

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

## **ОПИСАНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ РРЛ ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ**

Методические указания к дипломному проектированию и  
курсовому проектированию по дисциплинам:  
«Проектирование радиорелейных систем передачи»,  
«Проектирование спутниковых и радиорелейных систем  
передачи»

Составил В. А. Корнеев

Рязань 2012

Одобрено методическим советом  
Рязанского государственного радиотехнического университета

В методических указаниях рассматривается методика решения типовых задач проектирования РРЛ прямой видимости. Приводятся порядок расчета и оптимизации основных параметров РРЛ и качественных показателей каналов связи, основные конструктивно-технические характеристики типовой аппаратуры РРС. Методические указания предназначены для студентов пятого курса дневного факультета, выполняющих курсовой и дипломный проекты по дисциплинам: «Спутниковые и радиорелейные системы передачи», «Проектирование радиорелейных и спутниковых систем передачи».



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая методическая разработка предназначена для студентов пятого курса специальности 0708 и имеет целью облегчить им работу над курсовым и дипломным проектированием радиорелейных линий связи. При выполнении этих проектов студентам приходится решать ряд разнообразных задач на базе типовой отечественной и зарубежной аппаратуры радиорелейных систем, применяемых для организации магистральных и зонных радиорелейных линий прямой видимости. Материалы, необходимые для решения некоторых из этих задач, в учебной литературе либо не освещаются (например, составление структурных схем различных типов РРС при заданном типе аппаратуры), либо носят общий характер и недостаточно увязаны с конкретными типами применяемой аппаратуры. Справочные и инструктивные документы по эксплуатации конкретных типов РРС имеют крайне ограниченный доступ и не могут являться учебно-методическими пособиями, что существенно затрудняет пользование необходимым справочным материалом. Кроме того, некоторые положения, встречающиеся в соответствующих литературных источниках и понятные опытным специалистам, требуют пояснения для усвоения их студентами.

В связи с этим методическая разработка включает в себя основные характеристики типовой аппаратуры РРС, описание планов рабочих частот и принципов организации ВЧ приёмопередающих стоек и стойки служебной связи возможных вариантов РРС на основе их типовой комплектации.

## ВВЕДЕНИЕ

В нашей стране разработки и внедрены в производство и эксплуатацию несколько типов радиорелейных систем. Эти системы по своим качественным показателям удовлетворяют рекомендациям МКРР и нормам ЕАСС. Одной из первых РРС была система типа Р-60/120, предназначенная главным образом для организации телефонной связи и передачи телевизионных программ на линиях республиканского и областного значения. Эта система была разработана в 1953-1958 гг. однако она не отвечает требованиям на некоторые качественные показатели каналов связи (например, не обеспечивает передачу сигналов цветного телевидения с удовлетворительным качеством), и производство её прекращено (но ещё находится в эксплуатации).

Дальнейшим этапом в развитии радиорелейной техники явилось создание РРС типа Р-600, а затем нескольких её модификаций: Р-600М, Р-6002М, Р-6002МВ («Рассвет-1») и «Рассвет-2». Эти РРС предназначены для организации магистральных РРЛ, рассчитанных на передачу сигналов многоканальной телефонии (до 600 каналов) и телевидения (видео сигнала с полосой частот от 25 Гц до 6 МГц, сигнала звукового сопровождения на поднесущей 8МГц), и работают в диапазоне частот 3,4-3,9 ГГц.

В системе Р-600М модернизированы элементы волноводного тракта станций, разделительные фильтры, ВЧ приёмопередающие стойки и стойки служебной связи оконечных и промежуточных станций, разработан блок частотного уплотнения для организации двух разговорных служебных каналов постанционной служебной связи.

Система Р-600М обладает лучшими эксплуатационными параметрами и большим



энергетическим потенциалом. Ёмкость телефонного ствола расширена до 1020 каналов.

Система Р-6002МВ («Рассвет-1») предназначена для установки на главных магистралях большой протяжённости и отличается от системы Р-6002М планом распределения частот. РРЛ, оборудованная системой Р-6002МВ, представляет собой линию со 100-процентным резервом в каждом стволе.

Модернизированная система «Рассвет-2» является дальнейшим усовершенствованием системы Р-6002МВ, в которой организуется не два, а четыре ВЧ ствола, три из которых рабочие.

Кроме отечественной аппаратуры, в Советском Союзе применяются зарубежные РРС с параметрами, близкими к параметрам системы Р-600: ГТТ-4000/600 – производства Венгерской Народной Республики и ФХ-686 – производства Франции.

Для магистральных РРЛ разработаны системы большой ёмкости «Восход» и «Дружба» (до 1920 каналов в стволе); в которых организуется восемь широкополосных рабочих стволов. РРС «Восход» разработана в СССР, а система «Дружба» (ГТТ-6000/1920) создана совместно советскими и венгерскими научно-исследовательскими организациями. Аппаратура РРС «Восход» и «Дружба» выполнена полностью на полупроводниковых приборах (за исключением ЛБВ в выходных каскадах усиления СВЧ).

В последнее время разработан и внедряется комплекс унифицированных систем КУРС, предназначенных как для магистральных линий (КУРС-4, КУРС-6), так и для зонной связи (КУРС-2, КУРС-8). Для всех систем КУРС применяются унифицированные модемы, аппаратура ввода-вывода сигналов многоканальной телефонии, видеосигналов, сигналов звукового сопровождения и радиовещания, системы и аппаратура резервирования, служебной связи (СС), телеобслуживания (ТО), а также система гарантированного

электропитания. Кроме того, в приёмопередающей аппаратуре используются унифицированные блоки (УПЧ, умножители частоты, кварцевые генераторы и т.п.). высокая степень унификации системы позволяет существенно снизить стоимость проектирования, разработки и эксплуатации РРЛ, а также повысить надёжность её работы.

Кроме отечественной аппаратуры на магистральных линиях применяется унифицированная радиорелейная система ФМ 1800/ТВ-3600 (ГДР).

Линии республиканского и областного значения оснащаются РРС средней ёмкости (Р-300) типа КТФ 8000/300, КТТ-8000/300, КТВ-8000, ГТТ-8000/300 (ВНР), ФМ 300/ТВ-11000 (ГДР) и ФМ 960/ТВ-11000 (ГДР). Системы работают соответственно в диапазоне 7,9-8,4 ГГц и 10,7-11,7 ГГц и выполнены полностью на полупроводниковых приборах.

## 1. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ Р-600, Р-600М И Р-6002М

### 1.1. Основные технические характеристики

Радиорелейные системы Р-600, Р-600М и Р-6002М предназначены для организации магистральных РРЛ связи при передаче в одном стволе до 600 телефонных каналов или программе телевидения со звуковым сопровождением. Они работают в диапазоне 3,4-3,9 ГГц по двухчастотному плану распределения рабочих частот, показанному на рис.1.1, который позволяет организовать шесть широкополосных дуплексных стволов и два узкополосных дуплексных ствола служебной связи (СС). По узкополосному стволу организуются следующие каналы СС: районной служебной связи (РСС) и телеобслуживания (ТО). Служебные каналы для передачи обратных



аварийных сигналов (ОАС) и каналы стационарной служебной связи (ПОС) организуются по телефонному стволу. Кроме того, в системе Р-6002М возможна организация всех каналов СС в телефонном стволе (при использовании аппаратуры СС типа «Восход» (см. 3). В системах применяется поучастковое резервирование: как правило, на два рабочих ствола создаётся один резервный (2+1). Типовая комплектация оборудования систем Р-600, Р-600М, Р-6002М рассчитана на организацию линий с тремя широкополосными стволами (ГФ, ТВ, РЕЗ) и одним стволом СС для магистральных направлений (четыре ствола) и с такой же группой стволов на ответвлениях от магистрали (нечётные стволы).

Номинальное значение частот стволів  $f_n$ , МГц в нижней половине диапазона определяются по формуле

$$f_n = f_0 - 208 + 29n,$$

и в верхней по формуле

$$f_n = f_0 + 5 + 29n,$$

при  $f_0 = 3635$  МГц,  $n = 1, \dots, 6$ .

## 1.2. Система резервирования

В телефонной и телевизионной стойках модемы имеют стопроцентный горячий резерв. Переход на резервный комплект осуществляется автоматически при пропадании на выходе устройств пилот-сигнала (ПС) частотой 8,5 МГц.

Стойки служебной связи имеют систему автоматического стационарного резервирования, которая управляется пилот-сигналом частотой 115 кГц.

ВЧ приёмопередающие стойки рабочих стволов резервируются по схеме поучасткового резервирования. При этом, если на каком-либо из интервалов РРД наблюдается существенное ухудшение или нарушение связи по рабочему стволу, то происходит автоматическое

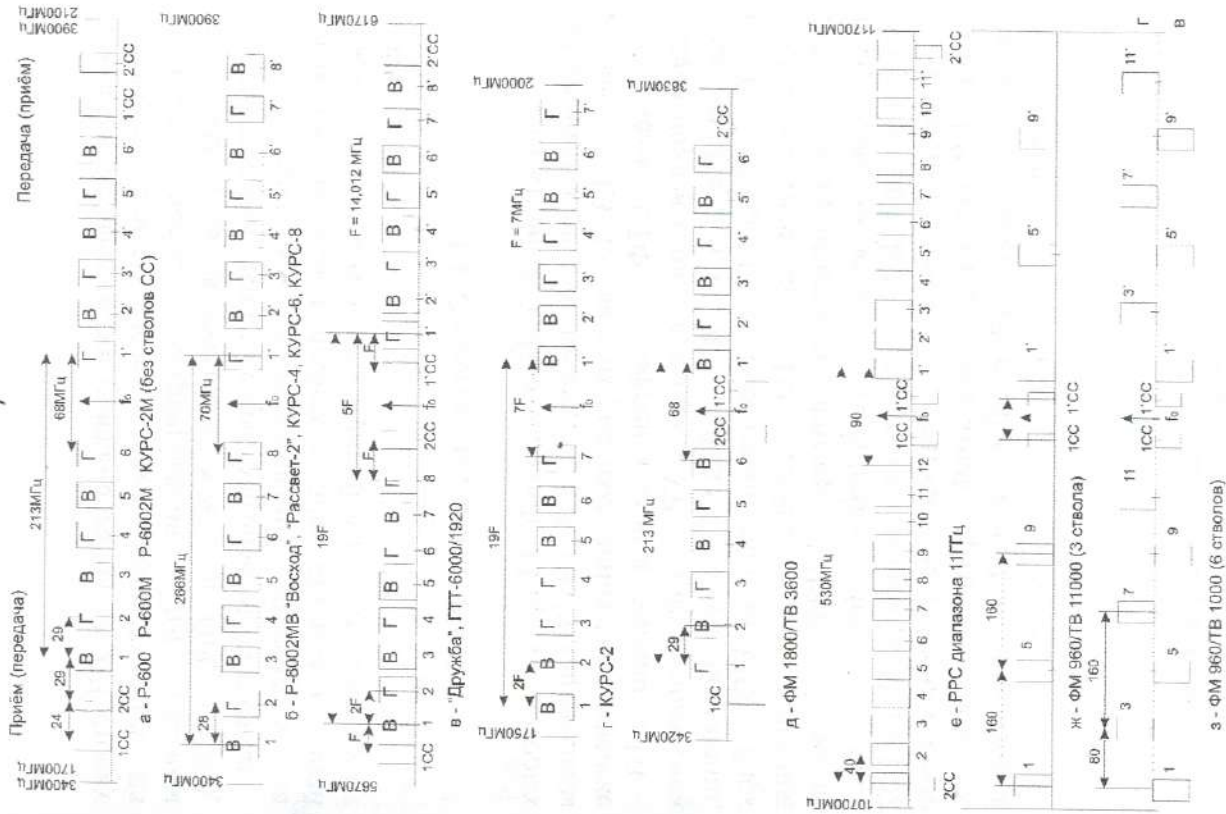


Рис. 1.1 Планы распределения частот

переключение на участке резервирования на ВЧ стойку резервного ствола. Переключение осуществляется на границах участка резервирования. Эти границы определяются двумя соседними УРС (или ОРС и УРС), между которыми расположен рассматриваемый интервал.

