

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

Э. Б. Липкович, В. Н. Мищенко

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области
информатики и радиоэлектроники для специальностей
1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,
1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения»,
направлений специальности 1-45 01 01-01 «Инфокоммуникационные технологии
(системы телекоммуникаций)», 1-45 01 01-01 «Инфокоммуникационные технологии
(цифровое теле- и радиовещание)» в качестве пособия*

Минск БГУИР 2014

УДК 621.396.43(076.5)
ББК 32.883я73
Л61

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра связи учреждения образования
«Военная академия Республики Беларусь»
(протокол №66 от 17.04.2013);

заведующий кафедрой телекоммуникационных систем
учреждения образования
«Высший государственный колледж связи»,
кандидат технических наук, доцент К. И. Пирогов

Липкович, Э. Б.

Л61 Принципы построения радиорелейных систем передачи.
Лабораторный практикум : пособие / Э. Б. Липкович, В. Н. Мищенко. –
Минск : БГУИР, 2014. – 75 с. : ил.
ISBN 978-985-488-995-5.

Содержатся материалы лабораторных работ, которые посвящены изучению принципов построения радиорелейных систем передачи и исследованию их характеристик, приведены указания по их выполнению.

Даны теоретические сведения по каждой работе, определены контрольные задания для подготовки к защите.

Предназначено для студентов специальностей 1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций», 1-45 01 02 «Системы радиосвязи, радиовещания и телевидения» всех форм обучения по дисциплинам «Спутниковые и радиорелейные системы передачи», «Наземные и космические системы радиосвязи и сети телевизионного вещания».

УДК 621.396.43(076.5)
ББК 32.883я73

ISBN 978-985-488-995-5

© Липкович Э. Б., Мищенко В. Н., 2014
© УО «Белорусский государственный
университет информатики
и радиоэлектроники», 2014

Содержание

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ALCATEL И ПРОВЕРКА ЕЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ.....	4
Лабораторная работа №2. ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ALCATEL И ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК.....	24
Лабораторная работа №3. ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНОГО МОДУЛЯТОРА И ДЕМОДУЛЯТОРА ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА PPS.....	48
Лабораторная работа №4. ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА СИСТЕМЫ ТРАЛ 400/24 И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....	59
Литература.....	74

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ALCATEL И ПРОВЕРКА ЕЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Цель работы: изучить назначение, структуру построения и технические характеристики цифровой радиорелейной системы передачи (ЦРПС) ALCATEL; изучить принцип действия программно управляющего комплекса оконечной станции ALCATEL; усвоить правила контроля и диагностики оборудования.

1.1. Назначение и технические характеристики радиорелейной системы ALCATEL

Для создания цифровых линий связи, обеспечивающих надежный доступ и полное использование потенциала современных систем радиосвязи между оконечными пунктами, компанией Alcatel была разработана серия 94XX AWY ЦРПС ALCATEL, работающая в диапазонах 7~38 ГГц, где число 94 обозначает, что данная аппаратура предназначена для работы с сигналами цифровой иерархии PDH, цифры XX условно обозначают диапазон работы данной системы ЦРПС ALCATEL. Так, например модель 9470 AWY предназначена для работы в частотных диапазонах 7 и 8 ГГц. Модель, которая рассматривается в данной лабораторной работе, имеет маркировку 9418 AWY и работает в диапазоне частот 18 ГГц (17,7–19,7 ГГц). ЦРПС ALCATEL 9418 AWY предназначена для передачи цифровых сигналов 2xE1, 4xE1, 8xE1, 16xE1, E3 – при построении сети связи по принципам европейского варианта PDH и сигналов 4xDS1, 8xDS1, 16xDS1, DS3 – при построении сети связи по принципам североамериканского варианта PDH. Возможна передача сигналов стандарта Ethernet – 10/100 Base-TX, а также формирование дополнительных служебных каналов связи. Аппаратура ALCATEL обладает высокими техническими показателями, просто и легко монтируется, отличается большой системной гибкостью и универсальностью, причем ее высокая надежность была проверена в полевых условиях. Возможны варианты резервирования 1+0 (без резервирования) или 1+1 (с резервированием).

На рис. 1.1 показана структура построения ЦРПС ALCATEL при организации резервирования 1+0. Оборудование состоит из антенны, внешнего (ODU) и внутреннего (IDU) блоков, между которыми располагается соединительный коаксиальный кабель. Антенна через короткий отрезок волновода соединяется с внешним блоком и располагается за пределами помещения на мачтах, крышах зданий и других возвышенных местах. Внутренний блок обычно располагается внутри помещения, где поддерживается постоянная температура.



Рис. 1.1. Структура построения ЦРПС АLCATEL при резервировании по схеме 1+0

На рис. 1.2 показана структура построения ЦРПС АLCATEL при резервировании по схеме 1+1. Для этого варианта оборудование ЦРПС АLCATEL состоит из антенны, развязывающего устройства, двух внешних и внутренних блоков, между которыми проложены два соединительных коаксиальных кабеля. Антенна подключается к волноводным фланцам двух внешних блоков через специальное развязывающее устройство (coupler).

На рис. 1.3 показаны фотографии передних панелей двух внутренних блоков (основного и вспомогательного) ЦРПС АLCATEL при организации резервирования 1+1. На рис. 1.4 представлен внешний вид передней панели основного внутреннего блока с указанием установленных на ней элементов: 1 – разъем для подачи постоянного напряжения питания (48 В); 2, 3, 4 – кнопки управления и контроля индикации (более подробно представлены на рис. 1.5); 5 – тумблер включения питания; 6 – разъем подключения служебного телефона (канал EOW); 7 – разъем для подключения соединительного межблочного кабеля при организации резервирования 1+1; 8 – разъем для подключения компьютера при обслуживании сети Ethernet; 9 – разъем интерфейса RJ45; 10 – разъем для подключения управляющего компьютера (интерфейс RS232); 11 – ввод потоков 9–16 E1 (или DS1); 12 – ввод потока E3 (или DS3); 13 – ввод потока данных сети Ethernet; 14 – ввод потоков 8 E1 (или DS1); 15 – разъем для вывода внутренних контрольных сигналов; 16 – разъем для вывода сервисных каналов пользователя; 17 – разъем для организации дистанционного управления сетью

по рекомендации G.703 и передачи контрольного телефонного канала (NMS G.703 + Audio 2); 18 – разъем для организации дистанционного управления сетью по рекомендации V.11 и передачи контрольного телефонного канала (NMS V.11 + Audio 1); 19 – группа индикаторов (рис. 1.5); 20 – разъем для подключения коаксиального кабеля, обеспечивающего связь с внешним блоком ODU. На передней панели вспомогательного внутреннего блока (рис. 1.3) выведена только часть элементов, которые упомянуты для основного внутреннего блока, и их обозначение и назначение аналогично тому, что представлено выше.

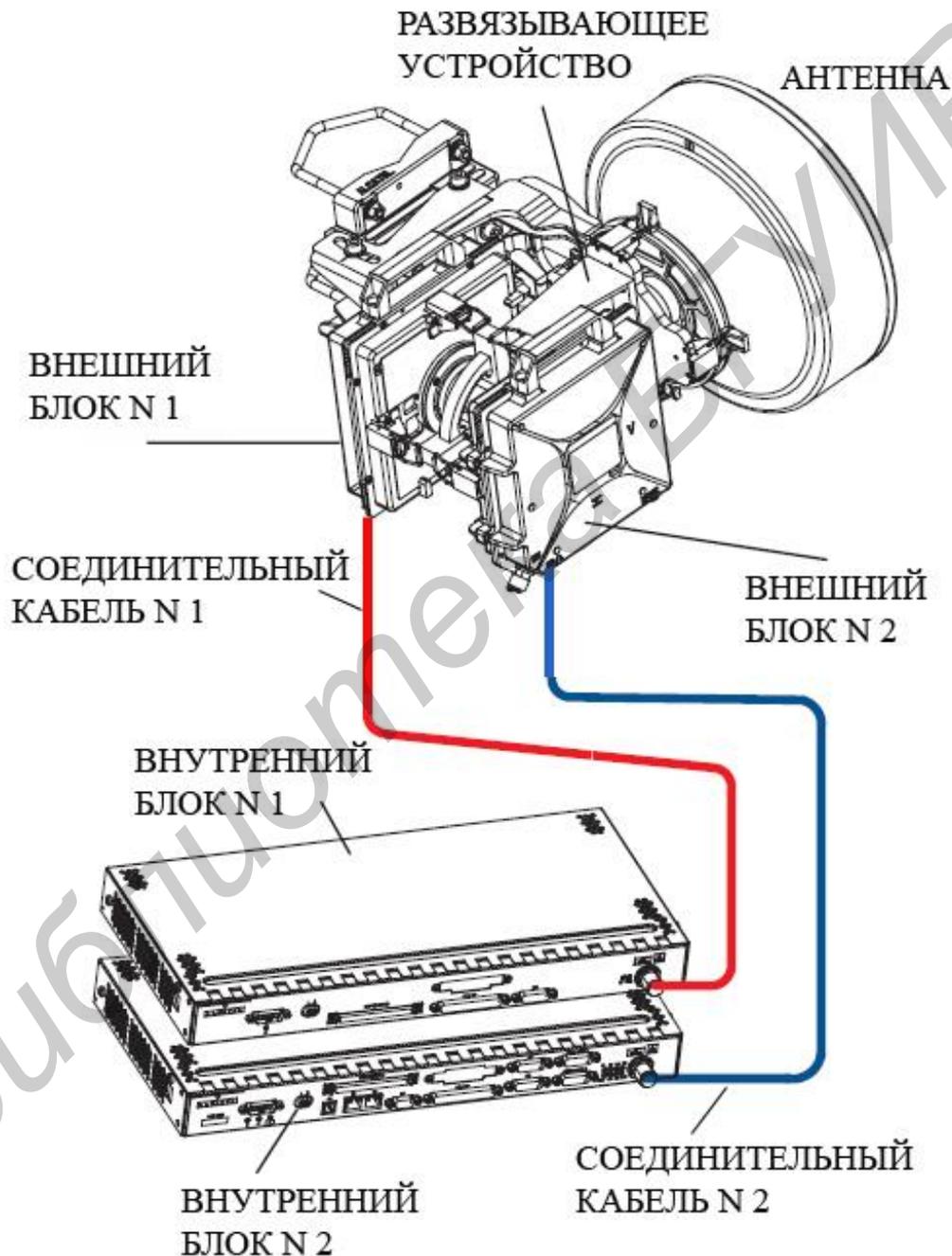


Рис. 1.2. Структура построения ЦРПС АLCATEL при резервировании по схеме 1+1



Основной внутренний блок



Вспомогательный внутренний блок

Рис. 1.3. Фотографии передних панелей двух внутренних блоков (основного и вспомогательного) ЦРПС АLCATEL при организации резервирования 1+1

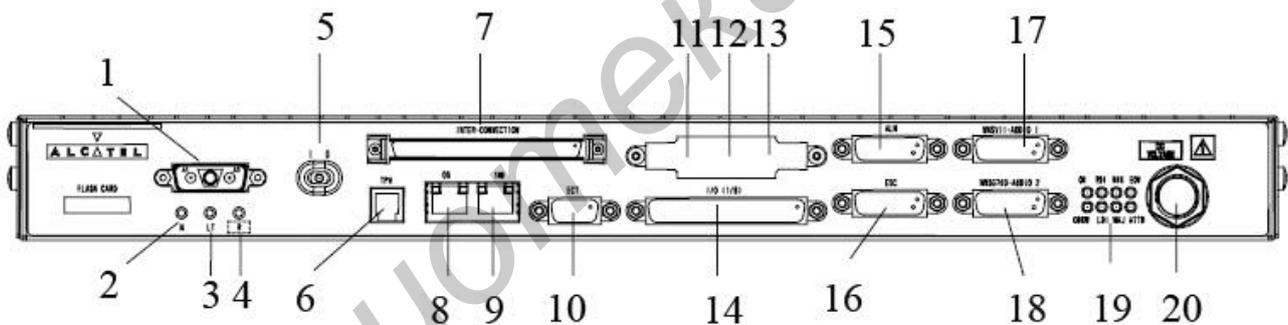


Рис. 1.4. Изображение разъемов, индикаторов, кнопок на передней панели основного внутреннего блока

На рис. 1.5 показано более детальное изображение элементов передней панели основного внутреннего блока ЦРПС АLCATEL. На ней слева располагаются три кнопки, обеспечивающие управление системой и контроль индикаторов. Кнопки М и LT предназначены для проверки работы индикаторов. При нажатии кнопки М светодиодные индикаторы, расположенные в правой части передней панели основного внутреннего блока, должны погаснуть. При нажатии кнопки LT все упомянутые выше светодиодные индикаторы должны перейти в режим постоянного свечения. Кнопка, обозначенная буквой R, предназначена для управления режимом оборудования в случае нештатных ситуаций или проведения проверки работы системы передачи.

Индикаторы, выведенные на переднюю панель, имеют следующие обозначения: ON (зеленое свечение) – питание на оборудование системы передачи подано; ODUW (зеленое свечение) – блок ODU подключен и находится в исправном состоянии; RDI (красное свечение) – индикация удаленных неисправностей; MIN (красное свечение) – вспомогательный контрольный сигнал; LDI (красное свечение) – индикация собственных неисправностей; MAJ (красное свечение) – основной контрольный сигнал; ATTD (желтое свечение) – сигнал контрольного канала; EOW – состояние контрольного телефонного канала: зеленое свечение обозначает, что канал свободен, желтое свечение обозначает, что канал занят.

На панели дополнительного внутреннего блока, как правило, содержится только два индикатора: ON (зеленое свечение) – питание на оборудование дополнительного комплекта подано; ODUW (зеленое свечение) – второй блок ODU подключен и находится в исправном состоянии.

На рис. 1.6 показано положение соединительных перемычек и указаны основные разъемы при организации резервирования 1+1 двух внутренних блоков ЦРПС АLCATEL.

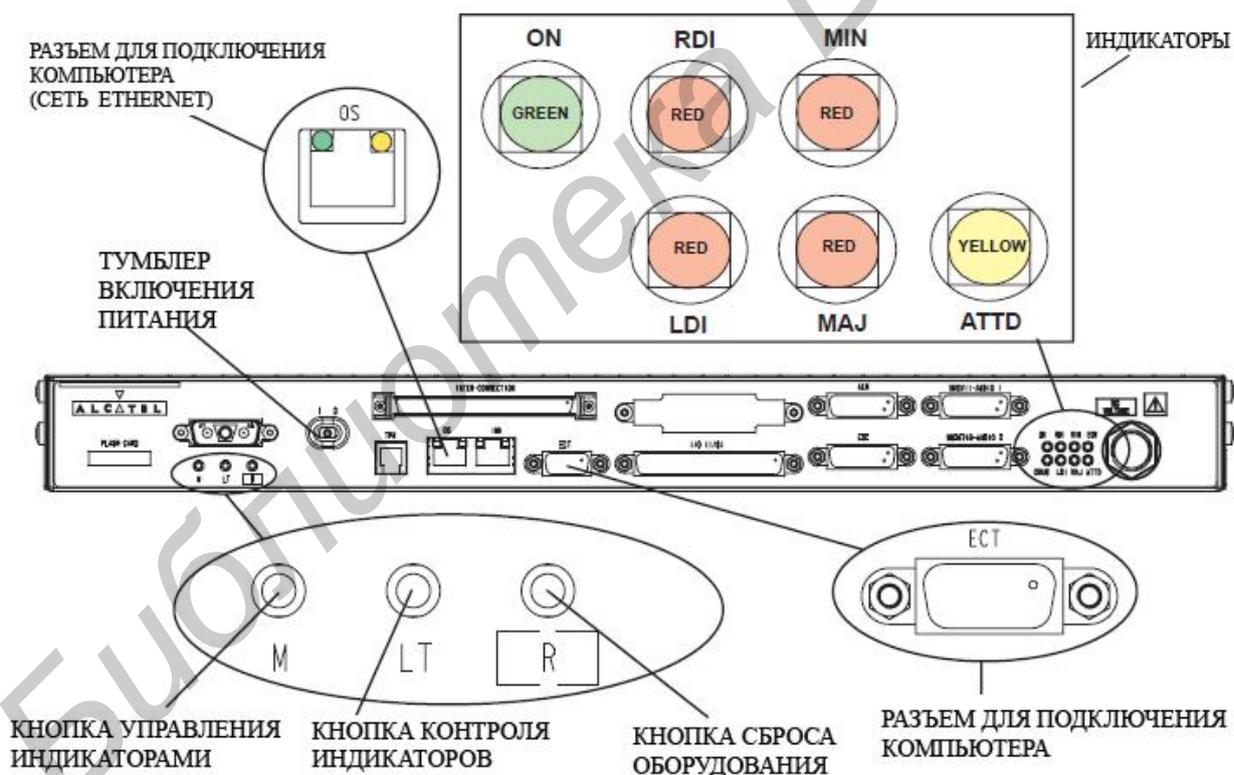


Рис. 1.5. Детальное изображение основных контрольных разъемов и индикаторов основного внутреннего блока

Слева на двух блоках располагаются тумблеры включения питания, имеющие два положения – включено I и выключено 0; перемычка зеленого цвета – для передачи основных информационных потоков; перемычка коричневого

цвета – для передачи информационных потоков (1–8) E1 (или DS1); перемычка голубого цвета – для передачи сервисных каналов пользователя. Остальные разъемы, не охваченные перемычками и внешними кабелями, имеют следующее назначение. В правой части двух внутренних блоков располагаются разъемы для подключения коаксиальных кабелей, обозначенные надписями – к ODU CH0 (к внешнему блоку CH0), к ODU CH1 (к внешнему блоку CH1).

Также на передней панели основного внутреннего блока располагаются разъемы, представленные ранее на рис. 1.4 и обозначенные как NMS G.703+Audio 2 (система управления сетью по рекомендации G.703 плюс контрольный телефонный канал) и NMS V.11+Audio 1 (система управления сетью по рекомендации V.11 плюс контрольный телефонный канал), а также разъем OS – для подключения компьютера при подаче внешнего сигнала Ethernet.

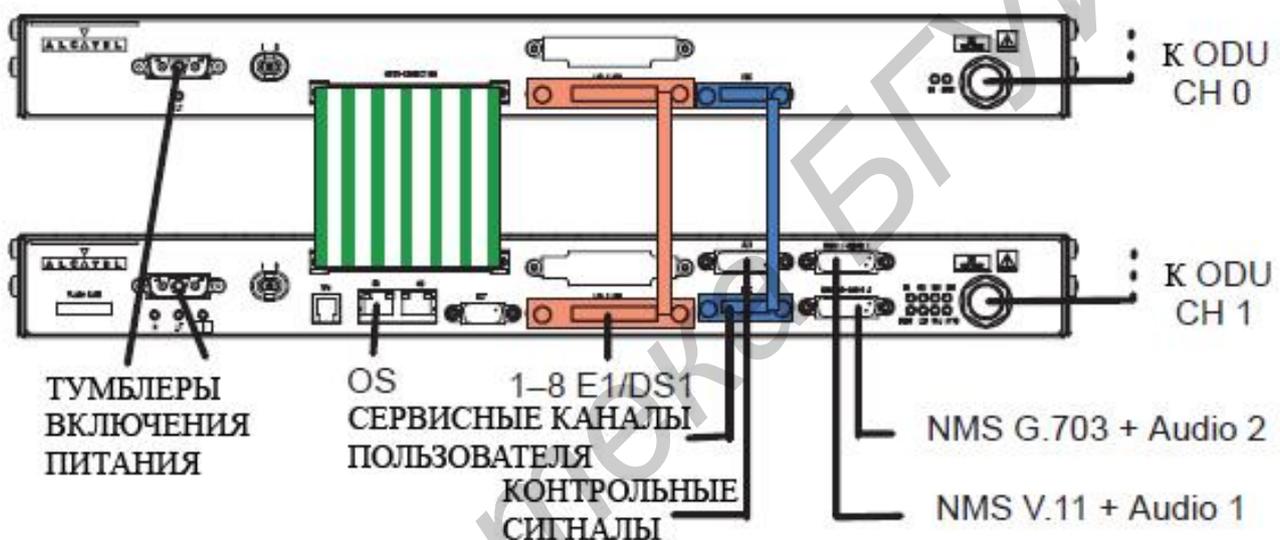


Рис. 1.6. Схема соединений и основные разъемы при организации резервирования 1+1 двух внутренних блоков

Межблочные соединения при организации резервирования по схеме 1+1 представлены на рис. 1.7. Два блока IDU – основной и дополнительный соединены между собой кабелями и перемычками K1, K2, K3, K4, K5. С помощью соединительного кабеля K1, имеющего 37 контактов, обеспечивается взаимодействие основного и дополнительного IDU при вводе/выводе восьми потоков E1 (или DS1). Два коаксиальных кабеля K2 и K3 обеспечивают соединение и ввод/вывод потока E3 (или DS3). Соединение сервисным каналом СК организуется с помощью кабеля K4, имеющего 15 контактов. Кроме упомянутых выше кабелей, блоки IDU соединяет межблочный плоский кабель K5. Реализация схемы резервирования 1+1 при включении основного или резервного IDU осуществляется с помощью дополнительного модуля переключения П, который может работать под управлением собственного процессора и принимать управляющие команды с соседних по радиорелейной линии ЦРПС. Блок ЕС/РС со-

держит контроллер оборудования ЕС и радиотракта RC. С помощью этого блока организуется интерфейс сигналов системы управления сети NMS, передаваемых по протоколам V.11 и G.703, сигналов системы Ethernet – 10/100 Base T, а также интерфейса RS 232 для связи с управляющим компьютером. Служебный телефонный канал EOW организуется через блок мультиплексор/демультиплексор (МД) основного IDU. Основной и дополнительный IDU связаны с помощью коаксиальных кабелей соответственно с двумя внешними блоками – ODU CH#0 и ODU CH#1. Передаваемая информация к ним формируется в цифровом коде HDB3. Взаимодействие блоков ЕС/RC и МД осуществляется с помощью сигналов управления телекоммуникационной системой (TMS), передаваемых со скоростью 64 Кбит/с.

