

Министерство образования Российской Федерации
Марийский государственный технический университет

Громько А.Н.

**Наземные и космические системы связи и
телерадиовещания**

Учебное пособие

Йошкар-Ола 2000

Введение

- 1.1 Развитие средств связи
- 1.2 Развитие систем радиосвязи
- 1.3 Классификация система радиосвязи
- 2 Наземные системы радиосвязи и телевидения
 - 2.1 Декаметровые системы связи
 - 2.1.1 Общая характеристика систем
 - 2.1.2 Структура систем передачи телефонных и телеграфных сообщений на ДМВ
 - 2.1.2.1 Радиотелефонная связь
 - 2.1.2.2 Телеграфная связь
 - 2.1.3 Цифровое вещание ДВ, СВ и КВ диапазонах
 - 2.1.4 Наземные системы телевизионного вещания
 - 2.1.5 Диагностика ионосферного радиоканала с целью обеспечения минимума вероятности ошибки, принимаемого сообщения
 - 2.2 Радиорелейные линии прямой видимости
 - 2.2.1 Общие сведения
 - 2.2.2 Многоствольные РРЛ Резервирование
 - 2.2.3 Многоствольные РРЛ Планы частот
 - 2.2.4 Принципы организации многоствольной работы РРЛ
 - 2.2.5 Телефонный ствол
 - 2.2.6 Телевизионный ствол
 - 2.2.7 Применение ЧМ на РРЛ
 - 2.2.7.1 Общие соотношения
 - 2.2.7.2 Телефонные сообщения
 - 2.2.7.3 Передача телевизионных программ
 - 2.2.8 Антенно-фидерные устройства РРЛ
 - 2.2.9 Передатчики РРЛ
 - 2.2.10 Приемники РРЛ
 - 2.2.11 Помехи в радиолиниях
 - 2.2.12 Нормирование качества связи на РРЛ Эталонные цепи
 - 2.2.13 Уровень сигнала в месте приема
 - 2.2.14 Электрические характеристики канала ТЧ
 - 2.2.15 Электрические характеристики телевизионного канала
 - 2.2.16 Помехи в каналах РРЛ
 - 2.2.17 РРЛ с временным разделением каналов и аналоговыми методами передачи
 - 2.2.18 РРЛ с временным разделением каналов и цифровыми методами передачи
 - 2.2.18.1 Общие сведения
 - 2.2.18.2 Амплитудная модуляция
 - 2.2.18.3 Частотная модуляция
 - 2.2.18.4 Фазовая модуляция
- 3 Системы спутниковой связи и телевидения
 - 3.1 Основные понятия
 - 3.2 Основные показатели ССС
 - 3.2.1 Основные показатели земных станций
 - 3.2.2 Основные показатели космических станций
 - 3.2.3 Основные показатели ССС
 - 3.3 Состав земных и космических станций
 - 3.4 Орбиты искусственных спутников Земли
 - 3.5 Многостанционный доступ
 - 3.5.1 Общие сведения
 - 3.5.2 Многостанционный доступ с частотным разделением
 - 3.5.3 Многостанционный доступ с временным разделением
 - 3.5.4 Многостанционный доступ с кодовым разделением

3.6 Эффект Доплера

3.7 Запаздывание символов

3.8 Методы передачи сигналов в ССС

3.8.1 Методы передачи сигналов телевидения

1 Введение

1.1 Развитие средств связи

В 1895 году А.С. Попов открыл явление регистрации грозových разрядов, т.е. электромагнитных колебаний, возникающих при искре-молнии. Ранее (1886г) Генрих Герц экспериментально доказал наличие электромагнитных волн с помощью катушки Руткорфа и системы вибраторов. С этих двух великих открытий началось развитие электросвязи. В России - А.С. Попов, за рубежом Г. Маркони. Развитие радиотехники и связи шло тремя направлениями:

1. Принципы построения аппаратуры и элементной базы
2. Увеличение дальности связи
3. Освоение новых диапазонов

В начале связь основывалась на электроискровых методах и был возможен только радиотелеграфный режим. С изобретением электронной лампы (второе величайшее изобретение в радиотехнике) стал возможен режим телефонии. К 1920 году были изобретены ламповый усилитель мощности (генератор с внешним возбуждением) и супергетеродинный приемник. Начал осваиваться КВ - диапазон. К 1930 году - УКВ диапазон. В начале 20-х годов началось широчайшее строительство во всем мире мощных радиовещательных центров.

В мировом развитии систем радиосвязи важнейшее значение имеют работы видных советских ученых В.А. Котельникова, А.А. Харкевича, В.И. Сидорова, Л.И. Мандельштама, Н.И. Берга, А.Л. Минца. Фундаментальные исследования в области распространения радиоволн выполнили: В.А. Фок, Б.А. Введенский, А.Г. Аренберг. Фундамент советской электроники был заложен в Нижегородской лаборатории, руководимой М.А. Бонч-Бруевичем (1918-1928гг) (Организовал первое отечественное производство электронных ламп 1916-1919гг, под его руководством в 1922 г создана первая в мире мощная радиовещательная станция имени Коминтерна в г. Москве).

Фундаментальной теоретической работой в области связи, определившей современное развитие техники, явилась статья В.А. Котельникова в 1933г "О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи". В этой работе была принципиально показана ограниченная пропускная способность проводочной связи, что потребовало научного и технического поиска для возможности многоканальной связи. Такие принципы и решения были найдены и реализованы как в проводной, так и в радиосвязи.

В проводной связи используется проволока, кабели, волноводы, волоконно-оптические линии. Кроме проволоки, остальные линии позволяют осуществлять многоканальную связь.

В радиосвязи принципы и технические решения были связаны с освоением диапазонов дм и см волн. Развитие шло по двум направлениям:

- наземные системы - РРЛ
- космические системы - ССС

Радиорелейные линии представляют собой ретрансляторы, установленные на равнинных участках через каждые 40-60 км, т.к. электромагнитные волны этих диапазонов распространяются в пределах прямой видимости. Антенны ретрансляторов устанавливаются на мачтах высотой 40...70 м.

Первая отечественная аппаратура радиорелейной связи была разработана в 1953 году. "Стрела-М" для передачи 24 телефонных каналов и "Стрела-Т" для телевизионных. В 1955 г была создана аппаратура Р-60/120, в 1957 Р-600.

Р-600 работает в диапазоне 3400-3900 МГц и рассчитана на передачу телефонных сообщений от 300 до 1020 каналов в одном стволе, телевидения вместе со звуковым сопровождением. Аппаратура позволяет организовать на магистральной линии два-три рабочих ствола и один резервный.

В настоящее время на сети связи страны применяется система, работающая в диапазонах 2, 4, 6 и 8 ГГц. Этот комплекс унифицированных радиорелейных систем (КУРС), был разработан в период с 1970 по 1976 гг.

В 1976-79 гг. Разработана система КУРС-И, получившая название "Электроника-Связь", в которой широко использованы при изготовлении трактов высоких и промежуточных частот микросхемы и интегральная и микрополосковая технологии.

Кроме РРЛ прямой видимости существуют РРЛ, использующие дальней тропосферное распространение дм и см волн. Их используют для связи в многонаселенных и труднодоступных районах, расстояние между соседними станциями составляет несколько сотен километров. Пример аппаратуры - "Горизонт-М" на 60 телефонных каналов.

В космических системах в качестве ретрансляторов используют ИСЗ. 23 апреля 1965 г. в СССР был выведен на орбиту спутник связи "Молния-1", обеспечивающий многоканальную двухстороннюю связь, в 1967 г на базе спутников "Молния-1" была создана первая в мире сеть наземных станций "Орбита", обеспечивающая телевизионным вещанием районы Сибири, Дальнего Востока, Крайнего Севера и Средней Азии.

Возможности космической связи значительно расширились с созданием систем "Экран", "Москва" и запуском спутников "Молния-3", "Радуга", "Экран", "Галс" и "Экспресс".

1.2 Развитие систем радиосвязи

Первая в мире линия радиосвязи была организована в России изобретателем радио А. С. Поповым для оказания помощи потерпевшему аварии около острова Гогланд в Финском заливе броненосцу «Генерал-Адмирал Апраксин». Она начала работу 6 февраля 1900 года; протяженность трассы была около 40 верст. Радиосвязь осуществлялась затухающими колебаниями В передатчиках господствовала искровая система возбуждения колебаний, а в приемниках - схемы с кристаллическими детекторами.

Мощные станции начала века работали на волнах порядка 10 000 - 25 000 м. Первая стокиловаттная дуговая радиостанция была построена в Москве на Шаболовке. По проектам В. П. Вологодина были сооружены передатчики мощностью 50 и 150 кВт. Последний впервые обеспечивал прямую радиосвязь через Атлантический океан.

С появлением электронных ламп на Ходынской радиостанции был установлен первый радиотелефонный передатчик мощностью 2 кВт, работу которого слышали в Чите, Обдорске и Ташкенте. Первый радиоконцерт состоялся 17 сентября 1922 года и транслировался через Нижегородскую радиостанцию мощностью 12 кВт.

Прогресс ламповой техники и интенсивное изучение распространения радиоволн привели в 1924-1926 годах к переходу на коротковолновый диапазон. В 1921 году А.Ф. Шо-риным начаты опыты по применению буквопечатающей аппаратуры.

С 1 октября 1931 года началось регулярное телевизионное вещание с механической разверткой, а в 1938 году с электронной разверткой на 240 строк. Развивалась и многоканальная телефония. Ряд интересных работ в этом направлении были выполнены В. А. Котельниковым.

С начала 30-х годов начал осваиваться и диапазон дециметровых волн. В 1931 году была проведена радиосвязь на дециметровых волнах Москва - Люберцы (15 км).

В послевоенных разработках начали осваиваться и другие диапазоны волн - сантиметровые и миллиметровые, открывались новые виды модуляции, разрабатывались новые комплектующие изделия для радиопромышленности. Широкими темпами шло и освоение космоса, появилась космическая связь, с открытием лазера начали разработку и волоконно-оптических кабелей связи.

1.2.1 Развитие наземного радиовещания

1922г. - радиовещательная станция им. Коминтерна (12 кВт)

1926г. - им. Попова (20кВт)

1927г. - им. Коминтерна (40кВт)

1929г. - им. ВЦСПС (100кВт)

1933г. - им. Коминтерна (50кВт)

Начинались разработки радиостанций 1000 кВт, но проект не удался в связи с началом

ВОВ. Все станции работали в диапазоне ДВ.

В конце июня 1941г. в тыл были эвакуированы радиовещательные мощные станции. Было принято решение построить станцию на диапазон СВ с мощностью 1200 кВт в Москве. Это было 2 группы башенных антенн, которые располагались.

- 4 башни в вершинах квадрата по 200м
- 4 башни в меньшем квадрате по 150м

Две станции по 600 кВт давали две программы на разных частотах. При необходимости можно было сложить эти мощности двух станций на одну антенну. Башни имели свои элементы настройки, фазирования и т.д., стояли на изоляторах. Для охлаждения использовали воду из Москвы-реки через очистку. Станция была построена в 1942г. 18 октября за 10 месяцев до планового завершения.

1.3 Классификация систем радиосвязи.

Основным международным документом, определяющим использование радиоспектра и условия работы различных радиосредств, является Регламент радиосвязи, согласно которому системы радиосвязи можно классифицировать по следующим признакам:

1. По принадлежности служб:

- фиксированная служба радиосвязи между определенными пунктами.
- радиовещательная служба для населения;
- подвижная служба между станциями;
- радиоопределение (радионавигационная служба, радиолокационная служба и пр.) и др.

2. По используемым диапазонам частот:

радиоспектр от 3 кГц до 3000 ГГц разбивается на девять диапазонов (N=9 от 4 до 12) каждый из которых занимает полосу от $0,3 \cdot 10^N$ до $3 \cdot 10^N$.

| N диапа- зона | Диапазон частот | Наименов. частот | Диапазон волн | Наименование волн |
|---------------|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|
| 4 | 3...30 кГц | ОНЧ очень низкие | 100... 10 км | мираметровые |
| 5 | 30...300 кГц | НЧ низкие | 10... 1 км | километровые |
| 6 | 30...3000 кГц | СЧ средние | 1000... 100м | гектометровые |
| 7 | 3...30 МГц | ВЧ высокие | 100... 10 м | декаметровые |
| 8 | 30...300 МГц | ОВЧ очень высокие | 10... 1 м | метровые |
| 9 | 300...3000 МГц | УВЧ ультравысокие | 100... 10 см | дециметровые |
| 10 | 3...30 ГГц | СВЧ сверхвысокие | 10... 1 см | сантиметровые |
| 11 | 30...300 ГГц | КВЧ крайневысокие | 10... 1 мм | миллиметровые |
| 12 | 30...3000 ГГц | ГВЧ гипервысокие | 1... 0,1 мм | дециметровые |

3. По пропускной способности:

- системы с малой пропускной способностью - узкополосные системы, позволяющие передавать от 1-2 до 24 телефонных сообщений.

- системы с большой пропускной способностью, позволяющие передавать сигналы многоканальных систем и широкополосные телевизионные сигналы – радиорелейные и спутниковые системы связи. Эти системы могут работать только в полосах частот, выделенных в диапазонах см и м волн - во-первых, только в этих диапазонах можно передавать сигналы с широким спектром и, во-вторых можно использовать различные помехоустойчивые виды модуляции ЧМ, ФМ, их разновидности.

4. По виду передаваемых сигналов.

- системы передачи непрерывных (аналоговых) сигналов

- системы передачи дискретных сигналов - цифровые системы.

2. Наземные системы радиосвязи и телерадиовещания.

2.1 Декаметровые системы связи.

2.1.1 Общие характеристики систем.

Работают в диапазоне длин волн 100...10 м, или на частотах 3...30 МГц. Распространение этих волн в околоземном пространстве происходит путем их отражения от ионизированной атмосферы F_1 , F_2 , F_s , и поверхности земли. Такие волны называются ионосферными. При односкачковом отражении дальность связи может достигать до 2,5-3,5 тыс.км. В линиях большой протяженности используют более 2-3 скачков. Такая природа распространения декаметровых волн (ДМВ) приводит к многолучевой структуре поля в месте приема. Принимаемый сигнал состоит из двух компонент: регулярной (с медленно меняющимися амплитудой и фазой) и случайной (с быстро меняющимися параметрами). При увеличении числа скачков мощность случайной компоненты возрастает так, что сигнал на выходе приемника следует рассматривать как не стационарный случайный процесс (СП), описываемый плотностью вероятности распределения амплитуд $W(U,t)$ и фаз $W(\phi,t)$. Не стационарный этот процесс является из-за того, что в разное время года и суток меняются условия распространения вследствие случайного характера границ слоев и концентраций ионов в слоях.

В ионосферных системах различают две группы помех аддитивные и мультипликативные. Аддитивные помехи появляются в месте приема по следующим причинам: шумы в передатчиках и приемниках, атмосферные помехи (грозы, полярное сияние), промышленные помехи. Их влияние уменьшается при вынесении приемных пунктов за черту больших городов.

Нарушение условий электромагнитной совместимости в диапазоне ДМВ. Общее количество каналов - 5400 с полосой 5 кГц. Количество радиостанций и передатчиков в несколько раз больше количества каналов, так что на одной и той же частоте работает несколько передатчиков даже на территории одной страны. Кроме того, при работе передатчиков с амплитудной, частотной и фазовой модуляциями (АМ, ЧМ, ФМ) без дополнительного ограничения полосы излучения спектр шире 5 МГц, а следовательно, возникают помехи по соседнему каналу.

Мультипликативные помехи возникают за счет многолучевого распространения ДМВ и делятся на два вида:

- селективные замирания принимаемых сигналов Борьба - разнесенный прием
- искажение модулирующей функции при демодуляции из-за наложения двух и более модулирующих функций сдвинутых на время относительного запаздывания лучей (2.5-3 мс). Это явление наиболее часто появляется при передаче дискретных сообщений и называется межсимвольная интерференция. Для повышения устойчивости приема длительность сигнала выбирают в 2-3 раза больше времени относительного запаздывания лучей, а следовательно, максимальная скорость телеграфирования по ДМВ каналу не должна превышать 200-250 бод.

Системы на КВ долгое время были основными системами связи. Создание радиорелейных (РРЛ), спутниковых и кабельных систем привело к уменьшению удельного веса КВ связи из-за более низкой пропускной способности и надежности. Однако КВ связь обладает рядом специфических особенностей:

- мобильность средств;
- возможность дальней связи с подвижными объектами;
- легкая организация обходных путей.

Эти особенности позволяют организовать надежно действующую радиосвязь, как для самостоятельного использования, так и для частичного резервирования более мощных систем связи.

Системы КВ связи используются для передачи телефонных, телеграфных и фототелеграфных сообщений. В зависимости от установленного оборудования системы КВ связи позволяют вести:

- телефонную передачу по 4 - м каналам одновременно;

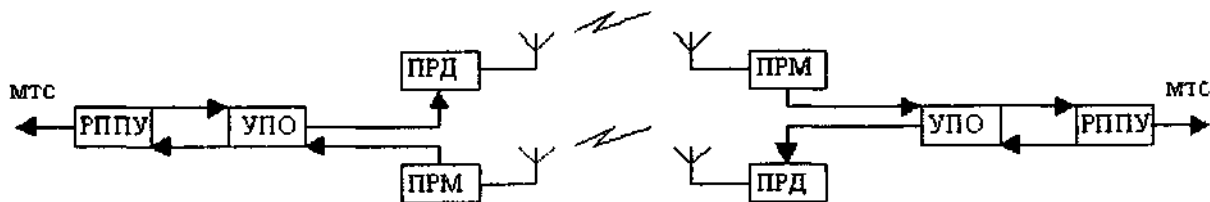


Рисунок 2.1.2.1 - Структурная схема телефонной радиосвязи

РППУ - радиопереходное устройство
 УПО - устройства предварительной обработки
 ПРД - передатчик, ПРМ - приемник

Системы радиотелефонии с амплитудной модуляцией (АЗ). Применяют в низовой, морской и других службах связи. Типовые передатчики имеют мощность:

50.. 80 Вт - низовая связь;

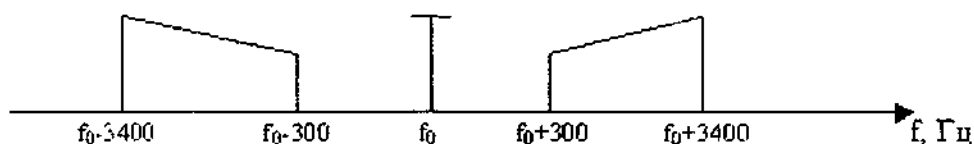
0,3.. 1 кВт – морская;

5.. 50 кВт – магистральная.

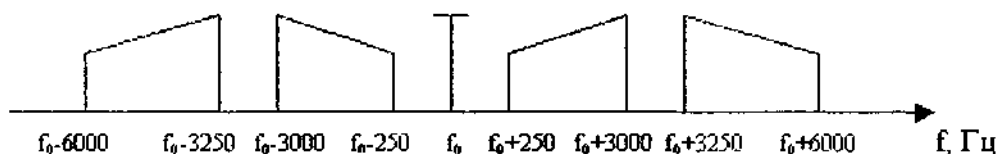
Главный недостаток - широкая занимаемая полоса в радиоканале.

Системы радиотелефонии с однополосной модуляцией (АЗА, АЗВ). Позволяют сократить полосу занимаемых частот и осуществлять связь по 1 4 каналам одновременно. При внутрizonной связи полоса пропускания телефонного канала равна 3100 Гц (300 3400), а для междугородней - 2750 Гц (250...3000).

Частотный план размещения телефонных каналов имеет следующий вид для двухканальной системы:



для междугородней системы:



Для улучшения качества связи на ДМВ используют следующие методы:

1. Прием на разнесенные в пространстве системы.
2. Снижение избыточности телефонного сообщения с помощью вокодера и применения сигналов.
3. Регенерация сигналов в пунктах ретрансляции.

Рассмотрим структурную схему устройства дискретной передачи телефонных сигналов. В передающей части (П) вокодера (устройство в котором происходит разделение полосы частот на ряд отдельных полос) с помощью фильтра происходит разделение полосы частот на n полос. В каждой из этих полос осуществляется дискретизация непрерывного сигнала и модуляция поднесущей частоты с последующим объединением в устройстве объединения (УО). На приемной стороне сигналы от двух приемников, работающих от разнесенных антенн, поступают на устройство разделения (УР) поднесущих. Затем в демодуляторах происходит демодуляция поднесущих. На выходах демодуляторов

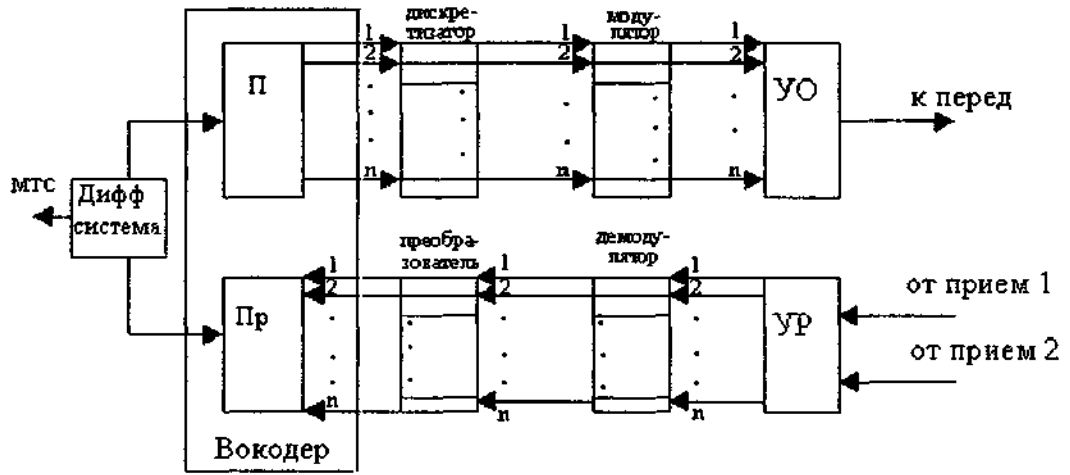


Рисунок 2.1.2.2 - Структурная схема устройства передачи дискретных сигналов

получаются дискретизированные сигналы, которые затем преобразуются в аналоговую форму. В приемной части (Пр) вокодера происходит объединение сигналов и получается исходное сообщение.

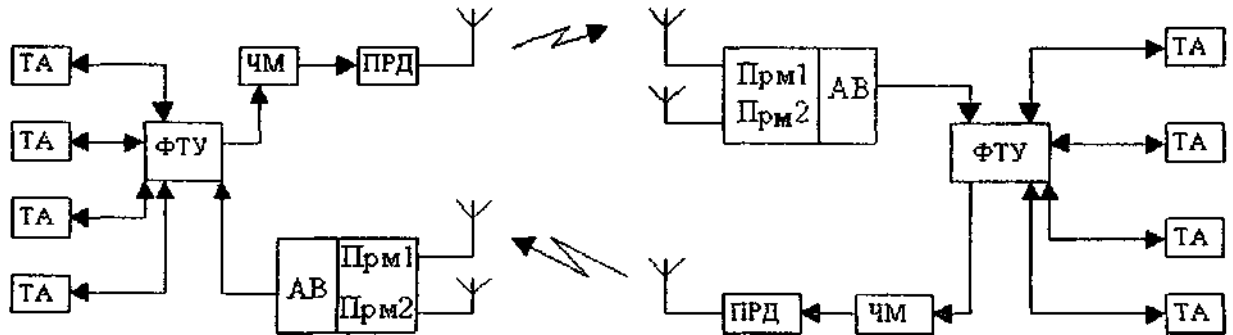
Система обеспечивает защиту информации в достаточно высокой степени.

2.1.2.2 Телеграфная связь.

Системы с амплитудной модуляцией (А1) в настоящее время практически вытеснены системами с ЧМ и используются в радиосвязи с малым объемом передаваемой информации.

Системы тональной телеграфии (А2) применяются только в морской радиосвязи.

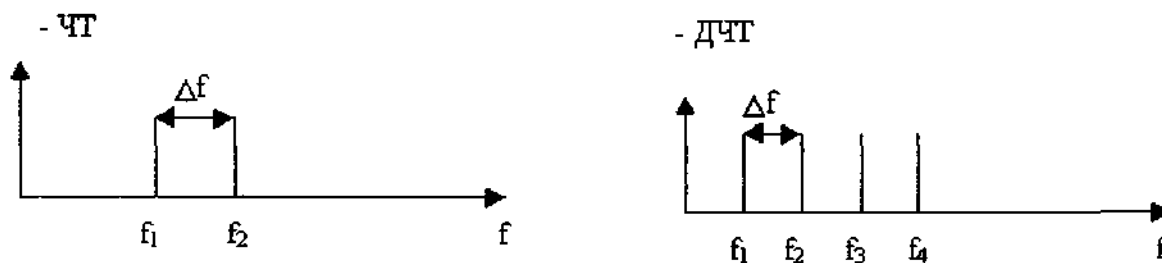
Системы частотного телеграфирования (ЧТ) и двойного частотного телеграфирования (ДЧТ) являются основным видом систем для передачи телеграфных сообщений.



