

## Учебные вопросы:

1. Особенности построения и применения комплексов радиорелейной связи.
2. Особенности построения и применения комплексов тропосферной связи.
3. Особенности построения и применения комплексов спутниковой связи.



## Учебный вопрос № 1

Особенности построения и применения комплексов радиорелейной связи

**Радиолиния передачи**, в которой сигналы электросвязи передаются с помощью наземных ретрансляционных станций, называется **радиорелейной линией передачи**. Радиорелейная линия передачи (РРЛ) представляет собой цепочку приемопередающих радиостанций (оконечных, промежуточных, узловых), которые осуществляют последовательную многократную ретрансляцию (прием, преобразование, усиление и передачу) передаваемых сигналов.

Радиорелейная линия передачи, соседние станции которой размещаются одна от другой на расстоянии прямой видимости между антеннами этих станций, называется РРЛ прямой



Рис. 1. Радиорелейная линия передачи.



Антенны радиорелейной станции.

**ОРС** – оконечная радиорелейная станция, обеспечивающая преобразование отдельных подлежащих передаче сигналов в диапазоне частот радиосигнала.

**ПРС** – промежуточная радиорелейная станция, обеспечивающая прием, преобразование, усиление или регенерацию и последующую передачу радиосигнала.

**УРС** – узловая радиорелейная станция, обеспечивающая разветвление и объединение потоков сообщений, передаваемых по разным РРЛ, на пересечении которых и располагаются УРС. К УРС относятся также станции РРЛ, где осуществляется ввод и вывод телефонных, телеграфных и других сигналов.

На **ОРС** и **УРС** всегда имеется технический персонал, который обслуживает не только эти станции, но и осуществляет контроль и управление с помощью специальной системы телеобслуживания ближайшими **ПРС**. Участок РРЛ (300-500 км) между ОРС (УРС) делится примерно пополам так, что одна часть ПРС входит в зону телеобслуживания одной ОРС (УРС), а другая часть ПРС обслуживается другой УРС (ОРС).

**Данные для работы РРЛ** – сведения, необходимые для обеспечения работы ПРС в составе линии. **Они включают:** координаты станции; азимуты магнитные на корреспондентов; основные и запасные волны (частоты) связи и данные об их поляризации; режим работы станции и ее корреспондентов; радиоданные для станции служебной связи; сигналы управления и оповещения; ключи к переговорной таблице, схему (таблицу) распределения

**Радиорелейные** ст.  
**линии** прямой  
видимости и  
тропосферные  
радиорелейные  
линии передачи в  
большинстве своем  
работают в  
диапазонах  
**дециметровых** и  
**сантиметровых волн**  
(в диапазонах УВЧ и СВЧ)



**Совокупная ширина полосы частот** дециметрового и сантиметрового диапазонов в сотни раз превышает ширину полосы частот всех более длинноволновых диапазонов, вместе взятых. Это **позволяет** организовать совместную работу большого числа широкополосных РРС, передавать любые виды сообщений, а также строить многоканальные РРС с высокой пропускной способностью (**до нескольких тысяч каналов тональной частоты** или основных цифровых каналов с эквивалентной скоростью передачи, соответствующей нескольким сотням мегабит в секунду).

### **Типовая структура оборудования радиорелейных систем электросвязи**

**Комплект аппаратуры РРС** обычно состоит из **одного-двух полукомплектов** аппаратуры высокочастотного ствола (основные и резервные радиопередающие и радиоприемные устройства), антенных и фидерных устройств, а также из аппаратуры каналообразования, позволяющих обеспечить прием, передачу, ретрансляцию сигналов, ответвление части каналов или работу в нескольких направлениях.

**Приемники современных радиорелейных систем** передачи (РРС) строятся, как правило, по супергетеродинной схеме. **Передатчики** многоканальных РРС обычно строятся с преобразованием частоты, т. е. обеспечивают преобразование входного сигнала через ступень промежуточной частоты в СВЧ сигнал, который затем усиливается до номинальной мощности.