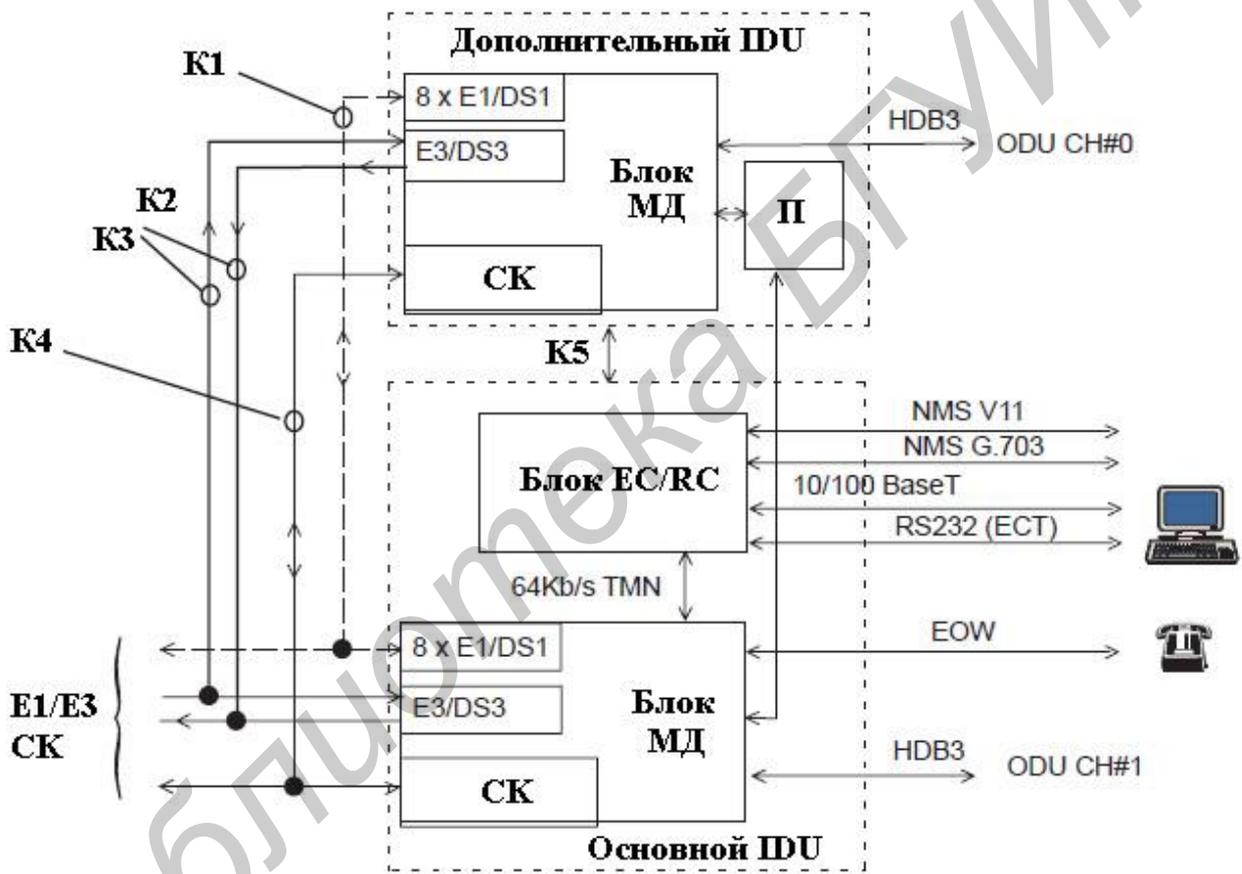


Рис. 1.7. Межблочное соединение при организации резервирования по схеме 1+1

Оборудование ЦРПС отличается хорошими техническими показателями; использование современной элементной базы и, в частности, микросхем с высокой степенью интеграции элементов; высокая надежность; низкая потребляемая мощность, а также автоматическая регулировка уровня мощности передатчика (АТРС). Аппаратура имеет достаточно большой коэффициент системы, благодаря применению канального помехоустойчивого кодирования, и высокую эффективность использования спектра, благодаря использованию многопозиционных видов модуляций QPSK или 16QAM. Это дает возможность применять

антенны меньших размеров (30 и 60 см) и снизить стоимость системы. Общая величина диапазона автоматической регулировки уровня радиочастотного выходного сигнала составляет 20 дБ, а ручной регулировки уровня этого сигнала – 30 дБ. Стабильность частоты выходного радиочастотного сигнала не хуже $\pm 10^5$. Шаг перестройки синтезатора частоты составляет 250 кГц. Максимальный уровень приемного сигнала не должен превышать величину –20 дБм. Используется канальное кодирование Рида – Соломона по типу (255, 239) с исправлением восьми ошибочных байт в блоке из 255 байт.

Общие технические характеристики оборудования ЦРПС АLCATEL для диапазонов частот (7–38 ГГц) приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Основные параметры и характеристики оборудования ЦРПС АLCATEL

Позиция		Диапазоны			
		7 ГГц	18 ГГц	23 ГГц	38 ГГц
Разнос каналов (скорость передачи, Мбит/с)	QPSK	3,5 МГц (4), 7 МГц (8), 14 МГц (16), 28 МГц (32/34)			
	16QAM	7 МГц (8), 14 МГц (16), 28 МГц (32/34)			
Пороговый уровень (дБм), при QPSK и BER = 10^{-6}					
16xE1		-82	-81	-81	-79
2xE1		-91	-90	-90	-88
Пороговый уровень (дБм), при QPSK и BER = 10^{-3}					
16xE1		-83	-82	-82	-80
2xE1		-92	-91	-91	-89
Пороговый уровень (дБм), при 16QAM и BER = 10^{-3}					
16xE1		-79	-80	-78	-76
Коэффициент системы (дБм), при QPSK и BER = 10^{-6}					
16xE1		110	105	102	97
2xE1		119	114	111	106
Коэффициент системы (дБм), при QPSK и BER = 10^{-3}					
16xE1					
2xE1		111	106	103	98
		120	115	112	107
Коэффициент системы (дБм), при 16QAM и BER = 10^{-3}					
16xE1		103	99	96	91
ЭМС		Соответствует нормам ETS301 489-4			

Разнос каналов в полосах приема или передачи зависит от вида модуляции (QPSK или 16QAM), а также скорости цифрового потока. Так при скорости передачи 4 Мбит/с и модуляции QPSK разнос каналов составляет 3,5 МГц, а при скорости передачи 8 Мбит/с и модуляции 16QAM – 7 МГц. Условия по ЭМС (электромагнитной совместимости) должны во всех диапазонах соответствовать нормам ETS301 489-4.

Максимальная выходная мощность в диапазоне 18 ГГц (17,7–19,7 ГГц) при модуляции QPSK составляет величину 22 дБм, а при модуляции 16QAM – 19 дБм. Разнос частот настройки передатчика и приемника может быть разным в зависимости от диапазона частот, так же как и внутри отдельных диапазонов (1010, 1008, 340, 1560 МГц). Диапазон изменения выходной мощности при модуляции QPSK и при автоматической системе регулировки составляет от 22 до 2 дБм, а при ручной системе регулировки – от 22 до –8 дБм с шагом 1 дБм. Диапазон изменения выходной мощности при модуляции 16QAM и при автоматической системе регулировки составляет от 19 до –1 дБм, а при ручной системе регулировки – от 19 до –11 дБм с шагом 1 дБ. Точность установки уровня составляет ± 2 дБм в диапазоне изменения температуры от –33 °С до +55 °С.

Аппаратура оборудована служебными каналами двух типов со скоростью передачи 64 Кбит/с. Первый из них формирует канал передачи данных, организуемый по различным вариантам рекомендаций G.703 или V11 с возможностью перехода на скорости 4,8/9,6 Кбит/с. Второй служебный канал – телефонный (EOW), работающий со скоростью 64 Кбит/с и обеспечивающий связь абонентов в служебных целях. Для управления системой промежуточных ЦРПСИ формируется специальный канал управления NMS со скоростью 64 Кбит/с, организуемый по рекомендациям G.703 или V11.

1.2. Особенности функционирования программного управляющего комплекса для ЦРПСИ Alcatel

После установки специального программного обеспечения (программа Alcatel 1320СТ) пользователь получает возможность с помощью персонального компьютера (СТ – Craft Terminal) управлять информационными процессами, изменять режим работы оборудования и выполнять другие процедуры по отношению к ЦРПСИ, подключенной к этому компьютеру. После загрузки этой программы и выполнения ряда дополнительных операций, более подробно описанных в разд. 1.3, пользователь получает доступ к основному управляющему и информационному окну JUSM_ULS_2.0_34 (рис. 1.8). Это окно содержит три основных поля (графические области): RESOURCE TREE AREA, RESOURCE LIST AREA, RESOURCE DETAIL AREA, которые позволяют получить информацию о составе и техническом состоянии оборудования, получить изображения основных блоков и узлов, изменить режим работы устройств и т. д.

В поле RESOURCE LIST AREA можно получить фотографии двух внешних (ODU) и двух внутренних блоков (IDU) при схеме организации резервирования 1+1 (рис. 1.9–1.10). На изображения этих блоков или возле них нанесены

изображения специальных индикаторов в виде окружностей небольшого диаметра, имеющих цветное заполнение. Вверху правой области располагается обобщенный индикатор статуса оборудования (Equipment Status). При отсутствии неисправностей наблюдается засветка этого индикатора зеленым цветом.

В рабочей области управления (поле) RESOURCE LIST AREA, в секторе, обозначенном голубой линией, на изображения оборудования внешних блоков (ODU ch#0 – условный канал 0 и ODU#1 – условный канал 1) и внутренних блоков (IDU/EXT ch#0 – условный канал 0 и IDU/MAIN#1 – условный канал 1) нанесены индикаторы статусов этих блоков (ODU Status – статус внешних блоков, IDU Status – статус внутренних блоков).

Цветовая засветка индикаторов статуса несет необходимую информацию о техническом состоянии контролируемого оборудования и отражается засветкой определенного цвета. Разработана шкала соответствия цвета индикатора и состояния оборудования, от которой зависит вид контрольного сигнала. Зеленый цвет индикаторов статуса соответствует отсутствию контрольных сигналов и свидетельствует об исправности оборудования. Засветка индикаторов другим цветом сигнализирует об ухудшении работы оборудования.

Принята следующая иерархия цветов засветки индикаторов статуса, которая последовательно отражает переход от более надежного состояния оборудования до его менее надежного состояния – белый, голубой, желтый, коричневый, красный. Последний уровень состояния оборудования, при котором наблюдается красная засветка индикатора, соответствует наиболее низкому, наименее надежному (критическому) уровню оборудования.

В поле RESOURCE TREE AREA в лестничной форме раскрывается состав оборудования ЦРПС (сетевой элемент – NE ULS 2.0), состоящей из упомянутых выше внутренних и внешних блоков: ODU ch#0, ODU#1, IDU/MAIN#1 (основной внутренний блок), IDU/EXT ch#0 (вспомогательный внутренний блок).

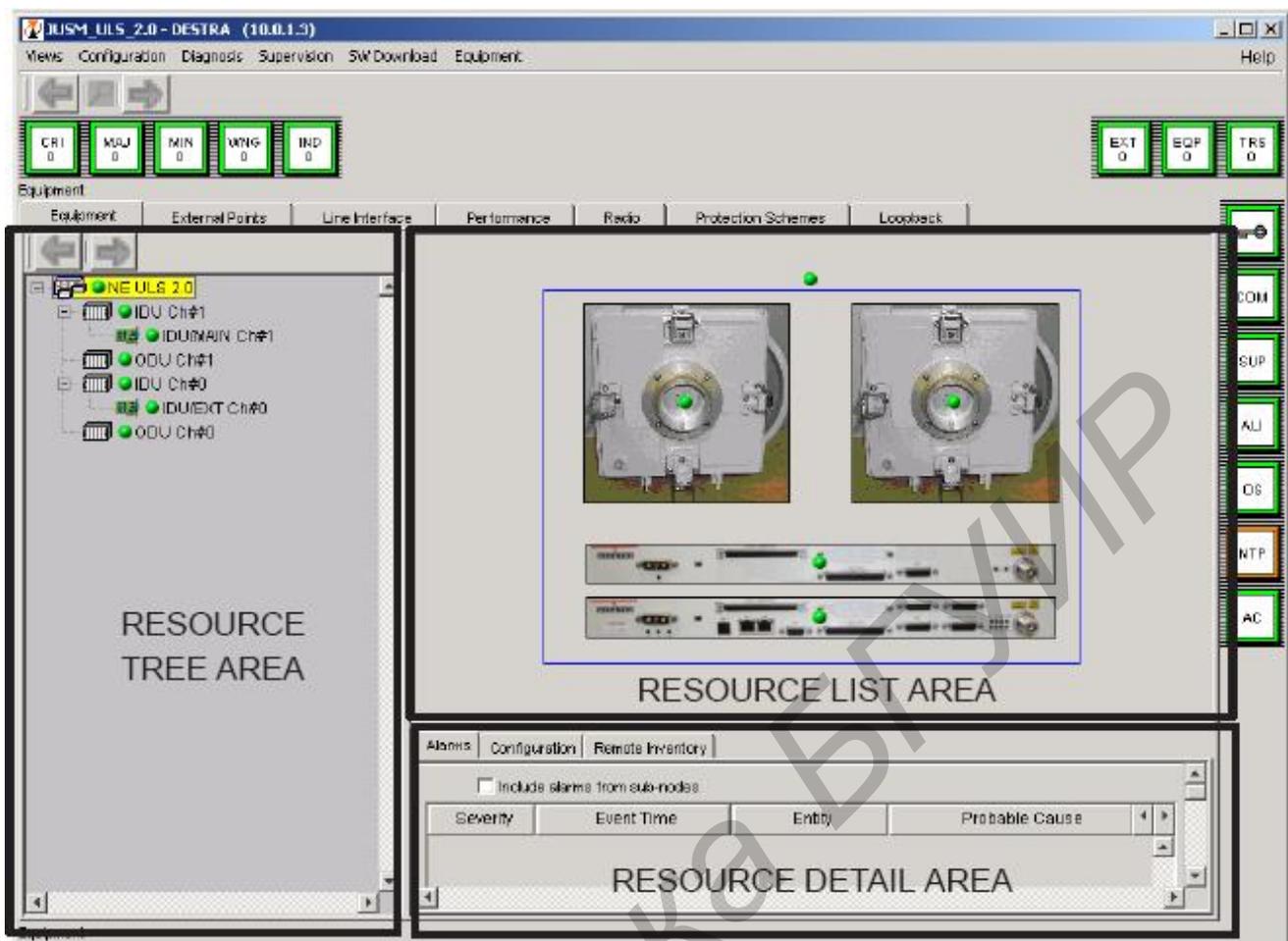


Рис. 1.8. Внешний вид окна JUSM_ULS_2.0_34

В поле RESOURCE DETAIL AREA, как будет показано ниже, можно получить более детальную и подробную информацию о состоянии оборудования, изменить ряд информационных параметров, выполнить ряд других процедур.

Помимо упомянутых выше трех основных полей (графических областей) – RESOURCE TREE AREA, RESOURCE LIST AREA, RESOURCE DETAIL AREA – в контрольном окне JUSM_ULS_2.0_34 содержатся изображения следующих элементов: панель меню, панель инструментов, кнопки управления, контрольные индикаторы, контрольные индикаторы зоны обслуживания, индикаторы управлением состоянием оборудования (см. рис. 1.9–1.10).

Изображение оборудования, представленное на рис. 1.9–1.10, получено при нажатии кнопки Equipment (оборудование) из состава кнопок управления. Назначение и особенности работы при нажатии других кнопок управления будут раскрыты ниже.

При нажатии кнопки Alarms (контрольные сигналы) в области RESOURCE DETAIL AREA можно получить детальную информацию о полученных контрольных сообщениях и сделать выводы о состоянии оборудования (рис. 1.11).

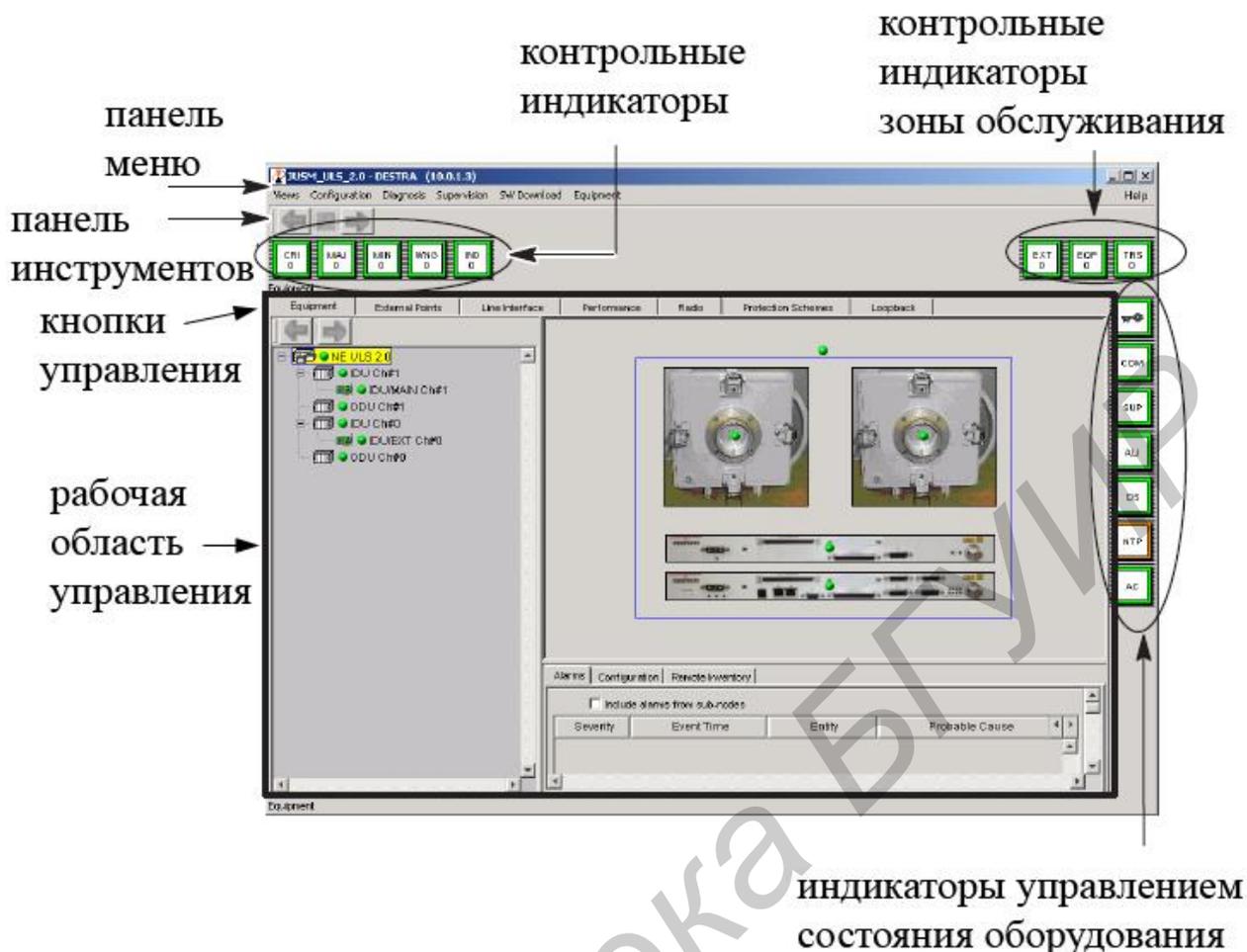


Рис. 1.9. Внешний вид контрольного окна JUSM_ULS_2.0_34

Следующая кнопка Configuration (конфигурация) позволяет определять параметры линейных сигналов формата PDH (двух известных вариантов – европейского – ETSI и распространенного в Северной Америке – ANSI), сигналов управления системой (NMS), передаваемых со скоростью 64 Кбит/с, а также сигналов стандарта Ethernet.

Последняя кнопка Remote Inventory (см. рис. 1.11) позволяет вывести на экран ряд учетных данных об оборудовании (серийный номер, идентификатор завода изготовителя, идентификатор компании и т. д.), о программном обеспечении и ряде других параметров.

Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления Line Interface (Интерфейс линии) показано на рис. 1.12. Нажатие этой кнопки позволяет пользователю управлять источниками интерфейсов линейных сигналов – PDH, NMS, Ethernet. В окне RESOURCE LIST AREA пользователю выводится в виде списка следующая информация: тип интерфейса (PDH от E1/DS1 до E3/DE3, NMS 64 Кбит/с, Ethernet), номер порта, номер линейного канала, скорость потока, тип кадра.