Для каждого оконечного пункта (ОП) схема состоит из передатчика (ПРД) с частотной модуляцией (ЧМ), приемников (Прм 1,2), с разнесенной антенной, оконечных телеграфных аппаратов (ТА) и синхронных телеграфных устройств (ФТУ) с временным объединением (мультиплексоры). Блок АВ автовыбора сигналов приемника.

Системы ЧТ и ДЧТ на радиолиниях протяженностью 3-4 тыс. км при мощности передатчиков 15-20 кВт и сдвоенном приеме обеспечивают вероятность ошибки не более 10^{-4} не менее чем 90 - 95% времени. Частотный разнос между соседними частотами, как при ЧТ и ДЧТ, равен $\Delta f = 400$ Гц. Пропускная способность системы ЧТ равна 50 бит/с при наличии одного телеграфного аппарата и может быть повышена до 100-200 бит/с при наличии двух - или четырехкратных мультиплексоров. У ДЧТ пропускная способность вдвое больше.

Частотный план частотного и двойного частотного телеграфирования представлен ниже



Системы радиотелеграфирования с фазовой манипуляцией. Данные системы стали внедряться после изобретения в 1954г. способа относительной фазовой манипуляции (ОФМ). Суть данного способа, передаваемым символам в канале связи соответствуют определенные изменения (скачки) фазы ВЧ колебаний. При этом способе сравниваются фазы каждой последующей и предыдущей посылки и при этой разности фаз выносится решение о передаваемом символе. Используется однократная ОФМ (изменения фазы на 0° и 180°) и двукратная ДОФМ (изменения фазы на 0° , 90° , 180° , 270°). Пропускная способность систем 200-600 бит/с при аналогичной надежности как у систем ЧТ и ДЧТ.

2.1.3 Цифровое вещание ДВ, СВ и КВ диапазонах

Несмотря на широкое распространение высококачественного вещания на УКВ с частотной модуляцией, у населения планеты находится значительное число приемников, работающих в ДВ, СВ и КВ диапазонах (табл. 2.1), которые обеспечивают прием удаленных радиостанций. Совершенствование передающих технических средств этих диапазонов шло по пути увеличения мощности, повышения КПД, качественных показателей передатчиков и эффективности антенн. Одно остается неизменным - в ДВ, СВ и КВ диапазонах передатчики работают в режиме амплитудной модуляции (АМ) с двумя боковыми полосами частот. Многочисленные попытки широкого внедрения однополосной модуляции успеха не имели по ряду причин. В их числе - относительное усложнение конструкций передатчиков и дороговизна однополосных приемников при отсутствии существенных преимуществ для массового слушателя. Все это ведет к сокращению объемов вещания в диапазонах, где используется АМ.

Таблица 2.1

| Географический Регион | Количество приемников (млн. шт.) по годам | | | |
|-----------------------|---|------|------|------|
| | 1970 | 1980 | 1990 | 1994 |
| Всего в мире | 771 | 1307 | 1877 | 2008 |
| Африка | 19 | 49 | 108 | 122 |
| Америка | 350 | 566 | 711 | 756 |
| Азия | 78 | 254 | 568 | 621 |
| Европа | 314 | 418 | 464 | 481 |
| Океания | 10 | 20 | 26 | 28 |

И все-таки нельзя не отметить, что диапазоны с традиционной АМ обладают рядом преимуществ, существенных для отечественных и международных операторов. В частности, КВ диапазон обеспечивает экономичное покрытие территорий удаленных регионов мира, возможность оперативной организации канала вещания в заданную зону Земного шара.

Несомненно, отказываться от уже выделенного частотного ресурса для радиовещания нецелесообразно, но также очевидна необходимость повышения качества вещания. Одним из путей устранения известных недостатков вещания с АМ и вызванных ими тенденций сокращения вещания в этих диапазонах является переход к цифровым методам, которые позволят также обеспечить предоставление широкого спектра дополнительных услуг и передачу цифровой информации.

Желание использовать традиционные диапазоны для внедрения цифровой технологии настолько значительно, что появились организации, связанные с национальным и международным вещанием. Они начали разворачивать широкую программу по внедрению систем цифрового радиовещания в ДВ, СВ и КВ диапазонах. В итоге в 1996 г. в Париже был организован международный консорциум Digital Radio Mondiale для координации разработки и внедрения единой системы цифрового радиовещания в этих диапазонах.

Успешно реализуются проекты по созданию таких систем фирмами Thomcast (Франция), Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (США) и Deutsche Telecom Zentrum fur Rundfunk und Audiovision (Германия). Среди этих проектов выделяется по степени завершенности проект Skywave 2000 фирмы Thomcast.

Предлагаемые системы (табл. 2.2) можно классифицировать по признаку использования несущих частот. При этом среди наиболее завершенных разработок в четырех применена многочастотная система, а в двух – одночастотная.

Таблица 2.2

| Тип системы | Страна |
|--|----------|
| Многочастотные: | |
| Thomcast USA Digital Radio | Франция |
| (AM) Digital Radio Express | США |
| (DRE) Lucent Digital Radio | США |
| (LDR) | США |
| Одночастотные: | |
| Voice of America/Jet Propulsion Laboratory (VOA/JPL) | США |
| Deutsche Telecom | Германия |

Система Skywave 2000

Общие сведения. Система предлагает единое решение для ДВ, СВ и КВ диапазонов, что важно с точки зрения стандартизации приемников и передатчиков. Идеология построения системы ориентирована на модернизацию традиционных приемников и передатчиков, и при существующих в настоящее время технологиях она может быть внедрена с относительно незначительными затратами.

Skywave 2000 построена таким образом, что ее цифровые сигналы совместимы с однополосными аналоговыми вещательными сигналами, и поэтому передачи могут приниматься как на обычные приемники, так и на недорогие цифровые. Данный проект решает проблемы переходного периода к цифровому вещанию, а в перспективе и к полностью цифровой мультимедийной услуге.

Система реализована с применением параллельного модема (при его использовании информация передается с помощью ряда поднесущих) с многопозиционной квадратурной модуляцией QAM (когда сигнал может принимать множество значений фаз и амплитуд).

В состав передаваемого сигнала входят:

- одна базовая сигнальная группа поднесущих с общей шириной полосы частот 3 кГц, содержащей сигналы, необходимые для частотной и временной синхронизации, дистанционного управления приемником и передачи основного потока аудиоинформации (передаваемой программы) со скоростью 8 кбит/с при использовании 64 QAM и 6 кбит/с - при 16 QAM (числа означают число позиций);

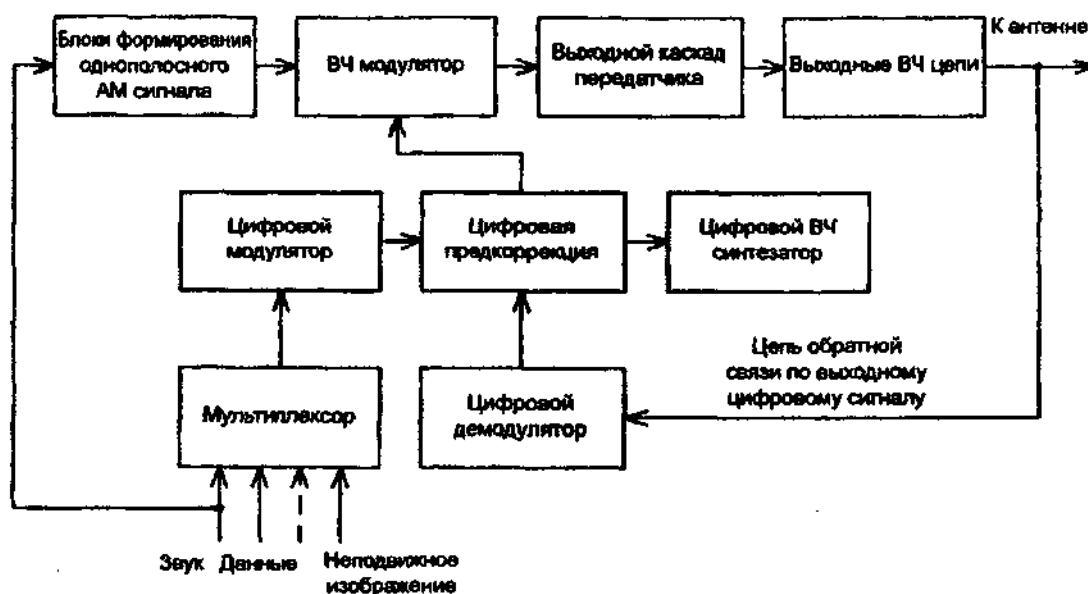
- дополнительные группы поднесущих с шириной полосы частот 1,5 кГц каждая, на которых передается информационный поток со скоростью 4 кбит/с при потоке данных на одной поднесущей не более чем 200 бит/с;

число дополнительных групп поднесущих зависит от общей доступной ширины полосы частот.

Дополнительная группа поднесущих служит для передачи дополнительной информации

(о номере программы, ее содержании, о погоде, курсе валют и т. п.). Для выделения такой информации необходимо использование дополнительного периферийного устройства (ПК, ноутбук и т. д.).

Возможная ширина полосы частот передаваемого сигнала может составлять 3; 4,5 и 9 кГц при скорости передачи данных соответственно 8, 12 и 24 кбит/с.



Формат сигнала. В базовой сигнальной группе из 47 поднесущих три немодулированных: они являются образцовыми эталонами частоты для синхронизации приемника. При этом все немодулированные сигналы синхронизации обладают фазами, обеспечивающими низкий пик-фактор по суммарному сигналу синхронизации.

В каждой группе (базовой и дополнительных группах из 22 поднесущих в каждой из них) ряд сигналов содержит эталон коэффициента передачи - немодулированные сигналы, которые служат для детектирования многопозиционных значений амплитуд передаваемых сигналов. При этом обеспечивается передача одного эталонного сигнала на группу из восьми сигналов.

На всех остальных позициях сигнала передаются символы, несущие аудиоинформацию или данные. Они модулируются с помощью 16-позиционной QAM при кодировании 3 бит/символ, 64 QAM при кодировании 4 бит/символ или 256 QAM при кодировании 6 бит/символ (имеются в виду максимальные скорости).

Для уверенного приема с учетом небольшого объема (1/8) эталонных сигналов в общем потоке последние передаются на существенно более высоком уровне, чем информационные символы (обычно от 3 до 6 дБ). Приведенное соображение дает представление о принципах форматирования сигнала, однако в процессе доработки систем проводится коррекция конкретной структуры сигнала.

Кодирование источника аудиосигнала. Параметры передаваемого аудиосигнала в основном задают исходя из возможной скорости передачи данных, которая изменяется в зависимости от доступной ширины полосы частот и необходимой степени защиты от помех.

Границы скорости передачи цифровых сигналов могут быть следующие: максимальная — 48 кбит/с (стерео - программы), минимальная — 6 кбит/с (качество, достаточное для передачи речевых сигналов). Режим минимальной скорости передачи информации используется при совместной передаче сигналов цифрового радиовещания и сигналов с однополосной АМ с остаточной несущей.

Выбранный кодер должен обеспечивать наилучшее качество восприятия в реальных условиях передачи. С учетом возникающих при этом ошибок скорость передачи информации может быть снижена для введения символов защиты с целью плавного снижения качества при ухудшении условий передачи.

В ряде случаев часть или полный поток данных, соответствующий звуковому сигналу, может быть временно заменен другой информацией (например, сигналами неподвижных изображений). Скорость цифрового потока с аудиокодера должна быть снижена. В идеальном варианте без потери качества это можно сделать, например, в режиме молчания.

Совместимость с существующими приемниками.

При переходе на цифровой режим работы совместимость с существующими стандартными приемниками ДВ, СВ и КВ диапазонов (по заявлению фирмы Thomcast) достигается путем одновременной передачи цифрового радиовещательного сигнала с двукратно уменьшенной скоростью и однополосного аналогового сигнала. При приеме аналогового сигнала цифровой сигнал будет прослушиваться как слабый высокочастотный неструктурированный шум. В свою очередь, при качественной фильтрации аналоговый сигнал не влияет на цифровой.

Конечная цель разработчиков системы — создать блоки (платы), которые могут встраиваться как в существующие, так и в новые цифровые приемники, с тем, чтобы на них можно было реализовать всеволновый прием передач, как в цифровой, так и аналоговой форме. Они будут дешевыми, с низким энергопотреблением (менее 10 мВт) и напряжением питания 1,5 В. В их состав войдут микросхема - процессор цифрового сигнала, микроконтроллер, несколько аналоговых преобразователей и комплекс периферийных модулей.

Предварительные результаты испытаний системы.

К настоящему времени проведен ряд демонстраций системы Skywave 2000.

Для реализации цифрового режима передачи и режима одновременного вещания программ в аналоговой и цифровой форме возможно использование двух частотных полос, номинальной полосы частот шириной 9 кГц по стандарту МСЭ и расширенной до 12 кГц полосы частот совместимой с полосой частот современных приемников.

Режим расширенной ВЧ полосы частот позволяет на данной стадии техники сжатия звукового сигнала реализовать максимально достижимое качество аудиосигнала и передачу сигналов дополнительной информации, которыми система, подобная рассматриваемой, может сопровождать вещание. При этом возможно передавать цифровой стереоаудиосигнал со скоростью 32 кбит/с и данные со скоростью 1250 бит/с.

Впервые реальная работа системы была продемонстрирована на выставке «1BC'97» в Амстердаме. Передача осуществлялась с территории Франции. Передатчик был доработан в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке. Введение цифровой предкоррекции по демодулированному выходному сигналу обеспечивает точное формирование фаз и амплитуд выходного многопозиционного сигнала передатчика, который без этих специальных мер будет подвержен искажениям из-за комплексного влияния неидеальностей характеристик параметров тракта передатчика.

Система фирмы Voice of America/Jet Propulsion Laboratory.

Общие сведения. Эта система первоначально разрабатывалась для передачи и приема спутниковой информации на частотах от 1400 до 2400 МГц (L-и S-диапазоны). При кодировании источника звука разработчики достигли скорости передачи 32 кбит/с, что примерно соответствует полосе частот 25 кГц. После успешного завершения испытаний было принято решение об адаптации созданной системы для КВ и СВ вещания. При доработке системы для вещания в КВ диапазоне выдвигались следующие требования:

- ширина полосы частот передаваемого сигнала должна находиться в пределах 10 кГц по аналогии с АМ сигналами в КВ поддиапазонах от 3 до 30 МГц;
- сигнал должен быть исключительно цифровой, полностью использующий полосу 10 кГц, т. е. одновременное вещание с АМ и модулированных в цифровом режиме сигналов исключается;
- необходимо обеспечить максимально возможное качество;
- уровень качества следует определять с учетом реалий распространения сигнала

Характеристики системы. Были приняты такие решения:

- когерентная многоуровневая фазовая манипуляция (MPSK), при этом значение параметра "М" должно быть определено в результате серий полевых испытаний,
- коррекцию ошибок следует производить с применением кодов Виттерби и Рида-Соломона,
- временное перемежение;
- адаптивный прием для ослабления влияния многолучевого распространения.

В ходе исследований было определено, что техника адаптивного приема для спутниковых систем успешно применяется для борьбы с многолучевым распространением, характерным для КВ каналов, а введение временного перемежения устраняет влияние коротких пакетов ошибок, часто возникающих в канале.

Требования к передатчику и приемнику. Формирование передаваемых сигналов обеспечивает сосредоточение практически всей излучаемой мощности в выделенной полосе 10 кГц. Это позволяет применять для цифрового вещания доработанные обычные КВ передатчики. Крайне важна линейность передающего тракта.

Приемник должен принимать цифровое радиовещание и передачи с АМ. Используемые цифровая аппаратура, тип модуляции, фильтрация и др. должны обеспечивать защиту соседних аналоговых каналов от возможных помех, чтобы владельцы более 2 млрд приемников не пострадали от цифрового вещания.

Состояние разработки. Во время испытаний системы две недели велось ежедневное вещание из Калифорнии на частотах 15,2 и 5,8 МГц (в зависимости от времени суток) Зона охвата - Техас, северо-восток США, а также районы за Атлантическим океаном, вплоть до Западной Африки. Прием велся на доработанный КВ радиоприемник. Прием в Техасе был односкачковый, в Вашингтоне - двухскачковый, а в Испании - трех- или четырехскачковый.

Передавались музыкальные программы в аналоговой форме, речевой сигнал - в цифровой, а также 63-битная псевдошумовая фазоманипулированная последовательность. С помощью псевдошумовых сигналов исследовались возможности функционирования предложенного метода коррекции ошибок.

Испытания показали: скорость передачи информации 32 кбит/с и выше в канале с шириной полосы 10 кГц и MPSK-модуляцией более высокого порядка (параметр "М" модуляции будет определяться в зависимости от скорости потока информации; ожидается, что оптимальное его значение 32; 16 или даже 8 кбит/с); уровень излучаемой мощности будет, возможно, намного ниже необходимого для передатчиков с АМ при той же обслуживаемой территории.

В дальнейшем предполагается добиться точного определения необходимых параметров модуляции MPSK, глубины временного перемежения и уровня коррекции ошибок, требуемых для высококачественного приема цифрового аудиосигнала в КВ диапазонах. При этом расстояния до обслуживаемых территорий составляют несколько тысяч километров. Уверенный прием на больших расстояниях зависит также от правильного выбора частоты несущей.

Предварительные выводы

Существует большое количество видов цифровой модуляции, из которых нужно выбрать оптимальный, принимая во внимание ограничения как со стороны передатчика, так и со стороны приемника. Определить, что является наилучшим вариантом - модуляция на единой несущей или на множестве несущих?

Анализ передачи на единой несущей для передатчика выглядит весьма благоприятным. При передаче на множестве несущих передатчик должен обеспечивать высокую пиковую мощность, что ведет к увеличению влияния нелинейности тракта на передаваемый сигнал.

Одно из важнейших соображений при выборе варианта модуляции - способность системы функционировать в ДВ, СВ и КВ диапазонах с учетом многоскачковости распространения сигналов в КВ диапазоне, а в ночное время и в СВ диапазоне. Это предполагает использование в приемнике адаптивной системы. Поэтому одночастотный приемник более сложен, чем приемник для многочастотного сигнала, и он требует большего темпа операций. По данным

фирмы Thomcast, необходимо выполнять до $600-10^6$ операций в секунду, в то время как для описанной выше многочастотной системы фирмы Thomcast требуется производить всего лишь 50000000 операций в секунду.

Однако существует еще много факторов, которые влияют на окончательный выбор варианта системы. В частности, сигналы одночастотной системы, предлагаемой Deutsche Telecom AG, с использованием амплитудно-фазовой модуляции (APSK) менее подвержены влиянию характеристик тракта передатчика. Такая система имеет преимущества в каналах без замирания сигналов, что позволяет обойтись без адаптивной обработки принимаемого сигнала. Это существенно упрощает приемник и может оказаться решающим фактором на начальных этапах введения цифрового вещания.

Актуальность исследования возможности перевода существующих ДВ, СВ и КВ передатчиков в цифровой режим работы не вызывает сомнений. Однако необходимо оценить влияние нелинейности характеристик передающего оборудования, разработать методы минимизации влияния реальных трактов на передаваемую информацию и выбрать оптимальную излучаемую мощность, которая по предварительным оценкам при той же обслуживаемой территории может составлять до 0,1 от мощности, требуемой для работы в режиме АМ с двумя боковыми полосами. Однако такой оптимистичный прогноз нуждается в дополнительных уточнениях.

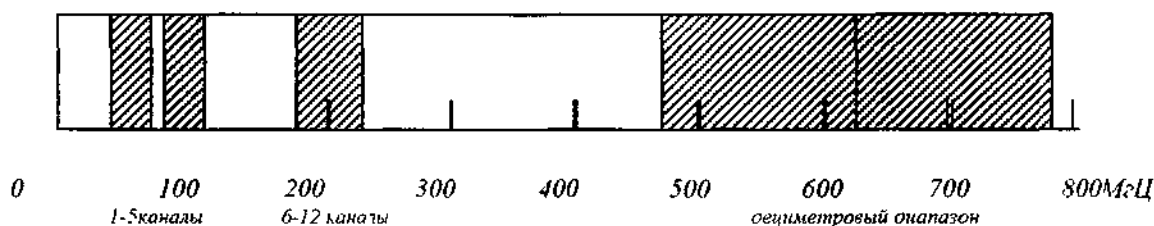
Разные виды модуляции радиосигналов изображения и звука облегчают их разделение. Передатчик радиосигнала звукового сопровождения работает на общую с передатчиком радиосигнала изображения антенну, но имеет в 10 раз меньшую мощность.

В тракте передачи изображения возможны два вида модуляции ПЦТС: позитивная, при которой максимальному уровню несущей соответствует передача уровня белого (см. рис. 1.6, е), и негативная, когда передатчик излучает максимальную мощность при передаче сигналов синхронизации (см. рис. 1.7).

Согласно ГОСТ 7845-79 в нашей стране используют негативную модуляцию, при которой средняя излучаемая мощность значительно меньше, чем при позитивной, так как на изображениях обычно преобладают светлые тона. Помехи при негативной модуляции проявляются на изображении в виде черных точек, которые менее заметны. Уровень синхроимпульсов при негативной модуляции, независимо от содержания изображения, всегда соответствует максимальной излучаемой мощности, что повышает помехоустойчивость синхронизации и облегчает построение цепей в телевизорах.

2.1.4 Наземные системы телевидения.

Наземное вещание в СССР, а затем в России велось в основном в метровом диапазоне частот. Такой выбор объяснялся ограниченным количеством существующих в то время программ и тем, что в условиях высотной застройки крупных городов прием в диапазоне ДМВ сопровождался различными искажениями. Это было обусловлено отражением телевизионного сигнала от стен зданий, различных металлических конструкций и т. д. Однако по мере роста числа программ частотный ресурс метрового диапазона был исчерпан.



Шкала распределения частот вещательного телевидения

Для обеспечения многопрограммного телевидения все чаще стал задействоваться и дециметровый диапазон.