**Структурная схема передатчика** радиоствола приведена на **рис. 2**, где приняты следующие обозначения:  $f_{пч}$  – промежуточная частота (обычно равная 70 МГц); МУПЧ – мощный усилитель промежуточной частоты; См – смеситель (преобразователь промежуточной частоты в СВЧ сигнал);  $\Gamma_{пер}$  – гетеродин передатчика (генератор сверхвысокочастотной несущей, необходимой для преобразования сигнала промежуточной частоты в полосу частот радиосигнала); ПФ СВЧ – полосовой фильтр сверхвысокой частоты (радиосигнала); У СВЧ – усилитель сигнала СВЧ (радиосигнала). Модулированный входным сигналом сигнал промежуточной частоты после усиления смешивается в смесителе с высокостабильным колебанием гетеродина  $f_r$ . ПФ СВЧ выделяется частота  $f_{пер}$  которая усиливается УСВЧ до требуемой мощности передачи. В радиосистемах малой мощности

**Приемник радиоствола (рис. 3)** состоит из малошумящего усилителя сигнала СВЧ (МУ СВЧ), на вход которого поступает СВЧ сигнал с частотой  $f_{пр}$ ; полосового фильтра сигнала СВЧ (ПФ СВЧ), преобразователя частоты, в который, входят смеситель (См) и гетеродин приемника ( $\Gamma_{пр}$ ), и усилителя сигнала промежуточной частоты  $f_{пч}$ . **Сигнал промежуточной частоты** получается смешиванием сигнала с частотой  $f_{пр}$  с высокостабильным колебанием  $f_r$ .

На вход передатчика сигнал поступает из тракта промежуточной частоты, а с выхода

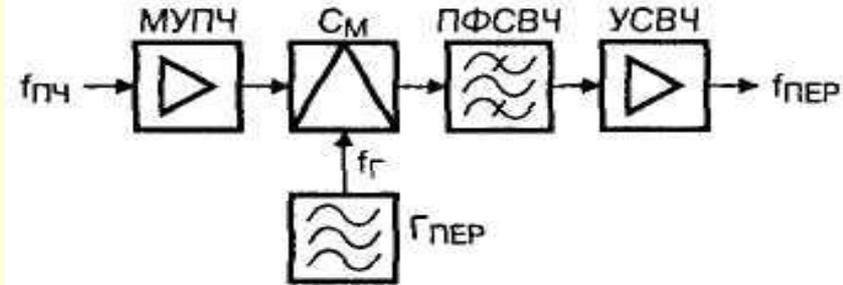


Рис. 2. Функциональная схема передатчика радиоствола.

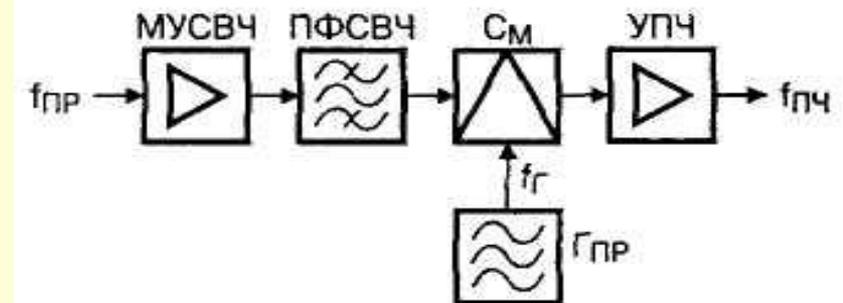


Рис. 3. Функциональная схема приемника радиоствола.

На промежуточных станциях (ретрансляторах) соединение приемника и передатчика происходит по промежуточной частоте. При необходимости выделения телевизионного сигнала на промежуточной станции в состав приемопередающей аппаратуры входит демодулятор, который подключается к дополнительному выходу приемника на промежуточной частоте.

### Тракты промежуточной частоты.

В тракте промежуточной частоты гетеродинного приемопередатчика осуществляются следующие основные функции: **автоматическая регулировка усиления**, компенсирующая изменения уровня принимаемого сигнала в среде распространения радиоволн; корректирование искажений частотных характеристик, вносимых различными элементами трактов передачи; амплитудное ограничение ЧМ сигналов в системах с частотным уплотнением.

Модулированный сигнал промежуточной частоты  $U_{вх}$  от смесителя приемника поступает на вход предварительного усилителя ПУс, далее сигнал обрабатывается полосовым фильтром (ПФ) и корректором группового времени запаздывания (Кор. ГВЗ). Для коррекции искажений группового времени запаздывания, вносимых ПФ, используется Кор. ГВЗ ПФ. В главном усилителе (ГУс) осуществляется основное усиление сигнала и автоматическая регулировка усиления (АРУ), для чего часть сигнала с выхода ГУс ответвляется в амплитудный детектор (АД), а затем на усилитель

