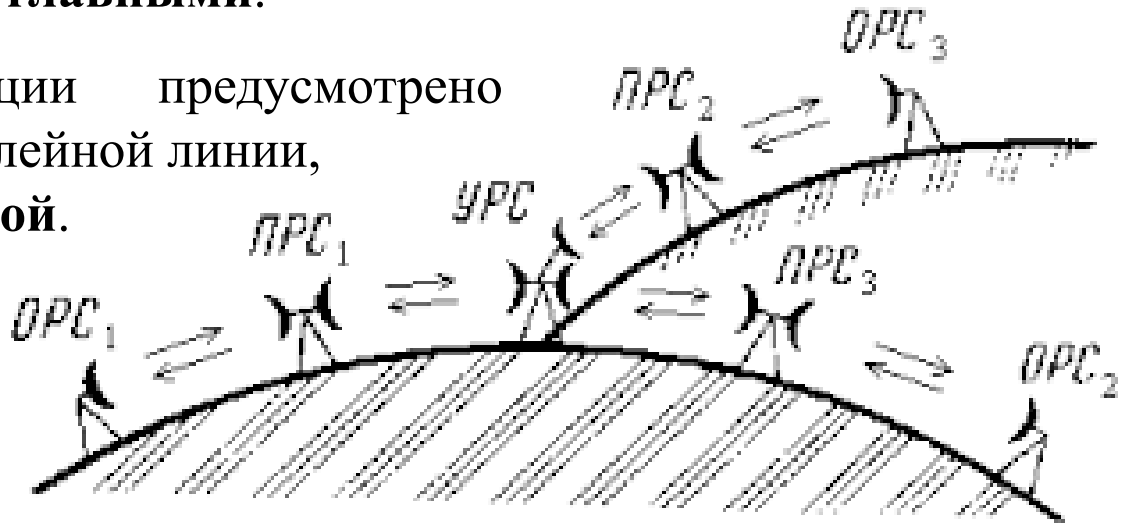
узловой (УРС)

все сигналы, принимаемые главными РРС, или их часть выделяются и передаются на узел связи, а остальные вместе с нововведенными сигналами передаются остальным станциям

Промежуточные РРС, на которых предусмотрено выделение каналов, называют **главными**.

Если на главной станции предусмотрено ответвление к другой радиорелейной линии, то такую РРС называют **узловой**.

Главные и узловые РРС имеют специальное оборудование выделения или ответвления сигналов.

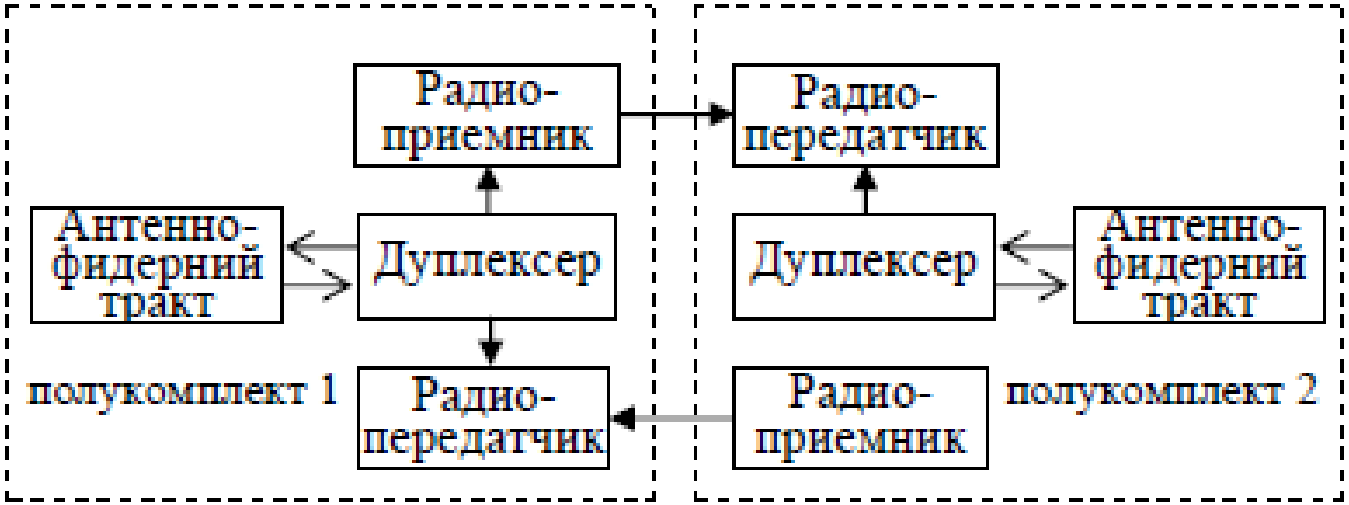


Обобщенная структура РРС

В зависимости от режима работы РРС может иметь 2 или 3 так называемых **полукомплекта**. В **состав полукомплекта** входят:

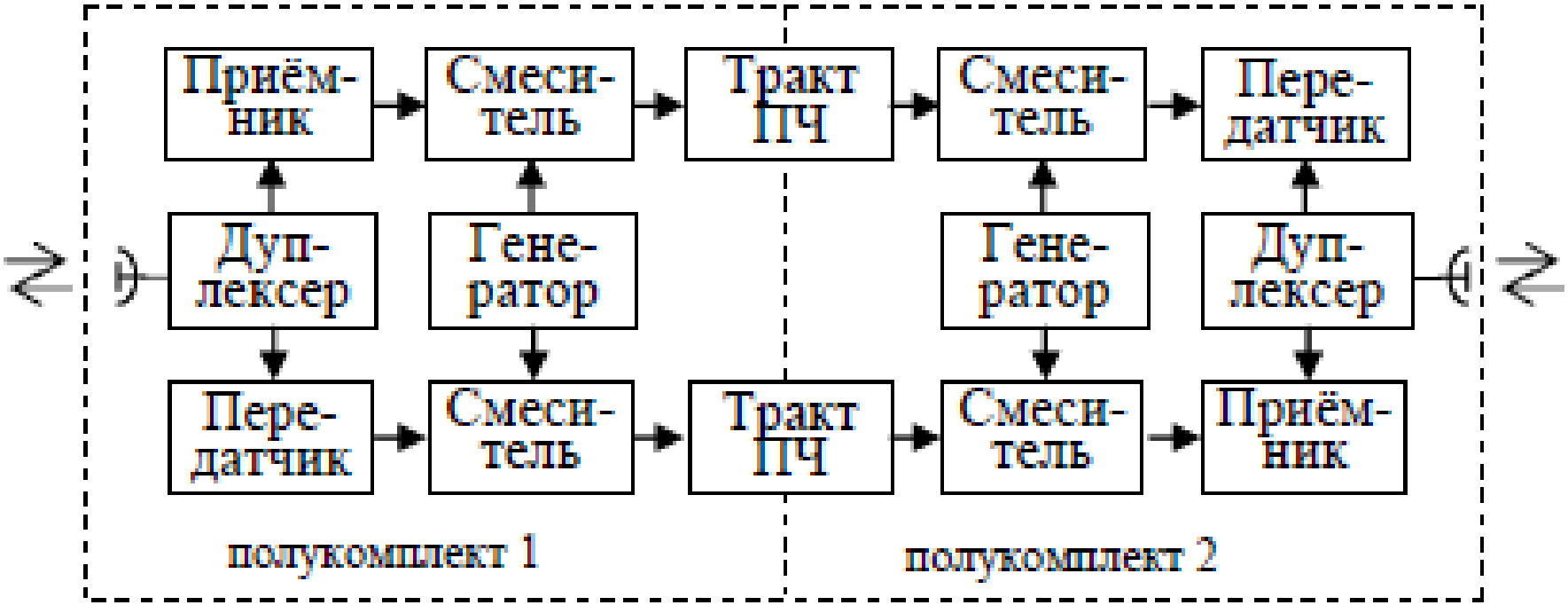
- приемо-передающие устройства;
- антенно-фидерные тракты;
- дуплексеры – устройства, которые служат для развязки трактов приема и передачи.

Современные РРС содержат также системы автоматического резервирования, телеуправления и телесигнализации, контрольно-измерительную аппаратуру, устройства служебной электросвязи и систему электропитания.



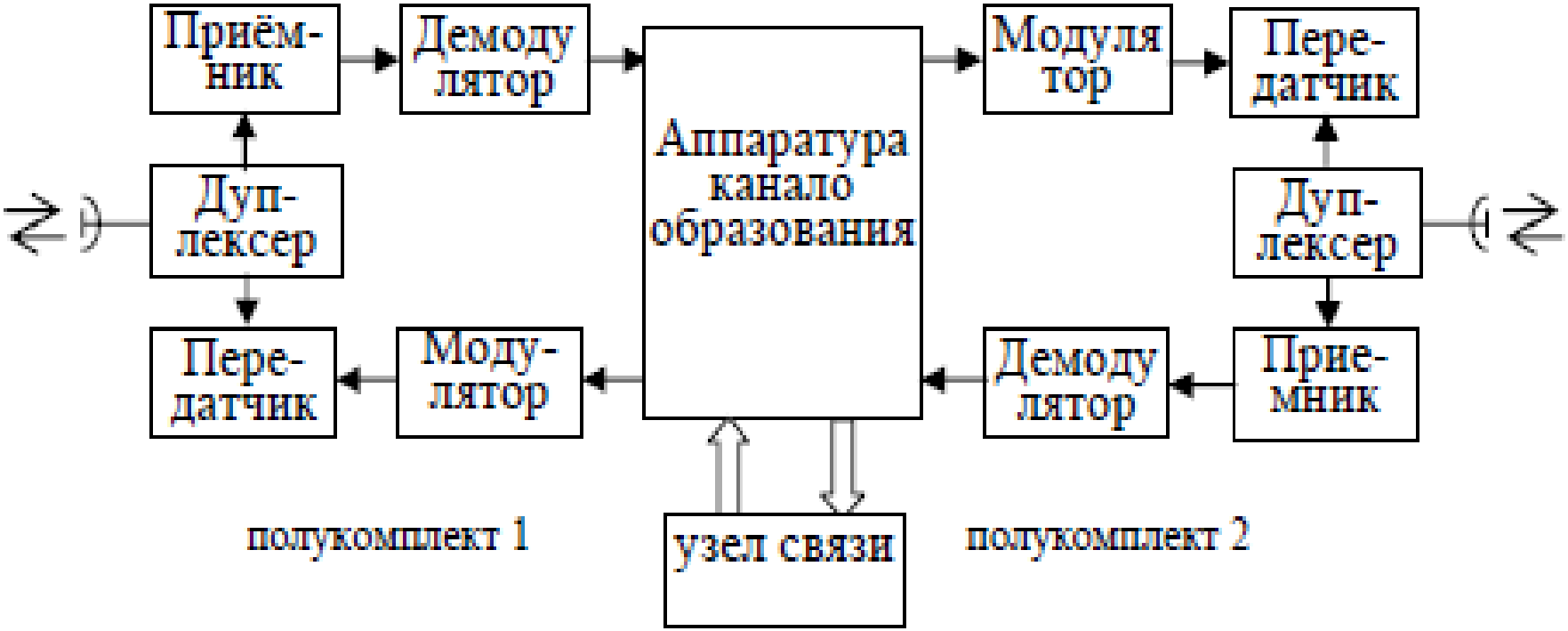
Обобщенная структура РРС без выделения сигналов

В ***промежуточном режиме ретрансляция***, как правило, ***выполняется без демодуляции***, т. е. путем гетеродинирования сигналов на промежуточную частоту, поскольку в этом случае искажения сигнала оказываются минимальными. Кроме того, такие ретрансляторы имеют более простые схемы и являются менее энергозатратными.