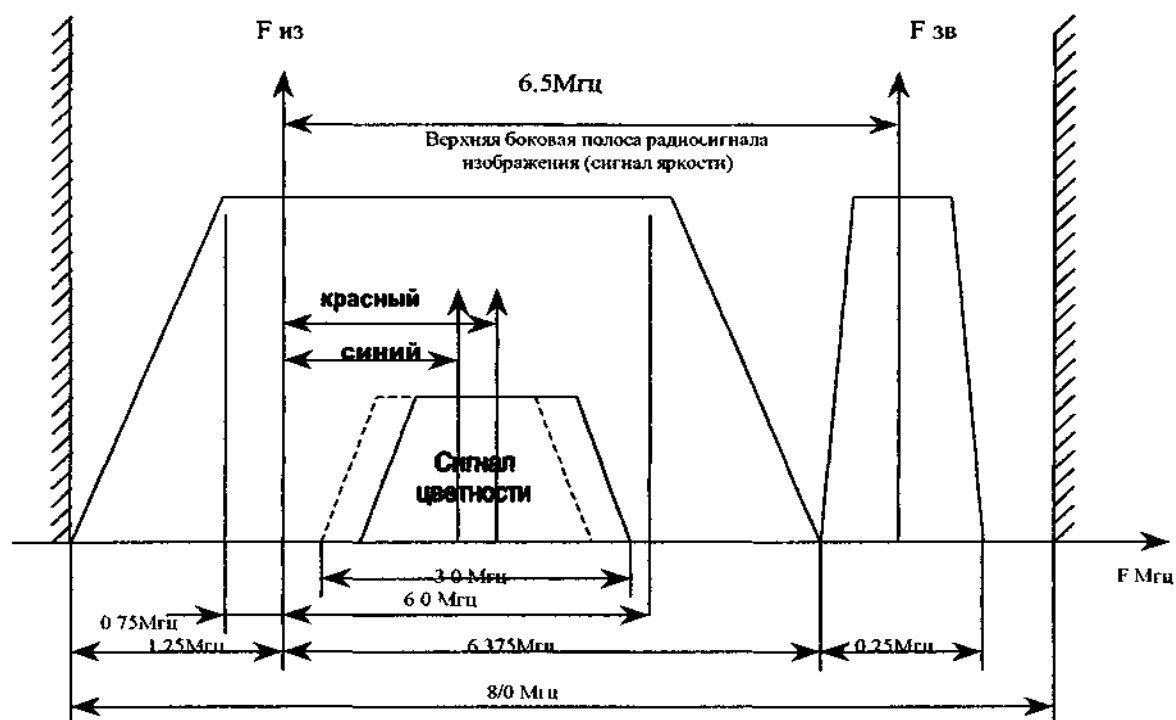
Для вещательного телевидения отведено пять поддиапазонов в метровом и дециметро-

вом поддиапазонах.

| Радиоканал | | Значение несущих частот. МГц | | Средняя частота. МГц | Длина волны, м. |
|------------------------------|----------------|---------------------------------|--------|-------------------------|-----------------|
| номер | полоса частот | Изображения | звука | | |
| 1 | 48.5 56.5 | 49.75 | 56.25 | 53.0 | 5.66 |
| 2 | 58.0 66.0 | 59.25 | 65.75 | 62.5 | 4.80 |
| 3 | 76.0 84.0 | 77.25 | 83.75 | 80.5 | 3.73 |
| 4 | 84.0 92.0 | 85.25 | 91.75 | 88.5 | 3.39 |
| 5 | 92.0 100.0 | 93.25 | 99.75 | 96.5 | 3.10 |
| 6 | 174.0 182.0 | 175.25 | 181.75 | 178.5 | 1.68 |
| 7 | 182.0 190.0 | 183.25 | 189.75 | 186.5 | 1.61 |
| 8 | 190.0 198.0 | 191.25 | 197.75 | 194.5 | 1.54 |
| 9 | 198.0 206.0 | 199.25 | 205.75 | 202.5 | 1.48 |
| 10 | 206.0 214.0 | 207.25 | 213.75 | 210.5 | 1.43 |
| 11 | 214.0 222.0 | 215.25 | 221.75 | 218.5 | 1.37 |
| 12 | 222.0 230.0 | 221.25 | 229.75 | 226.5 | 1.32 |
| Дециметровый диапазон | | | | | |
| 21 | 470.0... 478.0 | 471.25 | 477.75 | 474.5 | 0.63 |
| 22 | 478.0... 486.0 | 479.25 | 485.75 | 482.5 | 0.62 |
| 23 | 486.0... 494.0 | 487.25 | 493.75 | 490.5 | 0.61 |
| 24 | 494.0 502.0 | 495.25 | 501.75 | 498.5 | 0.60 |
| 25 | 502.0 ...510.0 | 503.25 | 509.75 | 506.5 | 0.59 |
| 26 | 510.0 ...518.0 | 511.25 | 517.75 | 514.5 | 0.58 |
| 27 | 518.0... 526.0 | 519.25 | 525.75 | 522.5 | 0.57 |
| 28 | 526.0... 534.0 | 527.25 | 533.75 | 530.5 | 0.565 |
| 29 | 534.0... 542.0 | 535.25 | 541.75 | 538.5 | 0.560 |
| 30 | 542.0... 550.0 | 543.25 | 549.75 | 546.5 | 0.549 |
| 31 | 550.0... 558.0 | 551.25 | 557.75 | 554.5 | 0.541 |
| 32 | 558.0... 566.0 | 559.25 | 565.75 | 562.5 | 0.533 |
| 33 | 566.0... 574.0 | 567.25 | 573.75 | 570.5 | 0.526 |
| 34 | 574.0... 582.0 | 575.25 | 581.75 | 578.5 | 0.519 |
| 35 | 582.0 ..590.0 | 583.25 | 589.75 | 586.5 | 0.512 |
| 36 | 590.0... 598.0 | 591.25 | 597.75 | 594.5 | 0.505 |
| 37 | 598.0 ..606.0 | 599.25 | 605.75 | 602.5 | 0.498 |
| 38 | 606.0 ..614.0 | 607.25 | 613.75 | 610.5 | 0.491 |
| 39 | 614.0 622.0 | 615.25 | 621.75 | 618.5 | 0.485 |
| 40 | 622.0. 630.0 | 623.25 | 629.75 | 626.5 | 0.479 |
| 41 | 630.0 ..638.0 | 631.25 | 637.75 | 634.5 | 0.473 |
| 42 | 638.0 646.0 | 639.25 | 645.75 | 642.5 | 0.467 |
| 43 | 646.0. 654.0 | 647.25 | 653.75 | 650.5 | 0.461 |
| 44 | 654.0 662.0 | 655.25 | 661.75 | 658.5 | 0.456 |
| 45 | 662.0 670.0 | 663.25 | 669.75 | 666.5 | 0.450 |
| 46 | 670.0 678.0 | 671.25 | 677.75 | 674.5 | 0.445 |
| 47 | 678.0 686.0 | 679.25 | 685.75 | 682.5 | 0.440 |
| 48 | 686.0 694.0 | 687.25 | 693.75 | 690.5 | 0.434 |
| 49 | 694.0 702.0 | 695.25 | 701.75 | 698.5 | 0.429 |
| 50 | 702.0 710.0 | 703.25 | 709.75 | 706.5 | 0.425 |
| 51 | 710.0 718.0 | 711.25 | 717.75 | 714.5 | 0.420 |
| 52 | 718.0 726.0 | 719.25 | 725.75 | 722.5 | 0.415 |
| 53 | 726.0 734.0 | 727.25 | 733.75 | 730.5 | 0.410 |
| 54 | 734.0 742.0 | 735.25 | 741.75 | 738.5 | 0.406 |
| 55 | 742.0 750.0 | 743.25 | 749.75 | 746.5 | 0.402 |
| 56 | 750.0 758.0 | 751.25 | 757.75 | 754.5 | 0.398 |
| 57 | 758.0 766.0 | 759.25 | 765.75 | 762.5 | 0.393 |
| 58 | 766.0 774.0 | 767.25 | 773.75 | 770.5 | 0.389 |
| 59 | 774.0 782.0 | 775.25 | 781.75 | 778.5 | 0.385 |
| 60 | 782.0 790.0 | 783.25 | 789.75 | 786.5 | 0.381 |

| | |
|---|-------------|
| Промежуточная частота несущей изображения | - 38,00 МГц |
| Промежуточная частота несущей звука | - 31,50 МГц |
| Средняя промежуточная частота | - 34,75 МГц |

Существует тринадцать международных стандартов телевидения, отличающихся друг от друга рядом параметров. В России и ряде стран применена система разложения изображения в 625 строк. В этом случае ширина спектра занимаемая телевизионным сигналом составляет 6,5 МГц.



Сигнал изображения передается в виде амплитудно-модулированного радиосигнала с частичным подавлением нижней боковой полосы. Кроме сигнала изображения одновременно передают и радиосигнал звукового сопровождения посредством частотной модуляции. Радиосигнал звукового сопровождения занимает полосу частот 250 кГц и обеспечивает передачу звука в полосе частот 30...15000 Гц. Различные виды модуляции изображения и звука облегчают и разделение при приеме.

2.1.5 Диагностика ионосферного радиоканала с целью обеспечения минимума вероятности ошибки, принимаемого сообщения.

Основной характеристикой ионосферной линии радиосвязи является частотный диапазон прохождения радиоволн. Этот диапазон ограничен из-за нестабильности ионосферы и явлений дифракции и поглощения радиоволн. Сверху частотный диапазон ограничен максимально принимаемой частотой (МПЧ) - это та частота, на которой возможен прием. Из-за эффекта поглощения частотный диапазон ограничивается снизу наименьшей принимаемой частотой (НПЧ). Разность МПЧ и НПЧ - частотный диапазон прохождения радиоволн для данной радиолинии, в определенное время суток, время года и т. д.

Множество путей распространения сигнала на одной частоте приводит к интерференционным замираниям сигнала. Изменение ионосферы происходит достаточно быстро. В дневное время на радиолинии примерно 3000 тыс. км - изменение частотного диапазона ионосферы - 0,5-1,5 часа. В ночное время и переходное - 5-15 мин. Поэтому для работы радиолинии и выбора частот необходим прогноз. Существуют методы долгосрочного прогноза и оперативного прогноза с помощью системы "Ионозонды". Долгосрочный прогноз использован на расчетах при использовании математических моделей аналитических или статистических. Ионозонды необходимы для оперативного получения состояния ионосферы.

Ионозонды бывают вертикальные, наклонные и возвратно-наклонные. Вертикальные определяют состояние ионосферы непосредственно над пунктом расположения. Квазивертикальное зондирование приемник и передатчик разнесены на расстояние не более 25 км. Наклонное зондирование - передатчик и приемник разнесены на расстояние полос одного скачка. Возвратно-наклонные осуществляют прием в точке передачи.

Ионозонды бывают импульсными, обладающие большими массогабаритными параметрами, и ионозонды в которых используются сигналы с расширенным спектром. Ионозонд, в котором используется линейно-модулированный, частотный сигнал, обладает небольшими габаритами с мощностью излучения 1-10 Вт. Ионозонды включаются в систему радиосвязи, и с помощью их определяется частотный диапазон прохождения радиосигналов, и выбирается оптимальная рабочая частота (ОРЧ) радиосвязи. Одним из критериев ОРЧ является минимум вероятности ошибки. Определенные параметры по обратному каналу передаются в пункт передачи, и осуществляется передача на ОРЧ.

С помощью ионозонда получают ионограмму, которая показывает зависимость времени грунтового зондирования от излучаемой частоты.

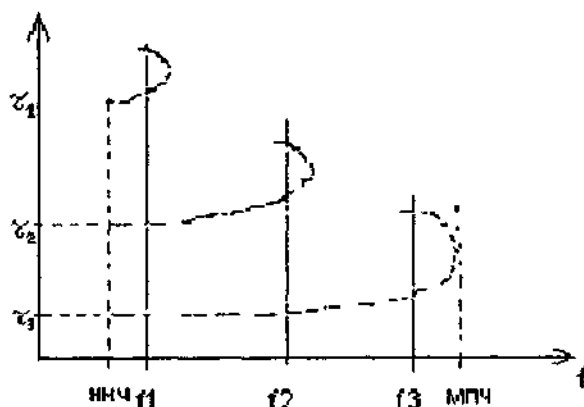


Рисунок 2.1.2.3 – Ионограмма.

2.2 РРЛ прямой видимости.

РРЛ - это цепочка приемно-передающих станций, отстоящих на расстоянии 40...70 км, в случае малопересеченной местности. На оконечных станциях (ОРС) производится преобразование сообщений, поступающих от МТС, МТА и МВА (междугородных вещательных аппаратов), в сигналы радиочастоты.

С помощью УРС решаются задачи разветвления и объединения потока информации и передаваемые по разным РРЛ УРС располагаются либо на пересечении различных РРЛ, либо вблизи населенных пунктов ОРС и УРС являются обслуживаемыми станциями. Технический персонал не только обслуживает эти станции, но и осуществляет управление и контроль ближайших ПРС. Участок РРЛ между двумя соседними обслуживаемыми станциями, составляет в среднем 300-500 км, и делится примерно пополам на соответствующие зоны обслуживания ПРС выполняют функции активных или пассивных ретрансляторов, и, как правило, являются не обслуживаемыми.

Классификация РРЛ.

1. По способу разделения каналов и виду модуляции несущей:

- РРЛ с частотным разделением каналов (ЧРК) и частотной модуляцией (ЧМ) гармонической несущей;
- РРЛ с временным разделением каналов (ВРК) и аналоговой модуляцией импульсов, которые затем модулируют несущую;
- цифровые РРЛ (ЦРРЛ), в которых импульсы квантуются по уровням и кодируются.

- По диапазону несущих частот делятся на две группы сантиметрового и дециметрового диапазона в выделенных полосах частот в области 2,4,6,8,11,13 ГГц. Ведутся исследования на частоте 18 ГГц и более.
- По пропускной способности на частотах с большой, средней и малой емкости РРЛ большой емкости позволяют организовать в данном стволе 600 каналов тональной частоты (ТЧ), средней емкости - 360 каналов и малой емкости - менее 60 каналов ТЧ. К системам большой и средней емкости относят РРЛ, которые позволяют передавать в одном стволе сигналы телевизионного изображения, звукового сопровождения и звукового вещания.

Задачи, решаемые с помощью РРЛ.

- Создание стационарных магистральных линий связи для передачи больших потоков информации на расстояние несколько тыс. км. Магистральные линии являются многоствольными системами большой емкости.
- Организация зоновой связи - использование РРЛ средней емкости. Протяженность линии от 600-1400км. Часто данные линии являются многоствольными и ответвляются от магистральных.
- Использование РРЛ малой емкости в местной сети связи районной и городской.
- Использование малокабельных РРЛ для служебной связи на железнодорожном транспорте, газопроводах, нефтепроводах и линиях энергоснабжения, охватывающих большую территорию.

2.2.1 Общие принципы построения аппаратуры радиочастотного тракта РРЛ.

Энергетические характеристики радиочастотного тракта.

Приемник характеризуется чувствительностью, антенна - коэффициентом усиления, передатчик - мощностью.

Чувствительность приемника определяется как минимальное значение ЭДС в антенне. Пример $P_c = 10^{-12}$ Вт, $P_{до} = 120$ дБ.

Коэффициент усиления антенны определяется коэффициентом полезного и направленного действия (КПД и КНД). КНД зависит от геометрических размеров антенны и длины волны, КПД - от согласования антенны. Пример $G = \text{КПД} * \text{КНД}$, КПД=1, телесный угол равен 1^0 , тогда $G_a \sim 30-40$ дБ.

Мощность передатчика определяется $P_{до} = 10 * \lg(P/1\text{Вт})$. Пример $P = 10$ кВт, $P_{до} = -40$ дБ.

Компоненты, понижающие сигнал на линии.

- Расхождение фронта волны (геометрические потери).
- Рассеяние на неоднородностях в тропосфере (водяной пар, испарение, дождь, снег).
- Поглощение неоднородностями.
- Деполаризация сигнала (отклонение вектора).

Пример $P_{cp} = P_{имп} / n$, Скважность $n = T / \tau_{и}$, тогда $P_{cp} = 10$ Вт.

Антенна и приемник - основные узлы энергетики в РРЛ. Основные проблемы приемников:

- отсутствие приборов для большой мощности;
- широкополосный тракт (10-20 МГц).

В большинстве случаев на ПРС осуществляется только преобразование частоты, модуляции не происходит.

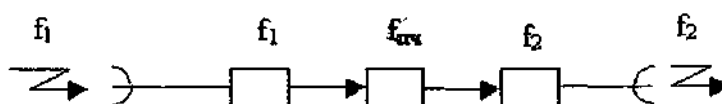
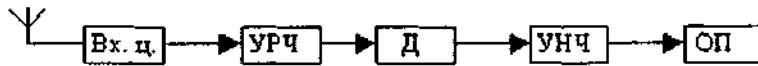


Схема приемника прямого усиления:



УРЧ - усилитель радиочастоты (высокочастотный).

Недостаток приемника прямого усиления - не пригодность для связи на средних и коротких волнах, т.к. происходит перекрывание каналов.

Схема приемника супергетеродина:

Назначение преобразования частоты - преобразовать несущую, не искажая огибающую.

$$f_{\text{ком}} = \pm Mf_c \pm nf_r, \quad f_{\text{пч}} = f_r - f_c$$

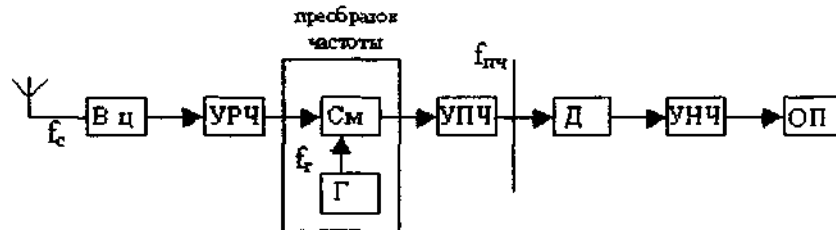


Рисунок 1.2.1.2 - Структурная схема супергетеродина.

2.2.2 Многоствольные РРЛ. Резервирование.

Передатчики (Пр) и приемники (Прм) установленные на ОРС, УРС, ПРС образуют ствол (радиоствол или высокочастотный ствол). Если на участке РРЛ предусматривается одновременная связь в прямом и обратном направлении, то число передатчиков и приемников удваивается, то ствол называется дуплексным. Для повышения пропускной способности и экономической эффективности РРЛ делают многоствольными, когда на каждой станции работают несколько приёмо-передатчиков на общую антенно-фидерную систему. В таких РРЛ используется одно и то же техническое здание, антенная опора и система энергоснабжения. Для повышения надежности применяют резервирование, для чего выделяют отдельный ствол, работающий на своих частотах. Такая система - поучастковая и ее обозначают суммой двух цифр: 1-ая - число работающих стволов, 2-ая - число резервных.

Структурная схема многоствольной РРЛ.

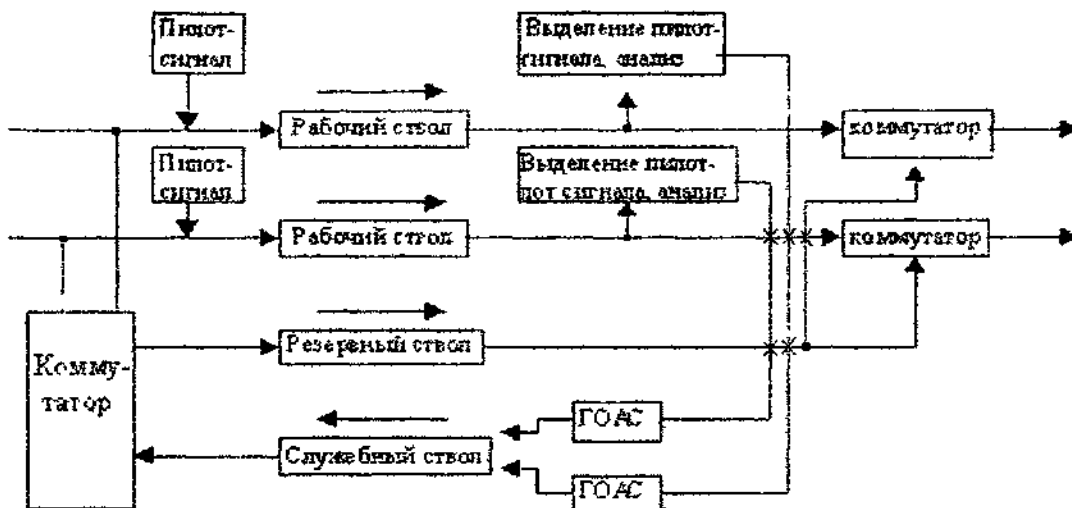
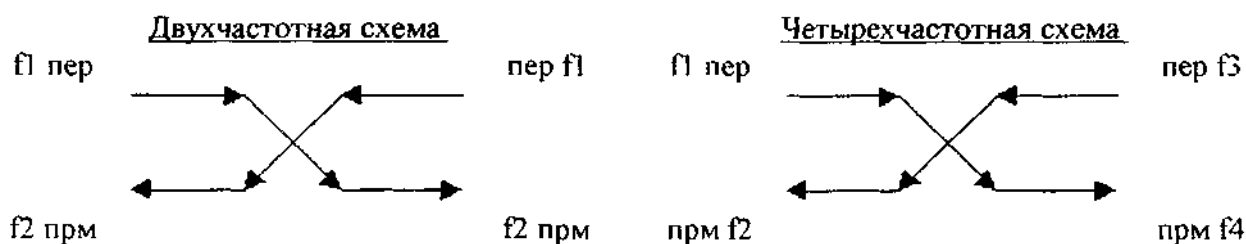


Рисунок 1.2.2 - Структурная схема многоствольной РРЛ.

Аппаратура резервного ствола постоянно включена. При нормальном режиме работы рабочих стволов резервный ствол не загружен передачей. Для контроля за количеством работы стволов по ним непрерывно передаются пилот - сигналы. Пилот - сигнал вводится в ствол через модулятор первой станции участка резервирования, а выделяется демодулятором на последней станции участка и сравнивается с величиной шума в специальном канале. Если отношение сигнал - шум меньше заданного, то начинается процесс переключения на сигнальный ствол. На станции в конце участка включается ГОАС, они работают на своей частоте. Аварийный сигнал по стволу служебной связи подается на коммутаторы первой станции участка, который подключает резервный ствол, параллельный подключенному.

2.2.3. Многоствольные РРЛ. Планы частот.

Во избежание паразитной связи между приемным и передающим трактами прием и передача сигналов РРЛ происходит на различных частотах. Таким образом для передачи сигналов по одному стволу в одном направлении необходимо использовать две частоты. Для передачи в обратном направлении могут быть использованы те же две частоты - двухчастотная схема, или две другие частоты - четырехчастотная схема.



Двухчастотная схема экономична с точки зрения полосы частот, но требует развязки от приема сигнала с обратного направления. Четырехчастотная схема более защищена от этого, но количество дуплексных стволов в данной полосе частот в два раза меньше. В современных РРЛ применяется двухчастотная схема, т. к. экономит спектр частот. Планы распределения частот для многоствольных РРЛ разработаны таким образом, чтобы свести к минимуму интерференционные помехи, возникающие при одновременной работе нескольких приемников и передатчиков на общий антенно-фидерный тракт. Для этого частоты приема размещаются в одной половине отведенной полосы частот, а частоты передачи в другой. Для примера рассмотрим планы распределения частот для следующих систем.

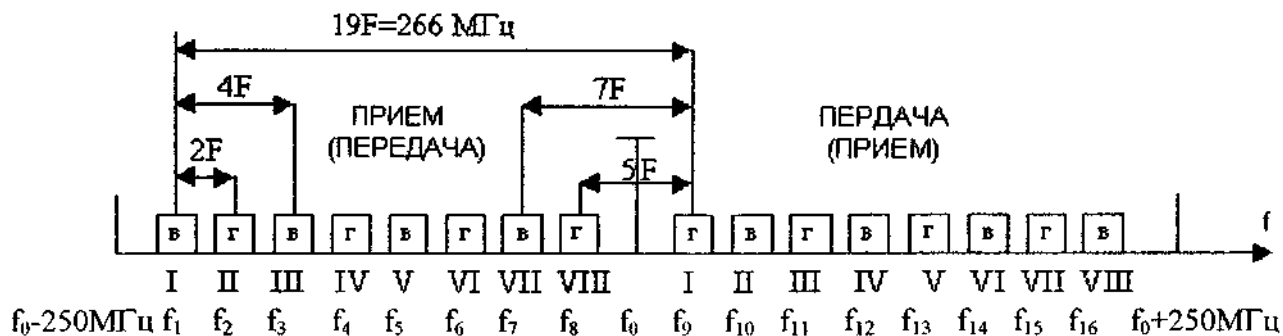
"Восход"

| | | |
|-------------|--|---|
| "Восход" | | 4 ГГц (3,4 - 3,9 ГГц), $f_0 = 3653,5$ МГц |
| "Рассвет-2" | | |
| "КУРС-4" | | |

"КУРС-6" - 6 ГГц (5,67 - 6,17 ГГц), $f_0 = 5920$ МГц

"КУРС-8" - 8 ГГц (7,9 - 8,4 ГГц), $f_0 = 8157$ МГц

Единый план распределения частот



$F=14$ МГц - между несущими.

Номинальные значения частот стволів $F_1 \dots F_6$ определяются по формулам:

$$f_n = f_0 - 259 + 28n \text{ (в нижней)}$$

$$f_n = f_0 + 7 + 28n \text{ (в верхней), при } n=1,2,3, \dots, 8$$

Несущие частоты стволів $f_1 \dots f_6$ разнесены на интервалы кратные $F=14$ МГц. План рассчитан на промежуточную частоту $f_{пч}=5F=70$ МГц. Частоты приема и передачи в одном дуплексном стволе разнесены на величину $19F=266$ МГц. Для соседних по частоте стволів (f_1 и f_2 , f_{11} и f_{12} и т.д.) в диапазонах 4 и 6 ГГц должны использоваться различные антенны и различные типы поляризации - вертикальная (в) и горизонтальная (г). Обычно стволы разбиваются на две перемещающиеся группы, одна группа, например, с нечетными номерами используются для магистральных линий, а другая, с четными, в линиях, являющихся ответвлениями от магистральных. Частотный план предусматривает, что разнос соседних стволів в одной антенне составляет величину $4F=56$ МГц, а в разных антеннах - $2F=28$ МГц. Разность между ближайшими несущими частотами приема и передачи в разных антеннах $5F=70$ МГц, в одной антенне $7F=98$ МГц.

Система "КУРС-8" в диапазоне 8 ГГц допускает работу восьми дуплексных стволів на одну антенну.

Приемо-передающее оборудование РРЛ большой и средней емкости обычно одинаково пригодно как для передачи сигналов, так и для телевидения. Различия лишь в оконечном оборудовании телефонных и телевизионных стволів.