Аппаратура телеобслуживания рассчитана на обслуживание десяти промежуточных станций с одной узловой станцией (по пять станций в каждую сторону от узловой).

### 1.3. Структурные схемы станций

Структурные схемы станций РРД, на которых организованы дуплексные стволы: ТФ, ТВ, РЕЗ приведены на рис. 1.2, 1.3, 1.4. на этих рисунках приняты следующие обозначения: СТФ – телефонная стойка станции; СТВ – телевизионная стойка станции; СУР – стойка управления горячим резервом; ССОС – стойка оконечной станции; ССПС – стойка СС промежуточной станции; БЧУ – блок частотного уплотнения; ТО – стойка телеобслуживания; РФ – разделительный фильтр; ПШВУ – панель переговорно-вызывного устройства; БР – блок резервирования; ВВ – устройство ввода-вывода; Пр1 и Пр2 – приёмники прямого и обратного направлений связи стойки ВЧ; П1 и П2 – передатчики прямого и обратного направлений связи ВЧ стойки; М и Д – модулятор и демодулятор.

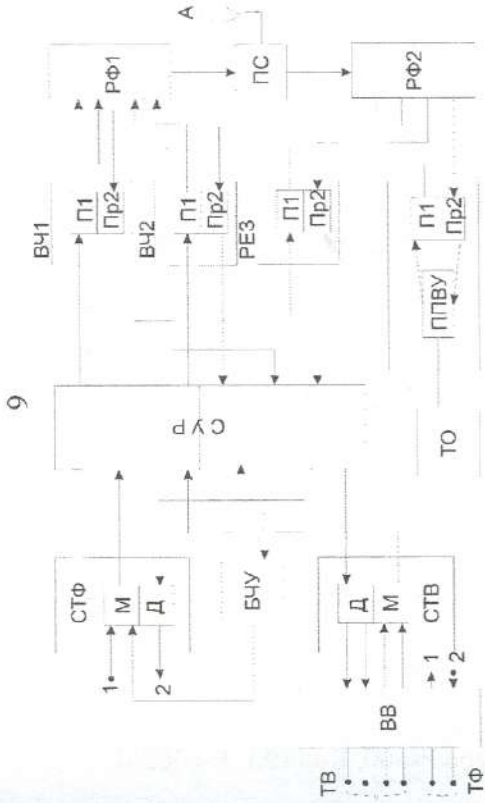


Рис. 1.2. Структурная схема ОРС на аппаратуре Р-600, Р-600М, Р-6002М

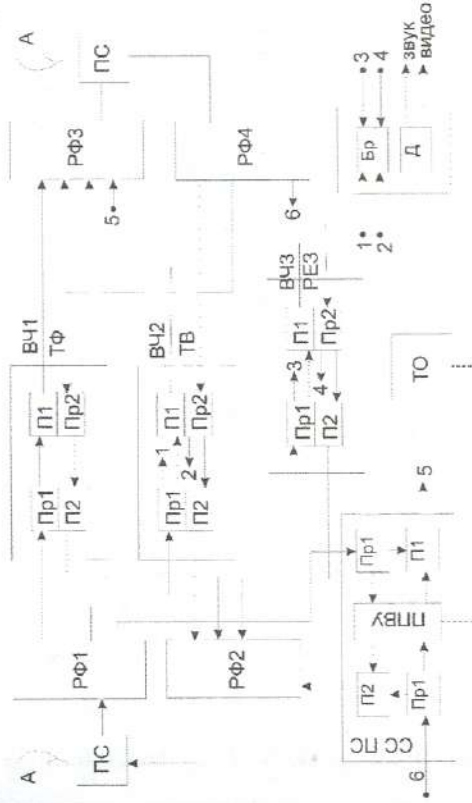


Рис. 1.3. Структурная схема ПРС на аппаратуре Р-600, Р-600М, Р-6002М



## 2. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ Р-6002МВ, «РАССВЕТ-2»

### 2.1. Основные технические характеристики

Системы Р-6002М и «Рассвет-2» предназначены для установки на главных магистралях большой протяжённости (до 12500км), а также на относительно коротких РРЛ при неблагоприятных условиях распространения радиоволн. Аппаратура работает в диапазоне частот 3,4-3,9 ГГц по частотному плану, который показан на рис. 1.1.6. План частот позволяет организовать восемь дуплексных широкополосных стволов. Обычно чётные стволы используются на магистральных линиях, а нечётные – на ответвлениях

Номинальные значения частот стволов определяются по формулам:

$$f_n = f_0 - 259 + 28n; \quad f'_n = f_0 + 7 + 28n,$$

где  $n = 1, \dots, 8; f_0 = 3653$  МГц.

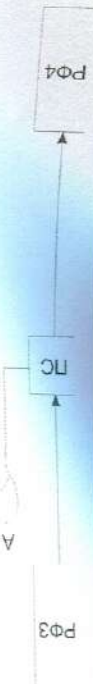
Ёмкость одного ствола 720 или 1020 телефонных каналов либо одна программа телевидения (видеосигнал и сигнал звукового сопровождения).

В системах Р-6002МВ и «Рассвет-2» применяется поучастковое резервирование по схемам 1+1 либо 3+1. Для повышения надёжности связи и уменьшения замираний сигналов на интервалах приёма приёмники рабочих и резервных стволов работают то различных антенн, размещённых на антенных опорах на высоте.

### 2.2. Структурные схемы станций при схеме резервирования 1+1

Структурные схемы ОРС, ПРС и УРС РРЛ, на которой организовано два рабочих ствола (ГФ и ТВ) и два резервных ствола, при схеме резервирования 1+1 приведены на рис. 2.1, 2.2 и 2.3 соответственно. На УРС и

Рис. 1.4 Структурная схема УРС с ответвлением ТВ на аппаратуре Р-600, Р-600М, Р-6002М



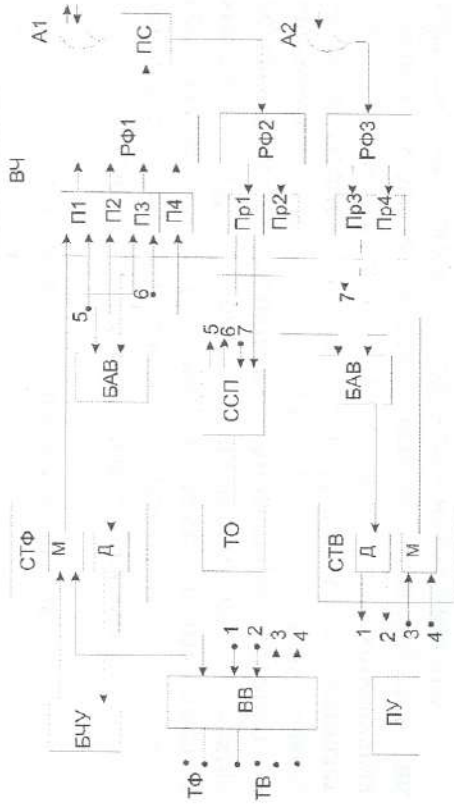


Рис.2.1. Структурная схема ОРС на аппаратуре Р-6002МВ при резервировании 1+1

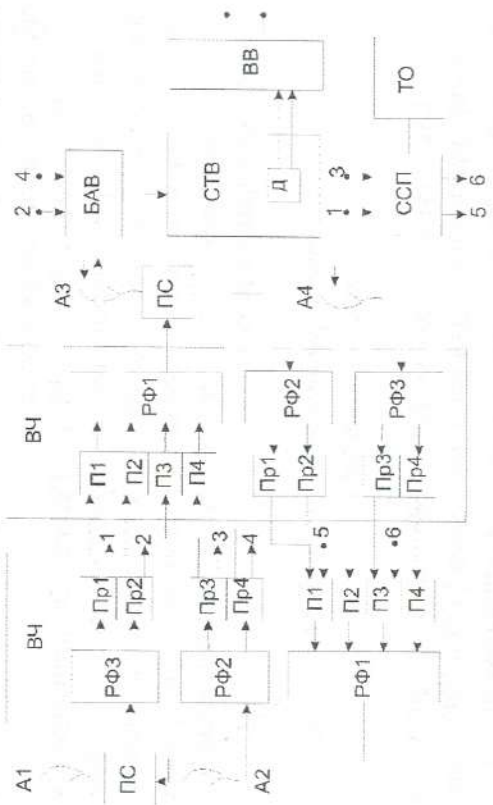


Рис.2.2. Структурная схема ПРС на аппаратуре Р-6002МВ при резервировании 1+1





### 2.3. Структурные схемы станций при схеме резервирования 3+1

Структурные схемы ОРС, ПРС и УРС РРЛ, на которых организовано три рабочих ствола (ТФ и два ТВ) и один резервный, приведены на рис. 2.4, 2.5 и 2.6 соответственно. На УРС предусмотрено ответвление телевизионной программы. Рассмотрим вариант, когда рабочие и резервные стволы работают на одну антенну. На схеме рис. 2.6 КМТВ – стойка коммутаций ТВ программ.

Рабочие и резервные стволы организуются по тем же схемам, что и в системе Р-600М и резервирование осуществляется так же, как и в системе Р-600М.

Служебная связь по каналам РСС, ПСС и ТО организуется так же, как и при схеме резервирования 1+1.

Специфика схемы резервирования 3+1 – необходимость передачи ОАС, которые формируют в СУР на приёмном конце участка резервирования. Канал ОАС организуется в ТФ стволе с помощью БЧУ так же, как и в системе Р-600М.

## 3. РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА «ВОСХОД»

### 3.1 Основные технические характеристики

ПРС «Восход» предназначена для организации магистральных РРЛ протяжённостью до 12500 км, используемых для передачи многоканальных телефонных сигналов (до 1920 телефонных каналов в стволе) и телевидения. Аппаратура системы «Восход» работает в диапазоне 3,4-3,9 ГГц по двухчастотному плану (рис. 1.1.6). План частот и принципы построения аппаратуры обеспечивают возможность организации до восьми

рабочих стволов связи, четыре из которых (чётные) используются на магистральных линиях и четыре