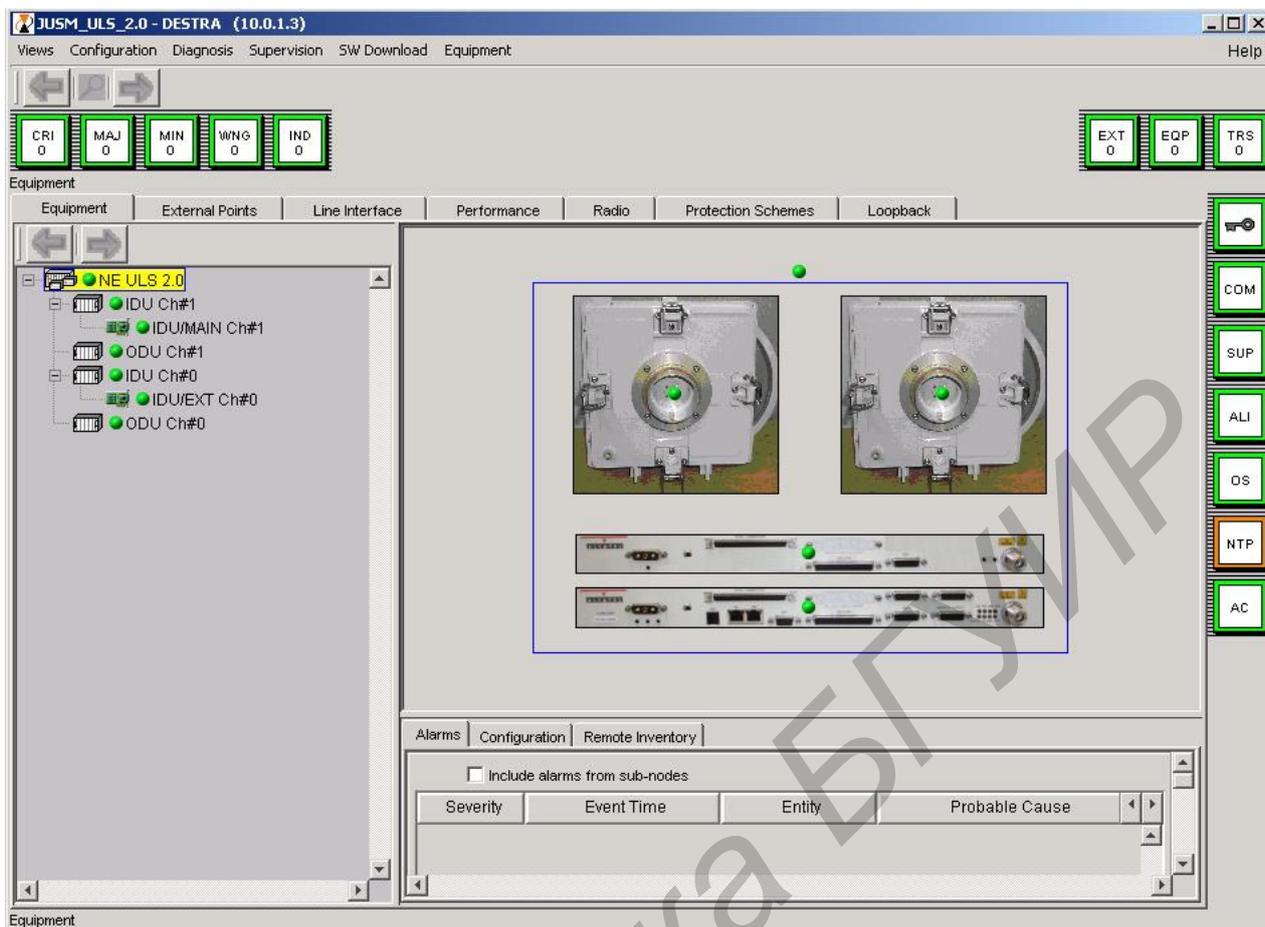


Рис. 1.10. Вид контрольного окна JUSM_ULS_2.0_34 при использовании резервирования 1+1

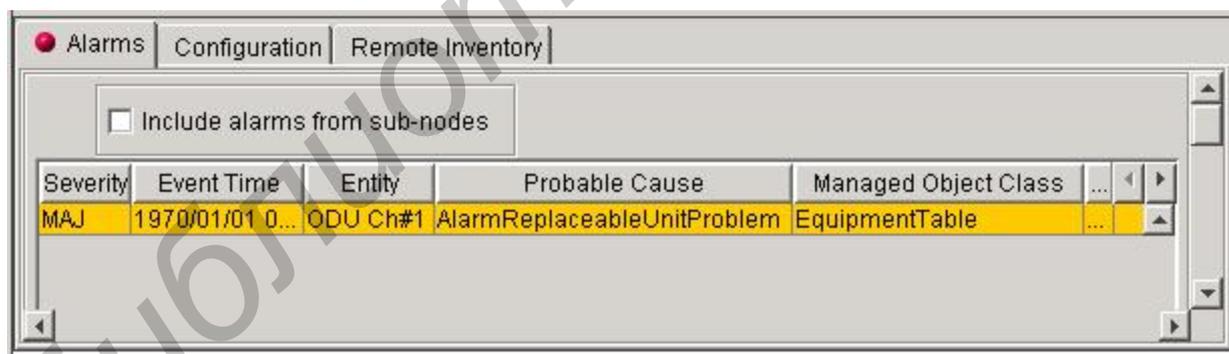


Рис. 1.11. Особенности работы с контрольными сигналами в области RESOURCE DETAIL AREA

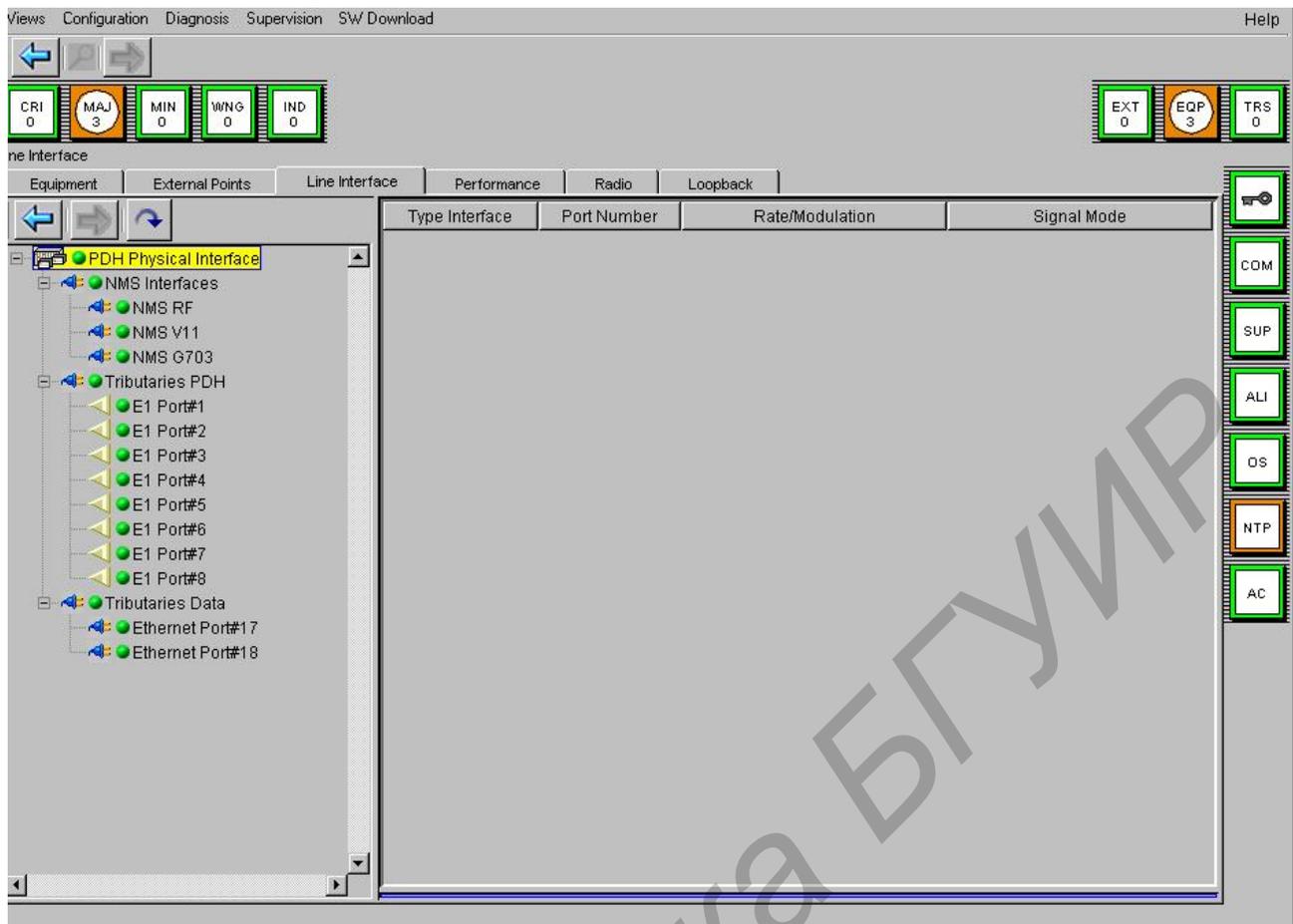


Рис. 1.12. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления LINE INTERFACE (Интерфейс линии)

В области RESOURCE DETAIL AREA можно получить детальную информацию о состоянии соответствующих каналов через полученные контрольные сообщения и сделанные предварительно настройки параметров линейных сигналов.

Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления RADIO (радиоканалы) показано на рис. 1.13. Нажатие этой кнопки позволяет пользователю управлять характеристиками и параметрами радиоканалов.

В окне RESOURCE TREE AREA пользователю выводятся в виде списка доступные один или два канала – Channel#0 или Channel#1. Более подробная информация содержится в областях RESOURCE LIST AREA и RESOURCE DETAIL AREA. В частности, в области RESOURCE LIST AREA можно получить следующую информацию о каждом из каналов: вид модуляции (Modulation), уровень мощности сигнала (Tx Power) в дБм (dBm), состояние автоматической регулировки уровня мощности выходного передатчика – Atpc, частота передатчика – Tx Freq в кГц (kHz).

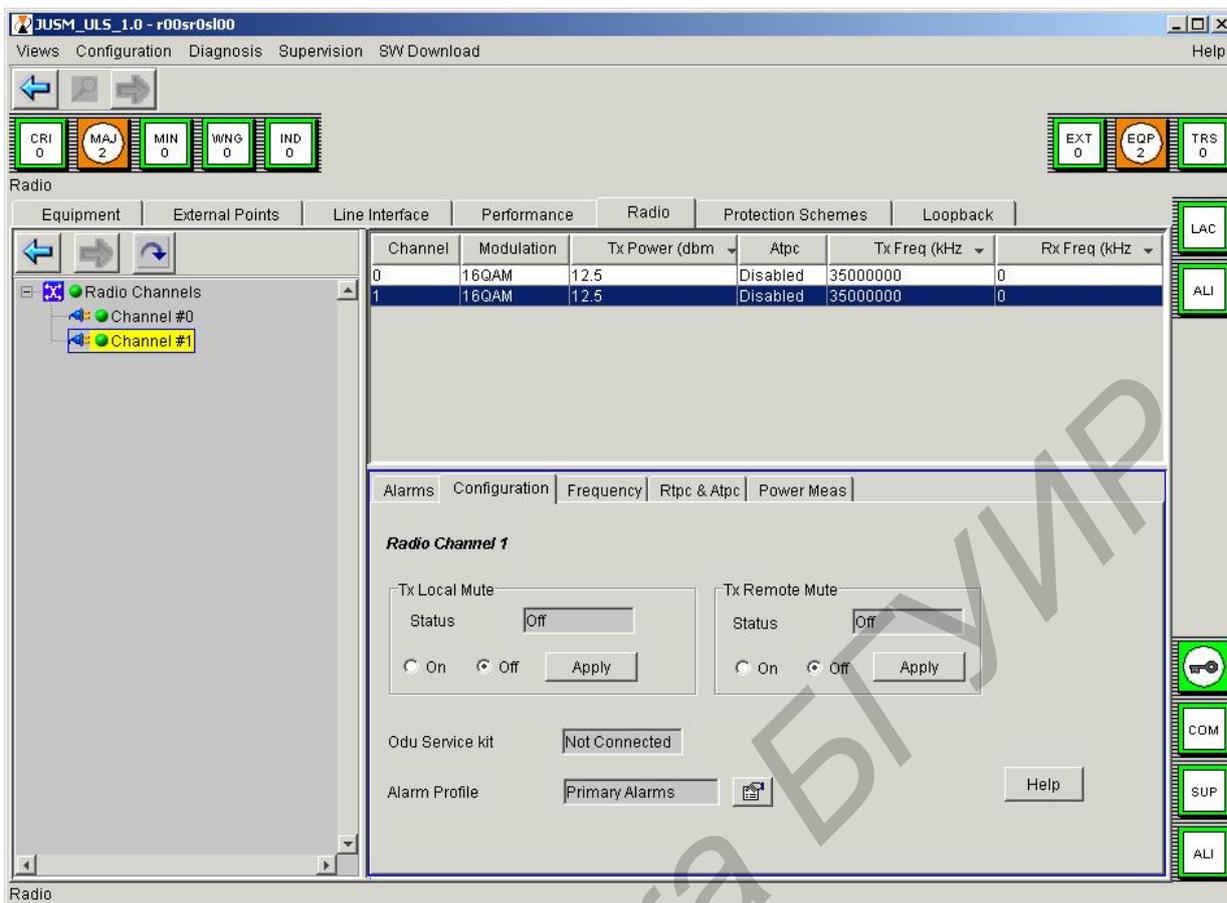


Рис. 1.13. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления RADIO (радиоканалы)

В окне RESOURCE DETAIL AREA пользователь может управлять работой радиоканала, менять режимы его работы, изменять параметры сигнала и т. д. Нажатие кнопки Alarms позволяет, как уже упоминалось, просмотреть контрольные сигналы данного радиооборудования, увидеть, активно оно в данный момент или нет. Нажатие кнопки Configuration позволяет управлять работой радиоканалов – включать или выключать их и выполнять ряд других действий, предусмотренных этим режимом управления для двух комплектов радиооборудования. Первый комплект приемопередающего оборудования, имеющий статус условно местного или ближайшего к данному управляющему компьютеру, обозначается как Tx Local Mute. Второй комплект условно удаленного по отношению к первому комплекту оборудования обозначается как Tx Remote Mute. Можно выбрать и включить с помощью кнопки Apply (применить) два режима работы этих двух комплектов оборудования – включено (On) и выключено (Off).

Нажатие кнопки Frequency позволяет просмотреть и изменить значения частот передатчика (Tx Freq kHz) и приемника (Rx Freq kHz) данного канала. При установке нового значения частоты ее величина не должна превышать минимально и максимально установленные значения частоты, которые приведены

справа в рабочей области в зоне Frequency Range (рабочий диапазон). Указываются значения минимальной – Min Value (kHz) и максимальной – Max Value (kHz) частот передатчика. Значение частоты настройки приемника Rx Freq kHz устанавливается автоматически после установки частоты передатчика Tx Freq kHz, зная соответствующий частотный сдвиг между этими частотами в соответствии с частотным планом.

Нажатие кнопки RTPC/ATPC (рис. 1.14) позволяет изменить режимы и параметры настройки системы автоматической (ATPC) или ручной (RTPC) систем регулировки выходного уровня сигнала передатчика. Система ATPC включается заполнением поля Enabled и нажатием клавиши Apply (применить). Для отключения этой системы необходимо заполнить поле Disabled и нажать клавишу Apply. Диапазон ручной регулировки составляет 30 дБ (от –10 до 20 дБм) и текущее значение частоты устанавливается в окне Tx Power при нажатии клавиши Apply.

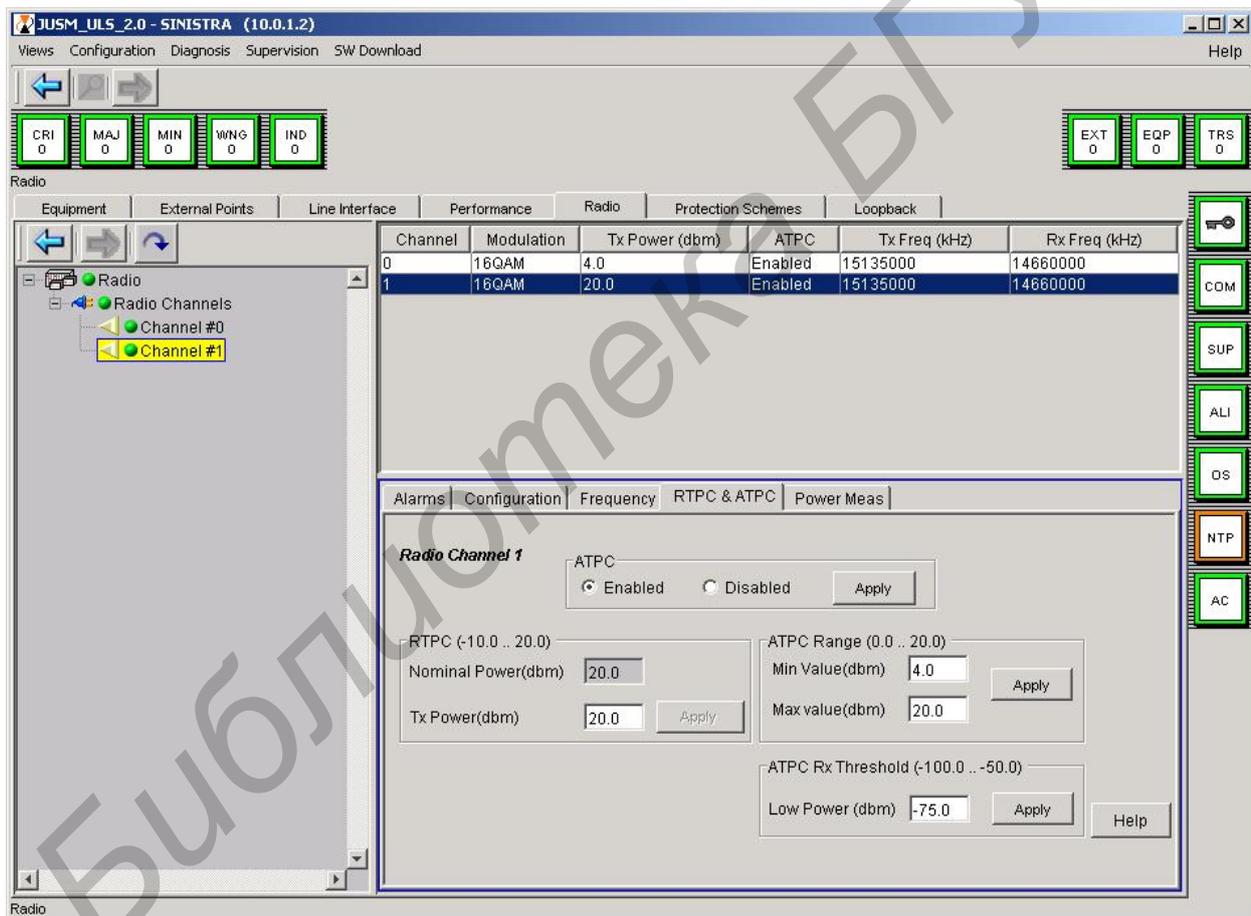


Рис. 1.14. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления RADIO (радиоканалы) и кнопки RTPC/ATPC (ручная/автоматическая) в окне RESOURCE DETAIL AREA

Диапазон автоматической регулировки составляет 20 дБ (от 0 до 20 дБм). Минимальное значение частоты устанавливается в окне Min Value (dBm), максимальное значение – в окне Max Value (dBm) при нажатии клавиши Apply.

Пороговое значение уровня сигнала при работе системы АТРС устанавливается в окне Low Power зоны АТРС Rx Threshold и не должно выходить за пределы диапазона минус 100...минус 50 dBm (дБм). Диапазон изменений значений пороговой чувствительности в диапазон 18 ГГц при 4QAM и передаче сигналов ЕЗ может изменяться от минимальной величины (Min Value), равной минус 72 дБм, до максимальной (Max Value), равной минус 60 дБм. При использовании 16QAM модуляции аналогичные значения составляют минус 68 и минус 60 дБм.

1.3. Указания по выполнению лабораторной работы

1. Включить четыре лабораторных выпрямителя, обеспечивающих подачу напряжения 48 В на лабораторную установку. Для этого на этих выпрямителях поставить тумблер ВКЛ в верхнее положение.

2. Изучить состав лабораторной установки, содержащей две ЦРПС Alcatel, компьютер, аттенюатор ДЗ-35. Включить компьютер, который входит в состав лабораторной установки и позволяет управлять ЦРПС. Дождаться загрузки операционной системы компьютера.

3. Включить аттенюатор ДЗ-35. Для этого переключатель СЕТЬ, расположенный на передней панели, поставить в положение I. Вращая поворотную ручку, установить значение затухания этого прибора равным 13 дБ.

4. Включить оборудование двух ЦРПС. Для этого на их внутренних блоках тумблер СЕТЬ I-O поставить в положение I. Контролировать засветку индикаторов ON, ODUW, EOW на передней панели четырех внутренних блоков ЦРПС. Изучить расположение и подключение кабелей между двумя внутренними блоками двух ЦРПС. Проверить подключение специального кабеля с одной стороны к USB разъему компьютера, а с другой стороны – к разъему EST внутреннего блока ЦРПС номер 4.