2.2.4 Принцип организации многоствольной РРЛ.

Рассмотрим для примера вариант РРЛ для трех дуплексных стволів. Упрощенные структурные схемы оконечного оборудования станций ОРС, УРС, ПРС имеют вид представленный на Рисунке 2.2.4.

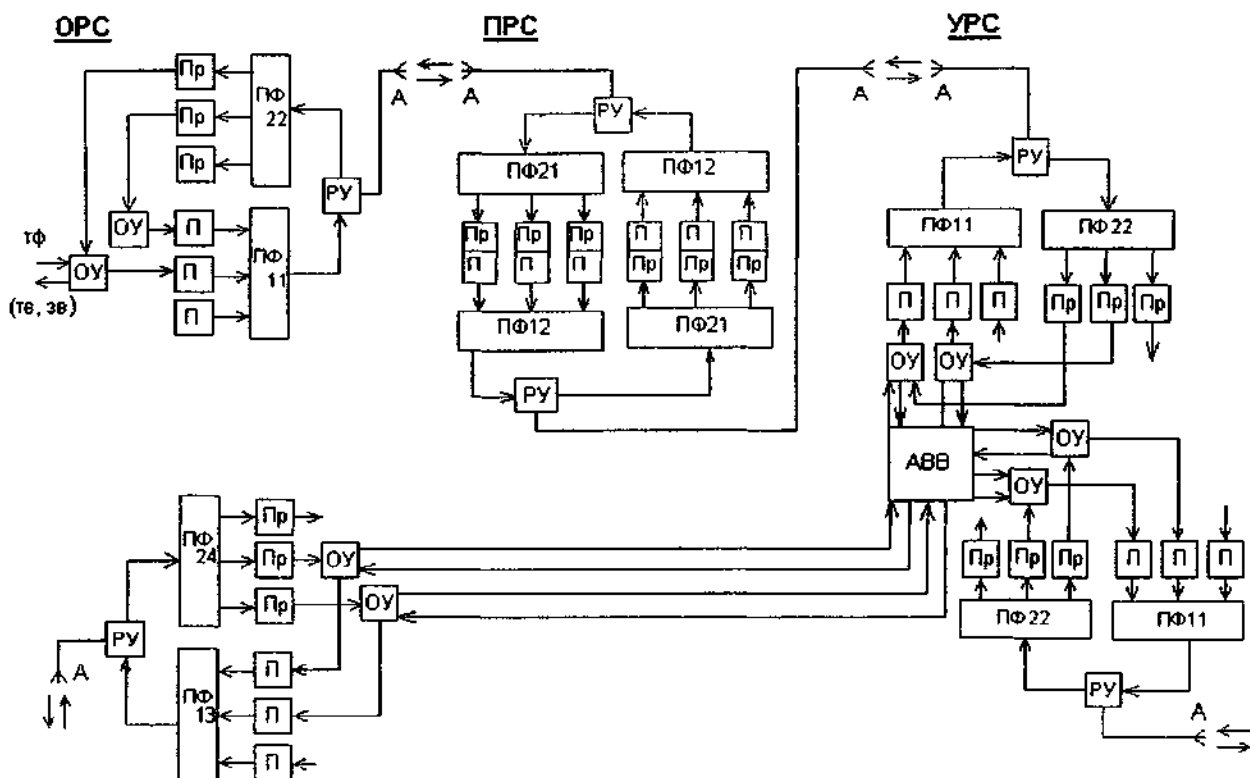


Рисунок 2.2.4 - Упрощенная структурная схема оконечного оборудования ОРС, ПРС и УРС

Схема содержит передатчики (П), приемники (Пр), оконечные устройства (ОУ), включающие модемы, усилители и другие элементы, которые осуществляют преобразование сигналов линейного тракта (ТФ, ТВ, ЗВ) в сигнал группового тракта, а также обратное преобразование. Система полосовых фильтров (ПФ) состоит из количества фильтров равно, количеству стволов, каждый из них имеет полосу прозрачности соответствующую одному стволу при однополосной (односторонней) связи.

В режиме передачи ПФ обеспечивают развязку передатчиков, они имеют двухзначную индексацию с первым индексом 1. Вторые индексы отражают смену частот приема - передачи в соответствии с двухчастотным планом. В режиме приема системы ПФ являются разделительными. Из суммарного ВЧ сигнала каждый ПФ системы выделяет сигнал одного ствола и направляет в соответствующий приемник. У этих ПФ первый индекс - 2. Развязывающие устройства служат для уменьшения влияния трактов П и Пр. Аппаратура ввода-вывода (АВВ) сигналов обеспечивает объединение и разъединение информационных потоков.

На ОРС выполняются следующие преобразования сигналов на ОУ поступает из аппаратуры объединения каналов групповое телефонное сообщение, которое модулирует несущую. Применяют два метода модуляции. Первый метод основан на модуляции групповым сообщением колебанием промежуточной частоты (ПЧ) модуляторов ОУ и транспонирование спектра в область ВЧ. Вторым методом осуществляется непосредственной модуляцией групповым сообщением ВЧ несущей (модулятор в передатчике). ВЧ сигнал требуемой мощности через один из ПФ системы 11 и РУ поступает в антенну (А) и излучается в направлении ПРС на частоте 1. Принятый от ПРС сигнал на частоте 2 разделяется в системе ПФ22, демодулируется в соответствующем приемнике ОУ и поступает в линию МТС.

На ПРС как правило демодуляцию и модуляцию сигнала не производят. Принятый сигнал преобразуется в сигнал ПЧ и усиливается. Спектр транспонируется в область ВЧ и сигнал излучается А.

На УРС после разделения ВЧ сигнал какого-либо ствола может быть преобразован в ТФ и направлен в АВВ. Здесь односторонние ТФ каналы могут быть распределены по группам, одна из которых может быть направлена на МТС, а другие сигналы могут быть образованы в

другие ТФ или другие радиоканалы. Кроме того возможна транзитная передача полного сигнала ствола, организованного на УРС. В этом случае сигналы с приемника на передатчик могут идти в обход ОУ и АВВ.

С УРС вдоль магистрали сигналы излучаются и принимаются на частотах 1 и 2, соответственно другая пара употребляет частоты 3 и 4.

2.2.5 Телефонный ствол.

В РРЛ наиболее часто применяется угловая (частотная) модуляция. В соответствии с регламентом радиосвязи такой вид излучения имеет обозначение:

F8E, где F - частотная модуляция (ЧМ), E - телефония, 8 - два или более каналов аналоговой информации. Для стандартного коммерческого канала добавляется символ J, для системы с частотным разделением каналов символ - F. Например: F8EJF.

Общая характеристика РРЛ.

| Назначение РРЛ | Диапазон частот, ГГц | Число телефонных каналов | Расстояние между ретрансляторами, км. |
|----------------|---------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|
| Магистральные | 3,4...3,9 3,7...4,2 5,67...6,17 | 360...2700 | 20...70 |
| Внутризоновые | 1,7...2,1 7,9...8,4 11...12 | 300 | 15...25 |

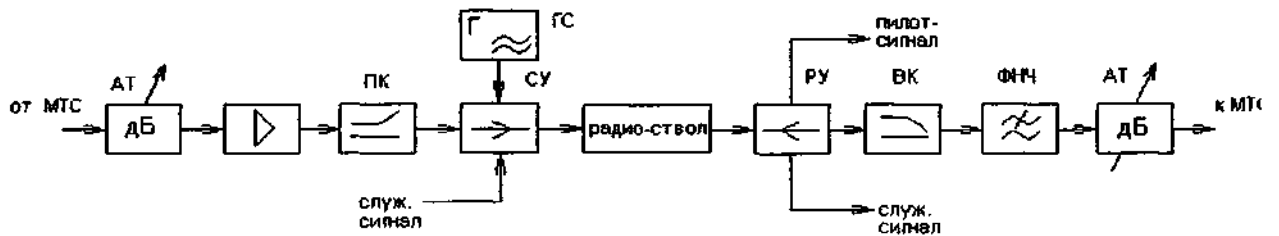
Полоса частот группового сигнала при многоканальной телефонии.

| Число телефонных каналов | Полоса частот группового сигнала, кГц | Частота пилот сигнала, кГц |
|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| 12 | 12...60 | |
| 24 | 12...108 | 116 или 119 |
| 60 | (12...252), (60...300) | 304 или 331 |
| 120 | (312...552), (60...552) | 607 |
| 300 | (60...1364) | 1499, 3200, 8500 |
| 600 | 60...2792 | 3200, 8500 |
| 960 | 60...4287 | 4715, 8500 |
| 1260 | 60...5680 | 6190, 8500 |
| 1800 | 300...8248 | 9023 |
| 1920 | 300...8524 | 9023 |
| 2700 | 308...12435 | 13627 |

Линейный спектр телефонного ствола имеет вид:

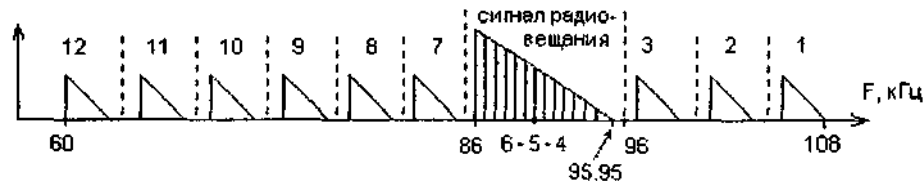


Образование этого спектра осуществляется в оконечном оборудовании телефонного ствола, которое соответствует структурной схеме:



Многоканальный сигнал от МТС поступает на установочный аттенюатор (АТ), усиливается и через предискажающий контур (ПК) подается на суммирующее устройство (СУ), которое осуществляет сложение многоканального сигнала с пилот - сигналом и вспомогательными служебными сигналами. Образованный таким образом линейный сигнал поступает на вход частотного модулятора телефонного ствола РРЛ. На приемной стороне в оконечном оборудовании телефонного ствола происходит разделение сигналов многоканальной телефонии служебной связи и пилот - сигнала с помощью устройства разделения (УР). Сигнал многоканальной телефонии проходит через восстанавливающий контур (ВК), фильтр нижних частот, подавляющий пилот сигнал, и через установочный АТ поступает в соединительную линию МТС. ПК и ВК входят в оконечное оборудование телефонного ствола, для того чтобы частотная характеристика всего тракта, от входа до выхода, отвечала заданным техническим условиям.

По системе телефонной связи могут передаваться программы радиовещания. Для передачи программы первого класса (50Гц...10кГц) стандартной двенадцатиканальной группе выдается три канала 4,5,6^{ой}. Преобразование звуковых частот канала вещания производится с помощью поднесущей четвертого канала, которая равна 96 кГц. При передаче программы радиовещания второго класса (100 Гц...6 кГц) объединяются в 4,5^{ый} каналы, при этом занимается полоса частот: 889,2...95,95 кГц.



Суммирующее устройство входит в состав оконечной телефонной стойки (ОТС), в которой осуществляется частотная модуляция сигнала промежуточной частоты.

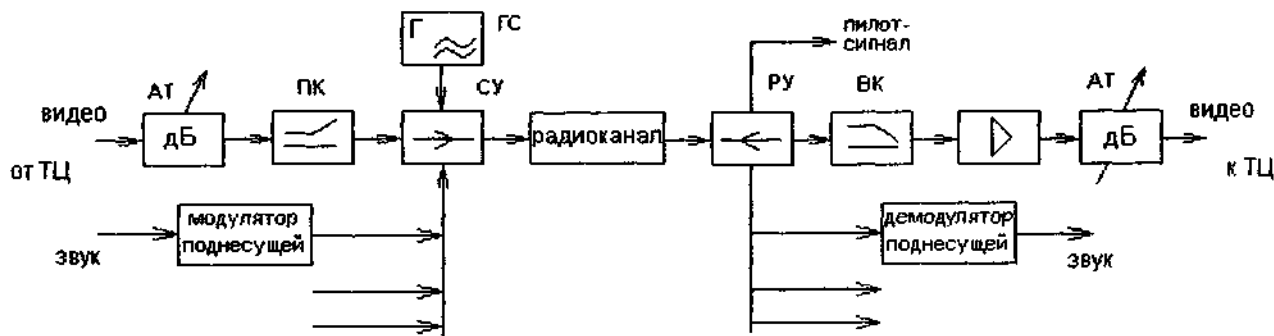
В многоканальных РРЛ, работающих в диапазоне частот менее 1 ГГц, среднее значение промежуточной частоты выбирается $f_{пч} = 35$ МГц. На РРЛ, работающих на частоте больше 1 ГГц и имеющих емкость до 1920 каналов, значение промежуточной частоты выбирается - $f_{пч} = 70$ МГц, если емкость до 2700 каналов, то $f_{пч ср.} = 140$ МГц.

2.2.6 Телевизионный ствол.

Передача телевизионных программ также производится методами угловой модуляции (УМ), т.е. обозначение F8WN, где W-телевидение, N-цветное.

Передача сигналов изображения и звукового сопровождения осуществляется в одном телевизионном стволе. Передача звуковых сигналов осуществляется с помощью сигналов поднесущей, частота которой выше верхней частоты сигнала изображения. Поднесущая модулируется по частоте. Промодулированный сигнал звука складывается с сигналом изображения и пилот - сигналом, и образуется, таким образом, линейный сигнал, поступающий на вход частотного модулятора. В этом же стволе возможна одновременная передача сигналов звукового вещания с помощью соответствующего числа поднесущих частот. Общее число звуковых сигналов, включая звуковое сопровождение телевидения, может быть передано от одного до четырех.

Структурная схема телевизионного ствола:



На приемной стороне производится обратное разделение сигнала и демодуляция несущих частот. Примеры линейных спектров в телевизионном стволе:



Такой спектр формировался в первых РРЛ с числом поднесущих 1 или 2, используя пилот - сигнал на частоте 8,5 МГц.

Приведенный ниже спектр формировался в современных РРЛ с числом поднесущих частот от двух до четырех, причем использовался пилот-сигнал с частотой 9,023 МГц.



По телевизионному каналу можно передать до 1920 каналов телефонии.

2.2.7 Применение ЧМ на РРЛ.

2.2.7.1 Общие соотношения.

Связь на СВЧ с применением ЧМ характеризуется высокой устойчивостью, мало зависит от времени года, суток, и мало подвержена влиянию атмосферных и промышленных помех. При измерениях частотная модуляция осуществляется с частотным колебанием $\Omega=2\pi F$ и амплитудой U_m . В этом случае отклонение частоты.

$$\Delta f(t) = \Delta\omega(t) / 2\pi = K_m U_m \cos\omega t = \Delta f_m \cos\omega t,$$

где $\Delta f = K_m U_m = \Delta\omega_m / 2\pi$, K_m - крутизна характеристики частотного модулятора.

В РРЛ частотная модуляция производится групповым сообщением $U_{гр}(t)$, которое представляет собой сумму транспонированных по частоте спектров независимых индивидуальных телефонных сообщений. В системе связи с числом каналов $N \geq 60$ при максимальной и неизменной загрузке тракта групповое сообщение можно считать нормальным стационарным случайным процессом и представляется в виде:

$$U_{гр}(t) = U\xi(t),$$

где $\xi(t)$ - безразмерная функция, описывающая случайный нормальный процесс с дисперсией (D) равной 1 и математическим ожиданием (M) равным 0; U_3 - среднеквадратическое значение этого процесса.

Тогда аналитическое выражение не мгновенного значения сигнала модулированного по частоте групповым сообщением $U_{гр}(t)$ имеет вид:

$$U_C(t) = U_{m0} \cos \left[\omega_c t + \Delta \omega \int_0^t \xi(e) dt + \theta_0 \right]$$

где $\theta_\xi = \int_0^t \xi(t) dt$ - случайная функция времени определяемая модулирующим групповым сообщением.

$$\Delta f(t) = K_m U_{гр}(t) = K_m U_3 \xi(t) = \Delta f_3 \xi(t),$$

где $\Delta f_3 = K_m U_3 = \Delta \omega_3 / 2\pi$; $m_3 = \Delta f_3 / F_B$; F_B - верхняя частота в спектре группового сигнала. Эффективное или среднеквадратическое значение девиации частоты ВЧ сигнала групповым сообщением.

2.2.7.2 Телефонные сообщения.

Системы с различным числом телефонных каналов N характеризуются величиной -эффективной девиации частоты на один канал Δf_k , которая должна быть на выходе передатчика при подаче на вход любого телефонного канала измерительного синусоидального сигнала с мощностью 1 мВт (нулевой уровень).

| | | | | | | | | | |
|--------------------|----|----|-----|-------|------|------|------|------|-------|
| N | 24 | 60 | 120 | 300 | 600 | 960 | 1800 | 1920 | 2700 |
| Δf_k , кГц | 35 | 50 | 50 | 200 | 200 | 200 | 140 | 140 | 140 |
| Δf_3 , кГц | | | | 616 | 873 | 1100 | 1060 | 1010 | 1300 |
| m_3 | | | | 0,465 | 0,34 | 0,27 | 0,13 | 0,13 | 0,105 |

В таблице приведены, передаваемые по РРЛ, групповые сообщения с их эффективным значением частоты Δf_3 .

Шириной полосы частот ЧМ сигнала $\Delta f_{чм}$ принято считать полосу, в которой сосредоточено 99 % энергии ЧМ колебания. В случае модуляции синусоидальным колебанием с частотой F , ширина спектра определяется.

$$\Delta f_{чм} = 2F(1 + m_3 + \sqrt{m_3})$$

Полоса пропускания ВЧ тракта до преобразователя частоты должна быть шире полосы частот $\Delta f_{вч}$

| | | | | |
|----------------------|--------|----------|----------|--------|
| N | 60 | 300 | 600 | 1920 |
| $\Delta f_{вч \min}$ | $7F_B$ | $5,8F_B$ | $5,1F_B$ | $4F_B$ |

При ЧМ отношение сигнал-шум (с/ш) зависит от индекса модуляции, если Δf_k для всех каналов взять одинаковым, то m для различных каналов будет различным. Для верхних меньше, поэтому в верхних каналах отношение с/ш будет меньше, чем в нижних. Для выравнивания мощности шумов в каналах применяют схемы предискажения. Уровни передачи верхних повышаются, а нижних понижаются. В результате во всех каналах отношение с/ш выравнивается. На передающем конце включают предискажающий контур (ПК), поднимающий уровень верхних частот. Поэтому сигналы верхних по частоте телефонных каналов передаются с большим уровнем, чем нижние. Общая девиация от всех каналов неизменная и равна Δf_3 . На приемном конце включают восстанавливающий контур (ВК) и уровни полезных сигналов в каналах выравниваются.

Рисунок 2.2.7.1 - Предыскажающий контур телефонного сообщения

Рисунок 2.2.7.2 - Восстанавливающий контур каналов телефонного сообщения

Принцип работы фильтров основан на изменении сопротивления от частоты параллельного и последовательного контуров. В ПК последовательный резистор ставят в последовательную цепь, параллельный - в параллельную, в ВК наоборот. Частотные характеристики ПК и ВК ТФ каналов представлены на Рисунке 2.2.7.3.

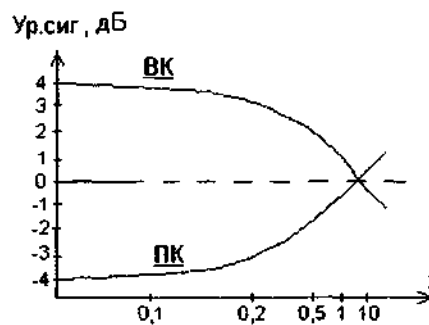


Рисунок 2.2.7.3 - Частотные характеристики ПК и ВК телефонных каналов РРЛ

2.2.7.3 Передача телевизионных программ.

По рекомендациям МККР напряжение видеосигнала на входе и выходе РРЛ при наибольшем размахе от уровня синхроимпульсов до уровня белого при положительной полярности должно быть равно 1 В при сопротивлении 75 Ом. При этом размах изменения частоты должен составлять 8 МГц. При передаче по РРЛ полярность полного сигнала должна быть положительной, т. е. потенциал уровня белого должен превышать уровня черного и напряжение уровня сигнала должно быть равно уровню черного.

Передача цветного телевидения производится в системе SEC AM. Сигнал цветности в этой системе представляет собой две цветные поднесущие (4406,25 МГц и 4250 МГц), промодулированные по частоте двумя цветоразностными сигналами, которые чередуются от строки к строке. Размах сигнала цветности составляет $23 \pm 2,5\%$ сигнала яркости от уровня гашения до уровня белого.

Передача видеосигнала по РРЛ производится с предискажениями по следующим причинам:

- Телевизионный сигнал является не симметричным из-за наличия в нем строчных и кадровых импульсов, которые приводят к появлению строчной и кадровой составляющей;
- Величина 50 % от размаха сигнала. Поэтому если нет "привязки" постоянной составляющей полный размах сигнала при прохождении по тракту передачи возрастает в 1,5 раза. Это заставляет расширять большие линейные участки характеристик детектора и

модулятора. А также полосу пропускания ВЧ тракта и видеоусилителя.

Уменьшить размах сигнала на входе частотного модулятора можно либо привязкой постоянной составляющей, либо применением предискажений.

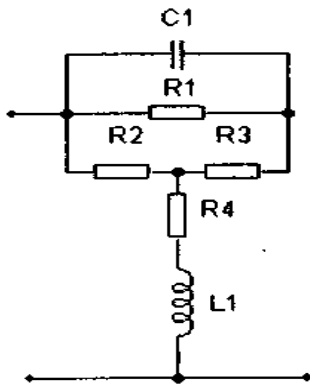


Рисунок 2.2.7.4 Предыскажающий контур каналов видеосигнала

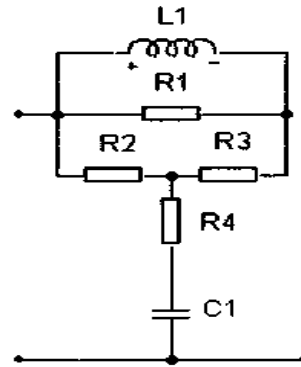


Рисунок 2.2.1.5 Восстанавливающий контур каналов видеосигнала.

ПК ослабляет уровень составляющих НЧ в спектре видеосигнала, т.к. составляющие спектра синхроимпульсов располагаются в области нижних частот. Уровень синхроимпульсов понижается, сигнал становится симметричным и его размах на входе модулятора уменьшается в 1,5 раза. Применение предискажений уменьшает переходные помехи из видеоканала в канал звукового сопровождения (в канале звукового сопровождения прослушиваются сигналы кадровой синхронизации). ВК имеет обратную АЧХ и восстанавливает исходные составляющие в спектре сигнала.

Частотные характеристики ПК и ВК каналов видеосигнала представлены на Рисунке 2.2.7.6.

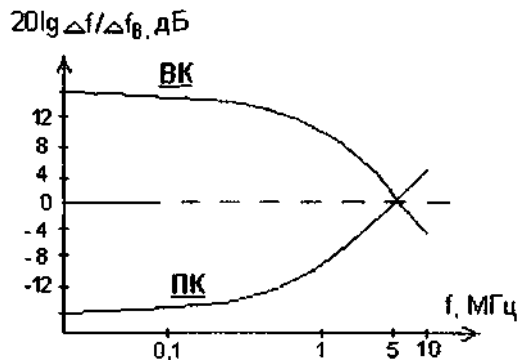


Рисунок 1.2.7.6 - Частотные характеристики ПК и ВК каналов видеосигнала.

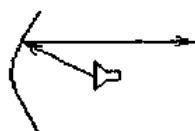
2.2.8. Антенно-фидерные устройства РРЛ.

Сантиметровый диапазон частот является основным для РРЛ. Антенны этого диапазона построены по единому принципу. Рупорный излучатель и металлический отражатель, по форме которого и квалифицируют антенны.

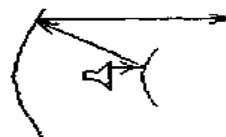
1. Параболическая антенна.

Данные антенны имеют отражатель в форме параболоида вращения. Бывают оси симметричные (в центре) и со смещенной фокальной осью. Различают однозеркальные и двухзеркальные.

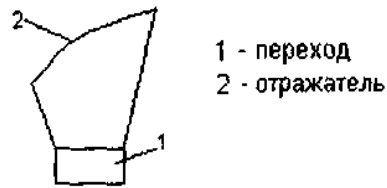
Однозеркальные:



Двухзеркальные:

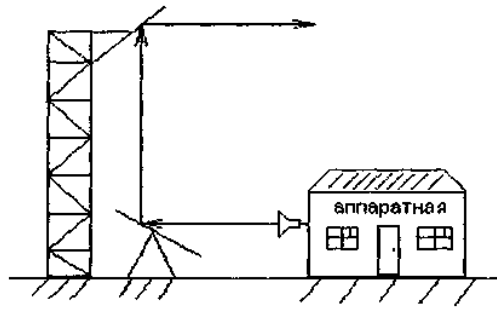


2. Рупорно-параболическая антенна (РПА).