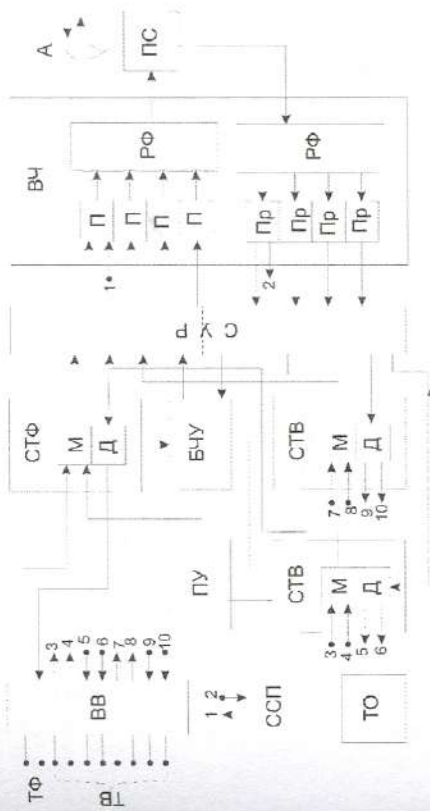


Рис.2.4. Структурная схема ОРС на аппаратуре Р-6002МВ при резервировании 3+1

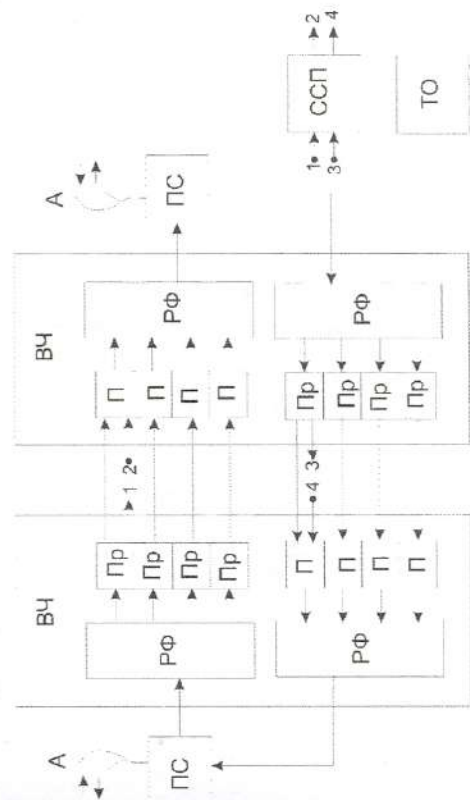




Рис. 2.5. Структурная схема ПРС на аппаратуре Р-6002МВ при резервировании 3+1

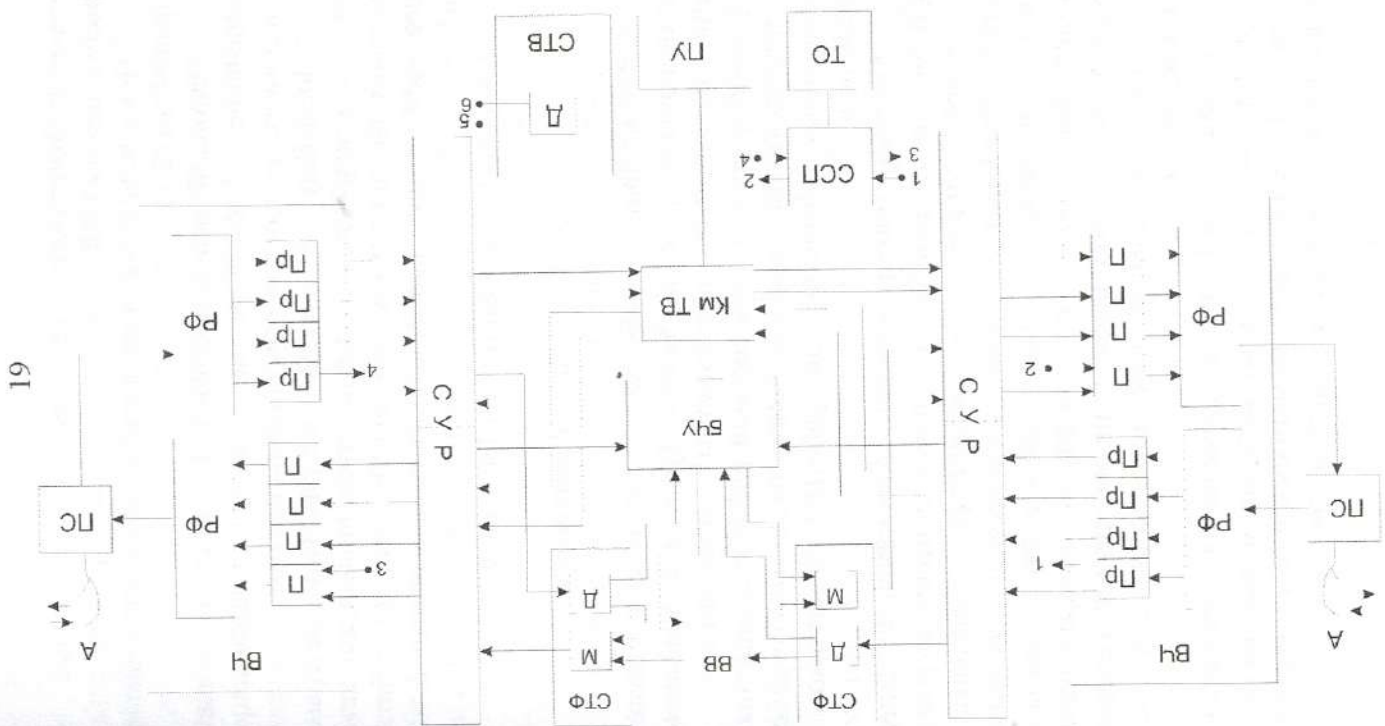


Рис. 2.6. Структурная схема УРС на аппаратуре Р-6002МВ при резервировании 3+1

остальных (нечётные) - на ответвлениях или пересекающихся РРЛ.

Номинально значение частот стволов определяются по формулам (2.1).

Основной особенностью РРС «Восход» является обеспечение устойчивости связи применением разнесённого по пространству приёма сигналов.

Поскольку в системе отсутствуют резервные стволы, и используется усовершенствованный план частот, в котором частота сдвига равна 266МГц, удаётся добиться более эффективного использования полосы частот 3,4-3,9 ГГц.

Сигналы СС передаются по ТФ стволу.

### 3.2 Система резервирования

В аппаратуре «Восход» применена система постационного резервирования. Требуемая надёжность связи достигается применением разнесённого по пространству приёма, параллельной работой передатчиков и стопроцентным горячим резервированием устройств гетеродинных сигналов для работы передатчиков и приёмников.

Система пространственно разнесённого приёма предусматривает разнесение приёмных антенн по высоте на одной опоре. В аппаратуре применяется быстросействующая система автовыбора. Сдвоенный приём одновременно решает как задачу борьбы с замираниями, так и задачу автоматического резервирования приёмников станции. Время перерыва связи при переключении приёмников составляет около трёх микросекунд.

В каждом ВЧ стволе применяется параллельная работа двух передатчиков со сложением мощности на выходе. Это обеспечивает автоматическое резервирование передатчиков и удвоение выходной мощности.

Гетеродинные сигналы для приёмников и передатчиков создаются в стойке гетеродинных частот (СГЧ) со стопроцентным горячим резервом. Такой же способ резервирования использован и в оконечной аппаратуре ВЧ стволы, включая модуляторы, а также при резервировании активных элементов остальных ответственных узлов аппаратуры.

Вся система автоматического резервирования приёмопередающего оборудования замыкается в пределах каждой станции, поэтому в системе «Восход» нет необходимости в передаче по служебным каналам каких-либо сигналов для управления системой резервирования.

### 3.3 Структурные схемы станций

Структурные схемы станций составляются в соответствии с типом станции, её назначением и количеством стволы на данной РРЛ.

На рис. 3.1-3.3 приведены примеры структурных схем станций РРЛ при коммутации на два ствола (ТФ + ТВ). Обозначения на рисунках:  $\Phi_{пр}$  - секция приёмного разделительного фильтра;  $\Phi_n$  - секция фильтра в тракте передачи; КТО - стойка каналов ТО; ССУ - стойка служебной связи УРС; СК - стенд телевизионного звукового контроля; ПОС - пульт ОРС; ПУС - пульт УРС; СГЧ - стойка гетеродинных частот. Жирными линиями на схеме показаны цепи основных рабочих сигналов, тонкими линиями - цепи гетеродинных частот, сигналов СС, ТО и контроля. Отсутствие стрелок означает передачу сигналов в обоих направлениях.



#### 4. РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА «ДРУЖБА» (ГТТ-6000/1920)

##### 4.1. Основные технические характеристики

Радиорелейная система «Дружба» предназначена для организации магистральных РРЛ протяжённостью до 12500 км. Аппаратура позволяет организовать восемь широкополосных дуплексных стволов и два узкополосных ствола СС. По каждому из широкополосных стволов может быть передано 1920 телефонных каналов или программа телевидения совместно с программой радиовещания. Система работает в диапазоне частот 5670-6170 МГц по плану распределения частот, который приведён на рис. 1.1.в. Номинальное значение частот стволов определяется по формулам (2.1) при  $f_0 = 5920$  МГц.

Служебная связь организуется по узкополосному ВЧ стволу (каналы РРС и ТО) и по ТФ стволу (каналы ПСС и ОАС).

В системе применяется поучастковое резервирование по схеме 6+2. Возможны другие сочетания рабочих и резервных стволов.

##### 4.2. Структурные схемы станций

Структурные схемы ОРС, ПРС и УРС для четырёхствольной РРЛ при двух телефонных стволах (ТФ1 и ТФ2), одном телевизионном и одном резервном представлены на рис. 4.1, 4.2, 4.3 соответственно. Причём, на УРС осуществляется переприём сигналов ТФ стволов по групповому спектру с выделением части каналов и переприём сигнала ТВ ствола по видеоспектру.

Особенностью схем является наличие передатчиков и приёмников узкополосных ВЧ стволов служебной связи (ПСС и ПрСС соответственно) и стойки уплотнения

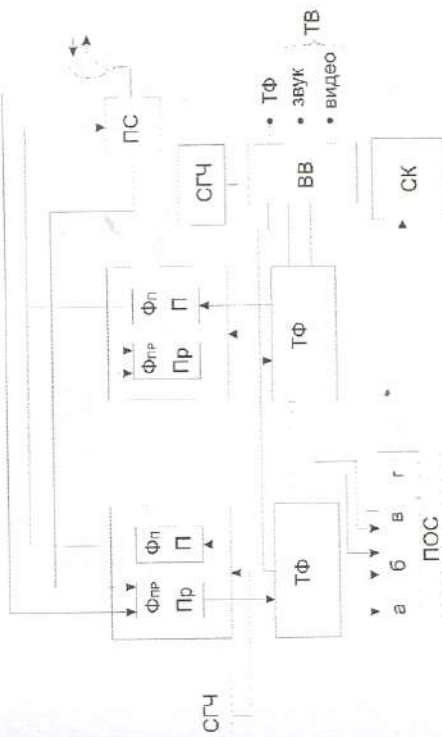


Рис.3.1. Структурная схема ОРС на аппаратуре «Восход»

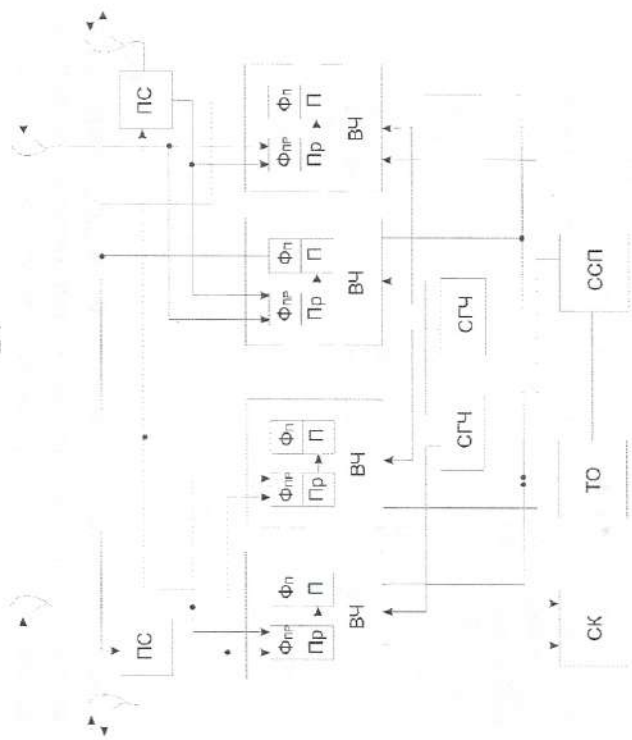
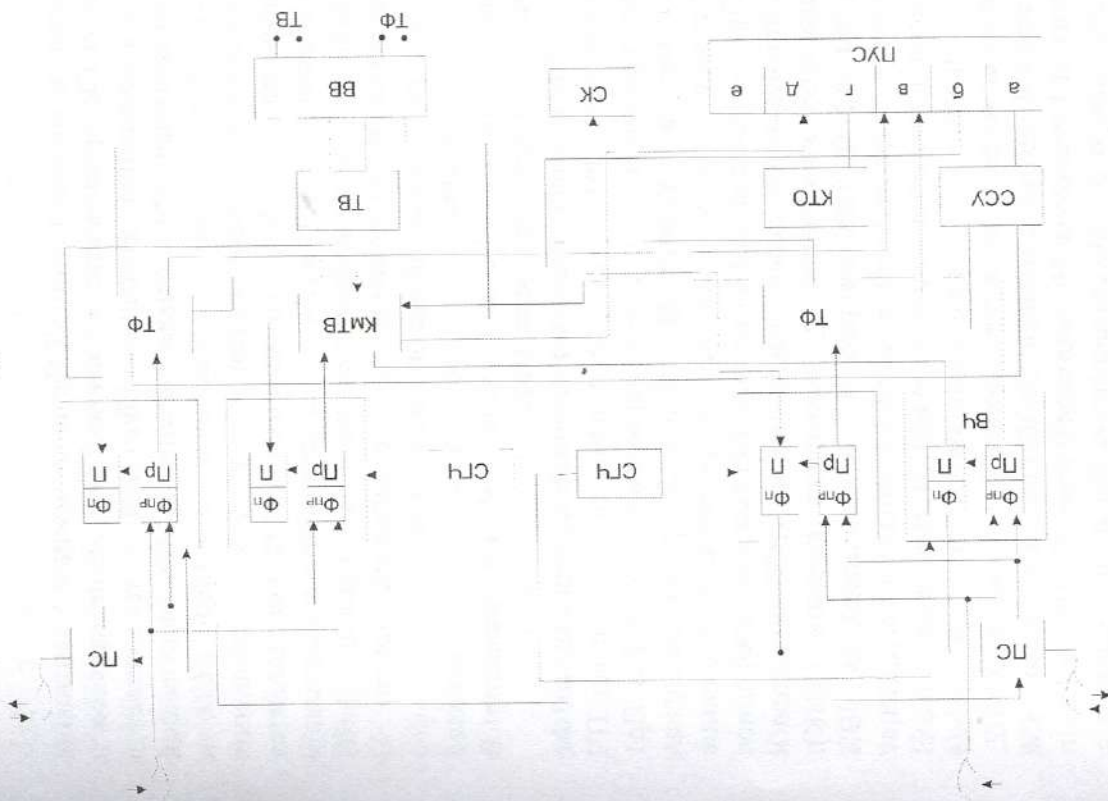