5. На компьютере запустить специальную программу Alcatel 1320 ST. Контролировать загрузку программы, появление окна Network Element Synthesis (sample map). В дальнейшем это окно не закрывать. Подключение внутренних блоков 3 и 4 отображается на условной карте (схеме) оборудования появлением специального символа. Выбрать на этой схеме внутренние блоки 3 и 4 и запустить выполнение программы двойным щелчком компьютерной мыши. В правом окне появляется служебное окно состояния аппаратуры. Выбрать опцию Supervision и нажать кнопку Start. Контролировать состояние ЦРПС по загоранию специального индикатора в виде зеленого круга, возле которого отображается цифра 0. Выбрать опцию Supervision и нажать кнопку Show Equipment. Ожидать загрузку окна для ввода пароля – Login. Набрать в поле Username – initial, в поле Password – initialing. Нажать на кнопку Apply. Наблюдать появление контрольного окна JUSM_ULS_2.0_34 (см. рис. 1.10). При от-

сутствии аварий и неисправностей контрольные индикаторы CRI, MAJ, MIN, WNG, IND (см. рис. 1.9) будут гореть зеленым цветом и сопровождаться наличием цифры 0 под названием индикатора. Аналогично контролировать засветку зеленым цветом контрольных индикаторов зоны обслуживания EXT, EQP, TRS и индикаторов управлением состояния оборудования – ключ (индикатор со схематическим изображением символа ключа), COM, SUP, ALI, OS. Индикатор NTP загорается коричневым цветом, индикатор AC – голубым. При отсутствии ошибок в поля индикаторов EXT, EQP, TRS заносится цифра 1. Изучить состав оборудования, информация о котором появляется в рабочей области управления. Для этого нажать кнопку управления Equipment, которая расположена в верхней части рабочей области управления. В левом окне рабочей области управления – окно RESOURCE TREE AREA – раскрывается лестничная (древовидная) схема построения исследуемого оборудования (см. рис. 1.9–1.10). Эту схему исследовать и зарисовать в отчет, сделать выводы. В правой части рабочей области управления, в окне RESOURCE LIST AREA изучить фотографии и другую информацию о составе и состоянии исследуемого оборудования.

6. Нажать кнопку управления Line Interface, которая расположена в верхней части контрольного окна (см. рис. 1.12). Изучить интерфейсы линейных сигналов PDH, NMS, Ethernet, установленные в данной ЦРПС. В области RESOURCE TREE AREA открыть список с информацией об организации интерфейсов данной ЦРПС. Изучить эти данные: тип интерфейса (PDH, NMS, Ethernet), номер порта, номер линейного канала. Переписать в отчет значения этих параметров. Выделить курсором один из потоков E1 иерархии PDH. Выделение подтверждается засветкой желтым цветом названия данного потока. Раскрывается список каналов потока E1, имеющих соответствующие точки доступа (Port Number). Записать полученные данные таблицы в отчет. Сделать выводы.

7. Нажать кнопку управления Radio, которая расположена в верхней части контрольного окна (см. рис. 1.13). Выполнить проверку возможностей по управлению параметрами радиоканалов. Нажать кнопку Frequency в окне RESOURCE DETAIL AREA, что дает возможность просмотреть и записать значения частот передатчика (Tx Freq kHz) и приемника (Rx Freq kHz), установленные по умолчанию для канала 0 (channel #0). Записать величину частотного диапазона (Frequency Range) перестройки передатчика данной ЦРПС. В соответствии с частотным планом установить новое значение частоты передатчика, которая попадает в разрешенный диапазон частот. Записать в отчет новые значения частот передатчика и приемника. Значение частоты настройки приемника Rx Freq kHz устанавливается автоматически после установки частоты передатчика Tx Freq kHz, зная соответствующий частотный сдвиг между этими частотами согласно частотному плану. Войти в опцию RTPC&ATPC. Исследовать режимы работы передатчика – автоматической регулировки выходной мощности (ATPC) и ручной регулировки (RTPC). Записать в отчет значения уровней мощности передатчиков двух каналов (channel #0 и channel #0), установленные по умолчанию. Определить диапазон изменения уровня выходной мощности

при ручной и автоматической регулировках. Записать эти данные в отчет. Сделать выводы.

8. Выбрать опцию Remote Inventory в нижней части области RESOURCE DETAIL AREA. Записать в отчет серийный номер, дату изготовления, версию программного обеспечения и другие данные: Serial Number, Factory Identifier, Part Number, Company Identifier, Date, Date Identifier.

9. Выполнить проверку работы системы служебной связи. Для этого подключить специальные служебные телефоны к гнездам TRF двух РРСП 1-2 и 3-4. Организовать вызов абонента с РРСП 1-2 на станцию РРСП 3-4, расположенную на другом конце линии связи. Для этого выполнить следующие действия. Включить оборудование служебного телефона, подключенного к РРСП 1-2, поставив переключатель ON/OFF, расположенный на корпусе телефона, в положение ON. На клавиатуре телефона, подключенного к РРСП 1-2, нажать кнопку #. Проверить загорание желтым цветом светодиодного индикатора EOW, расположенного на корпусе основного комплекта внутреннего блока РРСП 1-2. На клавиатуре телефона, подключенного к РРСП 1-2, нажать номер 34 вызываемой РРСП 3-4. Проверить засветку желтым прерывистым цветом светодиодного индикатора EOW, расположенного на корпусе основного комплекта внутреннего блока вызываемой РРСП 3-4, а также появление на этой станции прерывистого звукового сигнала. Включить оборудование служебного телефона, подключенного к РРСП 3-4, поставив переключатель ON/OFF, расположенный на корпусе телефона, в положение ON. Ответить на полученный вызов, выполнить переговоры двух абонентов, расположенных на РРСП 1-2 и 3-4. После окончания переговоров нажать клавишу * на телефоне, подключенном к РРСП 1-2. Переключатель ON/OFF обоих телефонов поставить в положение OFF.

10. Выключить компьютер, выйдя из служебной программы. Выключить исследуемые ЦРРСП. Для этого на внутреннем блоке каждой ЦРРСП тумблер СЕТЬ I-O, потянув его на себя, поставить в положение O. Выключить аттенюатор ДЗ-35.

1.4. Содержание отчета

1. Цель работы. Основные характеристики и параметры исследуемой ЦРРСП ALCATEL.
2. Экспериментальные данные.
3. Выводы по проделанной работе.

1.5. Контрольные задания

1. Назовите общие особенности исполнения и основные характеристики современных цифровых радиорелейных систем передачи.

2. Назовите основные характеристики и параметры исследуемой ЦРРСП ALCATEL.

3. Конструкция и состав оборудования исследуемой ЦРПС АLCATEL.

4. Опишите назначение элементов (разъемов, индикаторов, кабелей) на передней панели основного внутреннего блока.

5. Опишите особенности построения ЦРПС при организации резервирования 1+1.

6. Особенности функционирования программного управляющего комплекса для ЦРПС АLCATEL.

Библиотека БГУИР

Лабораторная работа №2

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ALCATEL И ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: изучить назначение, состав и технические характеристики оборудования цифровой радиорелейной системы передачи (ЦРПС) ALCATEL; изучить структурные схемы, принцип действия и проверить работоспособность данной системы.

2.1. Общие особенности исполнения и основные характеристики внешнего блока ЦРПС ALCATEL

Как упоминалось в лабораторной работе №1, в настоящее время аппаратуру ЦРПС обычно производят в виде двух составных частей: внешний блок (ODU – Outdoor Unit), размещаемый за пределами помещения, включающий в себя выносной приемопередатчик и антенну, и внутренний блок (внутреннее размещение) (IDU – Indoor Unit), исполняемый обычно в виде модульной конструкции, которую можно установить на столе, закрепить на стене или вставить в стойку того или иного стандарта.

Соединение между ODU и IDU осуществляют одним коаксиальным кабелем длиной до 300 м (реже до 600 м), по которому помимо информационных цифровых сигналов в форме HDB3 передается и напряжение дистанционного питания ODU.

Общие технические характеристики блоков ODU оборудования ЦРПС ALCATEL ряда диапазонов из общего числа возможных для использования диапазонов 7/8/13/15/18/23/26/28/32/38 ГГц приведены в табл. 1.1 и 2.1.

Таблица 2.1

Основные параметры и характеристики оборудования ЦРПС ALCATEL
при использовании модуляции QPSK

Позиция	Диапазоны			
	13 ГГц	18 ГГц	23 ГГц	38 ГГц
Выходная мощность (дБм, ном.) (измерено на антенном порте)	+23	+23	+23	+15
Управление мощностью	От 0 до 30 дБ, шаг 1 дБ, перестраивается			
Диапазон АТРС	От 0 до 30 дБ, шаг 1 дБ			
Стабильность частоты	±5 ppm			

Позиция	Диапазоны			
	Быстрая частотная перестройка (МГц, без смены фильтров)	56	252	280
Максимальный уровень на входе	-15 дБм (нет ошибок)			
Тип интерфейса	PBR 140	PBR 220	PBR 220	PBR 320
Габариты, вес	170 (ширина) x69 (глубина) x170 (высота) Примерно 3,0 кг			

Значение выходной мощности гарантируется с точностью $\pm 2,5$ дБ, стабильность частоты ± 10 ppm при изменении температуры от -33 °C до $+50$ °C. Межблочные соединения между ODU и IDU характеризуются параметрами, которые представлены в табл. 2.2.

Возможны два варианта конфигурации наружной установки. Использование специального радиочастотного РЧ-гибридного узла (RF Hybrid) в качестве антенного фильтра реализуется при применении одной антенны. Второй вариант соответствует использованию конфигурации с двумя антеннами, которые монтируют непосредственно на блоке наружной установки. В случае системы с пространственным разнесением применение двух антенн является определяющим фактором. В обоих случаях может быть использован стандартный блок 1+0 ODU, который на 100 % идентичен и для конфигурации 1+0, и для конфигурации 1+1. В полный перечень антенн ЦРПС АLCATEL входят антенны диаметром от 0,3 до 1,8 м включительно. Они сконструированы так, чтобы удовлетворять самым строгим требованиям к механической жесткости. Все антенны ЦРПС АLCATEL диаметром от 0,3 до 1,8 м могут быть смонтированы непосредственно на блоке ODU в случае конфигурации 1 + 0. Это снижает стоимость работы, повышает надежность, монтаж выполняется проще и легче. Узел монтажа на мачте спроектирован так, что блок ODU можно заменить, не трогая антенну и крепежный кронштейн, и таким образом сохраняя ориентацию антенны.

На рис. 2.1 показано изображение внешнего блока ЦРПС АLCATEL (см. также рис. 1.2). На рис. 2.2 представлено изображение внешнего блока ЦРПС АLCATEL при резервировании 1+1.

Основные параметры межблочных соединений между ODU и IDU
оборудования ЦРПС АLCATEL

Позиция	Спецификация
Стандартный тип кабеля	Finotex ET 390998
Сигналы	Сигналы в виде кода HDB3, которые позволяют организовать управление, контроль и служебную связь, а также питание ODU
Максимальная длина кабеля	300 м (ETSI), 150 м (ANSI)
Устройство защиты от грозы	ITU-T K17

2.2. Особенности построения и функционирования внешнего блока

Блок ODU представляет собой приемопередающий модуль с низким коэффициентом шума и с электрическим управлением из блока IDU выходной мощностью передатчика и частотой настройки (рис. 2.3). Внешний блок передает и принимает радиосигналы в диапазонах 7–8 ГГц или 13–38 ГГц в зависимости от конструктивной модификации.



Рис. 2.1. Блок внешней установки (ODU)

Аппаратура сконструирована так, чтобы выдержать воздействие самых неблагоприятных климатических условий. Может быть использована квадратурная фазовая манипуляция QPSK или 16-уровневая квадратурная амплитудная манипуляция 16QAM.



Рис. 2.2. Внешний вид блока ODU при резервировании 1+1

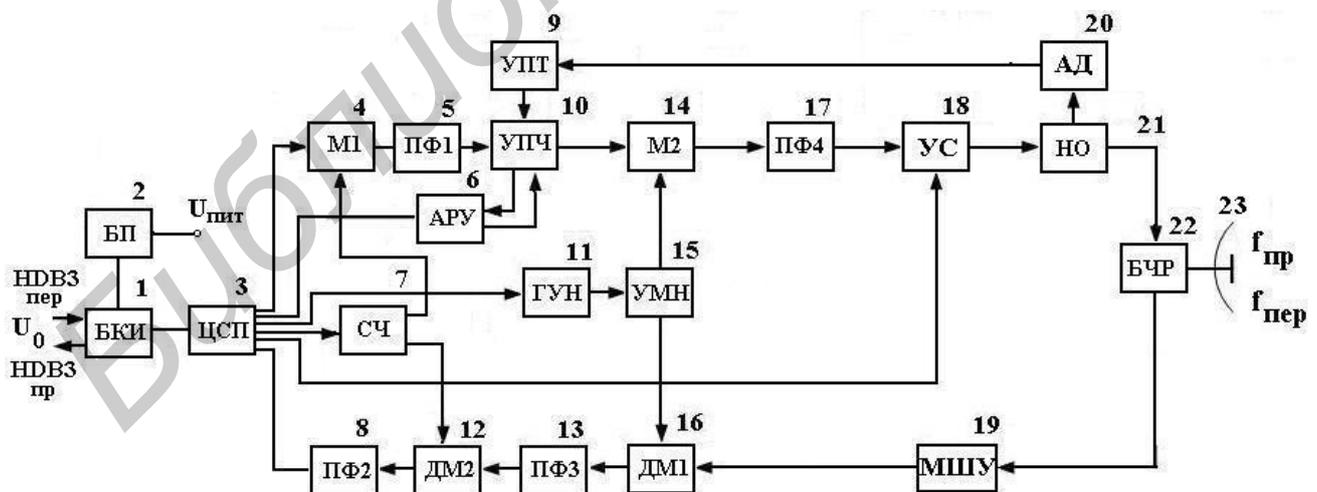


Рис. 2.3. Структурная схема ODU ЦРПС

Приемный тракт ODU строится по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты и малошумящим усилителем МШУ 19 на его входе. Для разделения направлений передачи и приема при работе на одну параболическую антенну 23 используется блок частотных развязок БЧР 22. С выхода МШУ 19 модулированный радиосигнал подается на понижающий преобразователь частоты или, по-другому, смеситель ДМ1 16, на второй вход которого подается гармонический высокочастотный сигнал с выхода умножителя частоты УМН 15. УМН 15 в свою очередь синхронизируется сигналом с выхода генератора управляемого напряжением ГУН 11, работающего под действием команд центрального сигнального процессора ЦСП 3. Первая промежуточная частота выбирается равной 675 МГц и является достаточно высокой, что позволяет простыми средствами обеспечить высокий уровень подавления помех по зеркальному каналу до 70 дБ. Необходимая ширина полосы пропускания ПЧ-тракта обеспечивается за счет полосового фильтра ПФ3 13. Радиосигнал с выхода ДМ1 16 через полосовой фильтр ПФ3 13 поступает на вход второй степени преобразования – смеситель ДМ2 12. На второй вход этого преобразователя поступает сигнал с выхода синтезатора частоты СЧ 7, частота которого управляется ЦСП 3. На выходе ДМ2 12 выделяется сигнал второй промежуточной частоты, который поступает в ЦСП 3, где происходит его дальнейшая демодуляция с использованием демодулятора QPSK или 16QAM в выходной цифровой сигнал $HDB3_{\text{вых}}$. Обработка принимаемого радиосигнала происходит под управлением команд, поступающих из внутреннего блока. Для выполнения всех операций обработки цифрового сигнала используется специальная микропроцессорная платформа, имеющая название μP и реализующая принцип работы программируемых логических интегральных микросхем. Сформированный цифровой сигнал в коде $HDB3_{\text{пр}}$ поступает в блок канального интерфейса БКИ 1 и по коаксиальному кабелю передается во внутренний блок IDU.

В тракте передачи блока ODU цифровой сигнал в виде кода $HDB3_{\text{пер}}$, поступающий из блока IDU, подается через БКИ 1 на ЦСП 3. В ЦСП 3 происходит обработка этого сигнала с использованием специальной микропроцессорной платформы μP . Формирование фазовой или амплитудно-фазовой манипуляции (QPSK или 16QAM) производится по сигналам управления из внутреннего блока IDU. С выхода ЦСП 3 сигнал поступает на вход повышающего преобразователя М1 4, на выходе которого выделяется сигнал промежуточной частоты в диапазоне от 1 до 2,1 ГГц. С выхода полосового фильтра ПФ1 5 сигнал поступает на УПЧ 10, который выполняется усиление сигнала ПЧ. Сигнал с выхода УПЧ 10 поступает на вход второй степени преобразования частоты М2 14. Для получения частоты передачи на второй вход М2 14 поступает сигнал с выхода умножителя частоты УМН 15, который управляется сигналами ЦСП 3 через генератор управляемый напряжением ГУН 11. Коэффициент передачи усилителя УПЧ 10 регулируется сигналами системы автоматической регулировки уровня АРУ 6, позволяющей программно изменять уровень сигнала по командам с блока IDU через ЦСП 3. Для защиты тракта от перегрузок реализована система защиты, в состав которой входят следующие устройства: направлен-

ный ответвитель НО 21, амплитудный детектор АД 20 и усилитель постоянного тока УПТ 9. Работа системы основывается на том, что в случае превышения допустимых значений выходной мощности по цепи обратной связи осуществляется автоматическое уменьшение коэффициента передачи усилителя УПЧ 10 и снижение выходной мощности передатчика. Сигнал на частоте передачи с выхода М2 14 через полосовой фильтр ПФ4 17 поступает на вход усилителя радиочастотного диапазона УС 18, управление усилением которого выполняет ЦСП 3. Сформированный радиосигнал передачи поступает через блок частотных развязок БЧР 22 на антенну 23. Напряжение питания U_0 поступает по коаксиальному кабелю из блока IDU на блок БКИ 1, затем подается в блок питания БП 2, где формируется напряжение питания блока $U_{пит}$.

2.3. Особенности построения и функционирования внутреннего блока

Блок внутренней установки выполняет четыре функции: мультиплексора, интерфейса для ввода внешних сигналов, управления всеми процессами и формирования сигналов электропитания. Мультиплексор обеспечивает объединение/разделение поступающих сигналов для блока ODU. Формируется управляющий сигнал для внешнего блока, что позволяет путем программной настройки управлять модулятором/демодулятором и выбирать тип модуляции: QPSK или 16QAM. Функция пользовательского интерфейса позволяет вводить или выводить внешние сигналы E1 и LAN, а также организовать передачу и прием служебных и контрольных сигналов. Все функции цифровой обработки аппаратно реализованы на одной печатной плате с использованием интегральных схем СБИС.

Общие технические характеристики блоков IDU оборудования ЦРПС АLCATEL ряда диапазонов из общего числа возможных для использования 7/8/13/15/18/23/26/28/32/38 ГГц приведены в табл. 1.1 и 2.3.

На рис. 2.4 приведена структурная схема внутреннего блока цифровой радиорелейной системы передачи. Внутренний блок IDU состоит из передающего и приемного трактов.

Таблица 2.3

Основные параметры и характеристики внутреннего блока оборудования ЦРПС АLCATEL

Позиция	Спецификации (1+0 или 1+1)
Тип модуляции	QPSK/16QAM(программный выбор с помощью LCT/PNMT)
Интерфейс с каналобразующей аппаратурой	E1:2.048 Мбит/с \pm 50 ppm, Ethernet:10/100Base-T(X)

Позиция	Спецификации (1+0 или 1+1)
E1	20/40 каналов, макс. (при разносе каналов 27,5; 28 МГц) 10/20 каналов, макс. (при разносе каналов 13,75; 14 МГц) 5/10 каналов, макс. (при разносе каналов 7 МГц) – 5 каналов, макс. (при разносе каналов 3,5 МГц)
Ethernet	40/80 Мбит/с, макс. (при разносе каналов 27,5; 28 МГц) 20/40 Мбит/с, макс. (при разносе каналов 13,75; 14 МГц) 10/20 Мбит/с, макс. (при разносе каналов 7 МГц) –/10 Мбит/с, макс. (при разносе каналов 3,5 МГц)
Служебные каналы	RS-232C x 2 канала, V.11 (противонаправленный/сонаправленный) x 2 канала
Служебный телефон (EOW)	IDU-IDU, ODU (с опционом) – IDU
Уровень защиты	Два уровня
Обратный шлейф	а) обратный шлейф с дальним окончанием по каналобразующей частоте; б) обратный шлейф с ближним окончанием по каналобразующей частоте; в) обратный шлейф по ПЧ
Авария по BER	Авария по BER. Настраивается: от 10^{-4} до 10^{-9}
Смена частоты	Прямой ввод или ввод в таблицу загрузки предусмотрены
Управление выходом ТХ	Ручное, автоматическое, смешанное управление
Мониторинг технических показателей (PMON)	Позиции PMON: а) OFS, б) VBE, в) ES, г) SES, д) UAS
Измерение	а) уровень выходной мощности (TX PWR); б) уровень принимаемого сигнала (AGC V); в) вероятность битовой ошибки (BER MON)
Габариты, мм	Для варианта 1+0: 482 (ширина) x 240 (глубина) x 44 (высота)
Вес, кг	Приблизительно 5,0

Представлены каскады передающего и приемного трактов для потоков E1 и E3. На входе и выходе этих трактов установлены устройства сопряжения СУ 1,

СУ 13 и преобразователи стыка ПС 12. Рассмотрим прохождение сигналов потоков E1 и E3, которые поступают на вход согласующего устройства СУ 1.