Обобщенная структура РРС с режимом ретрансляции без демодуляции

В ***узловом режиме ретрансляция выполняется с демодуляцией.*** **6** Поэтому ретрансляторы, используемые в узловом режиме, содержат в своем составе модуляторы и демодуляторы.

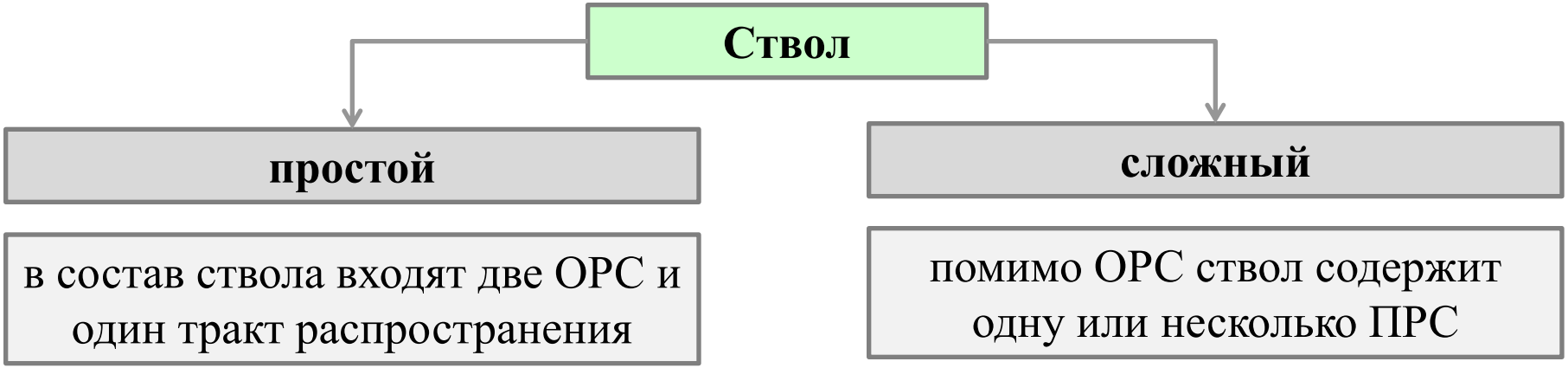


Обобщенная структура узловой РРС с демодуляцией сигналов

Принцип многоствольного построения РРСП

В широком смысле любая система связи вместе со средой распространения образует **линейный тракт** или **ствол**, который состоит из конечного оборудования и радиоствола.

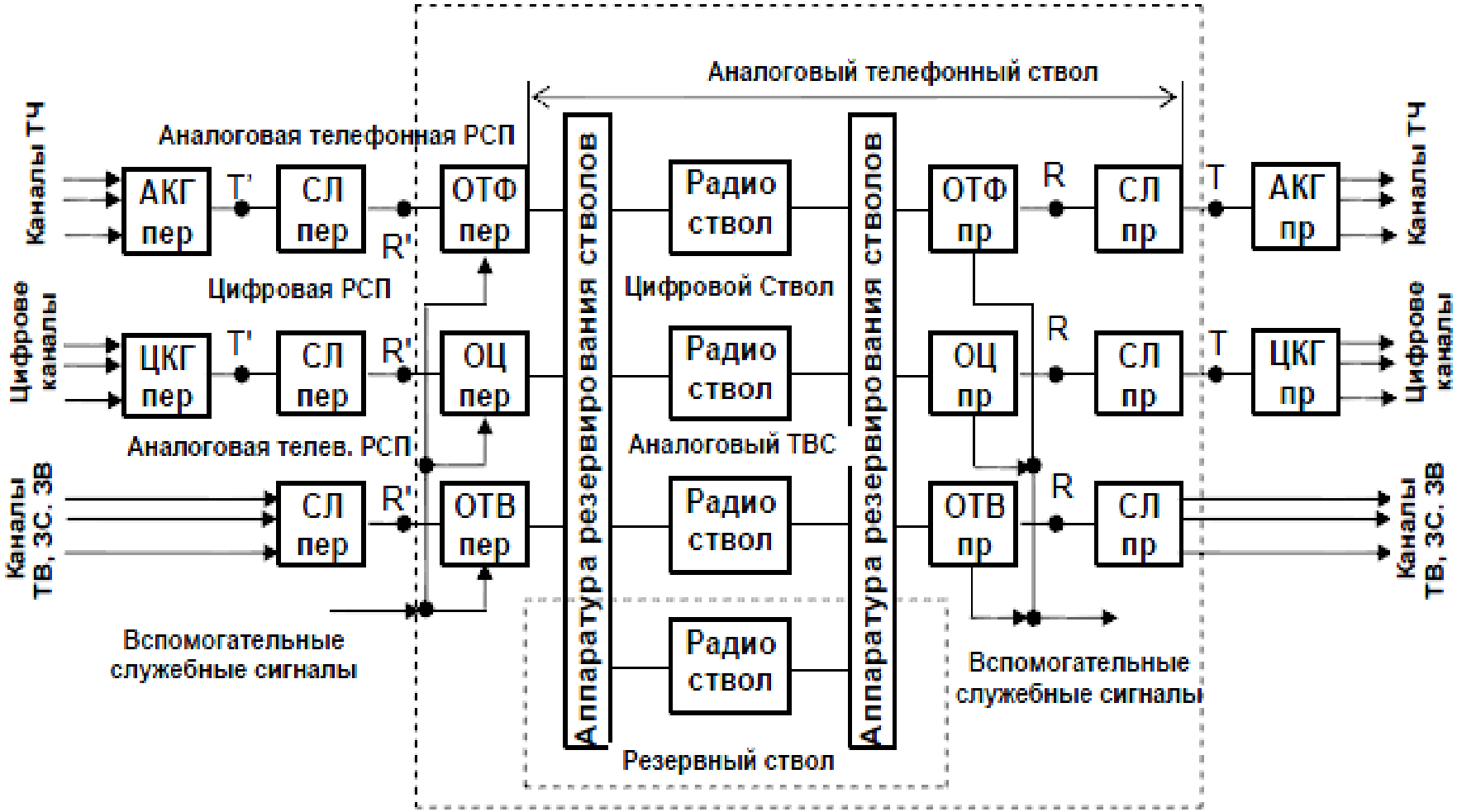
Радиоствол предназначен для передачи модулированных радиосигналов при помощи радиоволн.