Рис. 3.2. Структурная схема ПРС на аппаратуре «Восход» без выделения ТВ сигнала

тре «Восход» без ответвления ТВ сигнала





ствола служебной связи (УСС). В аппаратуре уплотнения ствола СС применяется временное разделение каналов и дельта-модуляция. В передатчике ИПС осуществляется стопроцентная АМ сигнала частоты 56 МГц импульсной последовательностью, поступающей от стойки УСС, и последующее преобразование частоты заполнения импульсов в СВЧ. В приёмнике ПрСС производится преобразование СВЧ в ПЧ, усиление по ПЧ и демодуляция импульсной последовательности. В стойке УСС производится уплотнение (в передающей части) и разделение (в приёмной части) каналов СС.

Рассмотрим прохождение сигналов широкополосных ВЧ стволос через УРС в направлении В (рис. 4.3) на примере ствола ТФ1.

СВЧ сигнал, принятый антенной А1 через ПС и РФ1 попадает на Пр1. С выхода приёмника Пр1 сигнал ПЧ через приёмную стойку резервирования стволос Рез Пр1 поступает на модулятор Д1, с выхода Д1 групповой сигнал ТФ ствола поступает на оконечное приёмное оборудование ОкПр1, с выхода которого многоканальное телефонное сообщение через стойку ввода-вывода (ВВ) подаётся к аппаратуре уплотнения и выделения каналов (УВК). Стойка ВВ и УВК на рис. 4.3 не показаны. В УВК осуществляется выделение части ТФ канала и ввод новых каналов. Остальные каналы передаются транзитом дальше. Сформированное многоканальное ТФ сообщение поступает на оконечное передающее оборудование ОкП2. Групповой сигнал с выхода ОкП2 подаётся на М4, ЧМ сигнал ПЧ с выхода М, поступает через РезП2 на П5, с выхода которого СВЧ сигнал через РФ и ПС подаётся к антенне А2.

Приём и передача сигналов ствола ТВ на УРС осуществляется аналогичным образом. Однако на УРС часто производится переприём сигналов ТВ ствола по ПЧ, а не по видеосигналу. В этом случае сигнал ПЧ с выхода

Пр3 подаётся на пульт управления ПУ (пульт СС и ТО) через РезПр1, аппаратуру коммутации ТВ программ (КмТВ) и РезП2. КмТВ позволяет соединить передатчик и приёмник ТВ ствола по ПЧ и подключить Д ствола ТВ на выход приёмника того направления, откуда должен быть выделен ТВ сигнал.

На ПРС с ответвление ТВ сигнала (рис. 4.2) устанавливается стойка резервирования ответвления (РезОтв), демодулятор и оконечное приёмное оборудование (ОкПр). На вход РезОтв подаются сигналы ПЧ с дополнительных выходов приёмников прямого и обратного направлений и резервного стволос. К выходу РезОтв подсоединяется Д и оконечное приёмное оборудование ОкПр.

В гетеродинные тракты схем рис. 4.1-4.3 включены разделительные фильтры гетеродинных частот (РФГ).

### 4.3. Служебная связь

Все сигналы СС (кроме ОАС) вводятся с ПУ. Сигналы ПСС вводятся на ОРС (рис. 4.1) через ПУ и подаются на ОкП, где образуется групповой сигнал. Затем ПСС передаётся вместе с многоканальным ТФ сообщением через М1, РезП, П1, РФ2, ПС и А. Выделение сигналов ПСС производится только на ОРС и УРС с помощью ОкПр, с выхода которого подаются на ПУ.

Сигнал ОАС генерируется на приёмном конце участка резервирования в аппаратуре РезПр, откуда он подаётся на ПУ и на ОкП обратного направления связи, где образуется групповой сигнал. Этот сигнал проходит через М, РезП, П и после соответствующей обработки через РФ, ПС и А излучается в направлении к началу участка резервирования. На станции в начале участка (ОРС или УРС) ОАС выделяется на выходе ОкПр и через ПУ поступает на дешифраторы аварийных команд.

Сигналы РСС и ТО вводятся на станции, причём на ОРС и УРС они вводятся через ПУ и подаются на каждую из

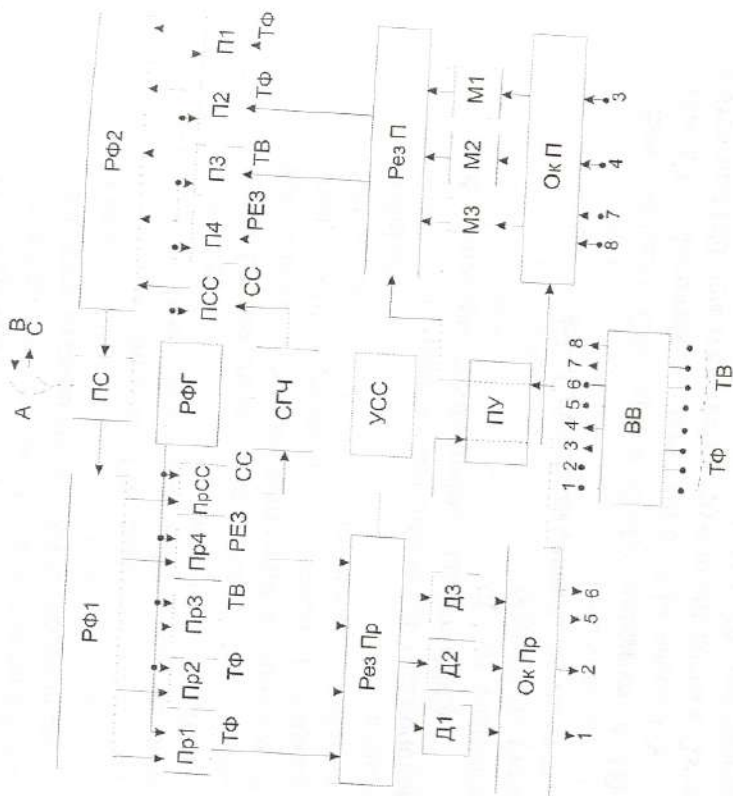


Рис. 4.1. Структурная схема ОРС на аппаратуре «Дружба»

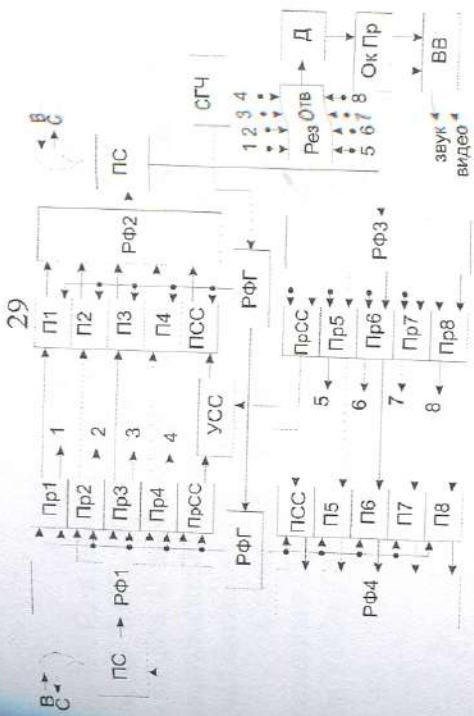


Рис. 4.2. Структурная схема ПРС на аппаратуре «Дружба»

Рис. 4.2. Структурная схема ПРС на аппаратуре «Дружба»



на УСС, а на ПРС эти сигналы вводятся непосредственно через УСС. В УСС производится временное уплотнение каналов. С выхода передающего оборудования стойки УСС импульсный сигнал поступает на ПСС, где осуществляется АМ сигнала СВЧ.

Сигналы РРС и ТО выделяются на каждой станции с помощью ПрСС и приёмного оборудования стойки УСС. На УРС и ОРС эти сигналы подаются на ПУ.

#### 4.4. Система резервирования

При нарушении или ухудшении связи на каком-либо интервале по рабочему стволу происходит автоматическое подключение М и Д этого ствола к П и Пр резервного ствола на концах участка резервирования, которому принадлежит этот интервал.

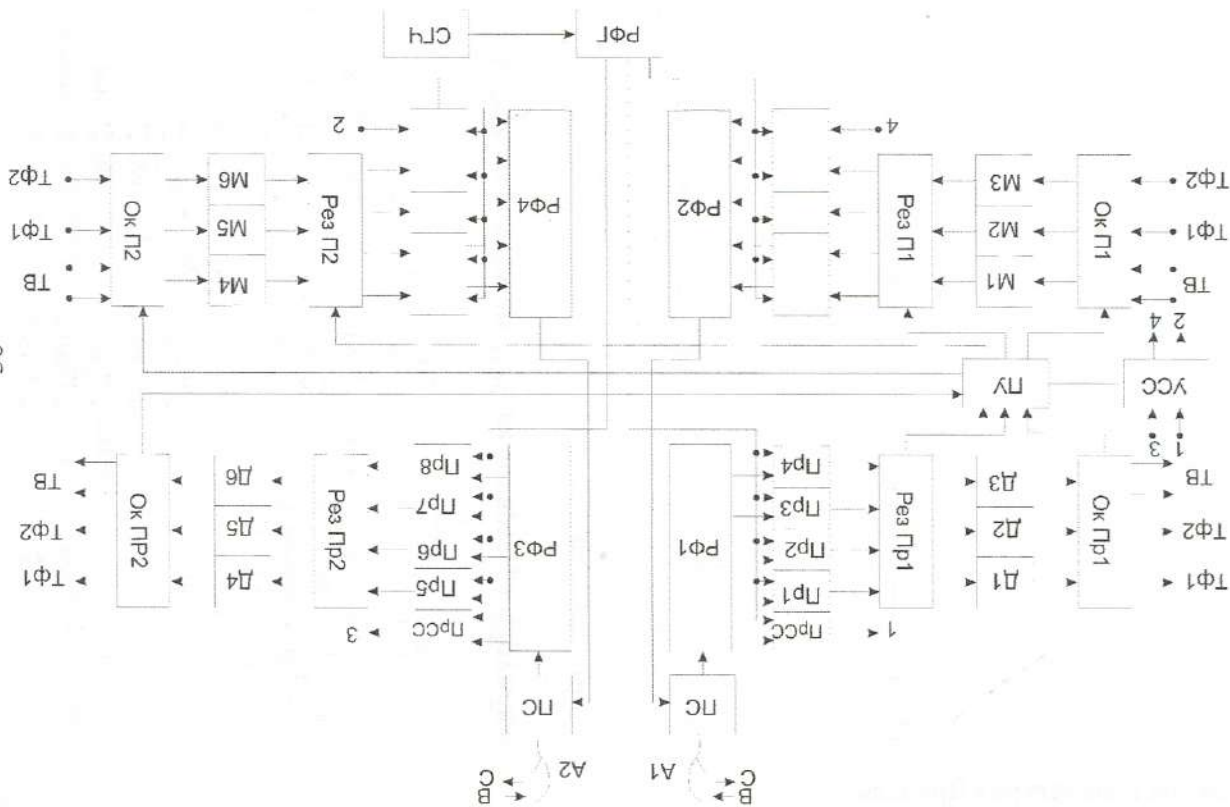
Автоматическое резервирование осуществляется с помощью аппаратуры резервирования (РезПр и РезП) и аппаратуры канала ОАС по традиционной схеме [4, с. 119-122].