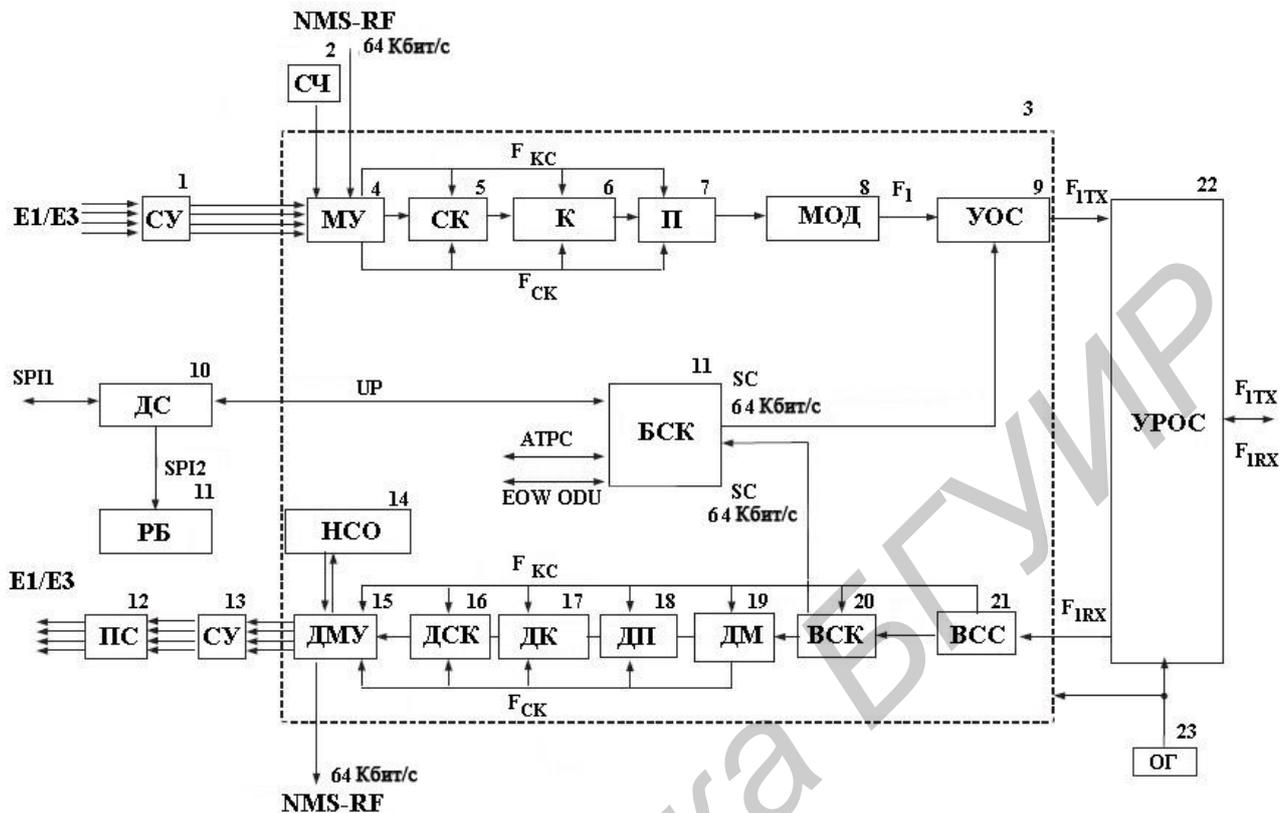


Рис. 2.4. Структурная схема IDU ЦРПС

Устройства СУ служат для согласования параметров внутреннего блока IDU с внешними транспортными линиями. Далее цифровые потоки объединяются в мультиплексоре МУ 4, который управляется синтезатором частоты СЧ 2. Объединению в МУ 4 подлежат также сигналы управления телекоммуникационной сетью NMS-RF, передаваемые со скоростью 64 Кбит/с. Узел МУ 4 формирует сигналы синхронизации $F_{СК}$ и $F_{КС}$, которые необходимы для работы последующих блоков. Следующий за МУ 4 преобразователь кода СК 5 выполняет скремблирование. Скремблер (рандомизатор или перемешиватель) выполняет функцию формирования из исходного сигнала псевдослучайной последовательности, у которой количество нулей и единиц в потоке примерно равно. Благодаря скремблированию упрощается процедура выделения тактовой частоты на приемной стороне и обеспечивается на выходе передатчика равномерный спектр радиосигнала. Последнее обстоятельство позволяет улучшить электромагнитную совместимость радиосредств. Канальный кодер К 6 совместно с перемежителем П 7 служит для канального кодирования и перемежения сигналов, что повышает помехоустойчивость системы. За счет внесенной избыточности можно осуществить прямое исправление ошибок и, следовательно, улучшить достоверность приема. При наличии кодирования требуемое значение ОНШ, при котором достигается заданная вероятность ошибки на бит, снижается. Да-

лее сигналы поступают на преобразователь МОД 8, который формирует выходной сигнал блока. В устройстве объединения сигналов УОС 9 происходит объединение основного информационного сигнала и сигнала сервисного канала SC, который передается со скоростью 64 Кбит/с. На выходе УОС 9 формируется выходной сигнал тракта передачи F_{1TX} в виде кода HDB3, который поступает в УРОС 22 – устройство разъединения и объединения сигналов блока IDU. Через фильтр от преобразователя напряжений (не показаны на схеме) осуществляется также подача постоянного напряжения питания U_0 на устройства внешнего блока ODU. Таким образом, УРОС 22 предназначено для объединения сигнала F_{1TX} , формируемого в тракте передачи IDU, и F_{1RX} , который поступает на вход тракта приема этого блока, а также напряжения питания и сигналов каналов служебной связи, сигнализации и управления.

В приемном тракте IDU происходит обработка цифрового сигнала в виде кода HDB3, который поступает по соединительному кабелю из внешнего блока. Этот сигнал через УРОС 22 поступает на выделитель синхросигнала ВСС 21, далее на выделитель сервисного канала ВСК 20, который выделяет сервисный канал SC, передаваемый с скоростью 64 Кбит/с. Выделитель синхросигнала ВСС 21 формирует сигнал синхронизации $F_{КС}$, который необходим для работы последующих блоков. После этого сигнал подается на блок обработки цифрового сигнала ДМ 19, где осуществляется обработка принимаемого сигнала и выделяется сигнал синхронизации $F_{СК}$, который необходим для работы последующих блоков. Демережителю ДП 18, декодеру ДК 17, дескремблеру ДСК 16 выполняют преобразование цифровой последовательности, поступающей с выхода ДМ 19. С выхода дескремблера ДСК 16 сигнал идет на демультимплексор ДМУ 15, где происходит выделение цифровых сигналов различного назначения и формата. Цифровые сигналы PDH-формата поступают на устройства сопряжения СУ 13 и преобразователи стыка ПС 12, на выходе которого формируются потоки E1 и E3. Демультимплексор ДМУ 15 также выделяет служебный цифровой сигнал – сигнал управления телекоммуникационной сетью NMS-RF, передаваемый со скоростью 64 Кбит/с.

Блок обработки сигнала сервисного канала SC – БСК 11 – принимает и передает информацию сервисного канала, а также формирует служебные сигналы UP, ATPC, EOW ODU. Сигнал UP подается на делитель ДС 10, на выходе которого формируются сигналы SPI1 и SPI2. Последний из них поступает в дополнительный блок РБ 11 и используется при резервировании оборудования по схеме 1+1.

Из анализа рис. 2.4 видно, что центральное место в блоке IDU занимает микропроцессор, представленный в виде сверхбольшой интегральной схемы – СБИС 3. Можно отметить, что он управляет работой всех основных устройств внутреннего блока, позволяет вести контроль параметров и отображать на ПК конфигурацию РРЛ. Контроль всех параметров аварийных сигналов, показателей качества ЦРПСП ведется без перерыва связи. При управлении конфигурацией оборудования РРЛ возможно изменение параметров блоков и систем, переход с одного канала на другой и т. д. При организации контроля аварийных

сигналов осуществляется контроль отказов блоков оборудования (передатчика, приемника и др.), стволов и каналов связи. Контролируемые параметры и события запоминаются и выводятся с помощью соответствующих процедур на монитор компьютера при работе служебной программы. Регистрируются такие события, как изменение состояния, появление аварии, восстановление после аварии, изменение параметров и т. д.

Система управления TNM собирает события и данные о технических показателях по аппаратуре ALCATEL и запоминает информацию. Для обеспечения дистанционного доступа к любому элементу сети ALCATEL из одного пункта организуется связь между сетевыми элементами через служебные каналы. Для получения подробной информации о состоянии сети и для изменения конфигурации сетевых элементов система выводит на дисплей обзорную схему сети. Для удобства эксплуатации системы автоматически выводят на дисплей состояния противостоящей станции ALCATEL вместе с наиболее важными параметрами линии связи.

Система TNM обеспечивает дистанционный доступ к любому терминалу в сети, связываясь с ним через один из служебных каналов. Кроме того, система позволяет вести дистанционное управление различными параметрами линий связи, например, мощностью передачи и выделенной частотой.

События, происходящие в ходе работы сети и системы управления, запоминаются автоматически и выводятся на дисплей в окне регистрации событий. Система может запрашивать данные о технических показателях по всем внесенным в список станциям ALCATEL и связанными с ними РРЛ в соответствии с требованиями стандарта МСЭ-Т: ITU-T G.826. Для этой цели измеряются следующие технические показатели: коэффициент секунд с ошибками (ESR), коэффициент секунд с выраженными ошибками (SESR), данные о неопределенной ошибке (UAS), основной коэффициент блочных ошибок (BBER). Монитор технических показателей может вывести на экран информацию как в табличном представлении, так и в графическом представлении для выбранного промежутка времени. Пользователи регистрируются с помощью логина и пароля.

Показатели качества по ошибкам (ПКО) относятся к периоду времени готовности радиотрактов РРЛ. Параметр ПКО складывается из событий, которые вызваны быстрыми замираниями на интервалах. К числу основных событий, определяющих ПКО, относятся:

- блок с ошибками, в котором один или несколько бит являются ошибочными;
- секунда с ошибками (СО) или ES (Errored Second) – период в 1 секунду с одним или несколькими ошибочными блоками или, как минимум, с одним дефектом;
- секунда, пораженная ошибками (СПО), или SES – severely errored second – период в 1 секунду, содержащий не менее 30 % блоков с ошибками или, как минимум, один дефект. СПО являются частным случаем СО.

Характеристикой ПКО являются:

– коэффициент секунд с ошибками K_{CO} или ESR-ratio ES – отношение числа секунд с ошибками к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений;

– коэффициент секунд, пораженных ошибками $K_{СПО}$ или SESR – ratio SES – отношение числа секунд, пораженных ошибками, к общему числу секунд в период готовности в течение фиксированного интервала измерений.

Нормы на ПКО определены в Рек. МСЭ-R F.1668, которые согласованы с требованиями Рек. МСЭ-T G.826 для гипотетического эталонного цифрового тракта, протяженностью 27 500 км. В соответствии с Рек. МСЭ-R F.1668 проектируемая РРЛ может быть частью национального или международного участка ГЭЦТ. Национальный участок может состоять из секции (участка) доступа, короткого и протяженного участков. Международный участок связи проходит через оконечные и транзитные страны. В зависимости от принадлежности проектируемой РРЛ соответствующим участкам или секциям нормы на ПКО отличаются.

2.4. Особенности функционирования программного управляющего комплекса для ЦРПСИ Alcatel при управлении радиоканалов

Изображение рабочей области управления при нажатии кнопки управления RADIO (радиоканалы) и кнопки Power Meas (ручная/автоматическая) в окне RESOURCE DETAIL AREA показано на рис. 2.5. Это позволяет выполнить начальные установки для требуемых измерений. В области Measurement Interval (интервал измерения) можно определить продолжительность интервалов измерений посредством установки данных в таких полях, как Days (дни), Hours (часы), Minutes (минуты). Максимально доступным для измерений является интервал в семь дней. Опция Sample Time позволяет установить интервал времени между двумя последовательными измерениями в 2, 6, 30, 60 с.

При активации поля Create File (создание файла) возможно формирование специального файла (Log file) с результатами измерений уровней мощности сигналов на выходе передатчиков и на входе приемников, с помощью которых формируется передача информации на контролируемом пролете между двумя ЦРПСИ, работающими по схеме резервирования 1+1. Место размещения этого файла в памяти компьютера, в том числе на внешних носителях, можно корректировать в специальном окне, расположенном рядом с надписью Log file.

При нажатии кнопки Start (начало) открывается окно Power Measurement Graphic, которое позволяет в масштабе реального времени наблюдать за изменением уровней сигналов на выходе двух передатчиков – на ближнем конце TxLoc и на дальнем конце TxRem и также на входе приемников – на ближнем конце RxLoc и на дальнем конце RxRem (рис. 2.6).

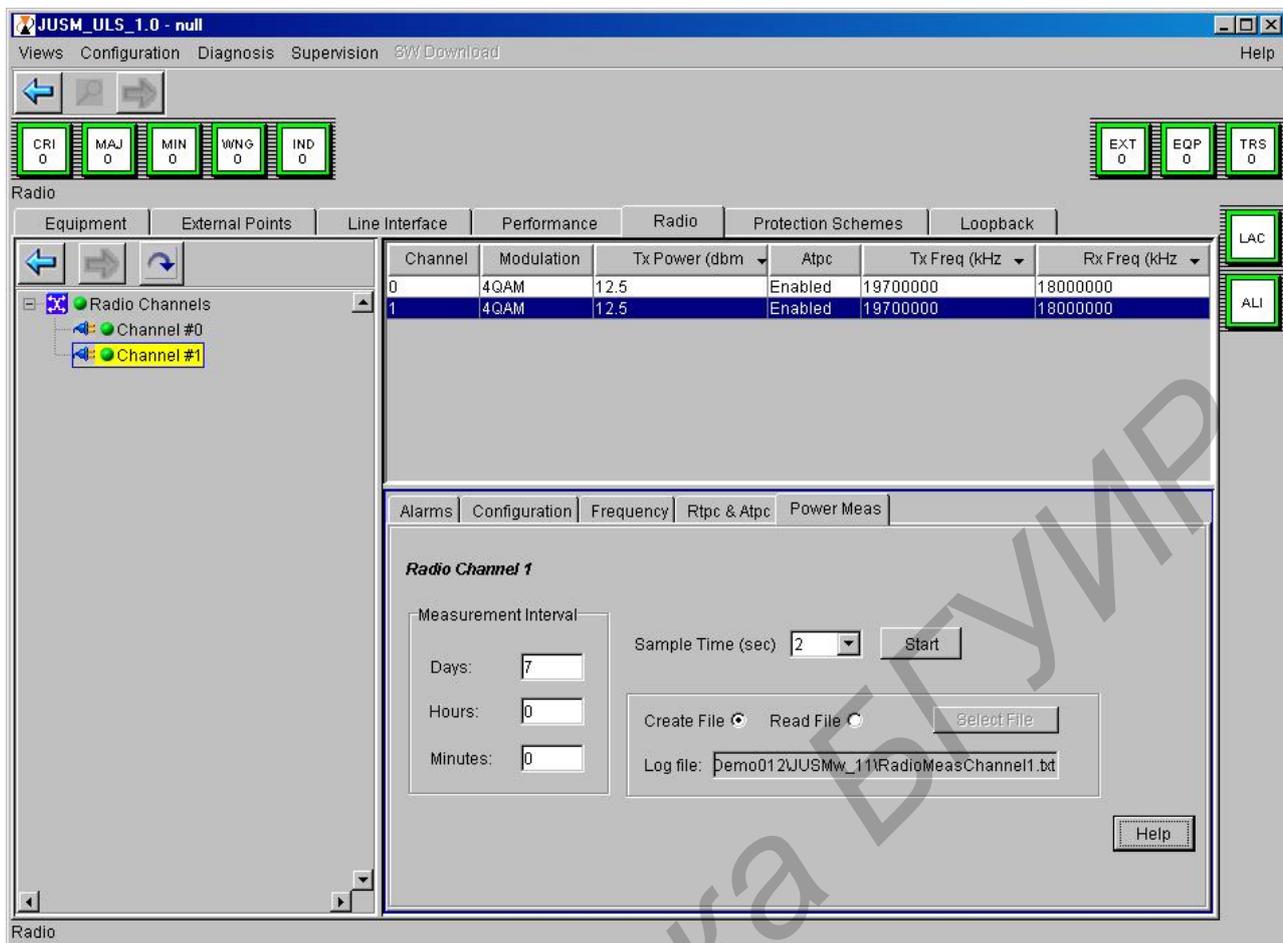


Рис. 2.5. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления RADIO (радиоканалы) и кнопки Power Meas в окне RESOURCE DETAIL AREA

В центральной части окна формируется непосредственно сама диаграмма с четырьмя графиками, отмеченными разным цветом, для отражения текущих значений уровней сигнала в обозначенных выше устройствах двух ЦРПС.

В верхней части окна располагается справочная информация, которая сопровождает процесс измерений (см. рис. 2.6). Здесь отмечается номер радиоканала (Radio Channel), время начала (Start Time) и конца измерений (Stop Time), текущее время (Time), временной интервал обновления результатов (Sample Time), название и место записи в память компьютера контрольного файла (Log File).

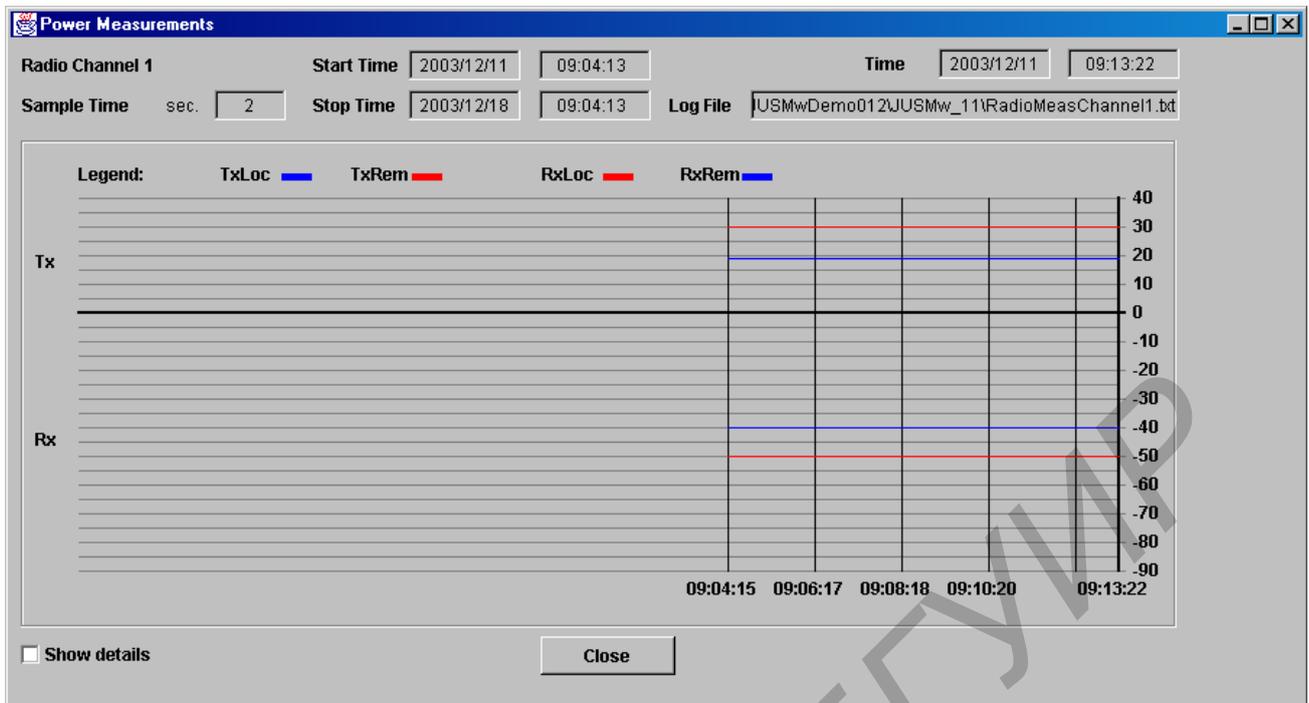


Рис. 2.6. Внешний вид контрольной панели Power Measurement Graphic

Для возможности просмотра дополнительных данных, которые касаются уровней сигнала, связанных с работой контролируемых передатчиков и приемников, можно открыть дополнительное окно Power Value Details (рис. 2.7) при включении дополнительной опции Show details (показать детальную информацию), расположенной в нижней части контрольной панели Power Measurement Graphic. В этом окне отражаются максимальное и текущее значения уровней сигнала, упомянутых выше параметров – TxLoc, TxRem, RxLoc и RxRem, и время их измерения. Если в одной из строк передатчиков TxLoc, TxRem появляется величина +99 dBm (дБм), это указывает на то, что данный передатчик находится в выключенном состоянии.

Опция Read file в окне RESOURCE DETAIL AREA (см. рис. 2.5) позволяет просмотреть контрольные файлы (Log file), полученные и записанные в память компьютера за другие периоды эксплуатации оборудования.

Для просмотра и анализа состояния внешних входных и выходных точек необходимо нажать кнопку управления External Points (внешние контрольные точки), расположенную в верхней части рабочей области управления (рис. 2.8).

Для просмотра в центральной области RESOURCE LIST AREA выводятся следующие параметры: id – идентификационный номер соответствующей точки (порта) аппаратуры, User Label – имя (метка) данной точки, Polarity – отражает особенности состояния оборудования (Active Closed – активно закрыто или Active Opened – активно открыто), External State – включено (On) или выключено (Off) оборудование, Alarm Profile – описывает состояние соответствующего профиля контрольных сигналов (см. рис. 2.8).

		dBm	Time
Tx Local End	Max	19	2003/12/11 09:12:16
	Curr	19	2003/12/11 09:12:16
	Min	19	2003/12/11 09:12:16
Tx Far End	Max	30	2003/12/11 09:12:16
	Curr	30	2003/12/11 09:12:16
	Min	30	2003/12/11 09:12:16
Rx Local End	Max	-50	2003/12/11 09:12:16
	Curr	-50	2003/12/11 09:12:16
	Min	-50	2003/12/11 09:12:16
Rx Far End	Max	-40	2003/12/11 09:12:16
	Curr	-40	2003/12/11 09:12:16
	Min	-40	2003/12/11 09:12:16

Рис. 2.7. Внешний вид контрольной панели Power Value Details

Расположенная ниже область RESOURCE DETAIL AREA позволяет изменять указанные параметры внешних контрольных точек при открытии окна Configuration.