Представляет собой сочетание отражающей поверхности в форме несимметричной вывески из параболоида вращения, пирамидального рупора, объединенного в единую металлическую конструкцию с зеркалом и питающего рупорного перехода.

3. Перископическая антенна.



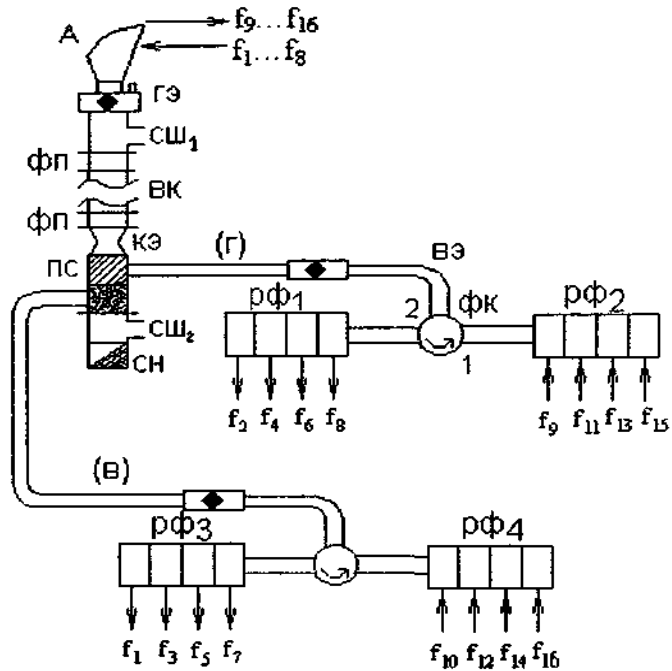
Состоит из нижнего зеркала-излучателя на земле и верхнего зеркала - переизлучателя расположенного на опоре. В зарубежных установках в основном используется двухэлементная схема. Нижнее зеркало запитывается передатчиком. В отечественных РРЛ трехэлементная схема, когда облучатель устанавливается непосредственно в здании, а нижнее зеркало выполняется по схеме вынесенного излучателя.

Главное требование к антеннам РРЛ при двухчастотном плане: малый уровень бокового и заднего излучения. Наилучшими свойствами обладают РПА, имеющие развязку до 70 дБ.

Антенно-фидерный тракт (АФТ).

Рассмотрим на примере структурной схемы для случая работы восьми дуплексных стволов на одну антенну.

В этой схеме достигается многократное использование АФТ, благодаря трех ступенчатой схеме разделения, т.е. на основе применения всех известных способов селекции радиоволн по частоте, по поляризации и по направлению распространения.

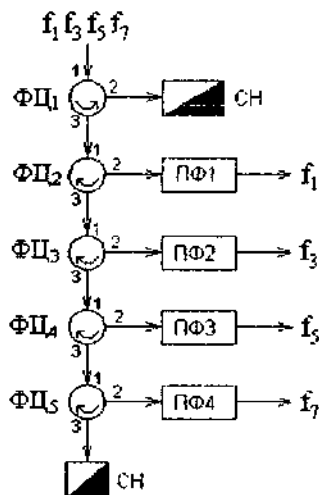


А - приемопередающая антенна; П - питающий согласующий переход, ГЭ и СШ - герметизированные элементы и секции со штуцерами системы осушки волноводных трактов, ВК - круглый волновод вертикального тракта; ВЭ - эллиптические волноводы горизонтального тракта; ФП и КЭ - фильтры поглощения и корректор эллиптичности для снижения уровня паразитных волн; СН - согласованная нагрузка; ПС - поляризационный селектор для разделения (объединения) волн с горизонтальной (г) и вертикальной (в) поляризацией; РФ - разделительные фильтры для разделения (объединения) сигналов различных стволов по частоте.

Разделительные фильтры в системах КУРС строятся с использованием ферритовых циркуляторов.

Ферритовые циркуляторы (ФЦ).

В режиме приема каждый из ПФ пропускает к приемнику только сигналы своего ствола, сигналы других стволов отражаются и через плечи 2 и 3 циркуляторов направляются в следующие секции РФ.



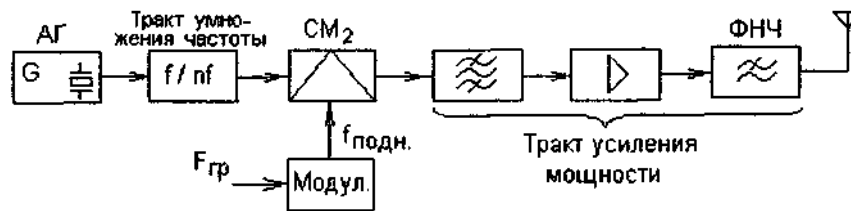
В режиме передачи к ПФ вместо приемников подключается передатчики и направление циркуляции в ФЦ меняется на обратное. В основном принцип работы такой же.

2.2.9 Передатчики РРЛ.

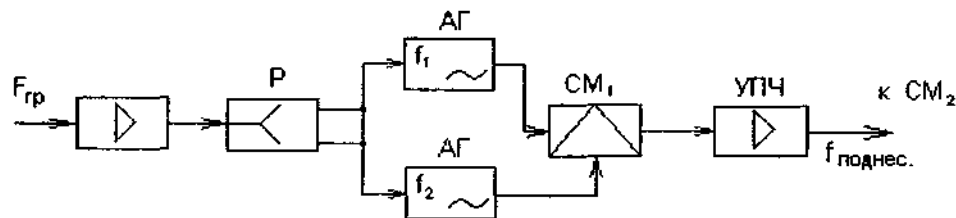
Построение передатчиков определяется следующими требованиями:

- высокая несущая частота;
- частотная модуляция с малыми искажениями в широкой полосе частот;
- высокая стабильность ω_{cp} при ЧМ.

Обычно модуляция определяется на поднесущей частоте с последующим переносом спектра в область рабочих частот.



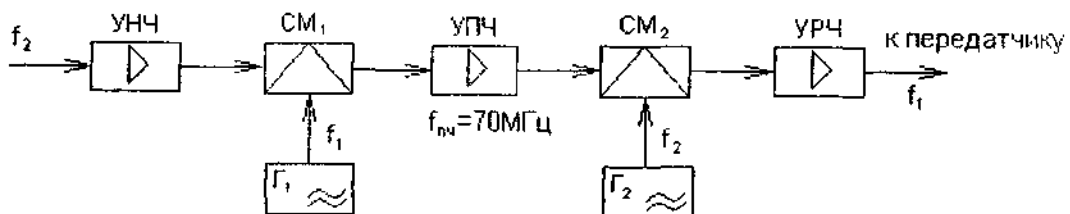
Частотный модулятор часто выполняется на биениях, его структурная схема показана ниже.



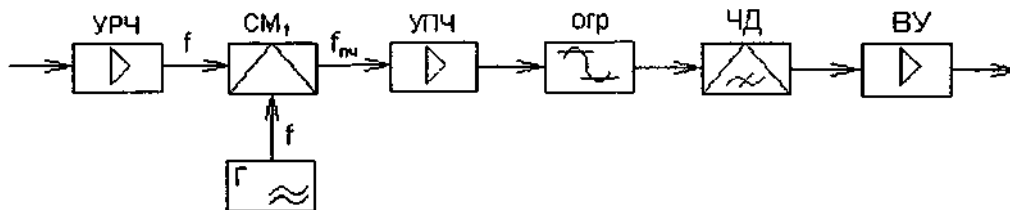
Модулирующий сигнал $F_{гр}$ через разветвитель (P), поступает на варикапы двух автогенераторов (АГ), работающих на частотах $f_{1,2} \approx 300-400$ МГц. Частоты f_1 и f_2 выбираются таким образом, чтобы их разность равнялась промежуточной частоте. $f_{подн.} = 70$ МГц. Сигнал разностной частоты с частотной модуляцией выделяется смесителем (СМ₁) усилителя в УПЧ и поступает на смеситель (СМ₂) с помощью которого, спектр $F_{гр}$ переносится в область рабочих частот. Варикапы в АГ включены в противоположные полярности, частоты АГ в противофазе, т.к. АГ работает по двухтактной схеме. А следовательно удвоение девиации частоты и уменьшение искажений за счет компенсации четных гармоник. В преобразователях частоты в качестве активных элементов используются транзисторы, диоды, лампы и варикапы. Наилучшим считается варикап. В тракте усиления мощности используются транзисторы, мощности единицы и десятки ватт; до 5 ГГц биполярные, на более высоких частотах - полевые, с затвором Шотки. При необходимости получения большей мощности используют ЛБВ до 10 кВт и пролетные многорезонаторные клистроны 1-10 кВт. Существует усилитель на клистроне с $P_{вых}=100$ кВт.

2.2.10 Приемники РРЛ.

Применяют супергетеродинные приемники с величиной ПЧ=70 МГц. На ПРС демодуляция сигнала не производится, принятый сигнал преобразуется в промежуточный, усиливается, а затем с помощью второго преобразователя переносится в область рабочих частот соответствующего передатчика.



На ОРС и УРС принятый сигнал демодулируется и структурная схема приемника имеет вид.



Радиочастотный тракт определяет шумовые характеристики приемника в целом, т. е. чувствительность и общий коэффициент приемника N .

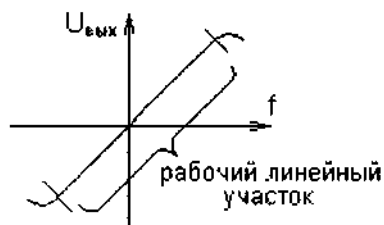
$$N = N_1 + (N_2 - 1) / K_{p1} + (N_3 - 1) / K_{p2} + \dots$$

N_1, N_2, N_3 - коэффициенты шума 1, 2, 3, ... каскадов.

K_{p1}, K_{p2}, K_{p3} - коэффициенты усиления по мощности.

Шумовые свойства приемника определяются первыми каскадами. Коэффициенты шума приемника тем меньше, чем меньше коэффициенты шумка каскада и больше коэффициенты усиления по мощности.

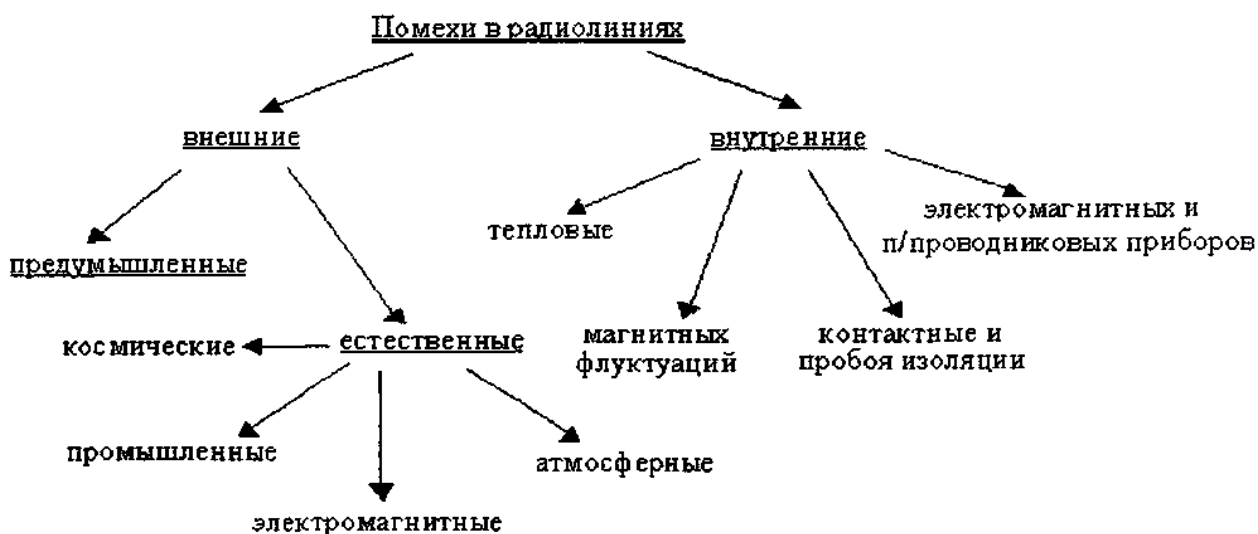
Демодулятор включает два каскада ограничитель амплитуды перед частотным детектором для уменьшения паразитной амплитудной модуляции и дискриминатор имеющий следующую характеристику.



Наилучшими параметрами обладает дискриминатор с расстроенными контурами при условии полной симметрии плеч. Детекторная характеристика тем лучше, чем выше ее крутизна с большой протяженностью линейного участка.

2.2.11 Помехи в радиолиниях.

Атмосферные помехи создаются электромагнитными возмущениями при электростатических разрядах между облаками. Зависят от частоты, времени суток, погоды, района Их энергия сосредоточена в полосе частот до 50 МГц.



Космические помехи создаются за пределами земной атмосферы: шумы солнца, шумы

галактики и шумы межзвездного пространства. Интенсивность мала, но широкий спектр частот: 10...30 МГц.

Промышленные помехи создаются: утечкой высоковольтных линии электропередачи, системами авиа и авто двигателями внутреннего сгорания, от коллекторных двигателей генераторов, контактные средства (трамвай, троллейбус), высокочастотные технологические установки.

Электромагнитные помехи создаются при движении объектов самолета, автомашины, в сквозь снег дождь в районе грозных облаков, а также мачтовых опорах в северных районах во время пурги и в зоне пустынь при пыльных бурях.

Тепловые шумы обусловлены непрерывным хаотическим движением электронов внутри проводника, вызванным тепловым воздействием внешней среды. Такой флуктуационный ток, проходя по проводнику, вызывает на его концах флуктуационное напряжение, даже при полном отсутствии внешних АТС. Спектр широк и охватывает весь диапазон.

Две причины возникновения шумов электронных и полупроводниковых приборов: дробовой эффект - неравномерность эмиссии носителя и случайных характер перераспределения тока между электродами.

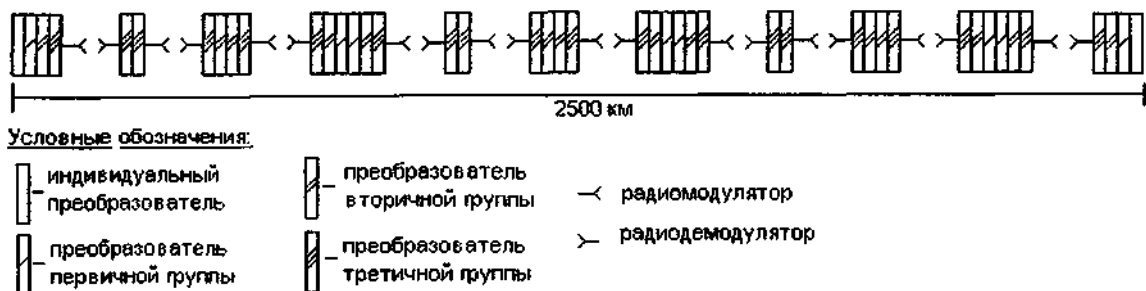
Шумы магнитных флуктуации создаются за счет случайного отклонения скорости намагничивания отдельных частиц магнитного материала.

2.2.12 Нормирование качества связи на РРЛ. Эталонные цепи.

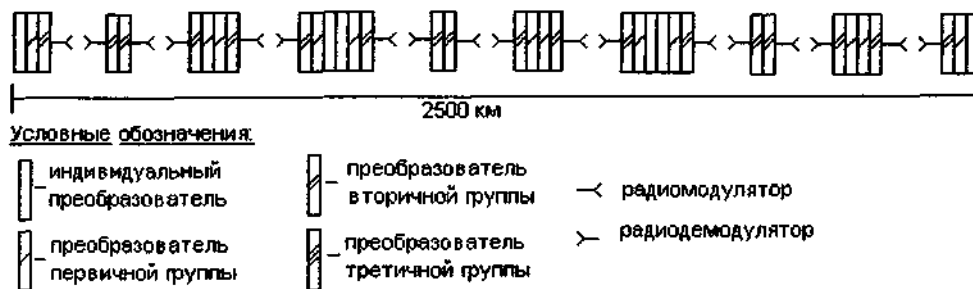
В ООН зарегистрирована международная организация МСЭ - международный союз электросвязи. В состав МСЭ входят следующие комитеты: МККТТ (международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии), МККР (международный консультативный комитет по радио), МКРЧ (международный комитет регистрации частот). Эти комитеты вырабатывают нормы и рекомендации для всех видов электросвязи. Эти нормы должны сопрягать региональные сети с международными. Сформулированы они для специально разработанных гипотетических (предполагаемых) эталонных цепей, структура которых определяется видом сообщения и способом передачи. Таким образом гипотетические эталонные (номинальные) цепи имеют фиксированную протяженность.

В СССР были приняты нормы ЕАСС, которые в некоторых случаях полностью соответствуют этим рекомендациям.

Рассмотрим номинальную цепь канала ТЧ, организованную на магистральной сети СССР. Протяженность цепи 12500 км, состоит из пяти идентичных участков длиной по 2500 км.



Эталонная цепь МККР для РРЛ с числом каналов более 60 имеет следующий вид:



Отличия цепей. Магистральная сеть СССР содержит на каждом участке в каждом направлении связи 10 пар преобразователей третичных групп, 7 пар преобразователей вторичных групп, 4 пары преобразователей первичных групп и одну пару индивидуальных преобразователей. Таким образом, в номинальной цепи СССР предусматривается только один пере-прием по ТЧ на каждые 2500 км, что обеспечивает высокие электрические параметры канала ТЧ на длинных магистралях.

Эталонная цепь имеет такую же протяженность 2500 км, но состоит из 9 однородных участков по 288 км. Каждый участок содержит 9 пар преобразователей вторичных групп, 6 пар преобразователей первичных групп и 3 пары индивидуальных преобразователей.



Номинальная эталонная цепь МККР для передачи телевизионных сигналов имеет протяженность 2500 км и содержит 3 участка пере-приема по видеочастоте, т.е. имеет 3 модулятора и 3 демодулятора.

Аналогично, эталонная цепь канала звукового сопровождения и звукового вещания. Отличие - пере-прием осуществляется по низкой частоте.

Линейным трактом РРЛ называется тракт образованный всей совокупностью радиорелейного оборудования от входа модулятора до входа демодулятора.

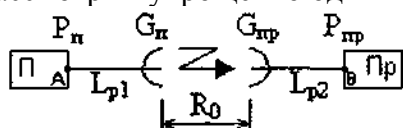
ВЧ трактом РРЛ называется тракт между входом передатчика и входом приемника по промежуточной частоте, т.е. не включает модулятор и демодулятор.

Для сигналов ТЧ аппаратура частотного разделения каналов (ЧРК) обычно не входит в состав РРЛ, устанавливается в некотором отдалении от ОРС и УРС и соединяется с ними кабельными линиями, поэтому электрические характеристики каналов ТЧ зависят как от характеристик аппаратуры ЧРК, так и от характеристик РРЛ. Таким образом, линейный тракт передачи сигналов многоканальной телефонии образует РРЛ без учета аппаратуры ЧРК. Каналы передачи изображения и звукового сопровождения телевидения образуются с помощью устройств, входящих в РРЛ. Поэтому электрические характеристики этих каналов полностью определяются характеристиками оборудования РРЛ.

Для каждого отдельного вида эталонной цепи по рекомендации МККР нормируется допустимое значение мощности шума или отношение сигнал-шум на выходе канала. Для любого телефонного канала в точке с нулевым относительным уровнем (ТОНУ) с протяженностью 2500 км, нормируется среднеминутная психометрическая мощность шума. Для видеоканалов нормируется отношение размаха сигнала изображения к визометрическому напряжению шума.

2.2.13 Уровень сигнала в месте приема.

Рассмотрим упрощенно один пролет РРЛ



P_n - мощность на выходе передатчика;

P_{np} - мощность на входе приемника;

L_{p1}, L_{p2} - потери в фидерах передатчика и приемника;

G_n, G_{np} - коэффициенты усиления антенн приемника и передатчика.

Суммарные потери мощности при передаче сигнала по пролету состоят из двух частей постоянных потерь (L_{noc}), которые не зависят от времени и определяются только длиной пролета и параметрами аппаратуры, и дополнительных потерь ($L_{доп}$), которые зависят от условий распространения радиоволн в пролете.

$$L_{\Sigma} = L_{noc} * L_{доп}$$

$$P_{np} = P_n * L_{\Sigma}$$

Постоянные потери определяются потерями в свободном пространстве

$$L_0 = (\lambda / 4\pi R_0)^2,$$

и потерями в антенно-фидерном тракте

$$L_{афт} = L_{p1} * G_n * L_{p2} * G_{np}$$

Введем обозначения $L_{\phi} = L_{p1} * L_{p2}$;

$$G = G_n * G_{np};$$

Тогда $L_{noc} = (\lambda / 4\pi R_0)^2 * L_{\phi} * G^2$

Дополнительные потери определяются множителем ослабления поля в свободном пространстве

$$V(t) = E/E_0,$$

где E_0 - напряженность электрического поля на входе приемной антенны при распространении в свободном пространстве, т.е. без учета влияния атмосферы и рельефа местности;

E - напряженность в той же точке при реальных условиях

$L_{доп} = V^2(t)$; тогда $P_{np} = P_n * L_{noc} * V^2(t)$.

Потери в фидерах численно равны КПД η_n и η_{np}

$$P_{np} = P_n * G_n * G_{np} * \eta_n * \eta_{np} * (\lambda / 4\pi R_0)^2 * V^2(t)$$

Введем обозначение: $A_0 = 1 / L_0$, тогда $P_{np} = ((P_n * G_n * G_{np} * \eta_n * \eta_{np}) / A) * V^2(t)$

где A_0 - ослабление сигнала в свободном пространстве.

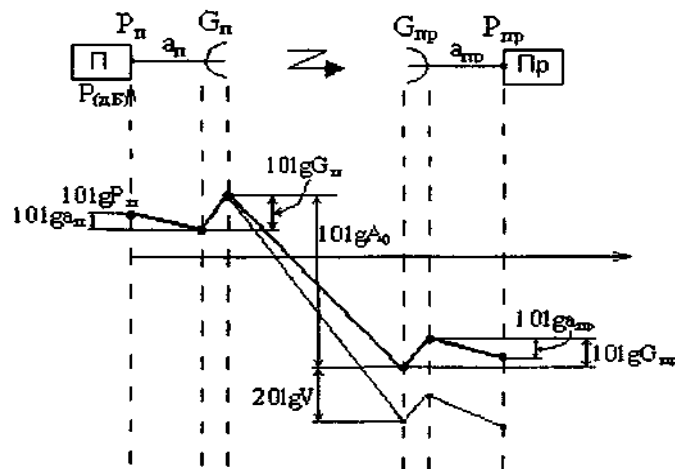
Тогда $P_{np} = P_{0np} * V^2(t)$,

где $P_{0np} = (P_n * G_n * G_{np} * \eta_n * \eta_{np}) / A$ - мощность сигнала на входе приемника при распространении в свободном пространстве, т.е. $V^2(t) = 1$ (обычно выражается в дБ).

Затухание фидера: $a_n = 1/\eta_n$, $a_{np} = 1/\eta_{np}$.

$$P_{np(дб)} = 10\lg P_n - 10\lg a_n + 10\lg G_n - 10\lg A_0 + 10\lg G_{np} - 10\lg a_{np} - 20\lg V$$

На основе этого строят диаграмму уровней сигнала на пролете РПЛ:



2.2.14 Электрические характеристики канала ТЧ.

Уровни передачи.

Абсолютный уровень - уровень мощности или напряжения, вычисляемый к мощности 1 мВт или соответствующему этой мощности эффективному напряжению 0,775 В на сопротивление 600 Ом.

$$P_{ам} = 10 \lg (P / 1); P_{ан} = 20 \lg (U / 0,775), [\text{дБм}].$$

Относительный уровень - вычисляется по отношению к уровню мощности P_0 или U_0 , таким образом, что:

$$P_{0м} = 10 \lg (P / P_0); P_{0н} = 20 \lg (U / U_0).$$

Измерительный уровень - абсолютный уровень в данной точке цепи, когда в начале ее уровень равен 0 дБ. Для точек цепи, сопротивление которых равно 600 Ом, уровень напряжения равен численно уровню мощности. Если сопротивление не 600 Ом, а Z , то тогда:

$$P_n = P_m + 10 \lg (Z / 600),$$

$$\text{если } Z=75 \text{ Ом, то } P_n = P_m - 9 \text{ дБ};$$

$$\text{если } Z=135 \text{ Ом, то } P_n = P_m - 6,5 \text{ дБ};$$

$$\text{если } Z=150 \text{ Ом, то } P_n = P_m - 6 \text{ дБ}.$$

Остаточное затухание.