### 5. КОМПЛЕКС УНИФИЦИРОВАННЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ КУРС

#### 5.1 Общие сведения

Комплекс унифицированных РРС КУРС включает четыре системы связи, работающие в диапазонах 2,4,6 и 8 ГГц. Соответственно перечисленным диапазоном частот, аппаратура КУРС имеет следующие обозначения: КУРС-2, КУРС-4, КУРС-6 и КУРС-8.

Система КУРС-2 использует максимально четыре ВЧ ствола, системы КУРС-4, КУРС-6 и КУРС-8 – восемь ВЧ стволов. Все ВЧ стволы являются универсальными, т.е.



пригодными для передачи как многоканальных телефонных сообщений и вещания, так и телевидения с каналами звукового сопровождения.

Системы КУРС-2 и КУРС-8 предназначены для зонавых, внутриреспубликанских и внутриобластных РРЛ. По дуплексному ТФ стволу этих систем можно передавать (рис. 5.1.а) 300 телефонных каналов, два канала вещания на поднесущих частотах 3,8 и 7,36 МГц и сигналы служебной связи (СС).

Системы КУРС-4 и КУРС-6 созданы для магистральных РРЛ. По дуплексному ТФ стволу этих систем можно передавать соответственно 720 и 1320 телефонных каналов с двумя каналами вещания на поднесущих частотах 7,0 и 7,36 МГц (рис. 5.1.б и 5.1.в).

Симплексных ТВ ствол позволяет осуществлять передачу сигналов одной программы телевидения (рис. 5.1.г), а также одного (в системе КУРС-2) или двух (в системах КУРС-4, КУРС-6, КУРС-8) каналов звукового сопровождения на поднесущих частотах 2,048 и 8,448 Мбит.

### 5.2. Служебная связь

Передача сигналов СС, ТО и ТУ производится по ТФ стволам ниже группового спектра частот многоканального телефонного сообщения. Спектр частот, используемый для СС, резервирования и ТО (рис. 5.1.д), занимает полосу частот 0,3-56 кГц. В этой полосе частот размещаются: два канала стационарной служебной связи ПСС1 и ПСС2 для связи между всеми УРС и ОРС; одного канала ПСС3 для прямой связи между смежными УРС; канала для передачи сигналов резервирования (ОАС); канала районной служебной связи РРС для связи между всеми ПРС и обеими УРС участка; канала для передачи сигналов ТО.

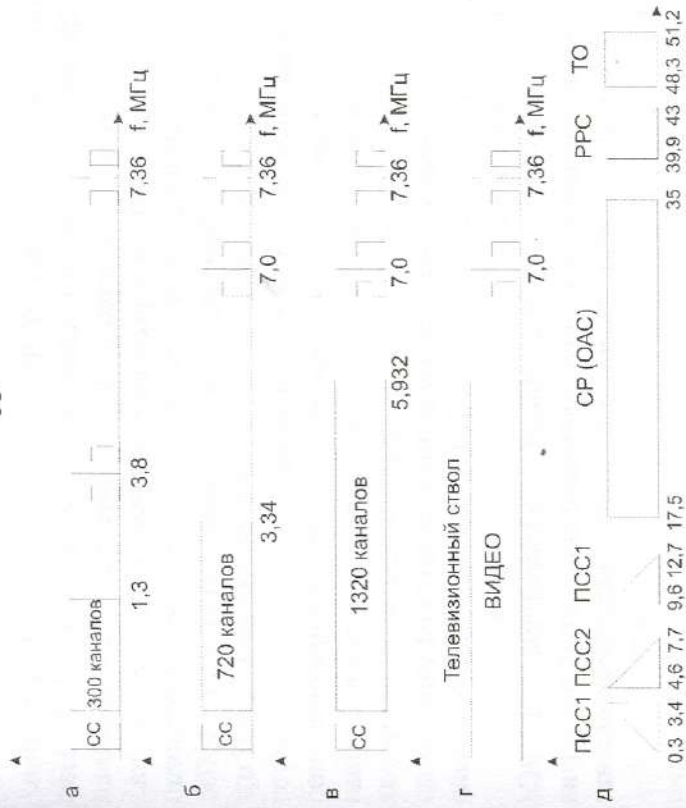


Рис. 5.1. Спектры групповых частот, передаваемых по ВЧ стволам систем КУРС

### 5.3. Система резервирования

В аппаратуре КУРС принята поучастковая система резервирования. В системе КУРС-2 используется схема резервирования: в прямом направлении 3+1 и в обратном – 2+1. В системах КУРС-4, КУРС-6 и КУРС-8 типовыми схемами резервирования являются 3+1 (для четырёхствольной системы) и 6+2 или 7+1 (для восьмиствольной системы). Таким образом, в системах КУРС максимальное число рабочих стволов – 7, максимальное число резервных стволов – 2. В отличие от систем резервирования в ранее созданной аппаратуре РРЛ,



в системе аппаратуры КУРС отсутствует непрерывно передаваемый по ВЧ стволам пилот-сигнал (ПС). На выходе всех приёмников КУРС имеются замещающие генераторы (ГЗ), которые включаются, когда сигнал на входе приёмника падает ниже некоторого уровня (порога включения ГЗ). Замещающий генератор имеет частоту 70 МГц, промодулированную по частоте сигналом 8,75 МГц, называемым сигналом обрыва ствола.

Техническое состояние стволов оценивается по наличию несущей ПЧ, отсутствию сигнала обрыва ствола от ГЗ и уровню шумов в верхней части группового спектра. Переключение стволов производится на узловых и оконечных станциях по ПЧ быстродействующими диодными ключами.

Систем резервирования аппаратуры КУРС предусматривает не только резервирование стволов, но и резервирование выделения телевидения и радиовещания на ПРС.

#### 5.4. Система телеобслуживания

Канал ТО (рис. 5.1.д) занимает полосу частот от 48,3 до 51,2 кГц. По системе ТО осуществляется передача с УРС до 36 команд ТУ на любую ПРС, входящая в зону аварийно-профилактической службы данной УРС (до трёх ПРС в каждом из двух направлений связи); приём на УРС оповестительного сигнала аварии (ОС) с каждой ПРС участков, примыкающей к данной УРС (до шести ПРС в каждом из двух направлений связи); приём до 72 сигналов телесигнализации (ТС) с любой (по выбору) ПРС участков, примыкающих к данной УРС; управление из аппаратной УРС вынесенным за её пределы оборудованием (до шести команд местного управления) и световую индикацию состояния этого оборудования (до 20 сигналов местной сигнализации).

Для всех перечисленных систем оборудование, которое не определяется СВЧ диапазоном, полностью унифицировано.

ВЧ приёмопередающая аппаратура КУРС идентична для всех четырёх диапазонов. Отличительной особенностью является наличие отдельных гетеродинных трактов для приёмников и передатчиков. Отдельные гетеродины облегчают выделение сигналов РРС и ТО по резервным стволам. Высокая надёжность приёма информации о состоянии обслуживаемых ПРС достигается за счёт того, что сигналы ТО вводятся на ПРС одновременно в оба направления связи и принимаются обоими УРС участка.

Аппаратура системы КУРС обеспечивает возможность ответвления ТВ программ и сигналов вещания и звукового сопровождения на любой ПРС. При этом предусматриваются следующие возможности:

1) ответвление и выделение по групповому спектру видеочастот ТВ сигналов звукового сопровождения, а также сигналов вещания с последующей передачей по кабельным линиям;

2) ответвление ТВ программ по спектру ПЧ с последующей передачей сигналов ПЧ по РРЛ ответвления. В этом случае аппаратура ПРС обеспечивает прохождение сигналов ТВ по магистрали транзитом. Системы КУРС предусматривают возможность введения местных ТВ программ. В этих пунктах осуществляется полный переём ТВ сигналов по спектру видеочастот.

#### 5.5. Планы распределения рабочих частот.

##### Организация ВЧ стволов

Планы частот построены таким образом, что все рабочие частоты радиоканалов формируются от одного опорного кварцевого гетеродина, имеющего сравнительно низкую частота  $F$  (для диапазона 2 ГГц частота  $F = 7\text{МГц}$ ,

для диапазонов 4, 6 и 8 ГГц —  $F = 14$  МГц). Частотный интервал между соседними радиоканалами равен  $2F$ . В этом случае зеркальные частоты либо точно совпадают с несущими частотами радиоканалов, либо располагаются между ними. Возникшие при этом интерференционные помехи находятся либо выше, либо ниже группового спектра частот, передаваемого по РРЛ.

Система КУРС-2 работает в диапазоне частот 1750-2000 МГц. Рабочий диапазон занимает полосу частот шириной 250 МГц. Частотный план системы КУРС-2 приведён на рис. 5.2, а, б. В отведённой полосе частот организуется 14 радиоканалов: семь в нижней половине (с частотами  $f_1 \div f_7$ ) и семь в верхней (с частотами  $f'_1 \div f'_7$ ). Система КУРС-2 работает по четырёхчастотному плану распределения рабочих частот радиоканалов. Каждый радиоканал при передаче конкретного вида информации (телевизионной, телефонной и т.п.) образует соответствующий ствол. При этом в отведённой полосе частот организуется три дуплексных ствола и один симплексный (четыре ствола работают в одном направлении и три — в обратном). Каждые два соседних ствола имеют поляризацию, отличную от поляризации от других соседних стволов. Все параметры плана частот приведены на рис. 1.1, а.

Средние частоты стволов рассчитываются по формулам

$$f_n = f_0 - 122 + 14n \text{ МГц};$$

$$f'_n = f_0 + 11 + 14n \text{ МГц},$$

где  $n = 1, \dots, 7$ ;  $f_0 = 1872$  МГц.

Типовой вариант использования радиоканалов на РРЛ, оборудованной аппаратурой КУРС-2 (при работе по схеме резервирования 3+1 в прямом направлении и 2+1 — в обратном), представлен на рис. 5.2, а, б. Из рисунка видно, что в прямом направлении («от центра к периферии») используются нечётные радиоканалы, а в обратном («от периферии к центру») — чётные. Таким образом, система

КУРС-2 работает по четырёх частотному плану распределения частот.

С целью эффективной борьбы с замираниями сигналов на интервалах РРЛ, а также учитывая конструктивное выполнение аппаратуры КУРС-2, все



стволы закрепляются за конкретными радиоканалами. Например, ТВ сообщения в прямом направлении (рис. 5.2,а) при работе по схеме резервирования 3+1 передаются по первому и пятому радиоканалам, а в обратном направлении при работе по схеме резервирования 2+1 (рис. 5.2,б) — по четвертому радиоканалу. Телефонные сообщения совместно с сигналами служебной связи (ТФСС) в прямом направлении передаются по третьему радиоканалу, а в обратном направлении — по второму. Резервными радиоканалами являются для прямого направления сельмой, а для обратного — шестой радиоканалы.