Принцип многоствольной передачи используется для повышения пропускной способности, надежности и экономичности при построении не только РРСП, но и других систем связи (например, спутниковых). Экономичность систем обеспечивается за счет использования общих антенн, фидерных трактов, источников электропитания, систем служебной связи и телеобслуживания, а также зданий для размещения оборудования.

Общая структура многоствольной РРСП

Фактически один полный комплект (два полукомплекта) приемо-передающей аппаратуры РРСП образует один ствол.



Обозначения на рисунке:

АКГпер (пр) – аналоговое каналообразующее оборудование и оборудование формирования типовых групп каналов (обычно оборудование систем передачи с частотным разделением) тракта передачи (приема);

ЦКГпер (пр) – цифровое каналообразующее оборудование и оборудование формирования типовых цифровых потоков (обычно оборудование цифровых систем передачи на основе импульсно-кодовой модуляции с временным разделением каналов) трактов передачи (приема);

СЛ пер (пр) – соединительные линии;

ОТФ пер(пр), ОЦпер(пр) и ОТВпер(пр) – оконечное оборудование соответственно, телефонного, цифрового и телевизионного стволов передачи (приема);

каналы ТЧ, ТВ, ЗС, ЗВ – каналы тональной частоты, телевидения, сигналов звукового сопровождения телевидения и сигналов звукового вещания;

R (R') T (T') – точки подключения к соединительным линиям различного оборудования.

В многоствольных РРСП с резервированием каждый ствол содержит радиоствол, оконечное оборудование и аппаратуру резервирования, что обеспечивает переключение на резервный ствол при выходе из строя основного радиоствола. В некоторых РРС предусмотрен отдельный ствол служебной связи, содержащий упрощенное оборудование.

Частотные планы радиорелейных линий

Частота излучаемого ПРС сигнала равна частоте принимаемого той же ПРС сигнала

Возможность попадания мощного сигнала передатчика на вход приемника с высокой чувствительностью

Переход ПРС в режим самовозбуждения **!!!**

Вместо ретрансляции принятых сигналов, передатчик ПРС будет излучать колебания, не имеющие никакого отношения к передаваемой по РРЛ информации

Для уменьшения влияния передатчика на работу приемника ***выходной сигнал*** ПРС ***излучают на частоте, смещенной относительно частоты принимаемого сигнала***

Частотный план РРЛ

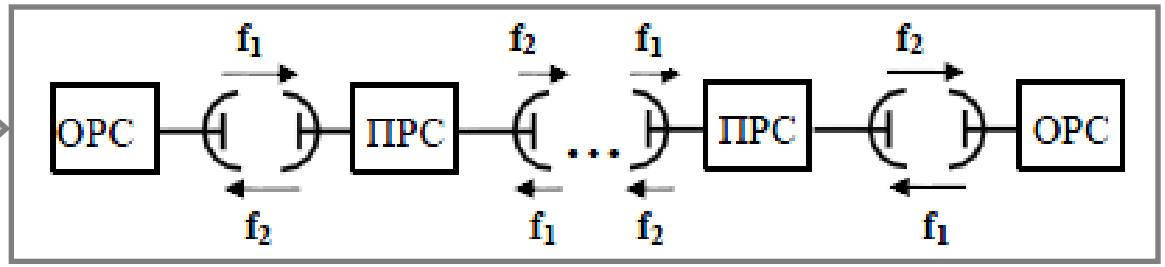
двухчастотный

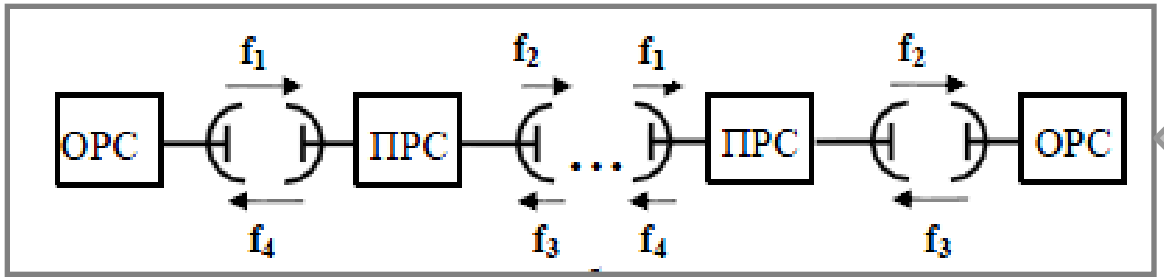
четырехчастотный

для исключения возможности образования паразитных связей между передающим и приемным трактами радиоствола на каждом пролете используются две различных несущих частоты в двух направлениях

в противоположных направлениях использована одна пара частот f_1 и f_2

в противоположных направлениях использованы 2 разных пары частот: в прямом - f_1 и f_2, в обратном - f_3 и f_4