Определяется разностью между уровнем передачи на входе канала и уровнем приема на его выходе, и всегда положительно. В противном случае может возникнуть генерация вследствие обратной связи (ОС) через оконечные дифференциальные оконечные системы. Таким образом остаточное затухание есть разность между суммой всех затуханий в канале и определяет устойчивость равную усилению, которое нужно внести в канал, чтобы возникла генерация.

Частотная характеристика.

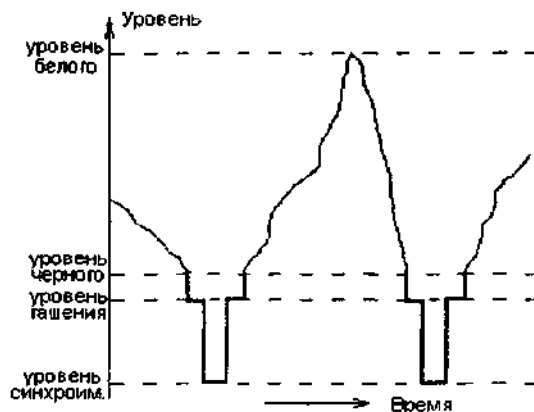
Зависимость остаточного затухания от частоты. Обычно при определении частотной характеристики вместо абсолютной величины остаточного затухания берут относительное изменение остаточного затухания от частоты по отношению к затуханию на частоте от 800 Гц

Групповое время запаздывания.

Является производной от фазовой характеристики по частоте и характеризует физическое время передачи сообщения по каналу. Если оно велико, то ухудшается качество связи, если превышает 50-60 мс, то в канале появляется мешающий эффект электрического эха. Разговорные токи на приемном конце канала через несовершенную дифференциальную систему попадают в тракт передачи, и возвращается к говорящему абоненту, который слышит с запаздыванием свой собственный разговор.

2.2.15 Электрические характеристики телевизионного канала.

В соответствии со стандартом на системы телевидения номинальная величина напряжения полного видеосигнала черно-белого телевидения определяется как размах сигнала от уровня белого до вершин синхроимпульсов.



Величина сигнала изображения - определяется, как размах сигнала от уровня белого до уровня черного. Номинальная величина сигнала изображения составляет 65 % номинальной величины полного видеосигнала.

Защитный промежуток - размах сигнала от уровня черного до уровня гасящих импульсов. Номинальная величина этого промежутка составляет 5 % от номинальной величины полного видеосигнала.

Величина сигнала синхронизации - размах синхроимпульсов от уровня гашения до вершин синхроимпульсов, составляет 30 % номинальной величины полного видеосигнала. Номинальное напряжение полного телевизионного черно-белого телевидения на входе и выходе канала РРЛ должно быть равно 1 Вт положительной полярности. Эти номинальные значения входного и выходного напряжения должны обеспечиваться на концах соединительной линии между оборудованием РРЛ и аппаратурой телевизионного центра или ретранслятора. Для удовлетворения этого требования в ряде систем РРЛ номинальное напряжение видеосигнала на выходе оборудования РРЛ составляет 1,6 Вт. Такая величина обеспечивает получение номинального напряжения видеосигнала 1Вт на конце соединительной линии, имеющей затухание 4 дБ.

Полный видеосигнал цветного изображения состоит из сигнала яркости, сигнала синхронизации и сигнала цветности. Добавление сигнала цветности увеличивает размах полного видеосигнала ~ 10 %.

2.2.16 Помехи в каналах РРЛ.

Как и во всех радиосистемах на передачу сигналов по РРЛ влияют помехи внешнего и внутреннего происхождения. Внешние помехи: атмосферные, космические, промышленные и сигналы от других радиосистем. Уровень этих помех обычно удается свести к минимуму с помощью организационных мер: выбор частот, правильное размещение станций, фильтрация мешающих радиосигналов и т. д. В диапазонах ДВ и СВ влиянием промышленных помех можно пренебречь. Значительно сложнее борьба с помехами внутреннего происхождения. Можно выделить три группы этих помех, флуктуационные (тепловые), аппаратные и переходные шумы. Основным методом борьбы с флуктуационными шумами - увеличение энергетического потенциала системы, т.е. увеличение мощности передатчиков, коэффициентов усиления антенн, уменьшение шумовой температуры приемников. Аппаратные шумы - пульсация питающих напряжений, шумы коммутации и т.д. Метод борьбы - совершенствование аппаратуры и порядка эксплуатации. Переходные помехи в данный канал со стороны сигнала в других каналах. Возникновение их обусловлено нелинейностью характеристик в трактах передачи. Снижение уровня данных помех наиболее сложная задача.

Измерение шумов в канале ТЧ производится псофометром, представляющий собой квадратичный вольтметр, на входе которого включен фильтр, АЧХ которого, учитывает чувствительность уха и телефона к различным частотам в спектре от 300 до 3400 Гц. Шумы называются псофометрические (взвешенные).

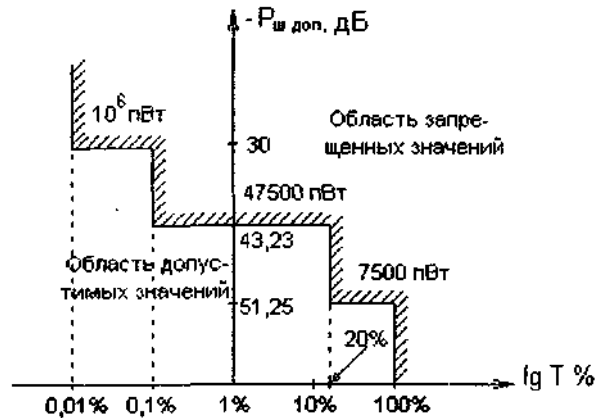
Мощность шума в канале ТЧ, отнесенная к ТОНУ (точке нулевого относительного уровня), обычно выражается в пВт.

В многоканальных системах связи с ЧРК шум в канале ТЧ имеет равномерный спектр и психофотометрическая мощность шума равна:

$$P_{шж} = 0,56 * P_{ш},$$

где $P_{ш}$ - мощность шума, измеренная при выключенном психофотометрическом фильтре.

По рекомендациям МККР, в любом телефонном канале в ТОНУ, допустимые мощности шума для гипотетической цепи протяженностью 2500 км, составляют следующие величины.



Среднеминутная психофотометрическая мощность шума, которая может превышать в течение не более $T=20 \%$ времени любого месяца равно 7500 пВт $_0$, что соответствует $10 \lg(7500/10^9) = -51,25$ дБ. Среднеминутная психофотометрическая мощность шума, которая может превышать не более $T=0,1 \%$ времени любого месяца равна 47500 пВт $_0$, что составляет $-43,23$ дБ. Средняя за 5 мс взвешенная мощность шума, которая может превышать в течение не более $T=0,01 \%$ времени любого месяца равна 10^6 пВт $_0$, что составляет -30 дБ.

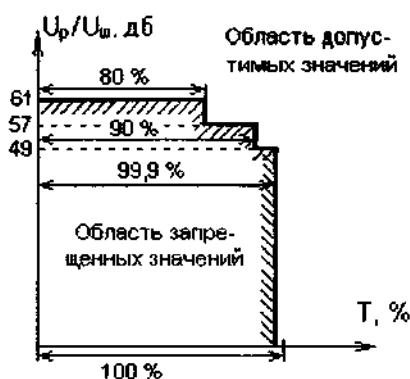
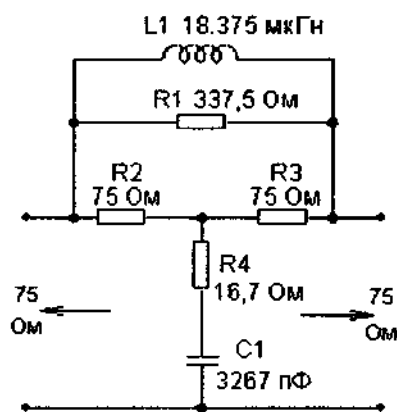
Для реальных РРЛ, отличающихся эталонной или гипотетической структурой, МККР также разработал рекомендации. Если структура РРЛ протяженностью L км значительно отличается от эталонной, то допустимая психофотометрическая мощность шума может превышать $T=20 \%$ времени любого месяца.

$$50 \leq L \leq 840 \text{ км, } P_{ш \text{ доп}} = (3L + 200) \text{ пВт}_0$$

$$840 \leq L \leq 1670 \text{ км, } P_{ш \text{ доп}} = (3L + 400) \text{ пВт}_0,$$

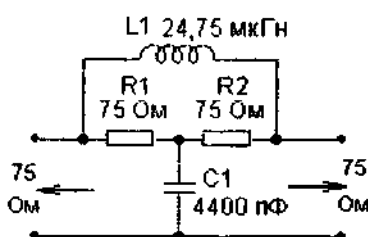
$$1670 \leq L \leq 2500 \text{ км, } P_{ш \text{ доп}} = (3L + 600) \text{ пВт}_0;$$

Измерение шумов в телевизионном канале производится визометром. Визометрическое напряжение шума - напряжение измеренное квадратичным вольтметром с временем интеграции 1 с. На входе визометра размещается визометрический взвешенный фильтр АЧХ которого, учитывает чувствительность человеческого глаза к различным по частоте составляющим шума на экране телевизора. Для видеоканалов нормируется отношение размаха сигнала изображения к визометрическому напряжению шума $U_p / U_{ш}$. Ниже приведена схема визометрического фильтра и зависимость отношения $U_p / U_{ш}$ от $T \%$.



Согласно рекомендациям МККР на выходе гипотетической эталонной, цепи протяженностью 2500 км, отношение $U_p / U_{ш}$ может быть менее 61 дБ, 57 дБ и 49 дБ в течение соответственно не более 20 %, 1 % и 0,1 % времени любого месяца.

МККР разработал новый модифицированный взвешенный фильтр, при помощи которого достигается уменьшение защищенности телевизионного канала на 4 дБ. Приведенные рекомендации МККР отношения $U_p / U_{ш}$ относящиеся к 20 % и 0,1 % времени любого месяца соответственно составляют 57 дБ и 45 дБ. Ниже представлена схема модифицированного визометрического взвешенного фильтра.



2.2.17 РРЛ с ВРК и аналоговыми методами передачи.

В таких РРЛ сигнал формируется с использованием фазоимпульсной модуляции (ФИМ) в аппаратуре объединения и АМ в модуляторе передатчика. Модуляция ФИМ применяется как наиболее помехоустойчивая по сравнению с АИМ и ШИМ, а АМ - стремлением сократить полосу частот занимаемую РРЛ. Такие РРЛ получаются малокабельными и по ним можно передавать узкополосные сигналы (сообщения). Это показывается из нижеприведенных соотношений.

Сквозность импульсов на выходе приемника $g_{гр}$ - отношение $\Delta \tau_k / \tau_u$

$$g_{gp} = \Delta \tau_k / \tau_u = (T_d / N_{gp}) / \tau_u = 1 / (N_{gp} * F_d * \tau_u) = 1 / F_{gp} * \tau_u ;$$

где τ_u - длительность канального импульса

$\Delta \tau_k$ - канальный интервал, т.е. $\Delta \tau_k < \tau_u$

$N_{гр}$ - число канальных интервалов в периоде дискретизации T_d ,

$F_{гр}$ - частота следования импульса.

Для оптимального приема импульсного сигнала необходимо, чтобы полоса пропускания приемника определялась как:

$$2\Delta f_{np} = \Delta f_0 = 1/\tau_u$$

Полагая, что условия приема близки к оптимальным, получаем:

$$2\Delta f_{np} = \Delta f_0 = 1/\tau_u = g_{сп} * F_{сп};$$

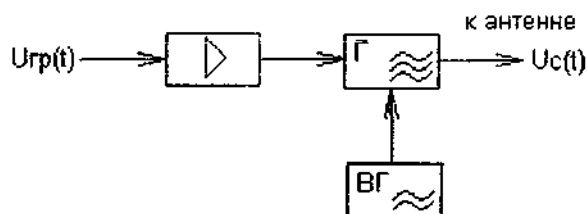
Формула позволяет рассчитать максимально возможное число каналов, которое допустимо в одном стволе РРЛ с ФИМ-АМ. По рекомендациям МККР ширина полосы частот для передачи сигналов по одному стволу для дециметровых волн не должно превышать 30 МГц. С учетом этого и (9%) получается, что число каналов $N < 60$; реально берут $N = 24$. При 24 каналах максимальная девиация импульса:

$$\Delta t_{mm} = 1...1,5 \text{ мкс}; \quad \tau_u = 0,5...1 \text{ мкс}.$$

Если $g_{гр} = 10$, $F_{гр} = 8*24 = 192$ кГц, то полоса пропускания приемника $2\Delta f_{np} \approx 2$ МГц.

Для сравнения в РРЛ с ЧМ и ЧРК при девиации на канал $\Delta f_k = 30$ кГц (по рекомендациям МККР) полоса пропускания приемников с таким же числом каналов была бы не больше $2\Delta f_{np} \approx 0,5$ МГц. Отсюда видно, что полосы пропускания всех трактов РРЛ с ФИМ-АМ должны быть намного шире полос пропускания аналогичных трактов РРЛ с ЧРК и ЧМ.

Надежность и рентабельность работы малоканальных РРЛ обеспечивается за счет предельного упрощения аппаратуры и условий ее эксплуатации. Для них целесообразен дециметровый диапазон, т.к. в этом диапазоне можно обойтись дешевыми транзисторами и использовать простые параболические антенны и в качестве фидеров гибкий коаксиальный кабель. Передатчик строится по самой простой схеме с модуляцией автогенератора СВЧ:



ВГ - вспомогательный генератор

Г - автогенератор СВЧ

Вспомогательный генератор служит для уменьшения дополнительных шумов достаточно высокого уровня, возникающих в однокаскадном передатчике. Причина их в том, что время установления СВЧ колебания автогенератора зависит от величины тепловых шумов в момент подачи модулирующего импульса. Для их уменьшения в контур Г от ВГ вводится напряжение СВЧ, величина которого существенно должна превышать напряжение шумов. Время установления уменьшается и стабилизируется. Мощность вводимого СВЧ сигнала составляет обычно 10^{-9} Вт и создается одной из гармоник (4-ой или 5-ой) маломощного генератора, работающего на частоте в 4-5 раз ниже частоты передатчика.

Другим недостатком передатчиков с такой схемой является большая нестабильность частоты.

$$\delta * f_{np} / f_n = \pm 10^3, \text{ т.е. } f_n = 2 \text{ ГГц}, \quad \delta f_n = \pm 2 \text{ ГГц}.$$

Прием сигналов с ФИМ-АМ осуществляется супергетеродинным приемником по стандартной схеме, входной фильтр, преобразователь частоты, УПЧ с АРУ, амплитудный детектор (АД) и групповой усилитель импульсов (ГУИ). Для упрощения не применяют УПЧ и стабилизацию частоты гетеродина, хотя уход частоты гетеродина до 1 МГц. Для бесперебойной и подстроичной связи при таких уходах частоты полосу пропускания приемника расширяют до

значения $2\Delta f_{np} = (4..5) \Delta f_0$. При этом для обеспечения эффективной шумовой полосы близкой к Δf_0 выбирают полосу пропускания группового тракта равную $\Delta f_{gp} \approx \Delta f_0 / 2$.

Шумы на выходе ТФ канала появляются из-за сдвига переднего фронта импульса тепловыми шумами. Псофометрическая мощность этих шумов, возникающая на выходе ТФ канала радиорелейной линии из-за тепловых шумов в приемнике i - того интервала:

$$P_{шi} = 10^9 K_n^2 ((kT\Delta T_{gp} F_g) / P_{свх})_i * 4 / (g_{gp}^2 * m_{фим}^2); \quad (\text{пВтО})$$

где $P_{свх}$ - средняя мощность импульсов на входе приемника;

$K_n^2 = 0,56$ - псофометрический коэффициент;

$m_{фим} = 0,6..0,8$ - максимально допустимая относительная глубина модуляции при ФИМ.

Из формулы видно, что помехоустойчивость ФИМ-АМ пропорциональна квадрату скважности импульсов g_{gp}^2 . Мощность тепловых шумов на выходе канала пропорциональна числу каналов и не зависит от порядкового номера канала. Следовательно, при ФИМ-АМ мощность тепловых шумов $P_{ш}$; одинакова во всех каналах и поэтому не нужно вводить пре- искажения, как это делается в РРЛ с ЧМ и ЧРК.

В РРЛ с ФИМ-АМ за пороговый сигнал принимают такой сигнал на входе приемника при котором на вход ТФ канала отношение пиковой мощности порогового сигнала к мощности шума \approx двадцати $(P_{пик} / P_{ш})_{вх} \approx 20$, что составляет 15 дБ.

$$2\Delta f_{np} = 1 / \tau_u \Rightarrow g P_{с.сх.нор} / kT_g 2\Delta f_{np} \approx 20 \Rightarrow P_{с.сх.нор} \approx 20 kT_g N_{gp} F_d$$

Переходные процессы в электрических цепях возникают из-за ограниченности полосы пропускания аппаратуры. В РРЛ это приводит к появлению переходных помех. Ограниченность полосы со стороны верхних частот группового спектра приводит к появлению переходных помех первого рода. Со стороны нижних частот - помех второго рода. Переходные помехи первого рода возникают вследствие затягивания задних фронтов канальных импульсов. Проявляется как прослушивание сообщений другого канала и называется внятными переходными помехами. При ФИМ можно пренебречь переходными помехами первого и второго родов.

На РРЛ с ФИМ-АМ на каждой ПРС производится пере- прием по групповому спектру, т.е. производится демодуляция принятого сигнала и последующая модуляция несущей. Такой способ имеет следующие преимущества по сравнению с РРЛ с ЧМ и ЧРК:

- исключается накопление нестабильности частоты вдоль РРЛ;
- можно регенерировать форму импульсов на каждой ПРС;
- предоставляется возможность достаточно легко ответвлять и увести любой канал или группу каналов на каждой ПРС

2.2.18. РРЛ с ВРК и цифровыми методами передачи.

2.2.18.1 Общие сведения

Возможны три способа построения ЦРРЛ.

1 . Передача информации в цифровой форме по телефонным или телевизионным стволам аналоговых РРЛ одновременно с аналоговым телевизионным или многоканальным телефонным сообщением.

2 . Организация передачи только цифрового потока в стволе аналоговой РРЛ, по которому могут передаются цифровые потоки от первичной и вторичной цифровых систем передачи (ЦСП). Первичная - ИКМ-30, со скоростью передачи группового сигнала $V_{гр} = 2048$ кБит/с; вторичная - ИКМ -120, со скоростью передачи группового сигнала $V_{гр} = 8448$ кБит/с. Передача цифрового сигнала от ЦПС от более высокой иерархии затруднена из-за большого уровня помех соседних аналоговых стволов.

3. Организация ЦРР систем, по которым передается только цифровая информация. Передаются только цифровые потоки от ЦСП любой степени иерархии. Ступени даны по европейской иерархии ЦСП. Кроме того, построение РРЛ по последнему способу позволяет реализовать те возможности, которые определяются особенностями дискретных цифровых сигналов. К ним относятся:

- использование чрезвычайно помехоустойчивых видов дискретной модуляции;
- регенерация цифровых сигналов на выходе каждого приемника, что во много раз увеличивает качество связи,
- использование высокой помехозащищенности цифровой информации, для того чтобы с максимальной эффективностью уплотнять выделенные диапазоны частот с возможно большим числом каналов;
- использование стандартных элементов и узлов цифровой техники.

Высокоскоростные ЦРРЛ создаются для работы в диапазоне сантиметровых волн (3...30 ГГц). На частотах выше 6 ГГц одной из основных причин замираний является поглощение радиоволн в осадках. Для выполнения норма на устойчивость работы ЦРРЛ необходимо значительно уменьшить длину ретрансляционного пролета - например, на частоте 11 ГГц до 10...20 км. Это усложняет и удорожает линию в целом (при сохранении общей протяженности), т.к. увеличивается число ретрансляторов (опоры, АТФ, стационарные сооружения, аппаратура и т.д.). В то же время использование коротких пролетов позволяет снизить максимальную мощность передатчиков и выполнить их полностью на полупроводниковых приборах.

В ЦРРЛ используются различные способы модуляции - АМ, ЧМ, ФМ, в том числе многопозиционные.

Основным недостатком ЦРРЛ по сравнению с аналоговыми является необходимость занятия более широкой полосы частот для передачи одинакового количества телефонных сигналов. ЦРРЛ с двухпозиционной ФМ несущей сигналом ИКМ со скоростью 26 Мбит/с, соответствующей 360 телефонным каналам, занимает в четыре раза более широкую полосу частот, чем аналоговая РРЛ с ЧМ-ЧРК, по которой передаются 960 телефонных каналов.

Различные способы многопозиционной модуляции применяют сокращения полосы частот при тех же скоростях передачи информации.

Оптимальная ширина полосы ствола при передаче цифровых сигналов:

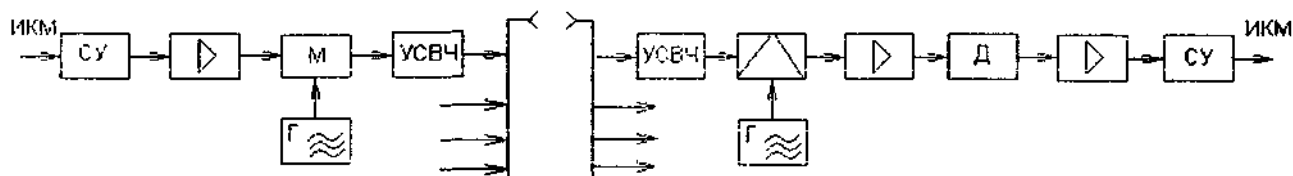
$$\Delta f_{ств} = (1,1 \dots 1,5) \Delta f * K_M,$$

где Δf - ширина полосы, численно равная скорости передачи информации В;

$K_M = 1 / \log_2 M$ - коэффициент, учитывающий изменение полосы частот, занимаемой стволом, при использовании М - позиционной модуляции, М=2,4,8,16,32... .

Например, для передачи 720 каналов ТЧ методом ИКМ требуется скорость В=52Мбит/с. При использовании двухпозиционной ОФМ (М=2), ширина полосы одного ствола $52 * 1,3 = 68$ МГц, четырехпозиционной ОФМ (М=4) - 34 МГц. Такую же полосу занимает ствол аналоговой РРЛ при передаче 1920 телефонных каналов, т.е. по пропускной способности в отведенной полосе частот ЦРРЛ уступают аналоговым.

Структурная схема ЦРРЛ практически не отличается от аналоговой. Модуляция в передатчике может осуществляться двумя способами - либо непосредственная модуляция СВЧ несущей, либо модуляция на промежуточной частоте с последующим преобразованием в СВЧ сигнал. Для примера рассмотрим структурную схему одного ствола ЦРРЛ с модуляцией по первому способу.

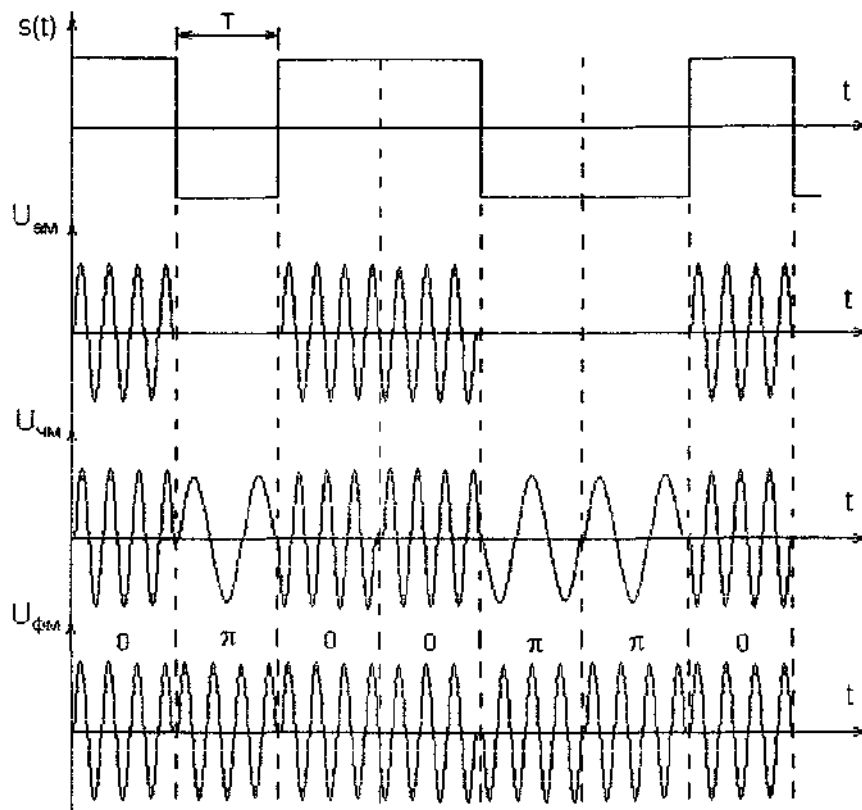


В согласующем устройстве (СУ) линейный цифровой сигнал (ЛЦС) преобразуется к виду, удобному для передачи по радиотракту, чаще всего линейный квазитроичный сигнал заменяется однополярным. Далее сигнал усиливается, модулирует колебания СВЧ от генератора (Г) и после усиления в выходном каскаде передатчика УСВЧ через АФУ поступает в передающую антенну. Приемный тракт собран по стандартной схеме супергетеродинного приемника. С выхода демодулятора цифровой сигнал усиливается, регенерируется и вновь преобразуется в СУ в квазитроичный сигнал для передачи по кабельной линии связи.