Плана распределения рабочих частот для систем КУРС-4, КУРС-6 и КУРС-8 приведен на рис. 1.1,б. Система КУРС-4 работает в диапазоне 3400-3900 МГц, КУРС-6 — в диапазоне 5670-6170 МГц и КУРС-8 в диапазоне 7900-8400 МГц. Для каждого диапазона отведена полоса частот шириной 500 МГц. Средние частоты  $f_0$  указанных трёх диапазонов соответственно равны 3653,5, 5920 и 8175 МГц. План частот позволяет организовать восемь широкополосных дуплексных стволов при использовании двухчастотной системы распределения рабочих частот. Эти восемь дуплексных стволов образуют чётные и нечётные группы с разной поляризацией по четыре ствола в каждой группе.

Средняя частота каждого ствола определяется выражением:

$$f_n = f_0 - 259 + 29n; \quad f_n = f_0 + 7 + 28n,$$

где  $n = 1, \dots, 8$ .

В системах КУРС-4 и КУРС-6 используются как четырёх-, так и восьмиствольные варианты организации ВЧ стволов.

Для четырёхствольного варианта при работе по схеме резервирования 3+1 за дуплексными телефонными стволами, по которым передаются также сигналы

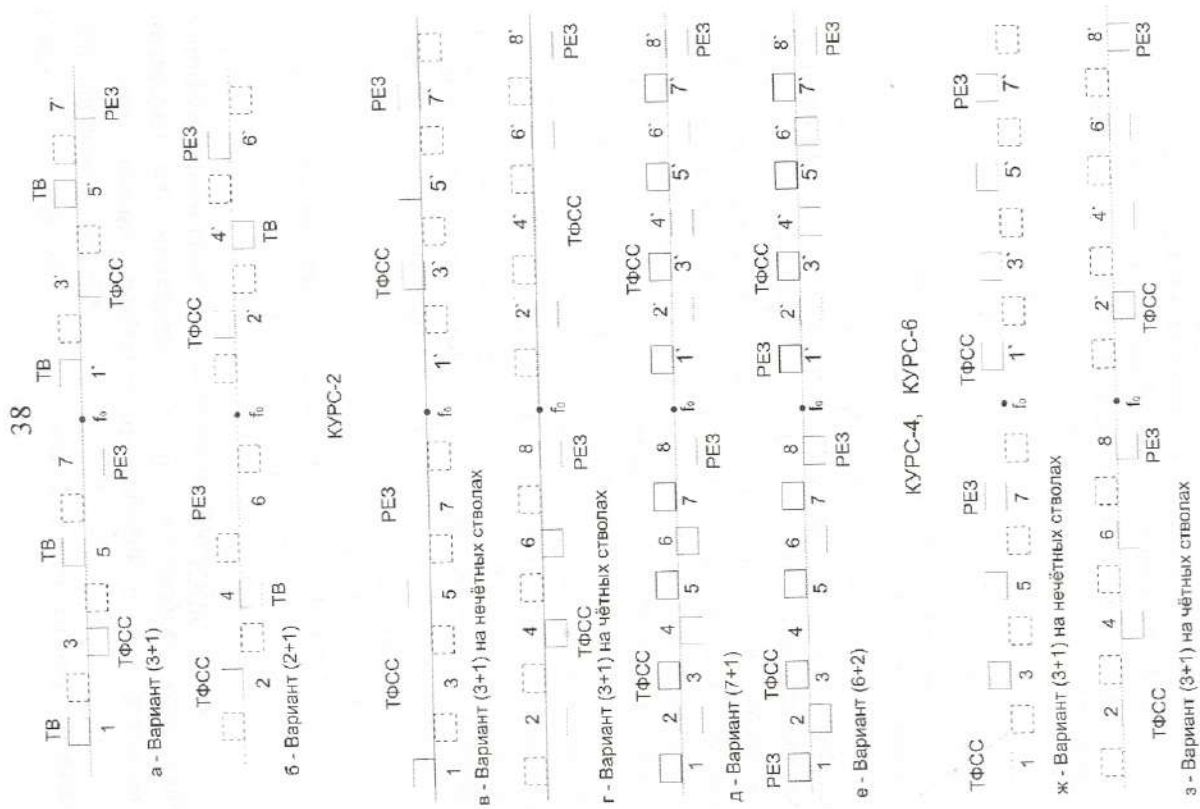


Рис. 5.2. Схема использования ВЧ стволов в системе КУРС



служебной связи (ТФСС), в группе нечётных стволов (рис. 5.2,в) закрепляется третий, а в группе чётных (рис. 5.2,г) – четвёртый радиоканалы. Дуплексные резервные стволы используют соответственно седьмой и восьмой радиоканалы.

Для восьмиствольного варианта, при работе по схеме резервирования 7+1 (рис. 5.2,д), за дуплексным телефонным стволом ТФСС закрепляется третий радиоканал. При работе по схеме резервирования 6+2 (рис. 5.2,е) ствол ТФСС использует третий радиоканал, а дуплексные резервные стволы используют первый и восьмой радиоканалы. Остальные стволы могут быть как телевизионные, так и телефонные.

Основным вариантом использования стволов в системе КУРС-8 является четырёхствольный вариант на чётных или нечётных радиоканалах (рис. 5.2,ж,з) с использованием двухчастотного плана. При схеме резервирования 3+1 за столами ТФСС закреплены первый и второй радиоканалы. Резервные стволы используют седьмой и восьмой радиоканалы.

#### 5.6. Структурные схемы станций

Структурные схемы ОРС, ПРС и УРС на аппаратуре КУРС в четырёхствольном варианте приведены на рис. 5.3, 5.4 и 5.5 соответственно.

Стойка оконечная (СО) содержит четыре комплекта модуляторов и демодуляторов, работающих на ПЧ 70 МГц. Три комплекта являются рабочими и один резервный. Стойка СО имеет свою систему резервирования по схеме 3+1. Резервирование модемов производится независимо от резервирования ВЧ стволов. В комплект СО входят также элементы, необходимые для организации ТФ и ТВ стволов (предыскажающие и восстанавливающие контуры, групповые усилители, тракты образования групповых каналов на поднесущих частотах и т.д.).

Передающая часть СО предназначена для генерации сигнала ПЧ, частотной модуляции сигнала ПЧ, формирования группового спектра передаваемых сообщений, генерации сигналов поднесущих частот и модуляции их сигналами звукового сопровождения телевидения или вещания.

Приёмная часть СО предназначена для демодуляции ЧМ сигнала ПЧ, разделения группового сообщения на его составляющие и демодуляция сигналов поднесущих частот.

Стойка резервирования стволов (РС) позволяет осуществлять поучастковое резервирование по схемам 3+1, 6+2, 7+1 и (1+1)х2. Она предназначена для работы в системе автоматического резервирования стволов по участкам РРЛ. Стойка РС устанавливается на УРС и ОРС и может охватывать одновременно системой резервирования до восьми ВЧ стволов, из которых один или два резервные. Переключение стволов производится по ПЧ с быстродействием при внезапном отказе без предварительного подключения 10мс, при внезапном отказе с предварительным подключением 5мс, при постепенном отказе и обратном переключении 2мс.

Стойка обслуживания узловой станции (ОУРС) позволяет организовать ТО станций РРЛ, а также осуществить местное управление и телесигнализацию (ТС). Стойка ОУРС предназначена для организации ТУ, ТС и телефонной СС между УРС и ПРС обоих участков, прилегающих к данной УРС.

Стойка обслуживания промежуточной станции (ОПРС) позволяет организовывать телеобслуживание ПРС со стороны соседних УРС участка РРЛ, к которому относится данная ПРС; служебную связь между станциями в пределах этого участка, а также позволяет выделять на ПРС видеосигналы, сигналы вещания и звукового сопровождения ТВ.



Пульт служебной связи и контроля (ССК) позволяет производить контроль ТВ программ, сигналов звукового сопровождения и вещания и осуществлять СС по РРЛ. Пульт ССК устанавливается на УРС и ОРС и содержит

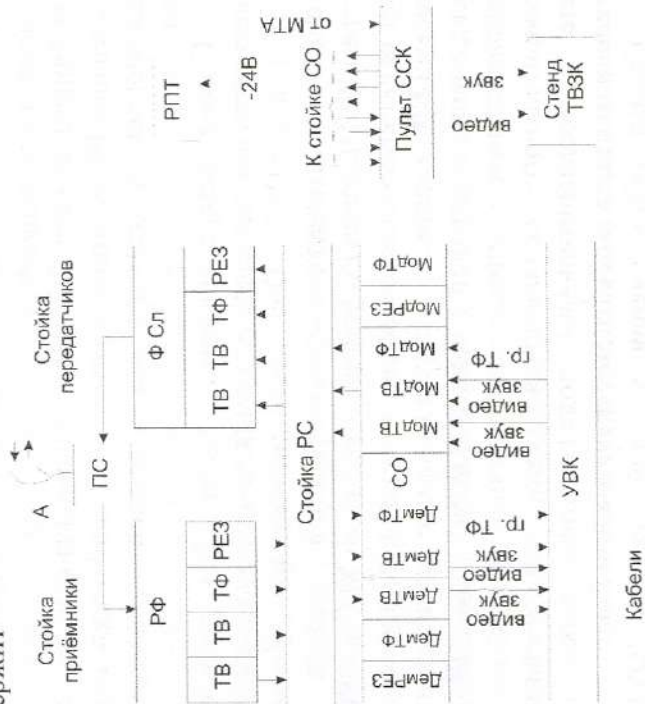


Рис. 5.3. Структурная схема ОРС на аппаратуре КУРС на 4 ствола

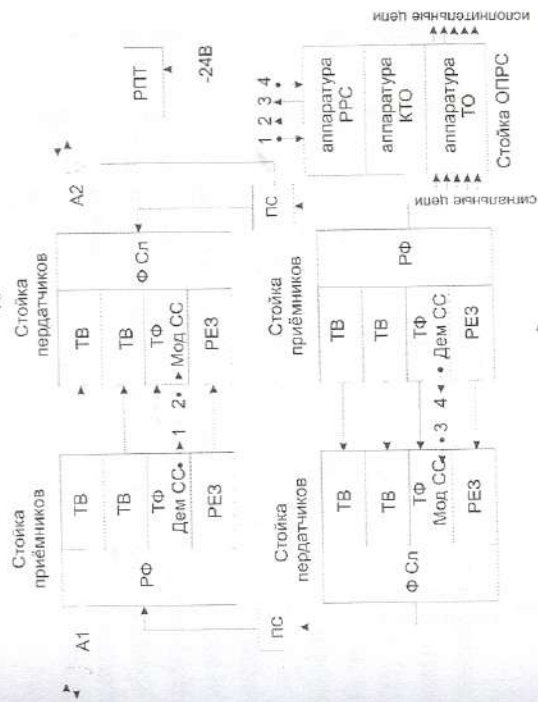


Рис. 5.4. Структурная схема ПРС на аппаратуре КУРС на 4 ствола

аппаратуру образования каналов ПСС, устройства коммутации служебных каналов между собой, аппаратуру субъективного и объективного контроля качества ТВ программ, сигналов многоканальной телефонии, а также сигналов звукового сопровождения телевидения и вещания.

Стойке распределения постоянного тока (РПТ) обеспечивает подключение к шинам постоянного тока (-24 В) через автоматы защиты всех приёмников, передатчиков, СО, стоек ОПРС, ОУРС, РС, пульта ССК, устройств жизнеобеспечения помещений, щита автоматики дизель-генераторов.