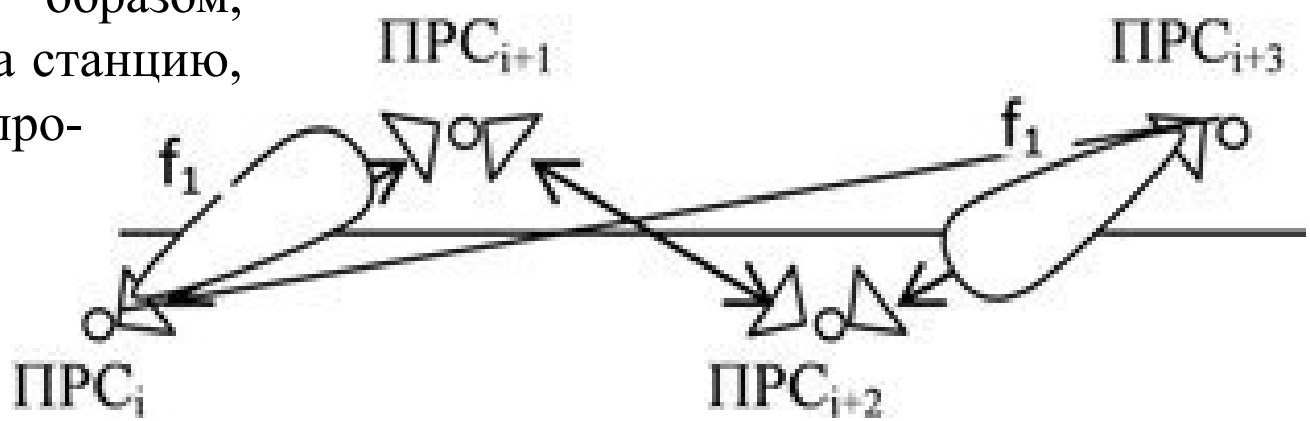




При проектировании радиорелейных линий следует учитывать и возможные ***изменения условий распространения радиоволн***.

Колебания, излучаемые радиорелейной станцией с частотой, например, f_1, могут быть приняты не только соседней станцией ($ПРС_{i+1}$), но и станцией, отстоящей от нее через три пролета ($ПРС_{i+3}$). Но для станции $ПРС_{i+3}$ это будет паразитным сигналом, так как она должна принимать сигналы только от ближайшей станции. Нежелательные сигналы от всех других станций будут вызывать ухудшение качества приема.

Для устранения подобных явлений ***ретрансляторы радиорелейной линии связи располагают*** не по прямой линии, а ***зигзагом***, так, чтобы не совпадали главные направления соседних участков трассы, использующих одинаковые частоты. При этом ***используют направленные свойства антенн***. Радиорелейные станции разносят от генерального направления радиорелейной линии связи таким образом, чтобы направлению на станцию, отстоящую через три пролета, соответствовали минимальные уровни диаграммы направленности антенны.



Характеристики и параметры радиорелейных систем

Основные стандарты, регламентирующие характеристики и параметры РРСП

- Европейский институт телекоммуникационных стандартов – European Telecommunications Standards Institute (**ETSI**)
  - TR 101-036 ETSI
- Международный союз электросвязи (МСЭ) – International Telecommunication Union (**ITU**)
  - G-702
  - G-703
  - G-707
  - G-708
  - ITU-R G-746
- Державні стандарти України (**ДСТУ**)
  - ДСТУ 3610-97
  - ДСТУ 3936-99

Диапазоны частот РРЛ

Полосы частот современных радиорелейных систем связи расположены в диапазоне от **1,5 до 60 ГГц** и жестко регламентируются в пределах каждой полосы ***рекомендациями ITU*** (в частности ITU-R G-746) и радиорегламентом ***Укрчастотнадзора***.

Наиболее освоенные и практически полностью «занятые»:	
1,7…2,1 ГГц	10,7…11,7 ГГц
3,4…3,9 ГГц	12,75…13,25 ГГц
5,6…6,7 ГГц	14,4…15,35 ГГц
7,9…8,4 ГГц	

Интенсивно осваиваемые и перспективные:	
21,2…23,6 ГГц	48,5…50,2 ГГц
24,5…26,5 ГГц	57…59 ГГц
37…39,5 ГГц	

Особенности: 1) чем выше частота (короче волна), тем в большей степени на условия распространения волны оказывают влияние рельеф местности, здания и метеорологические условия; 2) волны с частотой свыше 12 ГГц частично поглощаются в гидрометеорах (дождь, туман, град, снег) и газах атмосферы (кислород, водяные пары).

Влияние атмосферных явлений на распространение радиоволн

F<12 ГГц

слабое

F>15 ГГц

заметное

F>40 ГГц

определяющее

+ затухание радиоволн в атмосфере Земли

РРСП

Магистральные

3,4…11,7 ГГц

Зоновые

1,85…15,35 ГГц

Местные

0,39…40,5 ГГц

Энергетические характеристики РРСП

Оцениваются при помощи параметра, называемого **коэффициентом системы**.

Коэффициент системы $К_с$ – это выраженное в децибелах отношение выходной мощности передатчика $Р_{прд}$ к минимальной (пороговой) мощности полезного сигнала на входе приемника $Р_{пр\ min}$, которое обеспечивает заданный уровень достоверности передачи информации.

$$K_c = \frac{P_{прд}}{P_{пр\,min}}$$

Факторы, оказывающие существенное влияние на величину $К_с$:

- мощность передатчика;
- диапазон рабочих частот;
- тип модуляции радиосигнала;
- коэффициент шума приемного устройства.

Для большинства современных систем $К_с$ = 100…120 дБ. Для цифровых систем уровень достоверности определяется максимально допустимой относительной частотой битовых ошибок (BER – bit error rate).