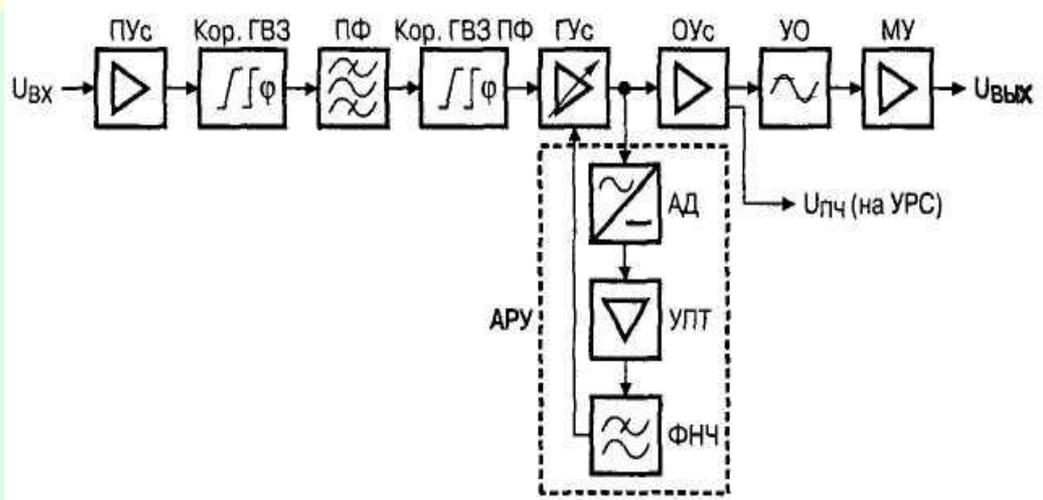


Рис. 4. Структурная схема типового тракта промежуточной частоты РРЛ.



## Учебный вопрос № 2

Особенности построения и применения  
комплексов тропосферной связи



**Тропосферная связь** – это дуплексная многоканальная УКВ радиосвязь, основанная на рассеянии и отражении радиоволн от неоднородностей тропосферы и характеризующаяся нормированными показателями каналов и групповых трактов. Она характеризуется **большой дальностью действия** без повторения сигнала.

распространяется между точками земной поверхности по траектории, лежащей в тропосфере. Энергия тропосферной радиоволны короче 100 см рассеивается на неоднородностях тропосферы. При этом часть энергии попадает на приемную антенну ТРС, расположенной за пределами прямой видимости на расстоянии 250 ...350 км. Цепочка таких ТРС образует **тропосферную радиорелейную**

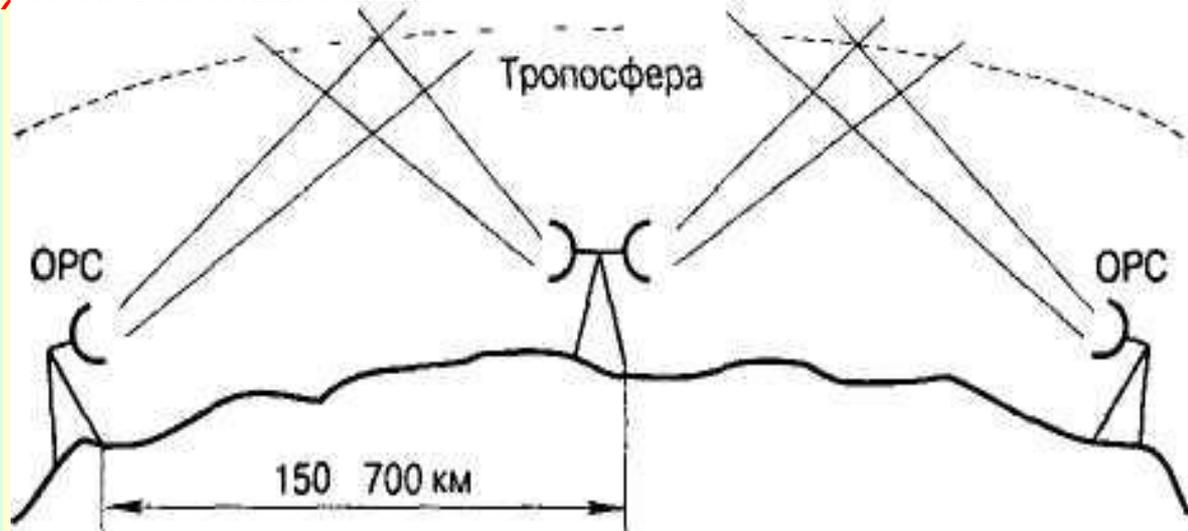


Рис. 5. Тропосферная радиорелейная передача.