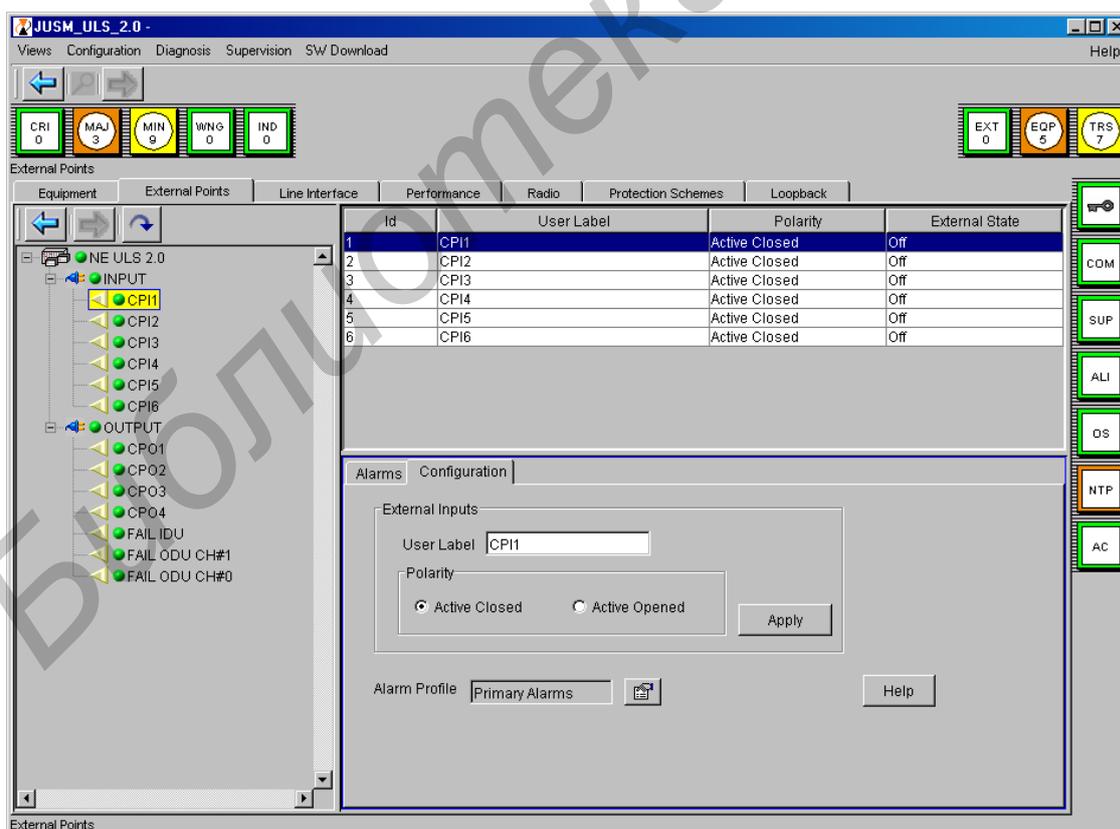


Рис. 2.8. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления External Points (внешние контрольные точки)

Для фиксации установленных значений параметров необходимо нажатие кнопки Apply (применить), как и при работе в других окнах. При просмотре внешних выходных точек дополнительно в поле RESOURCE LIST AREA выводится опция Criteria (не показана на рис 2.8), в которой может быть записано Manual (ручной) или Automatic (автоматический) способы активации данной точки (порта).

Изображение рабочей области управления при нажатии кнопки управления Protection Scheme (схемы защиты) показано на рис. 2.9. Работа в этой опции позволяет управлять схемами защиты на различных уровнях организации оборудования. Данная опция доступна только для схемы резервирования 1+1. Схемы защиты могут быть организованы на трех уровнях: на этапе мультиплексирования или демупльтиплексирования информационных потоков, для радиоканалов и при горячем резервировании.

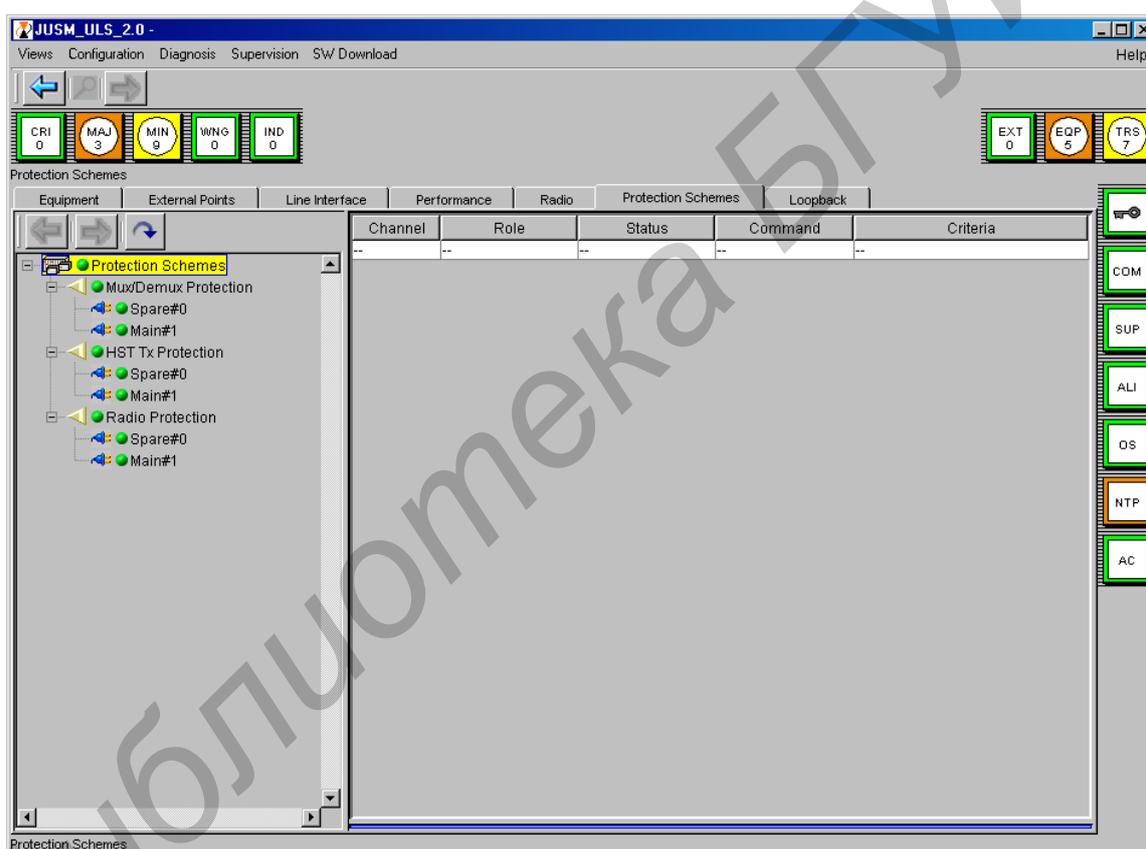


Рис. 2.9. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления Protection Scheme (схема защиты)

Возможности организации схем формирования контрольных информационных шлейфов появляются при нажатии кнопки управления Loorbacks области RESOURCE LIST AREA (рис. 2.10). Здесь доступна следующая информация: Channel – номер канала, Type Interface – тип интерфейса, в котором организуется шлейф, Location – станция, в которой организуется шлейф (ближний

или дальний конец линии), Modality – тип шлейфа, Activation – активирован или нет данный шлейф.

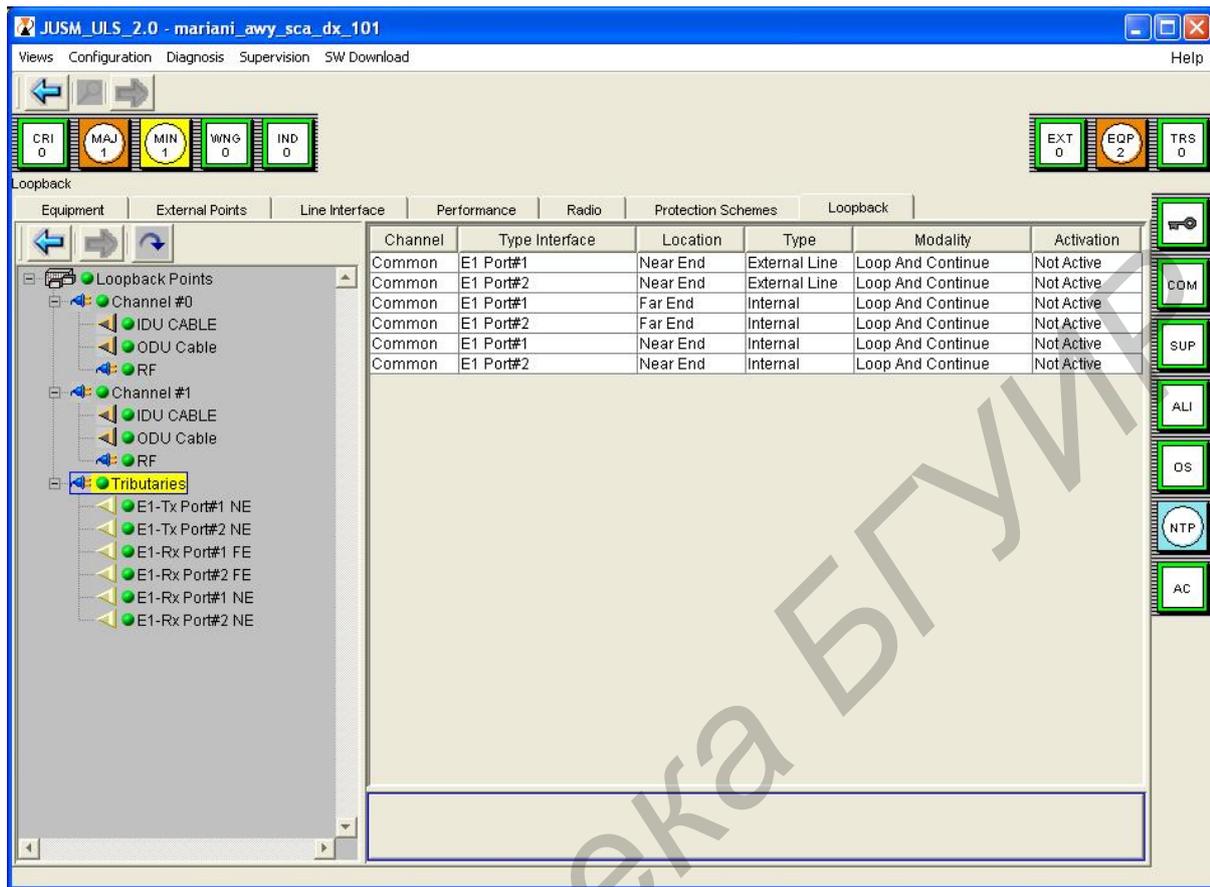


Рис. 2.10. Изображение контрольного окна при нажатии кнопки управления Loopbacks области RESOURCE LIST AREA

Возможности по организации контрольных информационных шлейфов поясняет рис. 2.11. Используются следующие обозначения: DATA – аппаратура передачи данных, TRIB – дополнительные информационные потоки, MUX/DEMUX – мультиплексор/демультиплексор, MODEM – модемное оборудование, RF – радиочастотная часть оборудования, СТ – управляющий терминал пользователя.

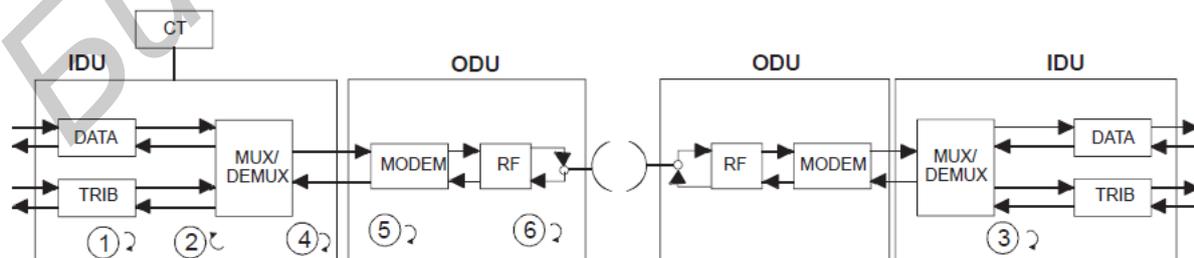


Рис. 2.11. Возможности по организации контрольных информационных шлейфов при горячем резервировании по схеме 1+1

Номера вариантов шлейфов показаны цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, расположенными внутри кругов. Рядом с номером располагается короткая поясняющая надпись на английском языке. Например, вариант номер 6 предполагает организацию шлейфа в радиочастотном диапазоне с использованием двух внешних блоков ODU Ch#1 и ODU Ch#0.

В меню Diagnosis доступна опция Summary Block Diagram View, которая позволяет на общей структурной схеме оборудования одной РРСП показать возможные варианты организации информационных шлейфов (рис. 2.12).

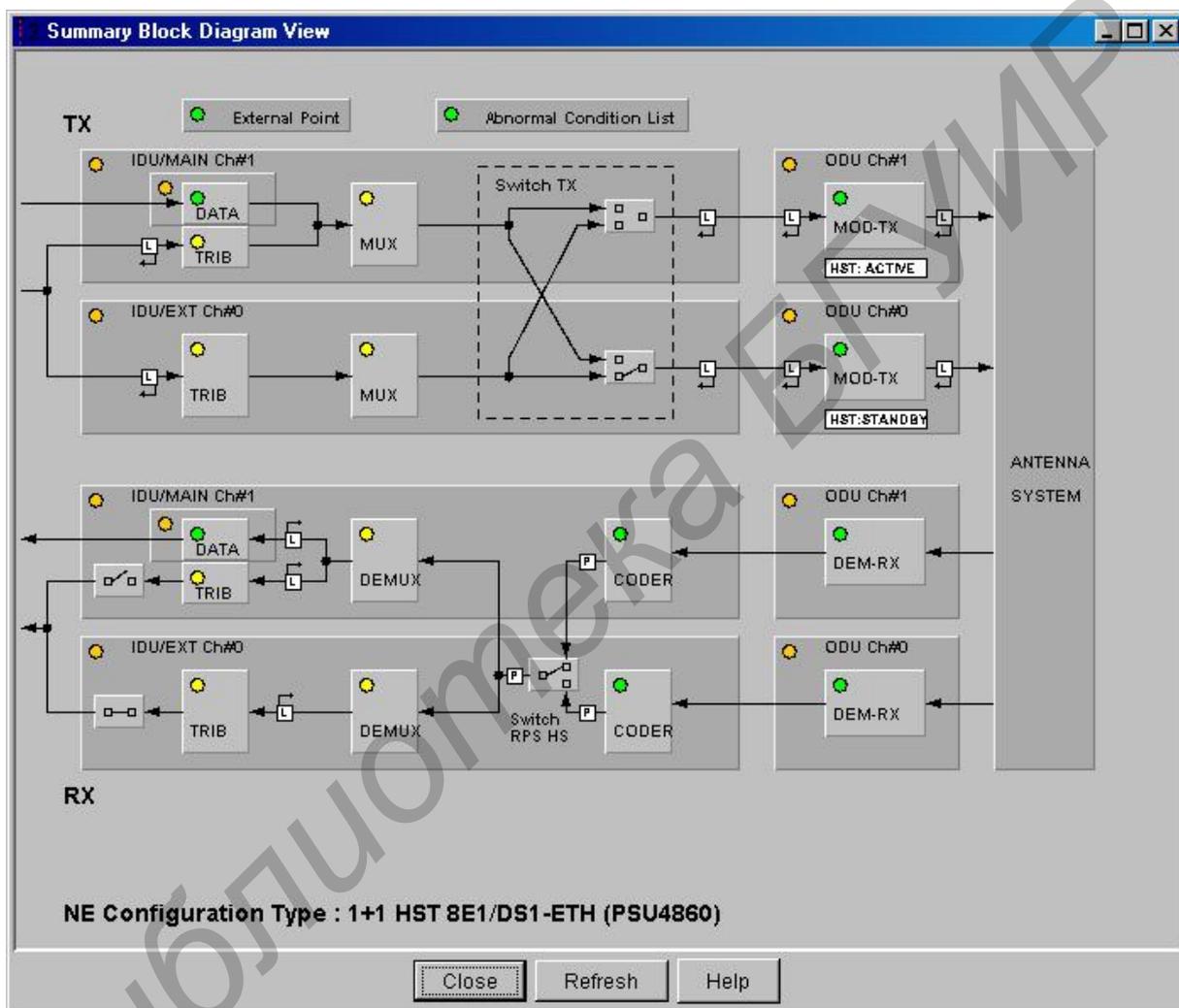


Рис. 2.12. Изображение контрольного окна при выборе опции Summary Block Diagram View в меню Diagnosis

Для активации одного из выбранных контрольных шлейфов (loopback) в области RESOURCE LIST AREA необходимо в области RESOURCE DETAIL AREA в поле Activation выбрать опцию Active и нажать кнопку Apply (рис. 2.13). При успешной активации данного шлейфа в области RESOURCE LIST AREA запись Not Active должна смениться на запись Active. Для снятия

данного шлейфа аналогично в поле Activation выбрать опцию Not Active и нажать кнопку Apply.

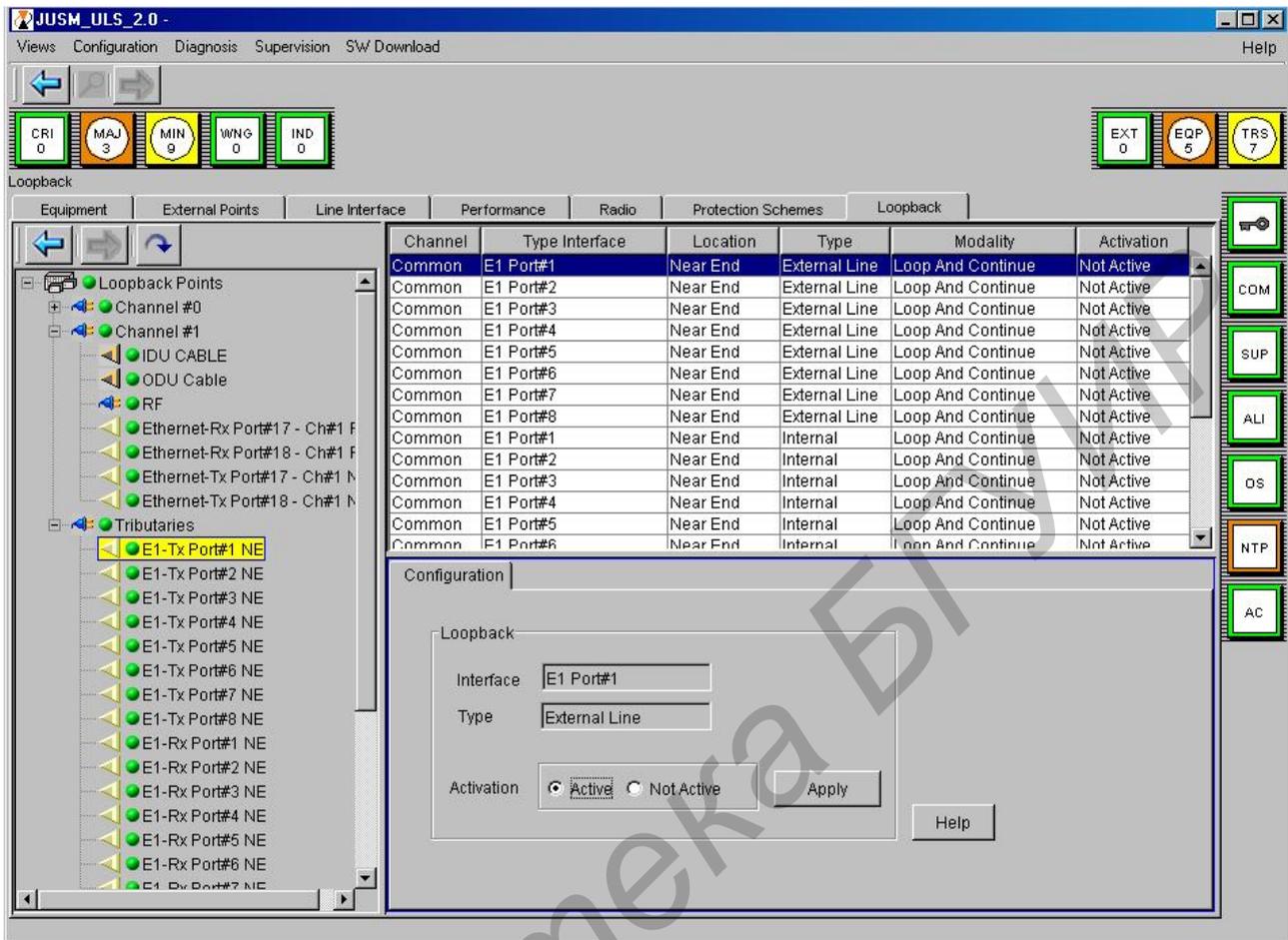


Рис. 2.13. Изображение контрольного окна при активации одного из выбранных контрольных шлейфов (loopback) в области RESOURCE LIST AREA

2.5. Указания по выполнению лабораторной работы

1. Включить четыре лабораторных выпрямителя, обеспечивающих подачу напряжения 48 В на лабораторную установку. Для этого на этих выпрямителях поставить тумблер ВКЛ в верхнее положение.