Международные рекомендации

Требования электромагнитной совместимости

Ограничения уровня потребления энергии

Ограничения габаритных показателей

$P_{прд}$ ↑

Мощность современных СВЧ-передатчиков РРС лежит в пределах **30 мВт…1 Вт**

K_c ↑

$P_{пр\ min}$ ↓

Коэффициент шума приемного устройства относительно входа приемника определяется, в основном, входным *малошумящим усилителем*; для современных приемников с чувствительностью -80…-90 дБм при BER=10^{-3} составляет **1,5…9 дБ** в зависимости от диапазона рабочих частот

Минимально допустимое отношение сигнал/шум на входе демодулятора, зависящее от способа модуляции и схемы реализации демодулятора

Виды модуляции радиосигналов

в аналоговых системах

частотная модуляция

повышение помехоустойчивости по отношению к тепловым шумам

упрощение приемной аппаратуры

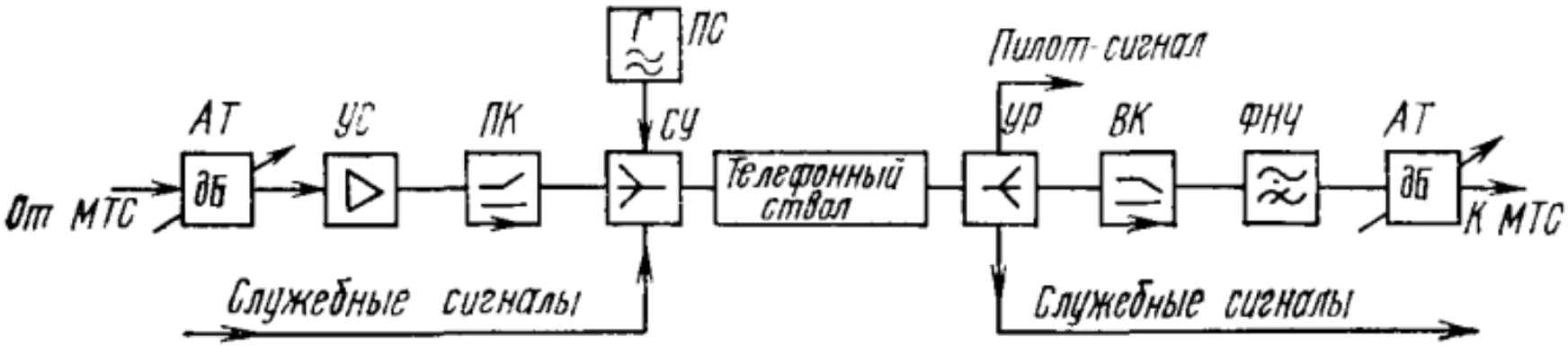
в цифровых системах

в высокоскоростных (от 155 Мбит/с): **64QAM** и QAM более высоких уровней, а также более сложные виды модуляции, объединяющие операции модуляции и кодирования

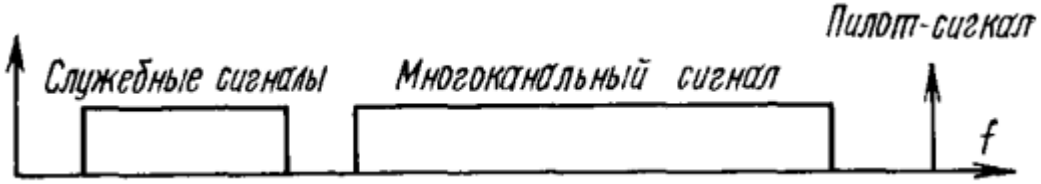
в среднескоростных (от 34 Мбит/с): **16QAM**, **32QAM**, иногда используется **QPSK** основного и модифицированных (например OQPSK) форматов

в низкоскоростных (до 34 Мбит/с): наиболее распространены **QPSK**, **BPSK** и **4-FSK**

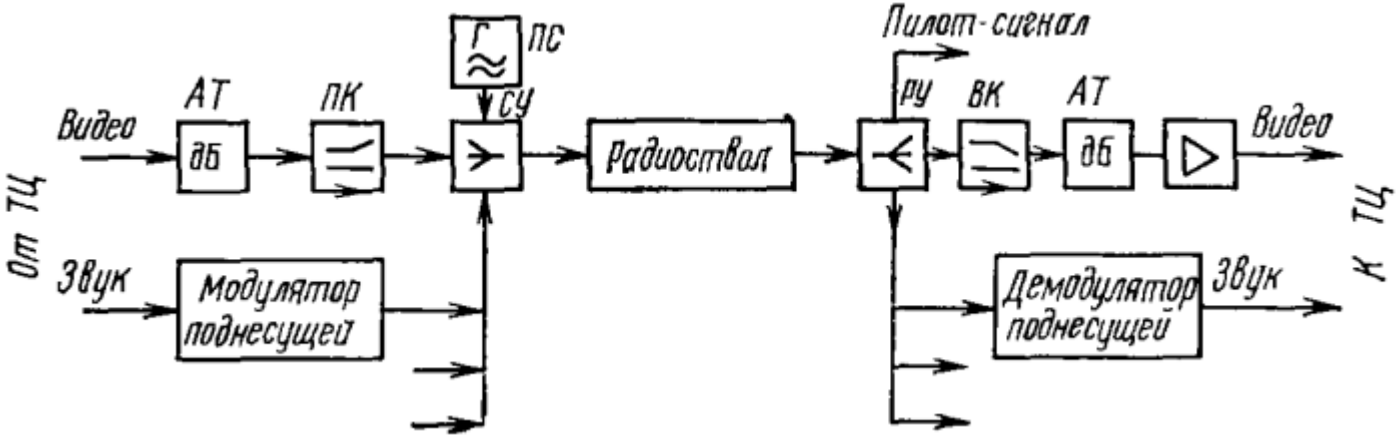
Оконечное оборудование телефонного ствола РРСП



Многоканальный сигнал, поступающий от международной телефонной станции (МТС), по соединительной линии поступает на установочный аттенюатор (АТ), за которым следуют усилитель (УС), предыскажающий контур (ПК) и суммирующее устройство (СУ), осуществляющее сложение многоканального сигнала, пилот-сигнала (предназначен для контроля работы стволов и системы поучасткового резервирования) и вспомогательных служебных сигналов. Образованный таким образом линейный сигнал поступает на вход частотного модулятора телефонного ствола РРЛ. В ряде случаев усилитель в оконечном оборудовании телефонного ствола на стороне передачи может отсутствовать. На приемной стороне в оконечном оборудовании телефонного ствола производится разделение сигналов многоканальной телефонии и сигналов служебной связи с помощью устройства разделения (УР) и выделение пилот-сигнала. Сигнал многоканальной телефонии проходит через восстанавливающий контур (ВК), фильтр нижних частот (ФНЧ), подавляющий пилот-сигнал, и через установочный аттенюатор (АТ) поступает в соединительную линию к МТС.