Все применяемые виды модуляции могут быть представлены ВЧ несущими, передаю-

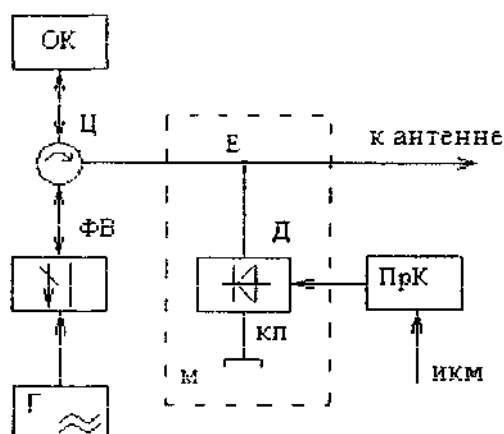
щими цифровую информацию.

Ниже, на временных диаграммах приведены простейшие виды бинарной цифровой модуляции. Такая модуляция применялась на начальных этапах развития связи, а в настоящее время - в упрощенных системах.



2.2.18.2 Амплитудная модуляция.

В практических применениях используют бинарную АМ и разновидность дискретной АМ - квадратурную амплитудную модуляцию (КАМ), при которой модуляция двух сигналов, сдвинутых по фазе на 90 с последующим их сложением. Рассмотрим пример структурной схемы передатчика ЦРРЛ с АМ.

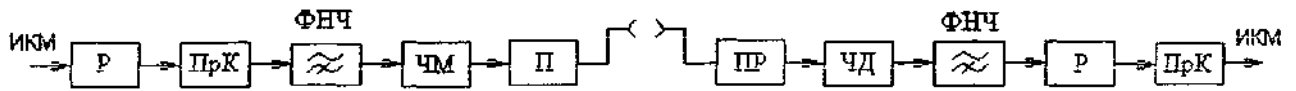


Передатчик состоит из двух автогенераторов и модулятора. Автогенератор (Г) является задающим и определяет частоту и стабильность генерируемых колебаний. Для этого его резонатор сделан из инвара и помещен в термостат. Другой автогенератор является оконечным каскадом и синхронизируется по частоте задающим генератором. Ферритовые вентили ФВ служат для развязки автогенераторов. Колебания с ОК через циркулятор (Ц) поступают на амплитудный модулятор. Модуляция осуществляется переключающим диодом (Д) и короткозамыкающим поршнем (КП), включенным в боковое плечо волноводного Е-тройника. Работой

модулятора управляют однополярные импульсы, которые получаются в преобразователе кода (ПрК) из квазитроичных импульсов входного ИКМ сигнала. При открытом модуляторе колебания ОК поступают на выход к антенне, при закрытом - отражаются от модулятора, через циркулятор поступают на ферритовые вентили и поглощаются.

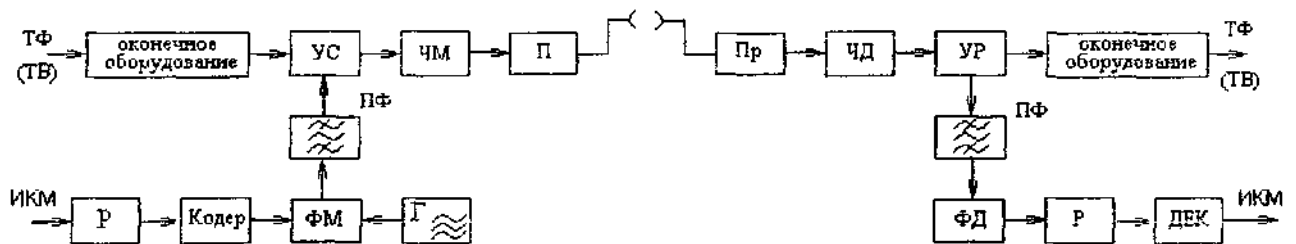
2.2.18.3 Частотная модуляция.

Кроме простейшего случая ЧМ с использованием двух частот применяют усовершенствованные виды ЧМ с непрерывной фазой (ЧМНФ) и ЧМ с минимальным сдвигом (ММС). Структурная схема цифрового ствола с ЧМ имеет вид:

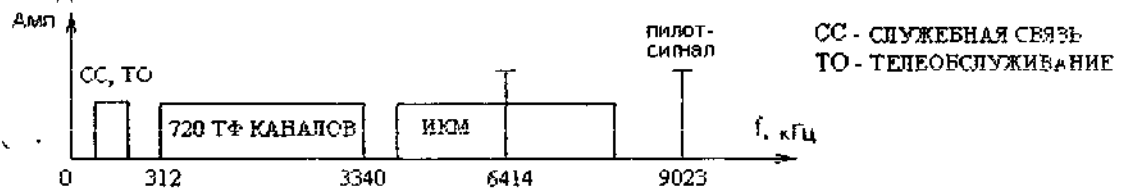


Регенератор (Р) восстанавливает ИКМ сигнал, искаженный соединенной линией. Затем производится преобразование квазитроичного кода в код с чередованием полярности импульсов (ЧПИ), фильтрация дискретных составляющих, модуляция и передача ЧМ сигнала в антенну. На приемном конце осуществляется обратное преобразование-детектирование, регенерация и преобразование в ИКМ сигнал.

Помимо передачи цифровой информации в отдельном стволе используется одновременная передача аналоговой и цифровой информации методом ДОМФ поднесущей частоты, расположенной выше спектра аналогового сигнала.



Генератор поднесущей частоты (Г) синхронизирован сигналом с тактовой частотой, выделенным из входного сигнала с ИКМ. Полосовой фильтр (ПФ) служит для подавления спектральных составляющих ОФМ сигнала, попадающих в полосу аналогового сигнала в нижней части спектра и пилот-сигнал (ПС) в верхней части спектра. Объединение сигналов в спектре ствола имеет вид:



2.2.18.4 Фазовая модуляция.

В обычной двухпозиционной (бинарной $[0; 180]$, двоичной) ФМ возможны скачки фазы опорного напряжения на 180° . Для устранения этого недостатка используется так называемое относительное кодирование и получается относительная фазовая модуляция (ОФМ).

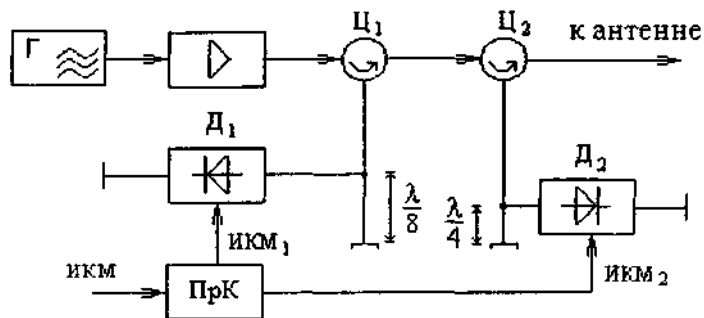
Для увеличения пропускной способности в отведенной полосе частот используется многопозиционная ФМ.

Четырехпозиционная (двукратная) ДФМ ($0^\circ; 90^\circ; 190^\circ; 270^\circ$) позволяет передавать два двоичных символа одновременно.

Для сокращения полосы частот при высокоскоростных цифровых сигналах используют многократные способы амплитудно-фазовой модуляции (АФМ), при которой наряду с ФМ

осуществляется амплитудная модуляция синфазной и квадратурной составляющих. Если модулирующие сигналы $S(t)$ двухуровневые, то модулирующие сигналы $S(t)$ двухуровневые, то получается квадратурная АФМ, если четырехуровневые - шестнадцатикратная КАФМ.

ФМ может осуществляться на СВЧ и на ПЧ. Структурная схема передатчика ЦРРЛ с ДОФМ на СВЧ имеет вид:



ДОФМ осуществляется путем подключения или отключения КЗ отрезков волноводов длиной $\lambda/4$ и $\lambda/8$ с помощью быстродействующих диодов D_1 и D_2 .

Расстояние от циркуляторов до места включения диодов равно целому числу длин волн. При передаче в цифровых потоках ИКМ₁ и ИКМ₂ импульсов (комбинация "1" и "1") диоды открыты, отраженные от мест включения сигналы имеют фазовый сдвиг, кратный 2π , и фаза сигнала на выходе передатчика равна 0° . Если передается комбинация "1" и "0", то D_1 открыт и отрезок $\lambda/4$ отключен, D_2 закрыт и подключенный отрезок $\lambda/8$ обеспечивает дополнительный фазовый сдвиг $2 \times \lambda/8 = \lambda/4$, т.е. 90° . Соответственно при комбинации "0" и "1" фазовый сдвиг равен 180° , при комбинации "0" и "0" - 270° .

Структурная схема ЦРРЛ с ДОФМ на ПЧ имеет вид:

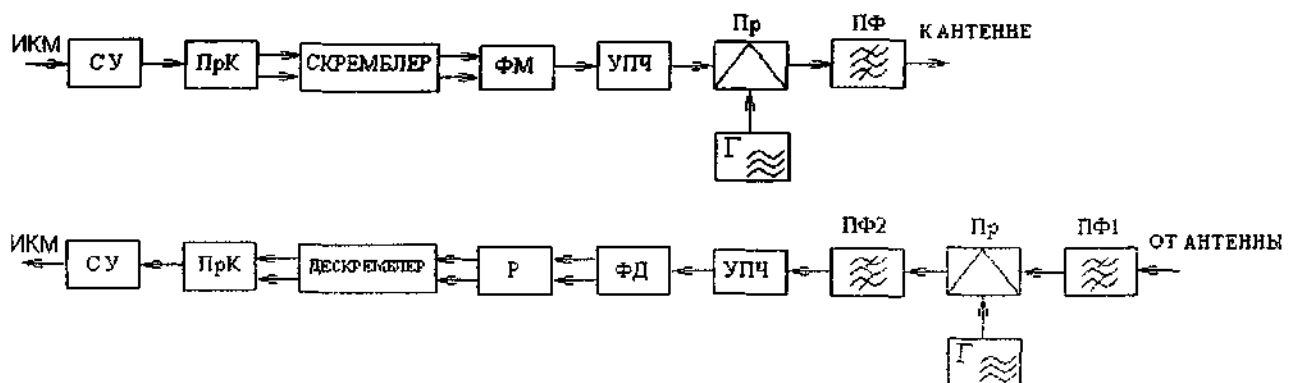


Схема соответствует реальной приемопередающей станции на $f_0 = 11$ ГГц с ДОФМ на ПЧ, равной 70 МГц. В скремблере последовательности нулей и единиц придается квазислучайный характер.

3. Системы спутниковой связи (ССС) и телерадиовещания.

3.1 Основные понятия.

Космическая радиосвязь - радиосвязь, при которой используются космические станции, расположенные на космических объектах, в частности, на ИСЗ.

Космическая станция (КС) - станция, расположенная на космическом объекте.

Земная станция (ЗС) - станция радиосвязи, расположенная на земной поверхности.

Спутниковая связь - связь между земными станциями через космические станции; является частным случаем космической радиосвязи.

По охватываемой территории СССР подразделяются на:

- международные, в состав которых входят ЗС различных стран, различают:
 - а) глобальные (с всемирным охватом) - Интерспутник, Интелсат;
 - б) региональные - Евтелсат, Арабсат;
- национальные - все ЗС находятся в пределах одной страны - Экран, Москва, Орбита, различают:
 - а) зонавые, ЗС находятся в пределах одной из зон (районов);
 - б) ведомственные, ЗС принадлежат одному ведомству (организации, фирме).

ССС применяют для передачи различных видов информации:

- программ телевидения; различают системы обмена телевизионных программ между равноправными ЗС и системы циркулярного распределения программ то передающей ЗС к большому числу приемных ЗС;
- других видов симплексных сообщений, чаще всего циркулярного характера: программ звукового вещания, изображений газетных полос;
- телефонных сообщений, дуплексных по своему характеру; каналы ТЧ могут использоваться для обмена другими видами информации - телеграфной, дискретной от ЭВМ и других источников.

В зависимости от типа ЗС и назначения системы различают следующие службы радиосвязи:

- фиксированная спутниковая служба (ФСС) - служба радиосвязи между ЗС, расположенными в определенных (фиксированных) пунктах, при использовании одного или нескольких спутниках;
- подвижная спутниковая служба - между подвижными ЗС при использовании одного или нескольких спутников. Различают сухопутную, морскую и воздушную.
- радиовещательная спутниковая служба - сигналы со спутника предназначены для непосредственного приема населением. Возможен индивидуальный и коллективный прием, в последнем случае программа вещания (телевизионная или звуковая) доставляется абонентам с помощью наземной системы распределения -кабельной или эфирной, передатчиком небольшой мощности.

3.2 Основные показатели СССР.

3.2.1 Основные показатели ЗС.

Диапазон частот на прием и передачу.

Регламентом радиосвязи для СССР выделены дискретные диапазоны частот в пределах от 235 МГц до 275 ГГц. Эти диапазоны различны для фиксированных радиовещательных и подвижных служб, с некоторым исключением. Например, частично совпадают диапазоны частот космос-земля фиксированной и радиовещательной служб. По использованию диапазонов земной шар разделен на три района Европа, Африка, СССР, МНР, Северная и Южная Америка, Азия, Океания, Австралия. В нашей стране большинство ЗС фиксированной службы работает в диапазоне 4 или 11 ГГц на прием и 6 или 14 ГГц на передачу Точные полосы частот составляют

4ГГц - 3400...4200МГц,
6ГГц - 5725...7075 МГц,
11ГГц - 10,7...11,7 ГГц,
14ГГц - 14...14,5ГГц.

Добротность станций на прием (G/T).

Отношение усиления антенны (дБ) к суммарной шумовой температуре станций в дБ относительно 1°К (дБ/1°К). Для самых больших антенн, например 32 м, добротность достигает 42 дБ/К. Для большинства национальных и региональных систем - 20...31,7 дБ/К.

Диаметр антенн.

Диаметр антенны определяет размеры, стоимость и пространственную избирательность ЗС. На ЗС телефонного обмена применяют антенны диаметром от 1 – 4...32 м. На ЗС приема циркулярной информации от 0,6 до 2,5 - 4 м.

Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность (ЭИИМ).

Произведение мощности передатчика на усиление антенны относительно изотропной антенны, обычно имеет значение в пределах 50...95 дБ.

3.2.2 Основные показатели КС.

В основном КС характеризуется теми же показателями, что и ЗС рабочим диапазоном частот, добротностью, и ЭИИМ. Различия в значениях параметров.

Добротность приемного тракта КС составляет –20...–3 дБ/К. ЭИИМ не превышает значений 213...45 дБ.

Для КС существуют характерные для них показатели:

- Пропускная способность. Число организованных через ИСЗ телефонных и (или) телевизионных каналов. Зависит от многих факторов. Главные из них число стволов, полоса пропускания и ЭИИМ. Понятие ствол для бортового ретранслятора имеет следующее значение, весь диапазон частот, в котором работает система связи, имеет участки шириной 35 и 40МГц; 80...120МГц. Усиление сигналов в этих участках осуществляется отдельным трактом стволом. Обычно на ИСЗ число стволов 6...12, на более мощных, например Интелсат VI: 27...48 стволов.
- Зона покрытия. Часть поверхности земного шара в пределах, которой обеспечивается уровень сигналов от ИСЗ, необходимый для их приема с заданным качеством на ЗС определенной добротности. А также гарантируется способность принять на входе ИСЗ сигналы от ЗС, обладающих определенной ЭИИМ. В основном определяется шириной диаграммы направленности бортовых антенн и их ориентацией.
- Срок службы ИСЗ. Время наработки до полного отказа одного или нескольких стволов КС с вероятностью не менее 0,9. Реально в современных ИСЗ 3-7 лет.

3.2.3 Основные показатели ССС.

Включают в себя показатели как ЗС, так и КС, но эти показатели характеризуют интегральные параметры системы в целом.

1. Зона видимости ИСЗ - часть поверхности земли, с которой ИСЗ виден под углом места больше некоторого минимально допустимой величины в течение заданной длительности сеанса связи.

Зона покрытия - часть зоны видимости, в которой обеспечиваются необходимые энергетические соотношения на линии связи при определенных энергетических параметрах ЗС.

Зона обслуживания - часть поверхности земли, на которой расположены ЗС данной сети, т.е. зона в которой необходимо обеспечить нормальную работу земных станций.

Зона обслуживания системы - объединение зоны обслуживания отдельных ИСЗ, входящих в систему. Термин объединение применен потому, что зоны отдельных ИСЗ накладываются друг на друга, поэтому общая зона, оказывается, по площади меньше суммы площадей отдельных зон.

2. Пропускная способность системы. (ПСС) - объединение пропускных способностей, входящих в систему ИСЗ. ПСС меньше суммы пропускных способностей отдельных ИСЗ, поскольку для связи между собой станций, работающих через разные ИСЗ, часть каналов транслируется двумя КС последовательно или с помощью двускачковых линий (Земля - ИСЗ - Земля - ИСЗ - Земля), или прямых межспутниковых соединений (Земля - ИСЗ - ИСЗ - Земля).

3. Число и размещение ЗС.

4. Число ИСЗ и тип их орбиты. Точка размещения на геостационарной орбите.

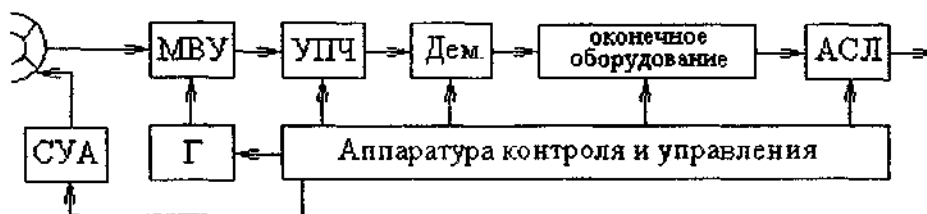
5. Число стволов на ИСЗ, их полоса пропускания, значение числа центральных стволов на участках Земля - ИСЗ и ИСЗ - Земля.

6. Качество каналов передачи сообщения. Определяется отношением с/ш, полосой пропускания и методами модуляции. В ССС при передаче сообщений в аналоговой форме применяется частотная модуляция, в дискретной форме - фазовая манипуляция.

7. Многостанционный доступ (МД). Совмещение сигналов излучаемых различными ЗС для их прохождения через общий ствол для их ретранслятора. МД применяют потому, что оказывается не практичным или невозможным создать число стволов на ИСЗ равное числу ЗС в системе. Существуют МД с разделением сигнала по частоте, форме, и времени. Всякий способ МД приводит к уменьшению пропускной способности ствола до 3...6 дБ по сравнению с односигнальным режимом.

3.3 Состав земных и космических станций.

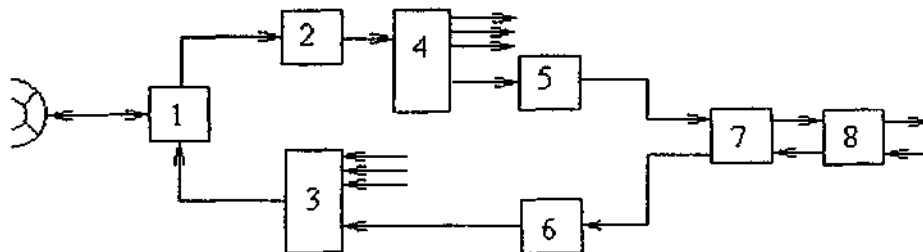
Рассмотрим на примере упрощенных структурных схем.



1. Одноствольная приемная ЗС.

Малозумящее входное устройство (МВУ) содержит малозумящий усилитель (МШУ) и УПЧ. После демодуляции и преобразования в оконечном оборудовании и аппаратуре соединительной линии (АСЛ) сигнал поступает к потребителю по наземной соединительной линии. Система управления антенной (СУА) служит для наведения антенны на ИСЗ. В нее входят аппаратура наведения и электропривод.

2. Многоствольная приемо-передающая ЗС.



Антенна с системой наведения используется одновременно для приема и передачи.

1 - Фильтр разделения приема и передачи;

2 - МШУ;

3 - устройство сложения передатчиков различных стволов;

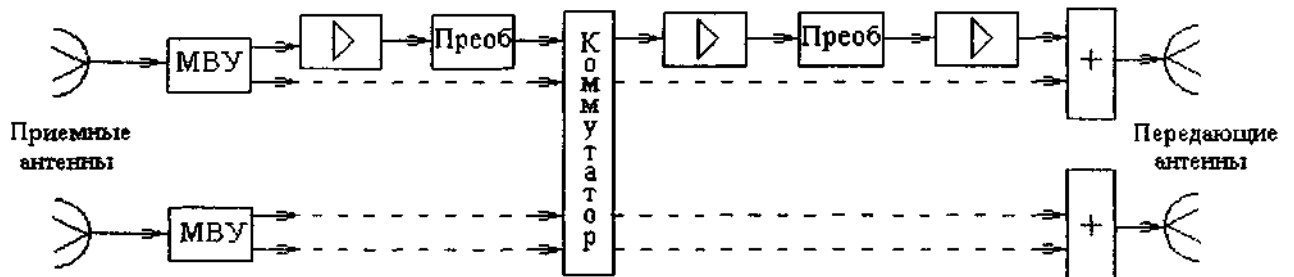
4 - устройство разделения принимаемых сигналов различных стволов;

5 - приемной устройство одного ствола;

- 6 - передающее устройство ствола;
- 7 - оконечное устройство ствола;
- 8 - АСЛ.

3. Бортовой ретранслятор КС.

В отличие от ЗС, на борту ИСЗ обычно устанавливают несколько приемных и передающих антенн для того, чтобы сформировать различные зоны обслуживания и привести в соответствие излучение антенн с размещением ЗС на поверхности земли.



Применяют два метода построения тракта:

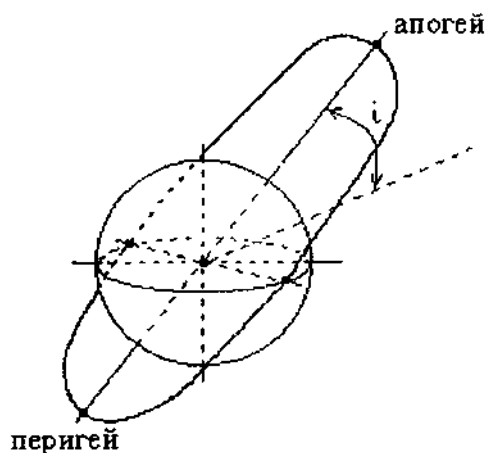
- Усиление производится на частоте приема, затем на УТТЧ и после второго преобразования на частоте передачи.
- Однократное преобразование частоты приема в частоту передачи.

В схеме могут применяться устройства разделения, коммутации сигналов, цель которых, подать сигналы, адресованные тем или иным ЗС на передающие антенны с соответствующей зоны обслуживания. Коммутация сигналов может осуществляться как в пределах одного ствола, так и в нескольких стволах.

Существуют системы КС с быстродействующей переориентацией узкого луча антенны, что позволяет осуществлять связь со многими ЗС через остронаправленные антенны не увеличивая числа антенн на борту ИСЗ.

В схему ретранслятора входят также каналы резервирования и устройства переключения на резерв. Поэтому, в ряде случаев, осуществляется обработка сигналов: преобразование видов модуляции, регенерация сигнала и др.

3.4 Орбиты ИСЗ



Траектория движения ИСЗ называется его орбитой. Под действием гравитационного поля земли движение спутника подчиняется законам Кеплера. Оно происходит в плоскости проходящей через центр земли - плоскости орбиты. Орбита имеет форму эллипса (или окружности).

Полная механическая энергия (кинетическая и потенциальная) спутника при движении остается неизменной. Вследствие чего при удалении спутника от земли, скорость его движения уменьшается.