2. Изучить состав лабораторной установки, содержащей две ЦРПС Alcatel, компьютер, осциллограф ТЕКТРОНИХ TDS1012В, аттенюатор ДЗ-35. Включить компьютер, который входит в состав лабораторной установки и позволяет управлять ЦРПС. Дождаться загрузки операционной системы компьютера.

3. Включить аттенюатор ДЗ-35. Для этого переключатель СЕТЬ, расположенный на передней панели, поставить в положение I. Вращая поворотную ручку, установить значение затухания этого прибора равным 13 дБ.

4. Включить оборудование двух ЦРПС. Для этого на их внутренних блоках тумблер СЕТЬ I-O поставить в положение I. Контролировать засветку

индикаторов ON, ODUW, EOW на передней панели четырех внутренних блоков ЦРПС. Изучить расположение и подключение кабелей между двумя внутренними блоками двух ЦРПС. Проверить подключение специального кабеля с одной стороны к USB разъему компьютера, а с другой – к разъему EST внутреннего блока ЦРПС номер 4.

5. На компьютере запустить специальную программу Alcatel 1320 ST. Контролировать загрузку программы, появление окна Network Element Synthesis (sample map). В дальнейшем это окно не закрывать. Подключение внутренних блоков 3 и 4 отображается на условной карте (схеме) оборудования появлением специального символа. Выбрать на этой схеме внутренние блоки 3 и 4 и запустить выполнение программы двойным щелчком компьютерной мыши. В правом окне появляется служебное окно состояния аппаратуры. Выбрать опцию Supervision и нажать кнопку Start. Контролировать состояние ЦРПС по загоранию специального индикатора в виде зеленого круга, возле которого отображается цифра 0. Выбрать опцию Supervision и нажать кнопку Show Equipment. Ожидать загрузку окна для ввода пароля – Login. Набрать в поле Username – initial, в поле Password – initialing. Нажать на кнопку Apply. Наблюдать появление контрольного окна JUSM_ULS_2.0_34 (см. рис. 1.10). При отсутствии аварий и неисправностей контрольные индикаторы CRI, MAJ, MIN, WNG, IND (см. рис. 1.9) будут иметь зеленый цвет и сопровождаться наличием цифры 0 под названием индикатора. Аналогично контролировать засветку зеленым цветом контрольных индикаторов зоны обслуживания EXT, EQP, TRS и индикаторов управлением состояния оборудования – ключ (индикатор со схематическим изображением символа ключа), COM, SUP, ALI, OS. Индикатор NTP загорается коричневым цветом, индикатор AC – голубым. При отсутствии ошибок в поля индикаторов EXT, EQP, TRS заносится цифра 1.

6. Нажать кнопку управления Radio, далее открыть опцию Power Meas. Исследовать изменение уровней сигнала в передатчиках и приемниках, которые формируют исследуемый пролет между двумя ЦРПС. Изображение рабочей области управления при нажатии кнопки управления RADIO (радиоканалы) и кнопки Power Meas (ручная/автоматическая) в окне RESOURCE DETAIL AREA показано на рис. 2.5. Работа в этом окне позволяет выполнить установки для требуемых измерений. Записать данные, установленные по умолчанию в зоне Measurment Interval (интервал измерения): Days (дни), Hours (часы), Minutes (минуты), Sample Time (интервал измерений в секундах). Максимально доступным для измерений является интервал в семь дней. Опция Sample Time позволяет установить интервал времени между двумя последовательными измерениями в 2, 6, 30, 60 с. Установить интервал времени в 60 с. Начать измерения, нажав кнопку Start (старт). Записать время начала измерений с указанием значения данных: часы, минуты, секунды. Производится запись данных измерений в файл f:\ALCATEL\EST-kv.2.034-ch#0.txt. Наблюдать изменение четырех параметров – уровней сигнала с выхода двух передатчиков и входных уровней двух приемников в течение 10 мин. С помощью аттенюатора ДЗ-35 установить новое, более высокое значение затухания в тракт распространения сигнала

между двумя ЦРПС, равное 46 дБ, которое приводит к уменьшению уровня сигнала на входе приемника ниже порогового значения. Продолжить наблюдение за изменением диаграммы уровня в течение еще 10 мин. Наблюдать скачкообразное изменение уровней удаленного передатчика TxRem и приемника RxLoc. Зарисовать полученную диаграмму в отчет. Сделать выводы. Вернуться к первоначальному значению уровня аттенюатора ДЗ-35 равному 13 дБ.

7. Выполнить измерение основных показателей качества по ошибкам при передаче сигнала между двумя исследуемыми цифровыми РПС. Аппаратура автоматически производит измерения показателей качества по ошибкам – параметры ES, SES, UAS, VBE. Открыть окно Performance. Записать в отчет значения пороговых величин этих параметров. Для этого в окне Performance Monitoring открыть опцию Threshold Table NOP. Поочередно открыть окна Threshold1 и Threshold2. В этих информационных окнах записать значения параметров VBE, ES, SER, UAS для нижней (Low) и верхней (High) пороговой величины. Начать измерения, нажав кнопку Start (Старт). Наблюдать изменение цифровых данных по указанным выше параметрам ошибок. Длительность проведения измерений – 10 мин. После окончания этого промежутка времени зарисовать полученные диаграммы – данные ES, SES, UAS, VBE с привязкой к конкретному временному интервалу в отчете. Проанализировать полученные данные. Сделать выводы.

8. Выполнить просмотр и анализ состояния внешних входных и выходных точек РПС. Для этого нажать кнопку управления External Points (внешние контрольные точки), расположенную в верхней части рабочей области управления (см. рис. 2.8). Записать в отчет состояния параметров, расположенных в центральной области RESOURCE LIST AREA: id – идентификационный номер соответствующей точки (порта) аппаратуры, User Label – имя (метка) данной точки, Polarity – отражает особенности состояния оборудования, External State, Alarm Profile. Сделать выводы.

9. Исследовать возможности организации схем формирования контрольных информационных шлейфов при использовании прибора АФКЗ, который обеспечивает формирование и анализ потоков Е1. Включить питание прибора АФКЗ, нажав на его передней панели специальную сенсорную кнопку включения питания, обозначенную специальным символом 0. Подключить с помощью специального кабеля, входящего в комплект этого прибора, выходные гнезда передающего тракта, обозначенные буквой G, с гнездами 1 и 2 разъема тракта передачи внутренних блоков РПС 1 и 2, обозначенные надписью Передача 1 и 2. Подключить с помощью специального кабеля, входящего в комплект этого прибора, выходные гнезда приемного тракта, обозначенные буквой А, к гнездам 1 и 2 разъема тракта приема внутренних блоков РПС 1 и 2, обозначенные надписью Прием 1 и 2. Разъем тракта приема внутренних блоков РПС 1 и 2 располагается снизу под разъемом тракта передачи внутренних блоков РПС 1 и 2. Клеммы корпуса обоих разъемов подключить к клеммам корпуса стойки, где расположены внутренние блоки РПС 1 и 2. Проверить настройку прибора АФК 3 на сенсорном экране. На сенсорном экране прибора нажмите область

ПОТОК, в раскрывшемся окне из ряда предлагаемых вариантов выберите вариант – Внутр, аналогично для областей Лин. код – выберите HDB-3, для области СИНХР. – Внутр. Проверить отсутствие шлейфов во всех точках исследуемого оборудования. Для этого в меню Diagnosis активизировать опцию Summary Block Diagram View, которая отражает на общей структурной схеме оборудования РПСИ возможные варианты организации информационных шлейфов (см. рис. 2.12). При отсутствии информационных шлейфов индикаторы, обозначенные символами L внутри прямоугольного контура, не имеют засветки желтым цветом. Соответственно появление информационного шлейфа в этой точке тракта приводит к отображению символа L внутри прямоугольного контура на желтом фоне.

Организовать шлейф на входе тракта передачи внутренних блоков РПСИ 1 и 2. Для этого нажать кнопку управления Loopbacks области RESOURCE LIST AREA (см. рис. 2.10, 2.13). В поле RESOURCE TREE AREA, расположенном слева (см. рис. 1.8), для опции Tributaries выбрать первый поток E1-TxPort#1NE (см. рис. 2.13). В области RESOURCE DETAIL AREA для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13). При успешной активации данного шлейфа в области RESOURCE LIST AREA, расположенной выше, запись Not Active в столбце Activation должна смениться на запись Active. Нажмите кнопку Line Interface. В панели Configuration выбрать вариант установки Unframed и нажать кнопку Apply.

На сенсорном экране прибора АФК 3 нажимаем клавишу Формир. потока и выбираем цифровой поток РСМ30С. Проверить засветку светодиодных индикаторов входа А: SIGNAL, HDB3/AMI, FRAME, M.FRAME, CRC4, которые должны гореть зеленым светом.

Нажать кнопку управления Loopbacks области RESOURCE LIST AREA (см. рис. 2.10, 2.13). В поле RESOURCE TREE AREA, расположенном слева (см. рис. 1.8), для опции Tributaries выбрать первый поток E1-TxPort#1NE (см. рис. 2.13). В области RESOURCE DETAIL AREA для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Not Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13). Проверить засветку светодиодных индикаторов входа А: FRAME, M.FRAME, AIS, которые должны гореть красным светом. В меню Diagnosis активизировать опцию Summary Block Diagram View. Установить шлейф на выходе внутреннего блока IDU/MAIN Ch#1 тракта передачи ТХ. Подвести курсор к индикатору, обозначенному символом L внутри прямоугольного контура и расположенному на выходе блока, и нажать клавишу компьютерной мыши ОК.

В панели Loopbacks области RESOURCE LIST AREA, в поле RESOURCE TREE AREA для опции Tributaries проверить выбор первого потока E1-TxPort#1NE (см. рис. 2.13). В области RESOURCE DETAIL AREA для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13). Проверить засветку светодиодных индикаторов входа А: SIGNAL, HDB3/AMI, FRAME, M.FRAME, CRC4, которые должны гореть зеленым

светом. Таким образом, происходит проверка исправности трактов приема и передачи основного комплекта внутреннего блока РПСП 1 и 2 по шлейфу. После проверки установки данного шлейфа выполнить съём шлейфа. Для этого для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Not Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13).

Организовать третий по счету шлейф с начала п. 9 – на входе внешних блоков. Для этого в панели Loopbacks выбрать и активировать вторую строчку в списке (Channel 1, ODUCABLE, Type Interface). Для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13). Ожидать в течение приблизительно одной минуты окончания установления шлейфа. В меню Diagnosis активизировать опцию Summary Block Diagram View, которая отражает на общей структурной схеме оборудования возможные варианты организации информационных шлейфов (см. рис. 2.12). Наблюдать на этом рисунке засветку желтым цветом элемента L, расположенного в поле ODU Ch#1 перед элементом MOD-TX. Проверить засветку светодиодных индикаторов входа А: SIGNAL, HDB3/AMI, FRAME, M.FRAME, CRC4, которые должны гореть зеленым светом. После проверки установки данного шлейфа, выполнить съём шлейфа. Для этого для панели Configuration в поле Activation выбрать опцию Not Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13).

Организовать четвертый шлейф на входе внешнего блока РПСП 1 и 2 (по радиочастоте). Для этого открыть окно Loopbacks, в списке Loopbacks Points (в левой части окна) RF Channel#1. В окне Configuration активизировать шлейф, в поле Activation выбрать опцию Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13). Ожидать в течение приблизительно одной минуты окончания установления шлейфа. Проверить засветку светодиодных индикаторов входа А: SIGNAL, HDB3/AMI, FRAME, M.FRAME, CRC4, которые должны гореть зеленым светом. После проверки установки данного шлейфа выполнить съём шлейфа. Для этого для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Not Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13).

Организовать пятый шлейф на выходе внутреннего блока корреспондента на другой стороне радиотракта. Для этого выбрать элемент L, расположенный в поле IDU Ch#1 перед элементом TRIB и DEMUX. Подвести курсор к этому индикатору и нажать клавишу компьютерной мыши ОК. В поле Equipment (панель слева) выбрать поток E1-RxPort#1FE. В поле Activation выбрать опцию Active и нажать кнопку Apply (см. рис. 2.13). Открыть контрольное окно JUSM_ULS_2.0_12 для РПСП 3 и 4. В поле Equipment для опции Tributaries выбираем первый поток E1-TxPort#1NE (см. рис. 2.13) нажимаем кнопку ввод. В панели Configuration выбрать вариант установки Unframed и нажать кнопку Apply. Проверить засветку светодиодных индикаторов входа А: SIGNAL, HDB3/AMI, FRAME, M.FRAME, CRC4, которые должны гореть зеленым светом. После проверки установки данного шлейфа, выполнить съём шлейфа. Для этого для оборудования JUSM_ULS_2.0_12 (РПСП 1 и 2) для панели Configuration, в поле Activation выбрать опцию Not Active и нажать кнопку Apply.

10. Выполнить измерение коэффициента системы. Подключить с помощью специального кабеля, входящего в комплект прибора АФК 3, выходные гнезда приемного тракта, обозначенные буквой А, к гнездами 1 и 2 разъема тракта приема внутренних блоков РРСП 1 и 2, обозначенные надписью Прием 3 и 4 и расположенные в нижнем ряду контактных разъемов. Открываем оборудование JUSM_ULS_2.0_12 (РРСП 1 и 2), панель Radio, активируем панель Equipment, выбираем оборудование Radio Channels – загорается желтым цветом. В поле Radio выбираем вторую строчку и активируем эту строчку нажатием клавиши компьютерной мыши ОК. В нижней части выбираем Power Meas и нажимаем кнопку Start. В нижнем окне активируем опцию Show Details. На приборе АФК 3 в поле Ввод ошибок выбрать опцию Кодовые ошибки и установить значение коэффициента ошибки равного 10^{-3} . Использовать аттенуатор ДЗ-35, установленный в волноводном тракте, соединяющем два комплекта оборудования, т. е. первый комплект – РРСП 1 и 2 и второй комплект – РРСП 3 и 4, для изменения затухания этого тракта. Для этого необходимо плавно вращать ручку аттенуатора ДЗ-35 по часовой стрелке до тех пор, пока свечение индикатора СКС4 прибора АФК 3 измениться с зеленого света на красный. Открыть контрольную панель Power Value Details (см. рис. 2.7). Наблюдать в зоне RX Local End и строке Curr значение уровня сигнала на приемном конце. Зафиксировать уровень сигнала, при котором индикатор CRC4 начинает мигать красным цветом. Записать в зоне TX Local End и строке Curr значение уровня сигнала на передающей стороне. Определить значение коэффициента системы, используя измеренные выше уровни сигнала. Сравнить полученное значение коэффициента системы с нормативным значением, сделать выводы.

11. Исследовать форму и характеристики сигналов, которые передаются по коаксиальному кабелю между внешним и внутренним блоками. Для этого вход осциллографа ТЕКТРОНИХ TDS1012В, а именно гнездо k1, расположенное на панели ВЕРТИК., подключить к специальному тройниковому разветвителю, встроенному в коаксиальный кабель, соединяющий внешний и внутренний блоки одного из внутренних блоков. Включить осциллограф ТЕКТРОНИХ TDS1012В, нажав кнопку [O I] на верхней панели прибора. Перейти в режим изображения спектра сигнала, нажав кнопку MATH MENU на панели ВЕРТИК. Контролировать изображение надписи Operation FFT в правом верхнем углу экрана прибора, что соответствует режиму показа спектра сигнала. Вращая ручки регулировки ВОЛЬТ/ДЕЛ и ПОЛОЖЕНИЕ на панели ВЕРТИК. и СЕК/ДЕЛ и ПОЛОЖЕНИЕ на панели ГОРИЗОНТ, добиться устойчивого и удобного для наблюдения изображения спектра передаваемого сигнала между внешним и внутренним блоками. Зарисовать полученное изображение спектра сигнала в отчет и изучить его особенности. Вращая ручку регулировки ПОЛОЖЕНИЕ на панели ГОРИЗОНТ., совместить первый максимум полученного изображения с центральной вертикальной линией на экране осциллографа. Нажимая кнопку FFT Zoom несколько раз и вращая ручку регулировки ПОЛОЖЕНИЕ на панели ГОРИЗОНТ., добиться точного совмещения первого максимума полученной кривой спектра с центральной вертикальной линией на

экране осциллографа. Записать значение частоты в строке POS: f MHz, где число f представляет результат проведенного измерения. Аналогичным образом произвести измерение значения частоты первого минимума спектра. Все полученные данные занести в отчет и сделать выводы.

12. Выключить компьютер, выйдя из служебной программы. Выключить исследуемые ЦРПС тумблерами СЕТЬ I-O, расположенными на передней панели внутренних блоков, а также осциллограф ТЕКТРОНИХ TDS1012В, аттенюатор ДЗ-35.

2.6. Содержание отчета

1. Основные характеристики и параметры исследуемой ЦРПС АLCATEL.
2. Экспериментальные данные.
3. Выводы по проделанной работе.

2.7. Контрольные задания

1. Назовите особенности исполнения и основные характеристики внешнего блока ЦРПС АLCATEL.
2. Опишите конструкцию и основные параметры антенны ЦРПС АLCATEL.
3. Структурная схема и особенности работы внешнего блока.
4. Назовите особенности исполнения и основные характеристики внутреннего блока.
5. Структурная схема и особенности работы внутреннего блока.
6. Опишите особенности организации работы служебного телефонного канала и других контрольных служебных каналов.
7. Особенности функционирования программного управляющего комплекса для ЦРПС Alcatel.
8. Опишите показатели качества по ошибкам современных ЦРПС.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
**ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ЧАСТОТНОГО МОДУЛЯТОРА И ДЕМОДУЛЯТОРА
ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА PPS**

Цель работы: изучить структурные и принципиальные схемы частотного модулятора (ЧМд) и демодулятора (ЧДм) приемопередатчика; ознакомиться с принципом действия и рабочими характеристиками модемов; провести экспериментальные исследования.

**3.1. Назначение и требования, предъявляемые к модуляторам
и демодуляторам**

Частотный модулятор радиосистем связи предназначен для получения на стороне передачи модулированных по частоте групповым сигналом высокочастотных колебаний в заданном рабочем диапазоне. Частотный демодулятор предназначен для выделения на стороне приема группового сигнала из частотно-модулированных колебаний. В аппаратуре ТРАЛ 400/24, работающей в диапазоне частот 390...470 МГц, ЧМд построен по схеме с прямой частотной модуляцией несущей соответствующего радиоканала и является составной частью передающего устройства. ЧДм обеспечивает демодуляцию ЧМ-сигналов промежуточной частоты и входит в состав приемного устройства. К основным требованиям, предъявляемым к ЧМд и ЧДм, относятся: высокая крутизна и линейность модуляционной и демодуляционной характеристик; высокая стабильность центральной частоты; равномерность АЧХ и ФЧХ в полосе частот ЧМ-сигнала.

3.2. Частотный модулятор аппаратуры ТРАЛ 400/24

3.2.1. Общая структурная схема

Частотный модулятор (рис. 3.1) состоит из модуляционного усилителя (МУ), гетеродина (ГЕТ) и частотно-модулированного генератора (ЧМГ), охваченного двумя петлями обратной связи. Одна из них – петля по частоте (ОСЧ) с демодуляцией ЧМ-сигнала, другая – петля с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ). Петля ОСЧ служит для снижения уровня флуктуационных и нелинейных шумов в ЧМд за счет ослабления в нем паразитной девиации частоты, вызванной внутренними шумами и внешними помехами. Система ФАПЧ стабилизирует центральное значение частоты ЧМГ с величиной относительной нестабильности $\pm 5 \cdot 10^{-5}$.

Работа ЧМд состоит в следующем. Многоканальный сигнал в полосе 12...108 кГц поступает от аппаратуры уплотнения на симметричный вход (X2-X3) модуляционного усилителя, который обеспечивает его предварительное

усиление в А1 и частотные предискажения в Z1 для выравнивания отношения сигнал/шум по всем каналам на стороне приема. На вход X1 поступают служебные сигналы в полосе 0,3...11,4 кГц, которые объединяются в А2 с многоканальным сигналом, усиливаются в А3 и воздействуют на формирователь частотно-модулированного сигнала UZ1. Образованный ЧМ-сигнал усиливается в усилителе А4 до уровня 10 мВт и поступает на усилитель мощности (УМ) передатчика (разъем XW) и понижающий смеситель UZ2. На выходе смесителя за счет приложенного к нему напряжения гетеродина с частотой f_{Γ} формируется напряжение промежуточной частоты (ПЧ) с $f_{ПЧ} = 35$ МГц. Гетеродин построен по схеме многократного умножения частоты опорного генератора с кварцевой стабилизацией. Напряжение ПЧ усиливается в А5 и А6 и поступает на частотный демодулятор петли ОСЧ и формирователь импульсов (ФИ) системы ФАПЧ.