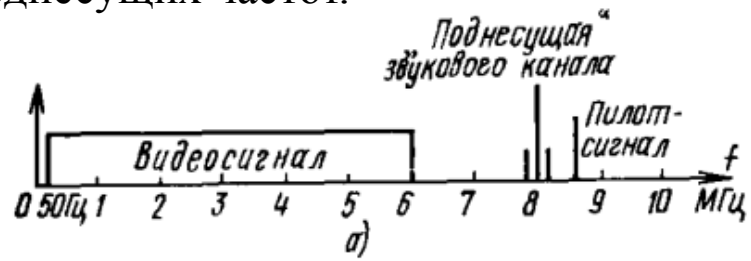


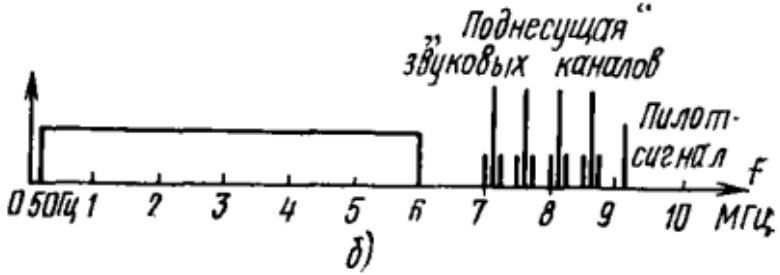
Оконечное оборудование телевизионного ствола РРСП



В современных радиорелейных системах передачи сигналов изображения (СИ) и звуковых сигналов (ЗС) телевидения осуществляются в одном телевизионном стволе. Передача ЗС ТВ осуществляется с помощью сигнала поднесущей, частота которого выше верхней частоты сигнала изображения. В ТВ стволах РРС возможна передача СИ и от одного до четырех ЗС с помощью соответствующего числа сигналов поднесущих частот.

СИ ТВ, поступающий по соединительной линии из аппаратной телецентра (ТЦ) через установочный аттенюатор (АТ) и предыскажающий контур (ПК), подается на суммирующее устройство (СУ). Одновременно на СУ поступают модулированные звуковыми сигналами ТВ сигналы поднесущих частот и пилот-сигнал. Образованный таким образом линейный сигнал поступает на вход модулятора телевизионного ствола. На приемной стороне производятся обратное разделение сигналов и демодуляция сигналов поднесущих частот.





Антенные устройства РРЛ

На радиорелейных линиях применяются остронаправленные антенны, имеющие усиление (по мощности) порядка тысячи и даже десятка тысяч и ширину радиолуча около 1—2 градусов.

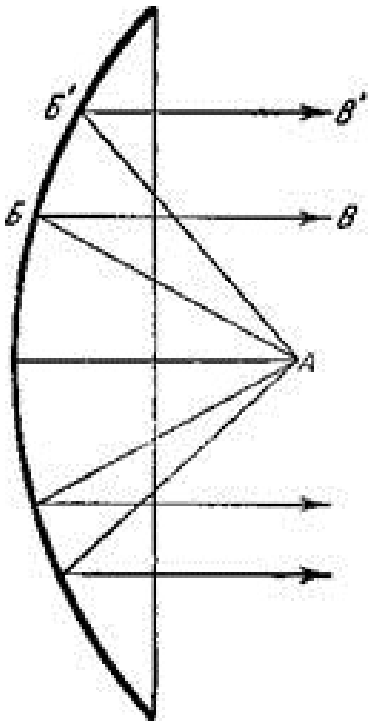
Использование остронаправленных антенн позволяет

- Снизить мощность передатчиков
- Уменьшить взаимные помехи от близко расположенных станций, работающих на одних и тех же частотах

Основные типы антенн РРЛ

- параболлические
- рупорно-линзовые
- рупорные
- рупорно-параболлические

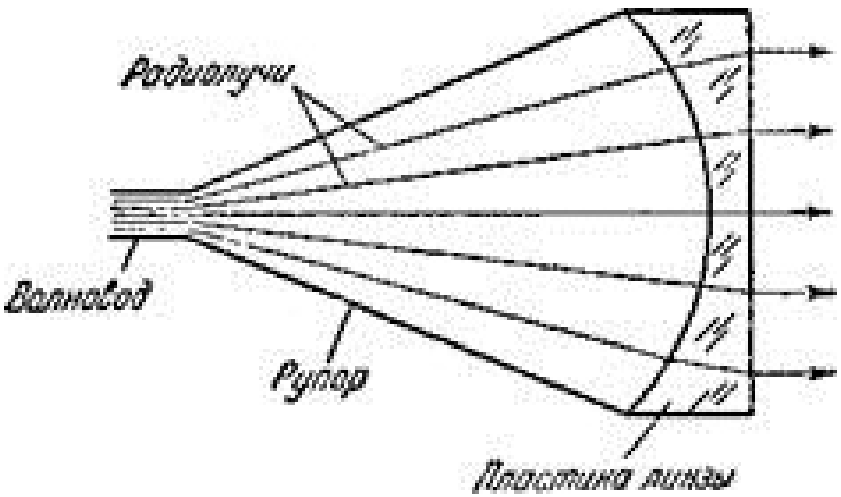
Параболическая антенна



Антенна имеет облучатель специальной конструкции или в виде открытого конца волновода, который направляет излучаемую им энергию на металлический отражатель параболической формы (чаще всего в виде параболоида вращения). Облучатель располагается в фокусе параболоида (точка А). Отраженные от параболоида лучи оказываются практически параллельными и обеспечивают распространение энергии радиоволн в нужном направлении. С увеличением диаметра параболической поверхности по сравнению с длиной волны, тем уже излучаемый антенной пучок радиоволн, т. е. выше ее направленность.

Параболоиды радиорелейных станций на сантиметровых волнах имеют диаметр 3—4 метра и обладают усилением по мощности от тысячи до десяти тысяч.