## 6. УНИФИЦИРОВАННАЯ РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА ФМ (ГДР)

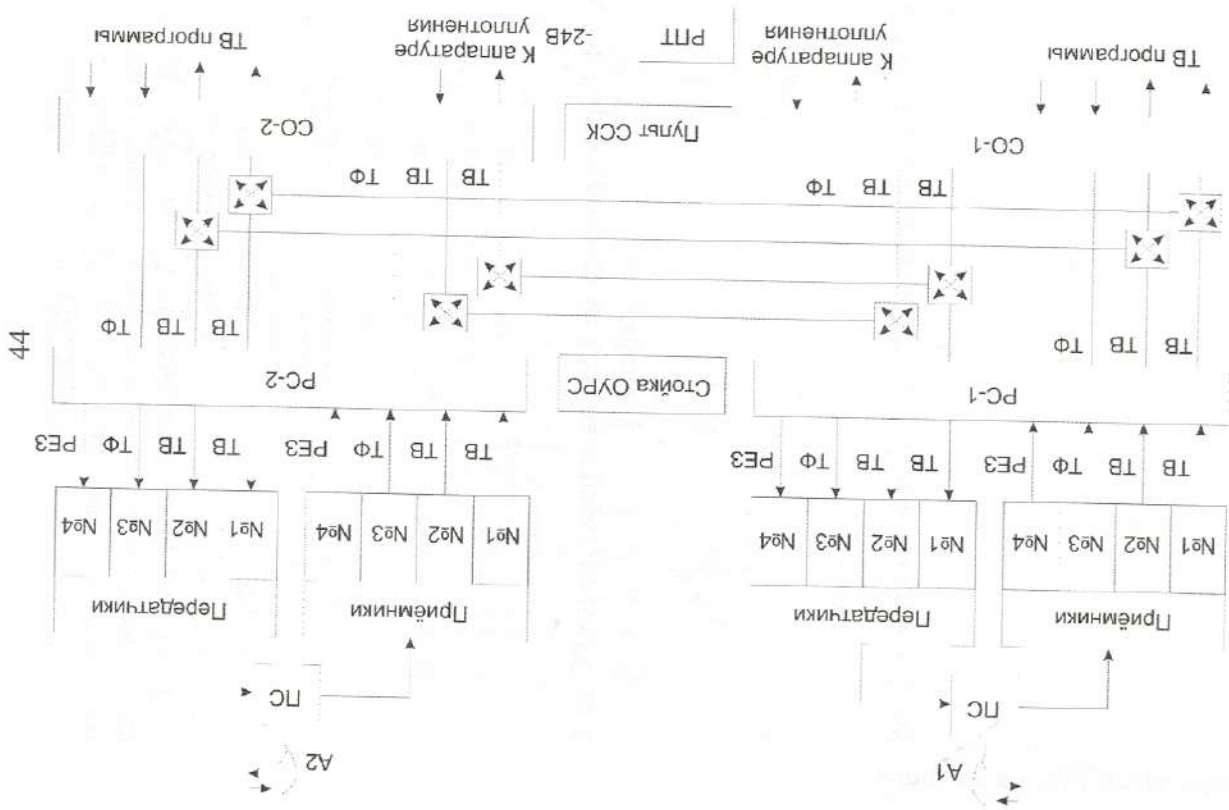
### 6.1. Общие сведения о системе

Унифицированная система РРС типа ФМ создана для работы в двух частотных диапазонах: 4 ГГц (аппаратура ФМ 1800/ТВ-3600) и 11 ГГц (аппаратура ФМ 960/ТВ-11000). Диапазон 4 ГГц используется для организации магистральных РРЛ и ответвлений от них, диапазон 11 ГГц – для организации зоновой сети республиканского и областного значения, а также ответвлений от магистральной РРЛ.

Планы распределения частот позволяют организовать шесть широкополосных дуплексных стволов в диапазоне 4 ГГц и 12 – в диапазоне 11 ГГц.

По каждому широкополосному стволу можно передавать методом ЧМ один из следующих сигналов:

- многоканальное телефонное сообщение при максимальном числе каналов 1920;





- видеосигнал телевидения с четырьмя звуковыми каналами;
- двойные сигналы с верхней частотой не выше 6 МГц, например, послышки со скоростью 8 Мбит/с.

В системе применяется поучастковое резервирование по схемам 1+1, 2+1, 3+1, 4+1, 5+1. служебная связь организуется по отдельному узлопослосному стволу, работающего в том же диапазоне частот, с помощью аппаратуры направленной связи ФМ24. В системе унифицированы устройства, работающие на ПЧ и частотах группового спектра: модемы, оконечное оборудование, аппаратура резервирования и т.д. Унификация СВЧ тракта (передатчиков, приёмников, АФТ) не предусмотрена. В системе принята унифицированная конструкция для всех устройств, включая устройства СВЧ. Аппаратура собирается из унифицированных узлов, причём предусматривается высокая степень повторяемости и взаимозаменяемости. Аппаратура полностью выполнена на транзисторных микромодулях и интегральных схемах, за исключением мощного выходного каскада передатчика на ЛБВ.

### 6.2. Планы распределения рабочих частот

Планы распределения частот систем ФМ 1800/ТВ-3600 и ФМ 960/ТФ-3600 работает по двухчастотному плану и позволяет организовать три дуплексных ствола (чётные) на магистральных РРЛ и три (нечётные) – на зонавых РРЛ и ответвлениях.

В диапазоне 11 ГГц (ФМ 960/ТВ-11000) применяется как двухчастотный, так и четырёхчастотный план. При использовании четырёхчастотного плана на РРЛ организуется не более шести широкополосных стволов: три на чётных стволах и три на нечётных стволах. При выборе рабочих частот и поляризации стволов следует иметь в виду, что к одной антенне рекомендуется

подключать группу не более чем из трёх приёмников и трёх передатчиков широкополосных стволов, работающих на одной поляризации, при разnose между средними частотами не менее 160 МГц (рис. 1.1,ж), либо две таких группы с перекрёстной поляризацией (рис. 1.1,з).

Средние значения частот стволов для аппаратуры ФМ 1800/ТВ-3600 определяются по формулам (1.1), где  $f_0 = 3625$  МГц;  $n = 1, \dots, 6$ ; для аппаратуры ФМ 960/ТВ-11000 – по формулам:

$$f_n = f_0 - 525 + 40n; \quad f'_n = f_0 + 5 + 40n,$$

где  $f_0 = 11200$  МГц,  $n = 1, \dots, 12$ .

### 6.3. Система резервирования

Для обеспечения надёжной бесперебойной работы РРЛ предусмотрено поучастковое резервирование СВЧ приёмопередатчиков широкополосных стволов, местное резервирование модемов этих стволов и постанционное резервирование оборудования ствола СС. Кроме того, для интервалов, где обычно наблюдаются частые и глубокие замирания, предусмотрен разнесенный приём. Поэтому на РРС устанавливается следующая аппаратура резервирования: устройство резервирования линий, устройство резервирования ответвлений, устройство резервирования модемов, устройство переключения при разнесенном приёме.

Устройство резервирования линий (УРЛ) обеспечивает автоматическую замену СВЧ приёмопередатчиков рабочего ствола приёмопередатчиками резервного ствола на всём участке резервирования. Переключение производится по ПЧ на границах участка при ухудшении качества связи по рабочему стволу. Критерием служит уровень ПС и уровень шума, которые оцениваются с помощью контрольных демодуляторов.



Устройство резервирования ответвления (УРОЛ) устанавливается на ПРС с выделением ТВ программ. Оно обеспечивает подключение демодулятора ТВ к СВЧ приёмнику резервного ствола при аварии в рабочем. В качестве критерия переключения служит сигнал опознавания рабочего ствола, образованный из двух сигналов звуковых частот, и уровень ПС в резервном стволе.

Устройство резервирования модемов служит для автоматической замены неисправного комплекта модулятора (или демодулятора) резервным. Управляется сигналом с выхода модулятора (или демодулятора) и обеспечивает одновременное переключение входных и выходных цепей этого модулятора (демодулятора). Выполняется в трёх модификациях: а) схема замещения модулятора ТВ (УРМТВ); б) схема замещения демодулятора ТВ (УРДТВ); в) схема замещения модема ТФ (УРМТФ).

Устройство переключения при разнесённом приёме осуществляет автоматический выбор по ПЧ лучшего из двух сигналов и передачу этого сигнала на вход ПЧ передатчика на ПРС или демодулятора на УРС. Выбор лучшего сигнала осуществляет логическое устройство, структурная схема которого показана на рис. 6.1. Устройство может использоваться при любом способе разнесения. В диапазоне 4 ГГц обычно применяются пространственно-разнесённый приём из-за ограниченного числа стволов. В диапазоне 11 ГГц чаще используется разнесение по частоте, так как при этом уменьшается вдвое число антенн.

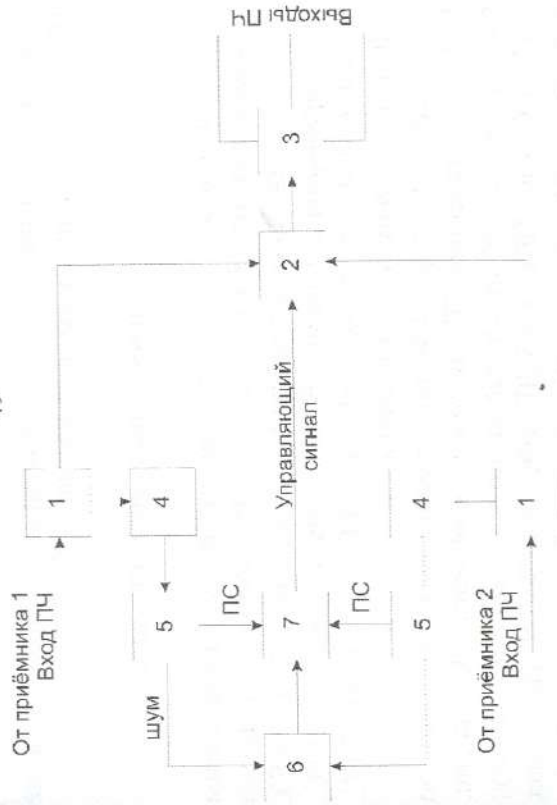


Рис. 6.1. Упрощённая структурная схема устройства переключения при разнесённом приёме: 1 – разветвитель ПЧ; 2 – переключатель ПЧ; 3 – выходной УРЧ; 4 – контрольный демодулятор; 5 – устройство разделения ПС и шумов; 6 – устройство сравнения шумов; 7 – логический блок.

#### 6.4. Организация служебной связи и телеобслуживания

По стволу СС организуются следующие каналы: РРС, ПСС, ОАС, ТО (ТУ,ТС,ОС) и дополнительные коммерческие телефонные каналы в спектре 60-198 кГц. Для организации ствола СС используется узкополосное устройство направленной радиосвязи ФМ24, обеспечивающее передачу 24 телефонных каналов с помощью ЧМ СВЧ колебаний. Оно комплектуется СВЧ приёмопередатчиками, частотными модемами, блоками выделения (БВ), аппаратурой уплотнения ствола СС



(многоканальными приборами – МкП), а также НЧ устройствами служебного канала (СК).

### 6.5. Структурные схемы станций

На рис.6., 6.3, 6.4 приведены структурные схемы типовых вариантов ОРС, ПРС и УРС соответственно на РРЛ с тремя широкополосными стволами ТФ+ТВ+РЕЗ. Резервирование модемов ТВ по схеме 1+1 на всех РРС, модемов ТФ по схеме 1+1 на ОРС и 2+1 на УРС. Сдвоенный приём не применяется.

Демодуляторы ТВ/звук устанавливаются только по ПРС с ответвлением ТВ. Цифры в обозначениях СК на рис. 6.2-6.4 соответствуют определённому служебному каналу: СК1-РСС; СК2-ПСС; СК3-ДК-ТФ; СК4-ДК-ТВ. На схемах введены дополнительные обозначения: Т – световое табло; Р – распределитель ПЧ; АК – аппаратура коммутации ТФ и ТВ устройств.