**Для обеспечения устойчивой связи** в условиях большого общего затухания приходится создавать аппаратуру с энергетическими параметрами, значительно лучшими, чем параметры РРЛ прямой видимости.

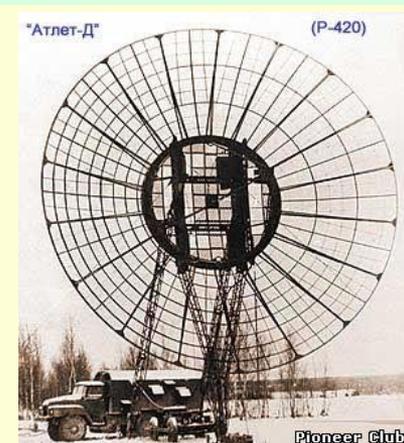
**Затухание сигнала достигает 210-250 дБ** в худшие по условию распространения радиоволн зимние месяцы, т. е. превышает затухание на участке РРЛ прямой видимости на 80-120 дБ. Для обеспечения устойчивой связи в условиях большого общего затухания приходится создавать аппаратуру с энергетическими параметрами, значительно лучшими, чем параметры РРЛ прямой видимости. Мощность передатчика достигает 3-10 кВт, а в отдельных случаях – и 100 кВт, размеры антенн могут превышать 1000 м<sup>2</sup>, используются малошумящие входные усилители, специальные устройства понижения порогового уровня ЧМ сигнала



При дальнем тропосферном распространении радиоволн сигнал подвержен быстрым, медленным и очень медленным (сезонным) изменениям (**флуктуациям**).

- **Быстрые флуктуации** сигнала определяются интерференцией волн переизлученных движущимися неоднородностями тропосферы. Перемещение неоднородностей вызывает изменение фаз составляющих входящей волны, что и приводит к быстрым замираниям. Скорость быстрых замираний характеризуется квазипериодом, т. е. средним за пятиминутный сеанс временем между двумя пересечениями (в одну сторону) сигналом медианного уровня. Квазипериод находится обычно в пределах 0,1-10 с.
- **Медленные замирания** – это изменения во времени усредненные за 4-7 мин значений уровня сигнала. Такой интервал позволяет отделить быстрые интерференционные замирания от медленных, природа которых связана с изменением интенсивности и количества неоднородностей в объеме рассеяния.
- **Сезонные изменения сигнала** (очень медленное замирание) определяются изменениями метеорологических условий – сигнал летом больше, чем зимой.

На практике для борьбы с замираниями чаще всего используются **системы разнесенного приема**.



**Разнесенный прием основан** на том, что сигнал на выходе приемного устройства образуется комбинацией нескольких входных сигналов, несущих одну и ту же информацию, но по-разному пораженных замираниями. При этом комбинирование осуществляется так, чтобы выходной сигнал **флуктуировал** значительно меньше, чем входные.

### **На тропосферных РЛ могут быть применены следующие методы разнесения:**

- пространственное разнесение антенн (обычно перпендикулярно трассе);
- частотное разнесение, использующее независимость замирания сигнала на частотах, разнесенных на величину, превышающую радиус частотной корреляции;
- разнесение по углу прихода луча, при котором используются одна приемная антенна и несколько облучателей, каждый из которых создает свою диаграмму направленности, сдвинутую относительно соседних по азимуту либо по углу места;
- комбинированное разнесение, например при счетверенном приеме разнесения пар

**Потенциальные возможности разнесенного приема** ограничены, поскольку увеличение кратности разнесения связано почти пропорционально с ростом объема оборудования. Поэтому дальнейшее улучшение качества и надежности тропосферных РЛ потребовало разработки новых методов борьбы с замираниями.

Таковыми способами являются: использование оптимального приема широкополосных сигналов и адаптивный прием.