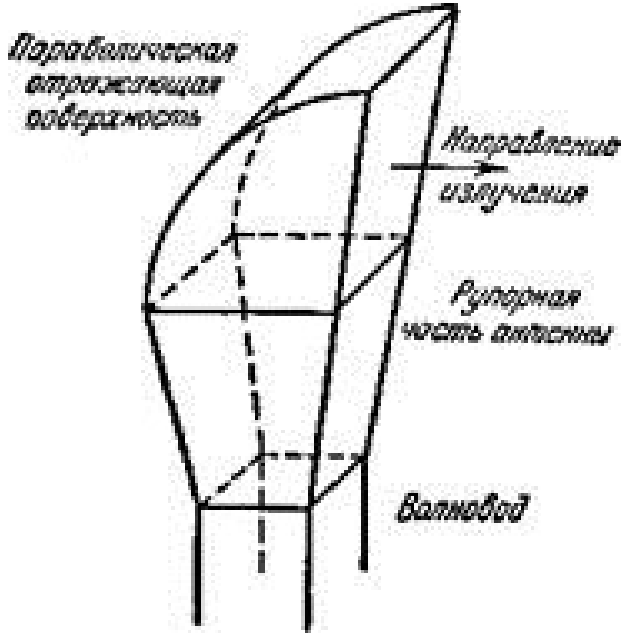
Рупорные и рупорно-линзовые антенны

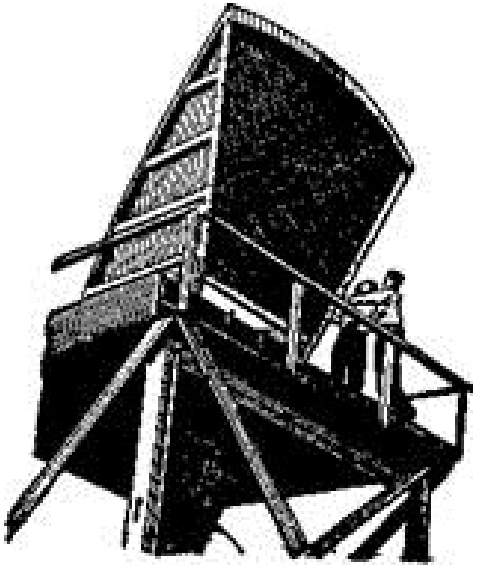


В основе устройства линзовых антенн лежит принцип преломления радиоволн на границе двух сред. Линза для радиоволн представляет собой набор параллельных друг другу металлических пластинок особой формы, разделенных воздушными промежутками. Форму пластин выбирают так, чтобы падающий на линзу из волновода расходящийся пучок радиоволн, пройдя линзу, стал параллельным. Чем больше размеры выходного отверстия линзы по сравнению с длиной волны, тем выше направленность антенны. Рупор перед линзой предназначен для обеспечения попадания всей высокочастотной энергии, выходящей из волновода, на линзу.

Иногда на радиорелейных линиях применяют чисто рупорные антенны. Конструктивно они проще и намного легче рупорно-линзовых, однако при тех же размерах отверстия имеют несколько меньшее усиление. При этом длина рупора оказывается в 1,5 – 2 раза большей, чем в случае применения линз.

Рупорно-параболические антенны





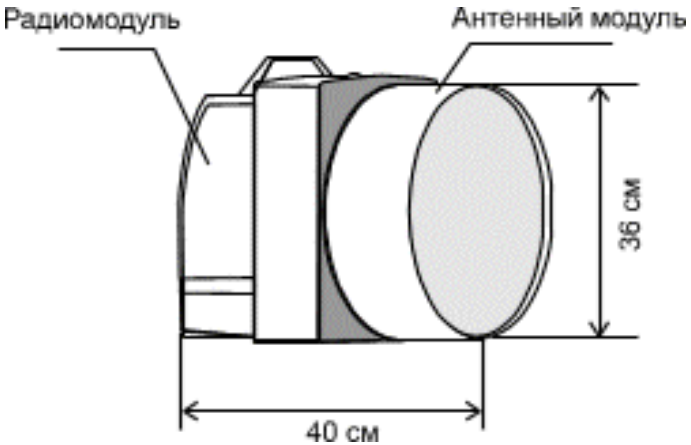
Рупорно-параболические антенны (РПА) обладают высоким коэффициентом использования поверхности, широкополосным согласованием и, что особенно важно, низким уровнем боковых лепестков, поэтому именно такие антенны используются для организации магистральных систем.

Рупорно-параболическая антенна представляет собой параболическое зеркало с вынесенным рупорным облучателем, объединенными в единую конструкцию. На РРЛ применяются антенны с пирамидальным питающим рупором. Обычно углы раствора питающего рупора выбираются в пределах 30-50°, а площадь раскрыва Sp составляет 5—15 м2.

Современные тенденции развития оборудования РРЛ

Новые технологии и освоение диапазонов частот выше 10 ГГц, коренным образом изменили структуры и оборудование радиорелейных линий связи. Габариты и вес оборудования уменьшились в десятки и сотни раз. В типовом исполнении современная радиорелейная аппаратура состоит из наружного и внутреннего модулей, соединенных кабелем. Наружный модуль выполняется в виде моноблока весом в несколько килограмм, состоящего из приемопередатчиков и антенны. Наружный блок устанавливается на простой антенной опоре или на здании, дымовой трубе и прочих возвышенных местах. Внутренний модуль располагается в помещении, удаленном от наружного модуля на расстояние до 300 - 400 м и представляет собой настольную или настенную компактную конструкцию. Подобные устройства получают массовое распространение в мире и позволяют организовывать радиорелейные линии и сети связи, передавая информацию: между населенными пунктами, внутри населенных пунктов, между отдельными предприятиями или зданиями, между базовыми станциями сотовой связи, между компьютерными центрами.

Бист (Россия)

Sandra (Россия)

MINI-LINK (Ericson)