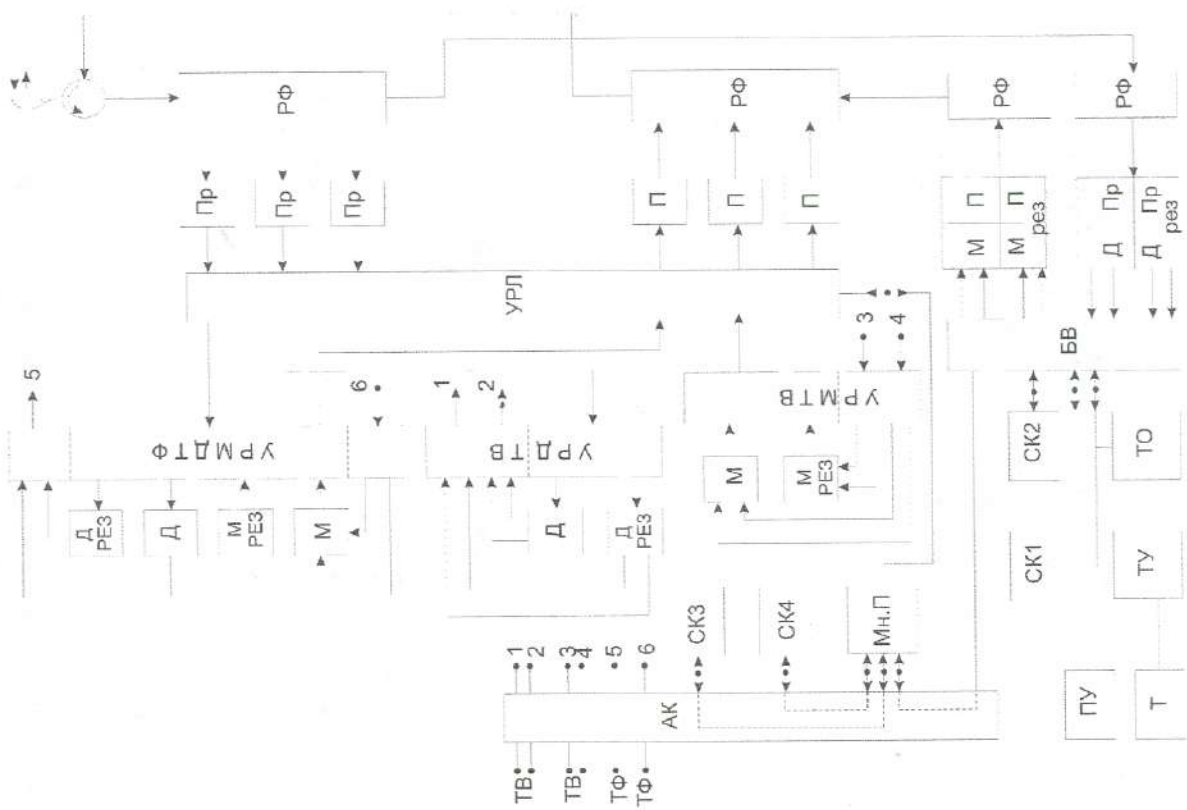
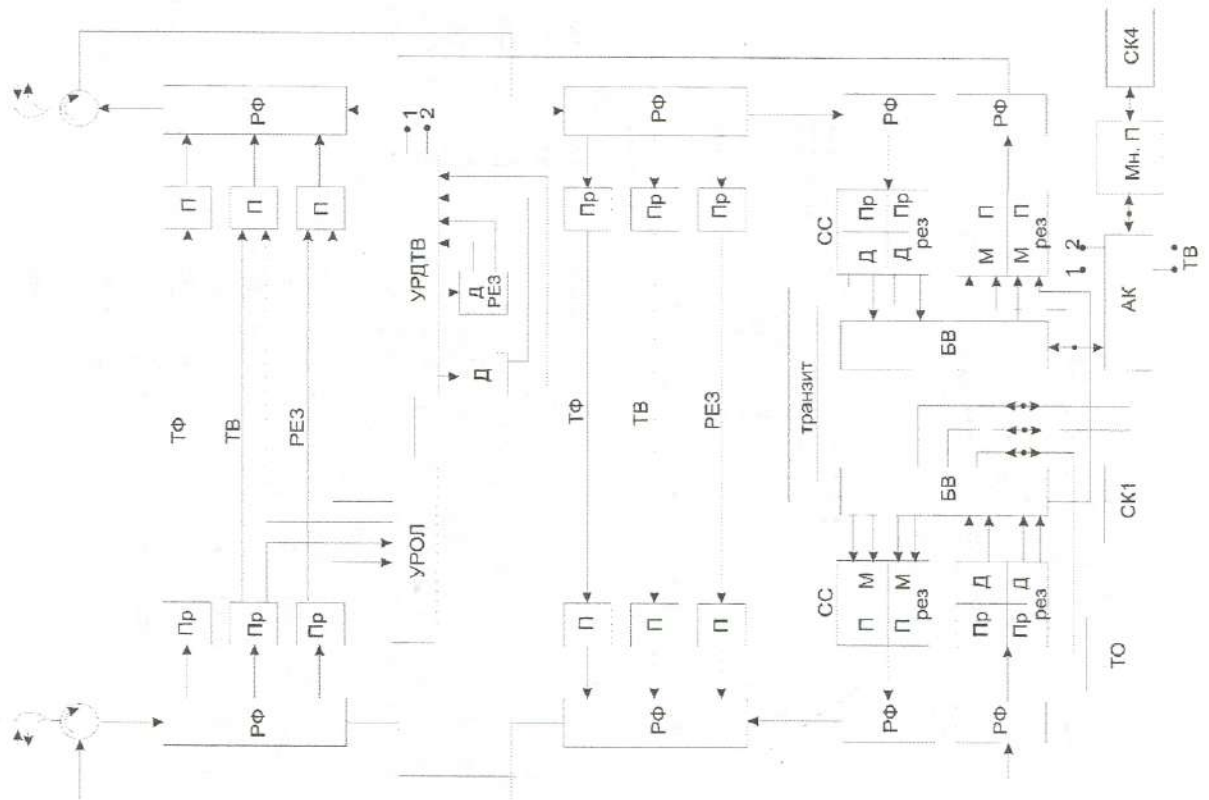


Рис.6.3. Структурная схема ГРС с ответвлением ТВ на аппаратуре ФМ на три ствола

Рис.6.2. Структурная схема ОРС на аппаратуре ФМ на три широкополосных ствола





О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ.....

ВВЕДЕНИЕ.....

1. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ Р-600, Р-600М и Р-6002М.....

1.1. Основные технические характеристики.....

1.2. Системы резервирования.....

1.3. Структурные схемы станций.....

2. РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ Р-6002МВ, «РАССВЕТ-2».....

2.1. Основные технические характеристики.....

2.2. Структурные схемы станций при схеме резервирования 1+1.....

2.3. Структурные схемы станций при схеме резервирования 3+1.....

3. РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА «ВОСХОД».....

3.1. Основные технические характеристики.....

3.2. Система резервирования.....

3.3. Структурные схемы станций.....

4. РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА «ДРУЖБА» (ГТТ-6000/1920).....

4.1. Основные технические характеристики.....

4.2. Структурные схемы станций.....

4.3. Служебная связь.....

4.4. Система резервирования.....

5. КОМПЛЕКС УНИФИЦИРОВАННЫХ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ КУРС.....

5.1. Общие сведения.....

5.2. Служебная связь.....

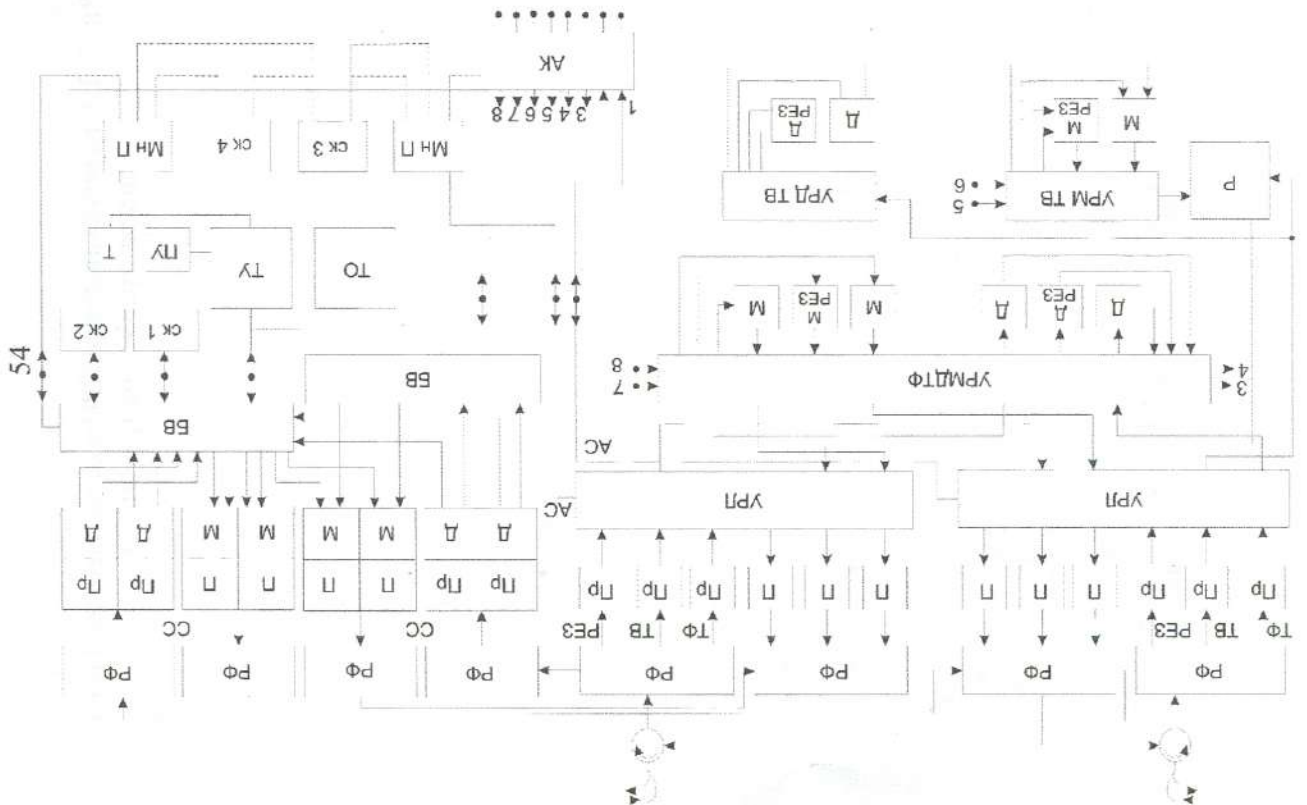
5.3. Система резервирования.....

5.4. Система телеобслуживания.....

5.5. Планы распределения рабочих частот.....

Организация ВЧ стволлов.....

Рис.6.4. Структурная схема УРС с ответвлением ТВ и вводом местной программы ТВ



56

5.6. Структурные схемы станций.....

6. УНИФИЦИРОВАННАЯ РАДИОРЕЛЕЙНАЯ СИСТЕМА ФМ (ГДР).....

6.1. Общие сведения о системе.....

6.2. Планы распределения рабочих частот.....

6.3. Система резервирования.....

6.4. Организация служебной связи и телеобслуживания.....

6.5. Структурные схемы станций.....

ОПИСАНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ РРЛ  
ПРЯМОЙ ВИДИМОСТИ

Методические указания по курсовому и дипломному проектированию  
Составил Валерий Александрович Корнцев

Редактор Д.В. Степанова  
Корректор Н.Ф. Богданова

Печ. л. 2,5.  
Тираж 100 экз.

Уч.-изд. л. 2,5.  
Заказ №252

Бесплатно

Рязанский радиотехнический институт,  
390024, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.  
ВЦ Рязоблстатуправления.