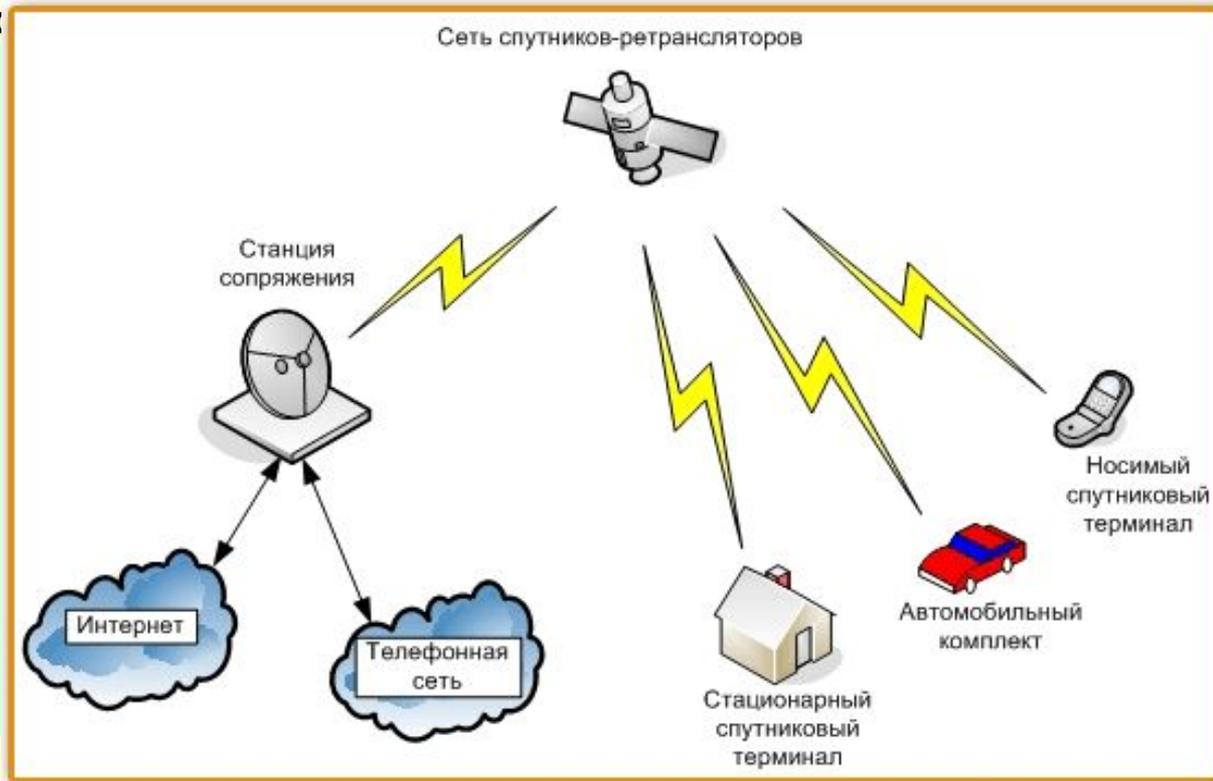
## Учебный вопрос № 3

Особенности построения и применения  
комплексов спутниковой связи



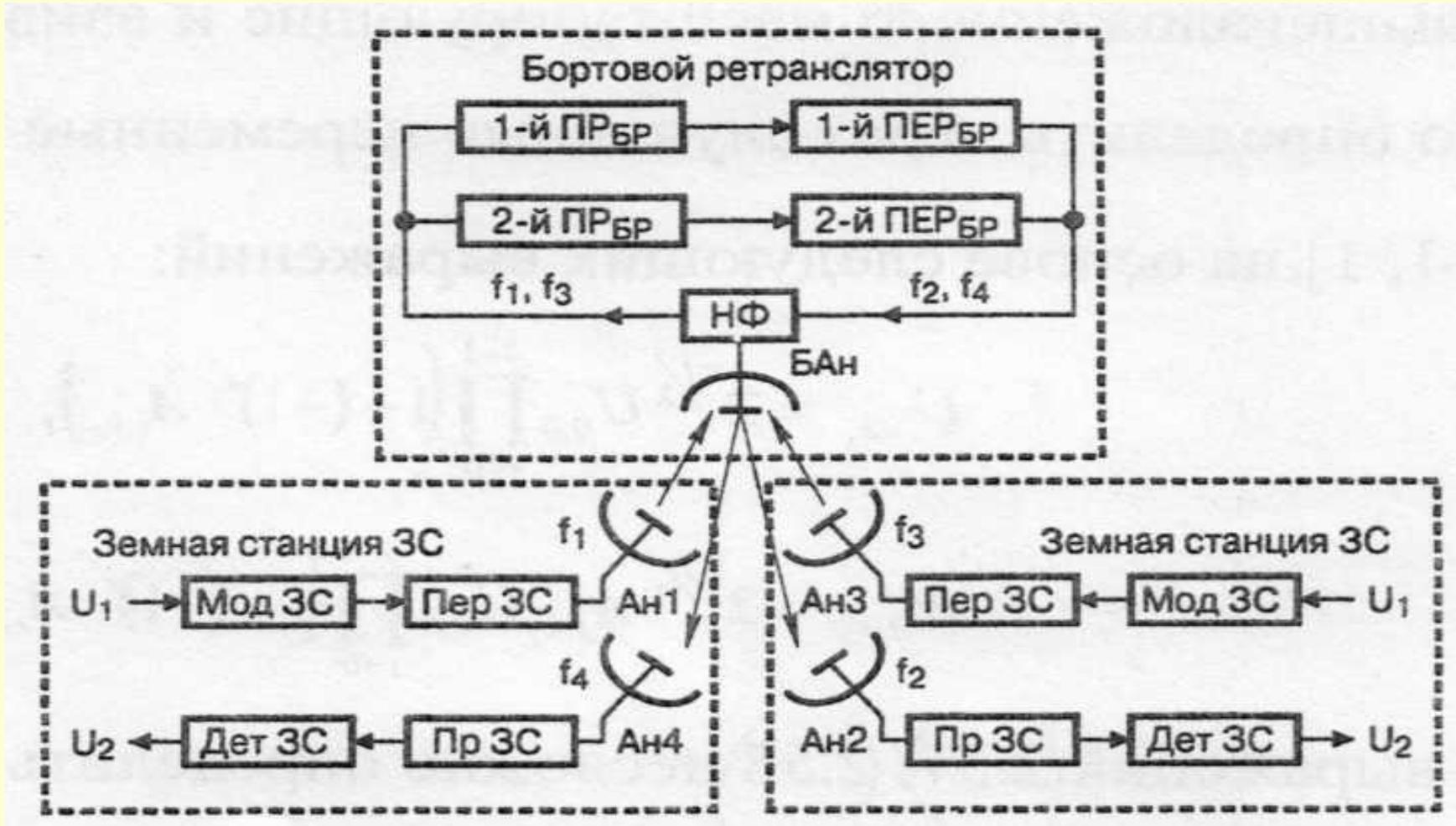
С запуском 4 октября 1957 года первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) в Советском Союзе было положено начало освоению околоземного космического пространства. Одним из важнейших практических применений ИСЗ является космическая радиосвязь между земными станциями (ЗС), осуществляемая посредством ретрансляции сигналов через один или несколько ИСЗ связного назначения. Такая передача сигналов положена в основу спутниковых систем передачи, представляющих собой радиорелейную линию (РРЛ) с одной промежуточной

**Спутниковые системы** передачи обладают рядом **важных особенностей**, отличающих их как от РРЛ прямой видимости, так и от дальних тропосферных радиолиний (ТРРЛ). Так, функционирование ССП возможно при наличии ряда специальных подсистем. Ввиду этого ССП выделяют в самостоятельный вид систем



По способу ретрансляции сигнала ССП делят на системы с **пассивной и активной** ретрансляцией. Система, которая работает без бортовой аппаратуры, называется системой связи с пассивным спутником, или системой с пассивной ретрансляцией.

Примерная структурная схема дуплексной связи между двумя земными станциями (ЗС) при активной ретрансляции сигнала приведена на рисунке.