Линия пересечения плоскости орбиты с плоскостью экватора называется плоскостью узлов. Угол i между плоскостью орбиты и плоскостью экватора называется наклоном орбиты.

По наклону различают следующие орбиты:

Экваториальные - $i = 0^{\circ}$,

Полярные - $i = 90^{\circ}$

Наклонные - $0^{\circ} < i < 90^{\circ}; 90^{\circ} < i < 180^{\circ}$.

Точка пересечения радиус-вектора с поверхностью земли в момент прохождения спутников апогея называется долгой апогея и долгой подспутниковой точки.

Период обращения T - время между двумя последовательными прохождениями одной и той же точки орбиты.

Для систем связи и радиовещания необходимо чтобы имелась прямая видимость между спутником и соответствующими ЗС в течение сеанса связи достаточной длительности.

Если сеанс не круглосуточный, то желательно чтобы он повторялся ежедневно в одно и то же время. Поэтому для систем связи применяют синхронизированные орбиты с периодом обращения равным или кратным времени оборота Земли вокруг оси (звездным суткам):

$$T = T_3 \cdot (m/n), \text{ где } m, n \in \mathbb{Z}.$$

Число оборотов ИСЗ за сутки:

$$N = T_3 / T = m / n.$$

Параметры синхронных орбит:

| T, час | N | Круговая орбита h, км | Эллиптическая орбита, км | |
|--------|---|-----------------------|--------------------------|----------|
| | | | h перигея | h апогея |
| 4 | 6 | 6750 | 500 | 13000 |
| 6 | 4 | 10750 | 500 | 21000 |
| 8 | 3 | 14250 | 500 | 28000 |
| 12 | 2 | 20375 | 500 | 40250 |
| 24 | 1 | 35875 | 500 | 21250 |

Для ССС применяют три разновидности орбит: высокоэллиптические орбиты, орбиты низколетящих спутников и геостационарная орбита.

1. Высокоэллиптическая орбита с периодом обращения $T=12$ часов. Наклонение плоскости орбиты $i = 63,4$. На нее выводится ИСЗ связи и вещания "Молция". Движение ИСЗ на большой высоте в области апогея замедляется, а область перигея спутник проходит очень быстро. Зона видимости ИСЗ на этой орбите в течение большей части витка велика. Она расположена в северном полушарии, поэтому удобна для северных стран. Обслуживание всей территории России возможно не менее восьми часов. Поэтому трех ИСЗ, сменяющих друг друга, достаточно для обеспечения бесперебойной работы в течение суток. Антенны ЗС следящие. В системе существует значительный частотный сдвиг, обусловленный эффектом Доплера.

2. Орбиты низколетящих спутников. Различают синхронные круговые и несинхронные. Возможна низкая эллиптическая орбита, период обращения которой равен 4 часа ($T=4$). Антенны ЗС следящие. В системе существует значительный частотный сдвиг, обусловленный эффектом Доплера.

3. Геостационарная орбита. Круговая экваториальная синхронная орбита с периодом обращения 24 часа ($T=24$). Движение ИСЗ в восточном направлении Геостационарный ИСЗ неподвижен относительно поверхности земли. Он располагается над экватором на высоте 35875 км, с некоторой неизменной долгой λ подспутниковой точки.

Достоинства геостационарных ИСЗ для систем связи.

- Связь осуществляется непрерывно, круглосуточно без переходов с одного ИСЗ на другой.

- Антенны ЗС неподвижны и ориентированы на одну точку орбиты.
- Достигается более стабильное значение ослабления сигнала на трассе космос-земля.
- Отсутствует или пренебрежимо мал частотный сдвиг из-за эффекта Доплера. Зона видимости геостационарного ИСЗ около 1/3 земной поверхности.
- Трех геостационарных ИСЗ достаточно для создания системы связи.

Геостационарная орбита уникальна. Ни при каком другом сочетании параметров нельзя добиться неподвижности свободно движущегося ИСЗ относительно земной поверхности. Геостационарная орбита широко используется спутниками связи и на многих участках радиочастот насыщена спутниками до предела.

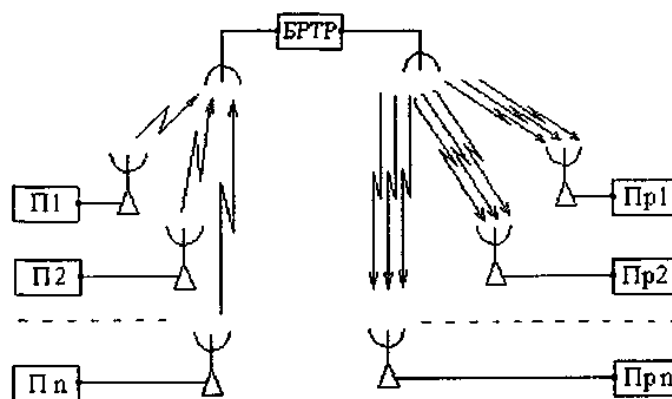
В то же время геостационарная орбита обладает существенным недостатком для нашей страны. В высоких широтах геостационарный ИСЗ виден под малыми углами места, что приводит к затенению спутника местными предметами, увеличивает шумы антенн, создаваемые шумовым радиоизлучением Земли. Углы места на геостационарный спутник уменьшаются также с удалением по долготе от точки приема от долготы ИСЗ. Таким образом, для обслуживания территорий в высоких широтах геостационарный ИСЗ должен размещаться по возможности близко к центральной долготе обслуживаемой зоны. Участок ГО, в пределах которого можно менять точку стояния ИСЗ с сохранением необходимой зоны обслуживания, называется дугой обслуживания.

Под влиянием ряда возмущающих факторов реальный ИСЗ отличается от геостационарного. Отклонение от строгой экваториальности вызывает колебания спутника по долготе и широте. Изменение отклонения за год может составить 1° , так что через год-два после вывода спутника на орбиту его колебания сильно повлияют на работу всей системы связи (сокращается зона обслуживания, требуется автоматическое наведение земных антенн и т.д.).

Для соблюдения стабильности геостационарных ИСЗ необходимо периодически корректировать его движение с помощью специальных корректирующих двигателей.

3.5 Многостанционный доступ (МД).

Под МД понимают возможность обращения (доступа) нескольких ЗС к одному бортовому ретранслятору (БРТР) ИСЗ, при котором все станции могут передавать через этот ствол свои сигналы. МД представляет собой специфическую особенность спутниковой связи, позволяющую повысить эффективность стволов БРТР.



Передатчик ЗС излучает в сторону ИСЗ, одновременно с этим ретранслятором воздействуют сигналы других $n-1$ земных станций, которые для первого сигнала являются помехой, а также флуктуационный шум участка Земля-Космос. Мощность помех на входе ретранслятора:

$$P_n = \sum_{i=1}^{n-1} S P_{ci} + P_{ш};$$

где S - коэффициент, учитывающий относительное различие мощностей мешающих сигналов;

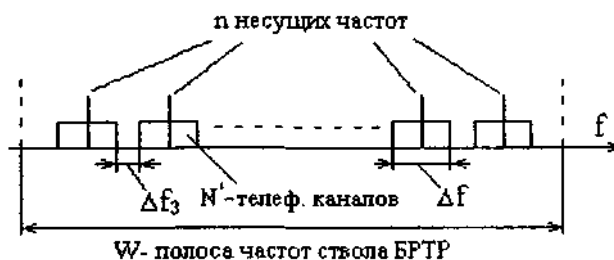
P - коэффициент, учитывающий время существования мешающих сигналов.

Наличие в тракте БРТР элементов с нелинейными амплитудными и фазовыми характеристиками приводит к появлению дополнительных помех.

Для того, чтобы исключить взаимное влияние сигналов различных ЗС друг на друга, эти сигналы должны быть разделяемыми (математически-ортогональными). В МД применяют три типа разделения сигналов: по частоте, по времени и по форме.

3.5.1 МД с частотным разделением сигналов (МДЧР).

Метод является наиболее простым и распространенным.



Каждая ЗС передают свои сигналы в отведенном ей участке частотного спектра с полосой частот Δf , модуляция несущей может осуществляться по частоте или по фазе. Между участками спектра Δf предусматриваются защитные частотные интервалы Δf_3 . В общем стволе БРТР с полосой частот W передается n радиосигналов, каждый из которых несет N телефонных или иных сообщений. Полное число каналов $N = nN$. При МДЧР возникают следующие эффекты:

- потери (снижение) выходной мощности ретранслятора в многосигнальном режиме;
- подавление слабых сигналов сильными;
- перекрестные (интермодуляционные помехи) из-за нелинейности амплитудной характеристики;
- эффект АМ-ФМ преобразования - обусловлен тем, что в тракте БРТР имеются элементы (в особенности выходная ЛБВ), у которых вносимый или фазовый сдвиг зависит от уровня сигнала. В результате в случае сигнала с непостоянной огибающей (сумма нескольких синусоидальных сигналов, паразитная АМ) происходит преобразование АМ в паразитную ФМ, которая после демодуляции приводит к появлению внятной или невнятной переходной помехи в НЧ канале.

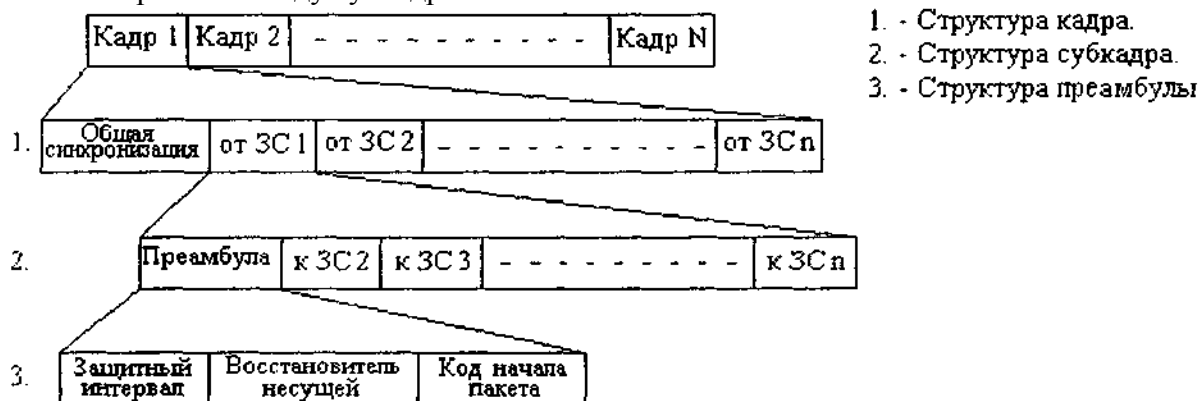
Для уменьшения влияния всех перечисленных эффектов необходимо снизить уровень продуктов нелинейности в многосигнальном режиме, т.е. работать на линейном участке амплитудной характеристики. А для этого приходится снижать выходную мощность. Таким образом, в многосигнальном режиме использование мощности БРТР значительно снижается, что является одним из главных недостатков систем МДЧР.

3.5.2 МД с временным разделением (МДВР)

Ортогональность сигналов различных станций достигается тем, что каждой станции сети для излучения сигналов выделяется определенный, периодически повторяющийся временной интервал, длительность которого в общем случае определяется трафиком станции.

Интервалы излучения всех станций взаимно синхронизированы, поэтому они не перекрываются. Интервал времени, в течение которого все станции сети по одному разу излучают свой сигнал, называется кадром, а длительность пакета, излучаемого одной станцией, называется субкадром. Такая система позволяет использовать БРТР в режиме максимальной мощности, т.к. в каждый момент через ретранслятор проходит сигнал только одной станции. По этой же причине отсутствует проблема интермодуляционных помех. Эффективность использования времени работы ретранслятора определяется необходимостью введения защитных вре-

менных интервалов между субкадрами.



Рассмотрим формат кадра системы МДВР.

Кадр МДВР содержит сигнал общей синхронизации, передаваемой центральной станцией сети, и информационные пакеты (субкадры) различных ЗС. Субкадр состоит из преамбулы и информационных пакетов, предназначенных различным станциям сети. Преамбула включает в себя защитный временной интервал, сигнал восстановления несущей для синхронизации демодулятора и сигнал начала пакета, показывающий границы информационного пакета.

Одна из основных проблем для систем МДВР - обеспечение синхронной работы ЗС. Аппаратура синхронизации выполняет две задачи: обеспечение синхронной работы при передаче и приеме информации, и вхождение в синхронизм.

Синхронизация при приеме и передаче обеспечивается передачей в системе сигнала кадровой синхронизации. Синхронизация на приеме необходима для определения временного положения субкадров станций-корреспондентов и осуществляется путем детектирования синхросигнала опорной станции. Период повторения этого сигнала и задает кадр системы.

Синхронизация на передачу требуется для удержания собственного излучаемого сигнала в рамках выделенной этой станции субкадра и осуществляется периферийными станциями с помощью управления фазой передачи собственных сигналов в кадре при сравнении ее с фазой синхросигнала.

Вхождение в синхронизм требуется при первоначальном включении станций в работающую сеть после перерыва связи. К процедуре вхождения предъявляются следующие требования: минимальное влияние сигнала вхождения на информационные сигналы работающих ЗС; минимальное влияние информационных сигналов на качество приема сигналов вхождения; малое время вхождения в синхронизм.

В различных системах МДВР нашли применение три способа вхождения в синхронизм:

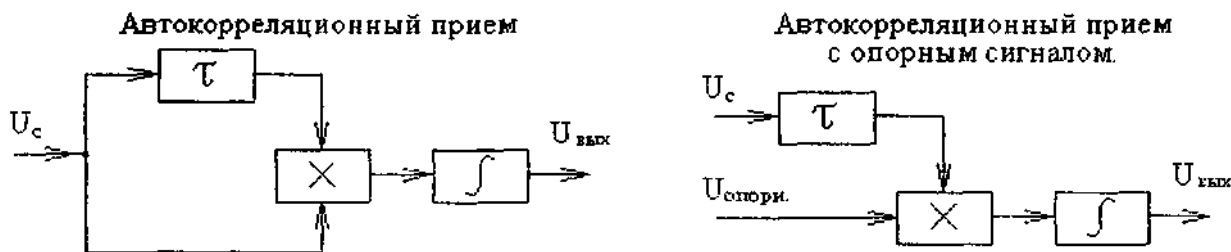
1. Передача специального сигнала вхождения небольшого уровня в течение времени, необходимого для установления кадровой синхронизации. Способ создает минимальные помехи другим станциям, но время вхождения велико - несколько секунд.
2. Установка временных соотношений в системе на основе точного измерения и предсказания траектории движения ИСЗ. При этом способе помехи также не создаются, но требуется наличие сети измерительных пунктов, обеспечивающих очень высокую точность траекторных измерений.
3. Однократная передача короткого синхросигнала полной мощности с последующей регулировкой фазы генератора кадровой синхросигнала. Способ создает кратковременную помеху всем работающим в сети станциям, но аппаратурно реализуется наиболее просто и оказывается предпочтительным в случаях редкого осуществления процедуры вхождения в синхронизм.

3.5.3 Многостанционный доступ с кодовым разделением (МДКР).

В режиме МДКР сигналы различных ЗС усиливаются БТРП одновременно, но разных ча-

стотах, при МДВР сигналы передаются на одной частоте, но усиливаются БРТР в различные интервалы времени, строго распределенные между ЗС.

При МДКР сигналы всех ЗС передаются через ретранслятор одновременно и в одной полосе частот. Каждая передающая ЗС излучает сигнал, имеющий свой индивидуальный код, позволяющий разделить сигналы разных ЗС. В приемнике выделяются сигналы с кодами, предназначенными для данной ЗС. В этих системах используются шумоподобные сигналы (ПШС), обладающие хорошими корреляционными свойствами. Это позволяет разделить их в приемнике с помощью методов корреляционного приема.



Достоинства систем МДКР.

1. Высокая помехоустойчивость, особенно от узкополосной помехи,
2. Закрытость информации, обусловленная кодированием;
3. Низкая спектральная плотность излучаемых сигналов, что обеспечивает условия ЭМС спутниковых систем.

Недостатки систем МДКР:

1. Более низкая эффективность использования полосы частот, т.к. применение ШПС приводит к существенному расширению полосы частот по сравнению с полосой модулирующего сигнала. Поэтому в системах МДКР передают преимущественно низкоскоростную информацию (потoki со скоростью 9,6... 19,2 Кбит/с).
2. Ограниченное число станций в сети, определяемое запасом по помехе M , равному допустимому отношению мощности помехи и сигнала.

В системах МДКР основное влияние на качество передачи оказывают не тепловые шумы приемника, а излучения других станций сети, совмещенные с полезным сигналом, как по частоте, так и по времени. Если сигналы всех n станций сети имеют одинаковый уровень P , то мощность помех, воздействующих на i -ю станцию сети, равна $P_{ном} = (n - 1)P$. Тогда

$$M = \frac{P_{ном}}{P} = \frac{(n - 1)P}{P} = n - 1$$

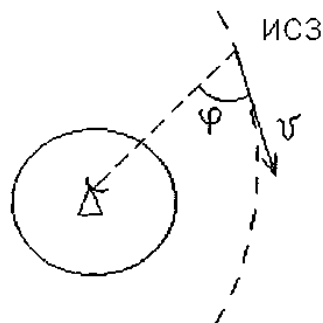
откуда предельное число ЗС в сети: $n = M + 1$.

В системах МДКР может использоваться как фазовая, так и частотная модуляция. В целом применение техники кодового разделения в спутниковых сетях не налагает каких-либо специфических требований на аппаратуру, и она подобна той, что используется в многоадресных системах с кодовым разделением.

3.6 Эффект Доплера.

Эффектом Доплера называется явление изменения частоты принятых колебаний из-за взаимного перемещения передатчика и приемника. Относительное изменение частоты у приемника:

$$\frac{\Delta f}{f_0} = \frac{v}{c} \cos \varphi$$



Оно будет наибольшим, если передатчик движется относительно приемника по линии связи, т.е. $\varphi=0$ или $\varphi=\pi$:

$$\Delta f = f_0 \frac{v}{c}$$

При сближении частота возрастает пропорционально v/c , при удалении - уменьшается. На высоких эллиптических орбитах или несинхронных орбитах низколетящих спутников сдвиг частоты может быть значительным, например, для ИСЗ "Молния" до $\Delta f / f_0 = (1..2) \cdot 10^{-3}$. При идеальной ГО доплеровский сдвиг не возникает, в случае реального геостационарного ИСЗ не более 10^{-8} .

В работе линии связи доплеровский сдвиг вызывает два нежелательных явления.

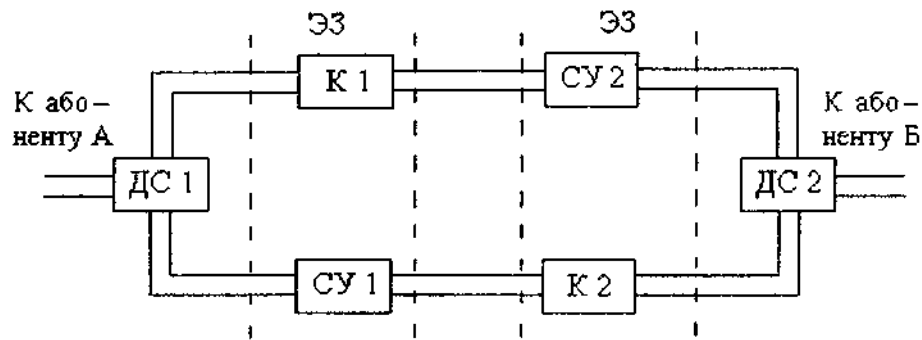
1. Нестабильность несущей частоты передаваемых сигналов, что особенно сказывается при передаче узкополосных сигналов, в частности одноканальной телефонии по методу ОКН - один канал на несущей.

2. Изменение частоты модулирующих колебаний. Весь спектр растягивается или сжимается в зависимости от направления движения и вместо частоты F на выходе демодулятора частота будет равна $F [1+v(\cos\varphi)/c]$. Такое же изменение претерпевает частота следования дискретных сигналов, что неприемлемо в случае синхронных цифровых сетей, где требуется $\Delta f / f_0 = 10^{-11}$. Доплеровский сдвиг в ССС компенсируется с помощью буферных устройств на входе и выходе линии связи.

3.7 Запаздывание сигналов.

Впервые было обнаружено при дуплексной связи на длинных наземных линиях. Для такой связи применяют двух проводные абонентские линии между узлами коммутации: в точках перехода с четырех - на двухпроводную цепь. В диф. системах всегда возникает рассогласованность и образуются отражения (эхосигналы), распространяющиеся в обратном направлении и достигающие уха говорящего абонента через двойное время распространения сигнала по линии связи. Когда запаздывание невелико, эхосигналы воспринимаются как некоторое послезвучание (гулкость), если велико, то они воспринимаются отдельно и создают помеху разговору.

Запаздывание в ССС может достигать 300 мс. При передаче однонаправленных сообщений (программы ТВ, звуковое вещание, телеграфная связь) это запаздывание не ощущается потребителем, но при дуплексной связи запаздывание на 600 мс заметно и для ослабления его влияния в каждом канале на линиях спутниковой связи (и длинных наземных линиях) применяют эхограбители, запирающие канал, обратный говорящему абоненту.



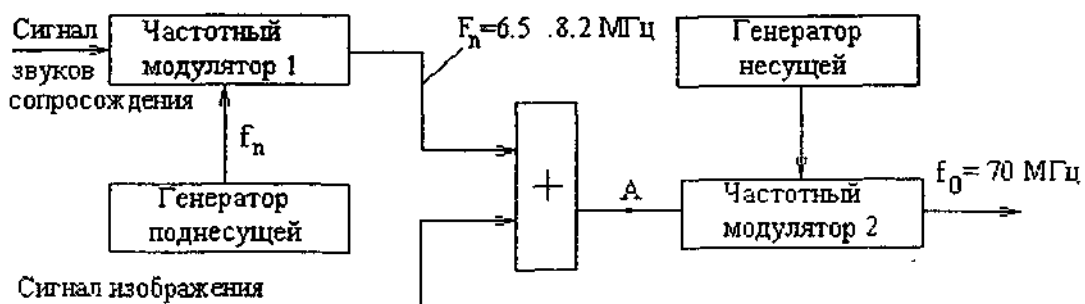
ДС1 и ДС2 - диф. системы в местах перехода с двух - на четырехпроводные линии. Когда абонент А говорит, схема управления СУ2 на приемном конце канала у абонента Б воспринимает речевые сигналы и запирает ключ К2 в канале на передачу от Б к А. Когда абонент А прекращает говорить, СУ2 открывает К2 и абонент Б может отвечать. Однако даже при наличии эхоградителей разговор по двухскачковой линии затруднен. Поэтому налагается ограничение на применение составных линий связи, содержащих два пролета Земля -ИЗ - Земля, что вообще ограничивает применение ССС в сети связи, особенно автоматизированной.

3.8 Методы передачи сигналов в ССС.

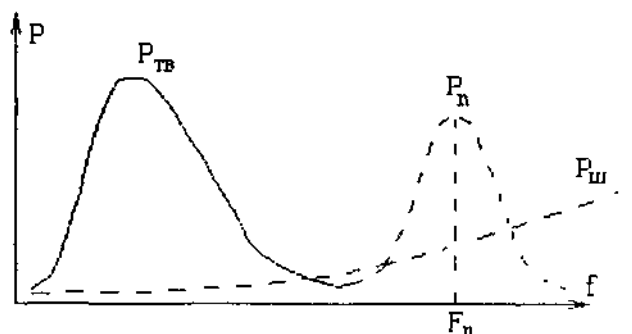
3.8.1 Методы передачи сигналов телевидения.

В наземных телецентрах применяется АМ с частично подавленной боковой полосой (АМ/ОБП). В РРЛ сигналы ТВ передаются с применением ЧМ, девиация частоты до 8 МГц. В спутниковых линиях связи используется большая девиация частоты - от 6 до 15 МГц - для увеличения выигрыша в помехоустойчивости и увеличения помех, создаваемых другим системам. Телевизионное цветное изображение обычно передается в том же виде в каком оно поступает от источника информации, т.е. в стандарте СЕКАМ (Россия), либо в стандартах ПАЛ или НТСЦ. В последнее время начинает использоваться система МАК с временным уплотнением сигналов яркости, цветности и звукового сопровождения.

Особая проблема - передача сигналов звукового сопровождения. В отечественных системах применяется передача этих сигналов на поднесущей частоте (6,5; 7; 7,5, 8.2 МГц) методом двойной ЧМ.



Спектральная плотность сигнала в точке А имеет вид



На приемной стороне преобразование осуществляется в обратной последовательности. В системах "Орбита" и "Москва" в качестве поднесущих выбраны частоты 7, 7.5. и 8.2 МГц, девиация частоты поднесущей составляет ± 150 кГц.