Передаваемый в одном направлении сигнал  $U_1$  подводится к модулятору земной станции (Мод ЗС), в результате чего осуществляется модуляция несущей частоты  $f_1$ .

Эти колебания от передатчика земной станции (Пер ЗС) подводятся к антенне Ан1 и излучаются в направлении ИСЗ, где принимаются бортовой антенной БАН бортового ретранслятора (БР). Далее колебания с частотой  $f_1$  поступают на направляющие фильтры (НФ), усиливаются первым приемником бортового ретранслятора (1-й ПРбр), преобразуются в частоту  $f_2$  и поступают к первому передатчику бортового ретранслятора (1-й ПЕРбр). С выхода этого передатчика колебания с частотой  $f_2$  через НФ подводятся к бортовой антенне БАН и излучаются в сторону Земли. Эти колебания принимаются антенной Ан2 и подводятся к приемнику земной станции ПрЗС и детектору земной станции Дет ЗС, на выходе которого выделяется сигнал  $U_1$ . Передача от противоположной ЗС сигнала  $U_2$  происходит на частоте  $f_3$  аналогичным образом, причем на бортовом ретрансляторе осуществляется преобразование колебаний с несущей частотой  $f_3$  в колебания с частотой  $f_4$ .

Земные станции соединяются с узлами коммутации сети связи, с источниками и потребителями типовых каналов и трактов, программ телевидения и звукового вещания с помощью наземных соединительных линий.

## Орбиты спутников - ретрансляторов