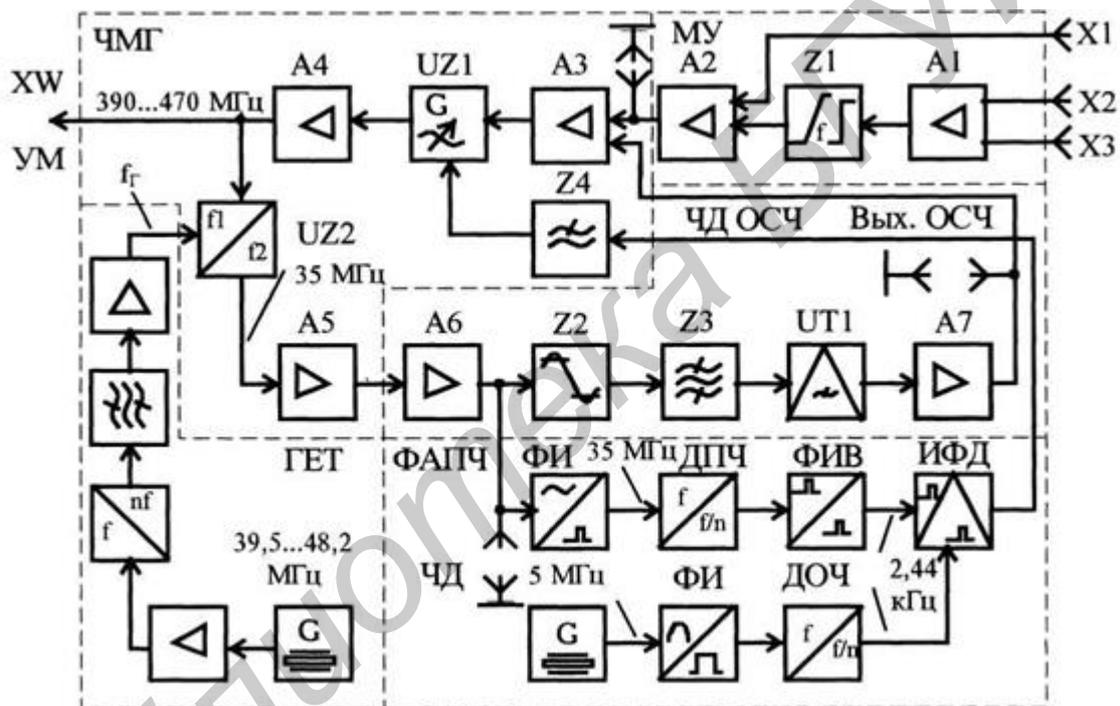


Рис. 3.1. Структурная схема частотного модулятора

В демодуляторе ОСЧ осуществляется двустороннее ограничение ЧМ-сигнала по амплитуде (Z2), фильтрация гармонических компонент (Z3), образованных в процессе ограничения, и выделение информационного сигнала из ЧМ. Полученный на выходе частотного детектора (дискриминатора) UT1 весь исходный групповой сигнал в полосе 0,3...108 кГц усиливается в А7 и поступает на вход усилителя А3 в противофазе с колебаниями, действующими на нем в этой полосе. В результате взаимодействия сигналов уменьшается мощность тепловых и нелинейных шумов формирователя ЧМ в KOC^2 раз, где KOC – коэффициент обратной связи петли ОСЧ, принятый равным 5.

В петле системы ФАПЧ полученное из ЧМ импульсное напряжение делится по частоте в $7 \cdot 2^{11}$ раз и поступает на формирователь коротких импульсов в виде выборок и далее на импульсно-фазовый детектор (ИФД). На второй вход этого детектора поступает импульсное напряжение с частотой 2,44 кГц, которое получено путем деления в 2^{11} раз колебаний с частотой 5 МГц опорного генератора с кварцевой стабилизацией частоты. В ИФД происходит сравнение воздействующих сигналов для оценки нестабильности работы ЧМГ. Результатом сравнения в ИФД является напряжение ошибки, которое поступает на ФНЧ (Z4) и далее на формирователь ЧМ-сигнала UZ1 для подстройки его частоты.

3.2.2. Формирователь ЧМ-сигнала

В состав формирователя ЧМ-сигнала входит усилитель группового сигнала АЗ и автогенератор ЧМ-колебаний UZ1 с резонансным контуром, параметры которого изменяются под воздействием группового сигнала. Усилитель собран на транзисторе VT1 (рис. 3.2) и служит для повышения крутизны модуляционной характеристики формирователя ЧМ-сигнала. Усиление каскада устанавливается резистором R4, а коэффициент передачи петли ОСЧ – R2. С нагрузки R5 групповой сигнал в полосе 0,3...120 кГц поступает через индуктивность L1 на среднюю точку емкостных диодов (варикапов) VD3 и VD4 автогенератора, собранного на транзисторе VT2 типа 2Т371 по схеме емкостной трехточки.

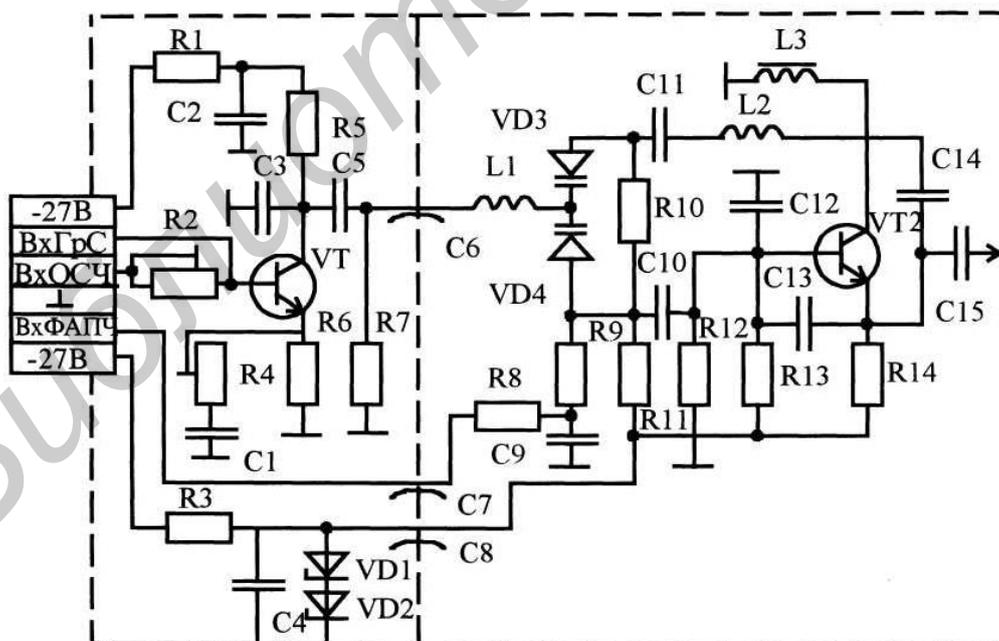


Рис. 3.2. Принципиальная схема формирователя ЧМ

Резонансный контур автогенератора образован индуктивностью L_2 , емкостью варикапов VD_3 , VD_4 , емкостью перехода коллектор – база VT_2 и емкостями обратной связи C_{13} , C_{14} . Изменение параметров резонансного контура и частоты автогенератора производится путем изменения емкости варикапов под действием группового сигнала. Нелинейная емкость варикапов используется в зоне отрицательного напряжения смещения -12 В, поданного от стабилизаторов VD_1 и VD_2 через резистор R_{11} . Благодаря смещению рабочей точки сопротивление перехода варикапов не оказывает влияния на параметры резонансного контура. Напряжение ошибки, полученное в системе ФАПЧ, поступает на варикапы через ФНЧ (R_8 , C_9). Резисторы R_{12} , R_{13} , R_{14} обеспечивают необходимый режим и температурную стабилизацию транзистора VT_2 по постоянному току. Емкости C_{10} , C_{11} , C_{15} разделительные. Выходная мощность формирователя составляет около 2 мВт. Для ее усиления применен трехкаскадный усилитель высокой частоты A_4 . Номинальные значения девиации частоты на выходе ЧМГ с учетом предискажений составляют на частотах 12, 66 и 108 кГц соответственно 45, 70, 110 кГц.

3.2.3. Система фазовой автоподстройки частоты

Система ФАПЧ предназначена для стабилизации частоты ЧМД при возникновении дестабилизирующих факторов (изменение режима питания, температуры) и включает: генератор опорной частоты (ГОЧ); делитель опорной частоты (ДОЧ); делитель промежуточной частоты (ДПЧ); формирователь импульсов выборок (ФИБ) и импульсно-фазовый детектор (ИФД).

Генератор опорной частоты состоит из стабилизированного кварцем автогенератора гармонических колебаний и формирователя импульсов (ФИ) с выходной частотой их следования 5 МГц. Полученный импульсный сигнал подвергается делению частоты в трех последовательно включенных делителях с коэффициентов деления 16, 8 и 16, выполненных на микросхемах типа $K155IE5$. После деления частоты импульсный сигнал типа меандр с частотой 2,44 кГц поступает на один из входов ИФД и является опорным сигналом сравнения. Второй сигнал сравнения на входе ИФД образуется за счет деления частоты 35 МГц на 8, 16, 16 и 7 в четырех делителях ДПЧ и преобразования импульсов в ждущем мультивибраторе ФИБ в короткие по длительности выборки. Полученная импульсная последовательность с периодом T_0 поступает на транзистор VT_4 ИФД, который работает в ключевом режиме (рис. 3.3).

Принцип работы импульсно-фазового детектора состоит в следующем. Импульсный сигнал с выхода ДОЧ поступает на вход X_1 , дифференцируется цепью R_1 , C_1 и отрицательным импульсом открывает транзистор VT_2 , через который осуществляется разряд конденсаторов C_2 , C_3 до нуля. После окончания этого импульса транзистор VT_2 закрывается и происходит заряд C_2 , C_3 от источника постоянного тока, выполненного на транзисторе VT_1 . Ток источника стабилизирован диодами VD_1 и VD_2 . Полученное на конденсаторах пилообразное напряжение поступает на вход ключа на полевом транзисторе VT_3 . Ключ

управляется короткими импульсами с малой длительностью от VT4. Во время действия коротких импульсов с периодичностью T_0 сопротивление VT3 резко уменьшается до 300 Ом и мгновенное напряжение с конденсаторов C2, C3 через замкнутую цепь передается на запоминающую емкость C4. После окончания каждого короткого импульса ключ размыкается. При стабильной работе ЧМд напряжение на емкости C4 практически не изменяется, поскольку мгновенные значения пилообразного напряжения в моменты действия коротких импульсов передаются через замкнутый ключ на C4 с одинаковой величиной (рис. 3.4).

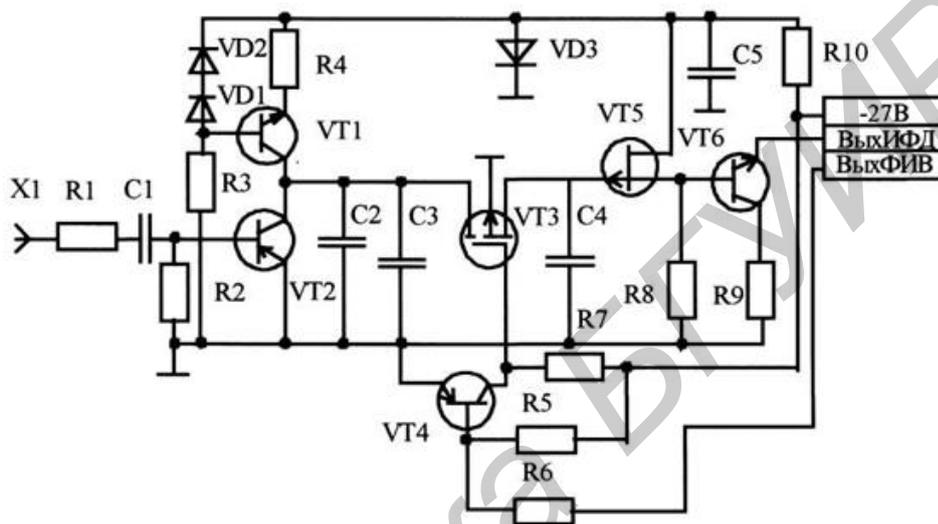


Рис. 3.3. Принципиальная схема ИФД

Образованное напряжение на емкости C4 через истоковый повторитель VT5 поступает (величиной – 5 В) на ФНЧ и варикапы VD3 и VD4 (см. рис. 3.2). При нестабильности фазы сигнала ЧМд изменяется момент воздействия коротких импульсов на ключ и величина мгновенного значения пилообразного напряжения, поступающего на емкость C4. Новая величина напряжения изменяет емкость варикапов и стабилизирует режим ЧМд.

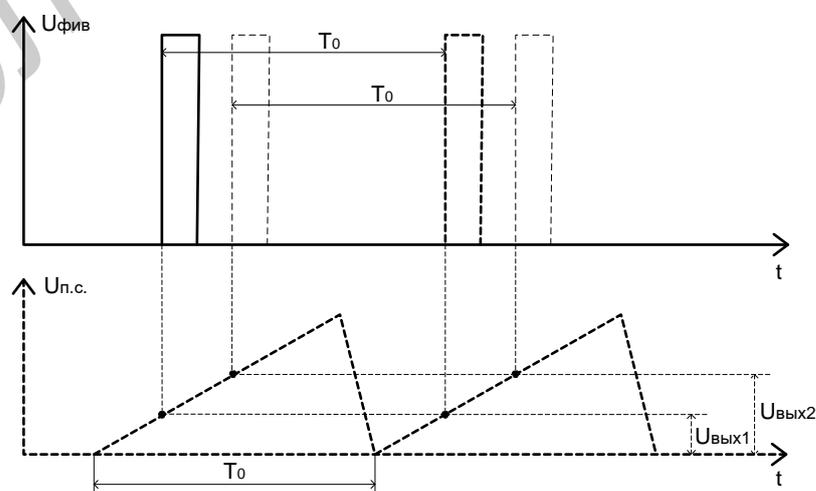


Рис. 3.4. Временные диаграммы, поясняющие работу ИФД

В случае существенного отклонения частоты ЧМд от номинального значения (при включении ЧМд) изменяется временной интервал между короткими импульсами, которые управляют работой ключа. В результате на емкости С4 действует ступенчатое напряжение, которое изменяет частоту ЧМд до тех пор, пока не обеспечится равенство частот на входах ИФД.

3.2.4. Частотный демодулятор

Приемопередатчик аппаратуры ТРАЛ 400/24 содержит два частотных демодулятора: один в цепи обратной связи ЧМд, другой – в приемнике. В состав каждого из них входят: ограничитель амплитуд, полосовой фильтр, частотный детектор и усилитель. Частотный демодулятор петли ОСЧ обеспечивает следующие параметры: крутизну демодуляционной характеристики 1,4 В/МГц; нестабильность крутизны $\pm 10\%$; неравномерность АЧХ в полосе 0,3...120 кГц менее 1% и мощность флуктуационного шума не более 30 пВт.

В ЧДм петли ОСЧ (см. рис. 3.1) входной ЧМ-сигнал с частотой несущей 35 МГц усиливается в А6 и поступает на ограничитель амплитуд Z2, который предназначен для подавления паразитной амплитудной модуляции (АМ). Ограничитель амплитуд собран на двух транзисторах по двухкаскадной схеме с эмиттерной связью и на двух антипараллельных диодах. Амплитудная характеристика ограничителя показана на рис. 3.5, а. Величина подавления паразитной АМ составляет более 40 дБ и рассчитывается по формуле

$$K_{\text{П.АМ}} = 20 \lg \left[\frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}} \right]. \quad (3.1)$$

Точка перегиба АХ ограничителя соответствует пороговому напряжению $U_{\text{пор}} = 0,5 \cdot U_{\text{вх}}$. Для исключения гармоник ЧМ-сигнала, возникающих при ограничении амплитуд сигнала, на выходе ограничителя установлен двухзвенный полосовой фильтр Z3. После фильтрации и усиления ЧМ-сигнал подается на балансный частотный детектор (дискриминатор), выполненный на взаимно расстроенных относительно 35 МГц контурах (рис. 3.5, б). Один контур (L2, С4) настроен на $f_1 = 38,1$ МГц, другой (L1, С3) – на $f_2 = 31,6$ МГц. ЧМ-сигнал, проходя через контура, преобразуется в амплитудно-частотно-модулированный (АЧМ) сигнал, который детектируется в VD1 и VD2, фильтруется, и его низкочастотный спектр в виде группового сигнала выделяется на нагрузке R7 и R8. Этот сигнал усиливается в усилителях на транзисторах VT2 и VT3 и складывается на нагрузке R17. С помощью резисторов R15, R16, R18, R19, R20 осуществляется компенсация четных гармоник в полезном сигнале. Потенциометр R19 устанавливается на минимум второй гармоники НЧ-сигнала.

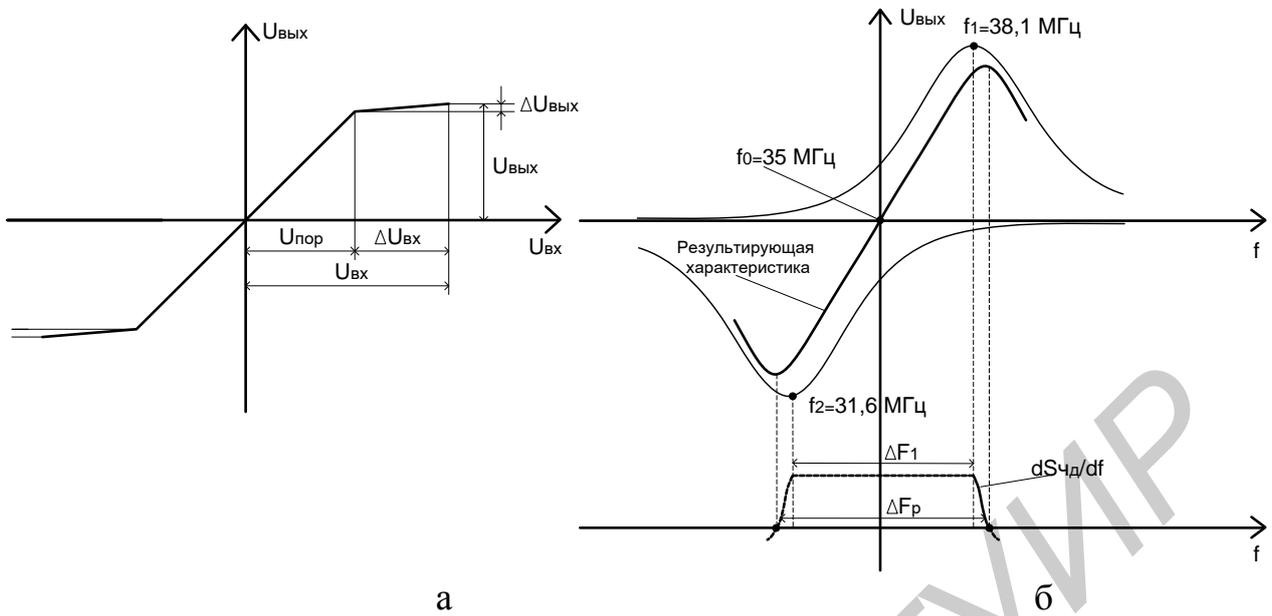


Рис. 3.5. Характеристики частотного демодулятора:
 а – амплитудного ограничителя; б – дискриминатора

Частотный демодулятор приемника (рис. 3.7) аналогичен ЧДм петли ОСЧ (рис. 3.6), но ограничитель амплитуд и усилитель частотного детектора выполнены на микросхемах типа 228УВ4. В ЧДм приемника АЧМ-сигнал образуется в частотном дискриминаторе на расстроенных относительно 35 МГц контурах (L1, C5 и L2, C6).

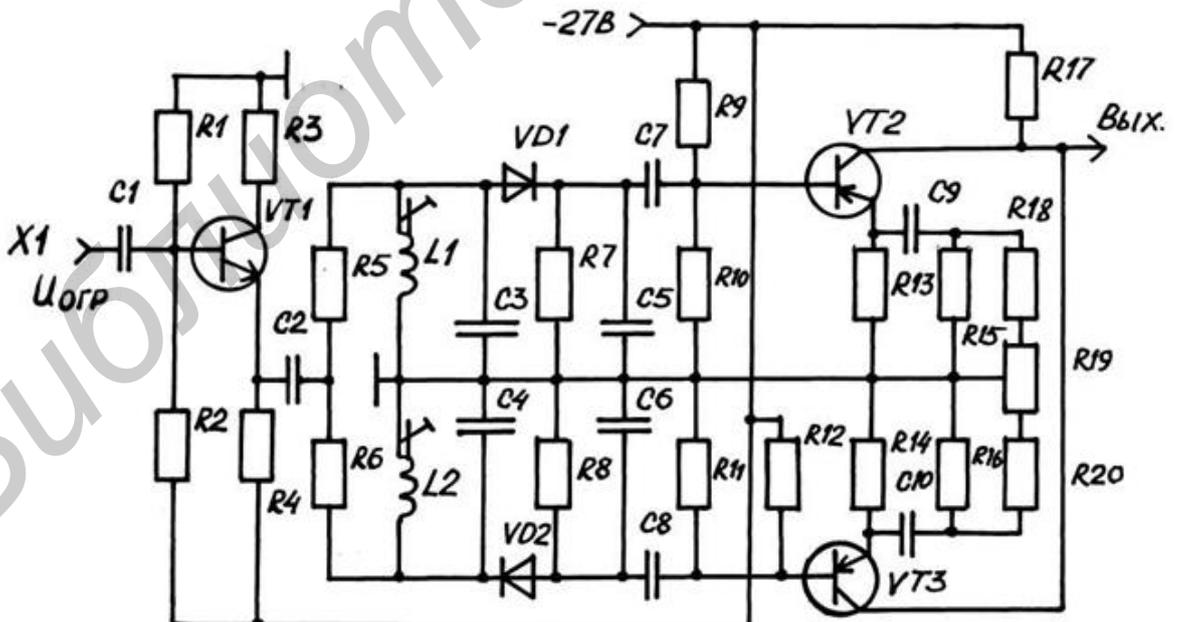


Рис. 3.6. Частотный детектор петли ОСЧ

После детектирования АЧМ-сигнала амплитудными детекторами VD1 и VD2 выделенный на R5, R6, R7 групповой сигнал поступает на вход каскада сложения и усиления НЧ-сигнала на микросхеме DA3 типа 140УД1А. Далее групповой сигнал поступает на вход блока УНЧ, где обеспечивается его усиление до номинального уровня.

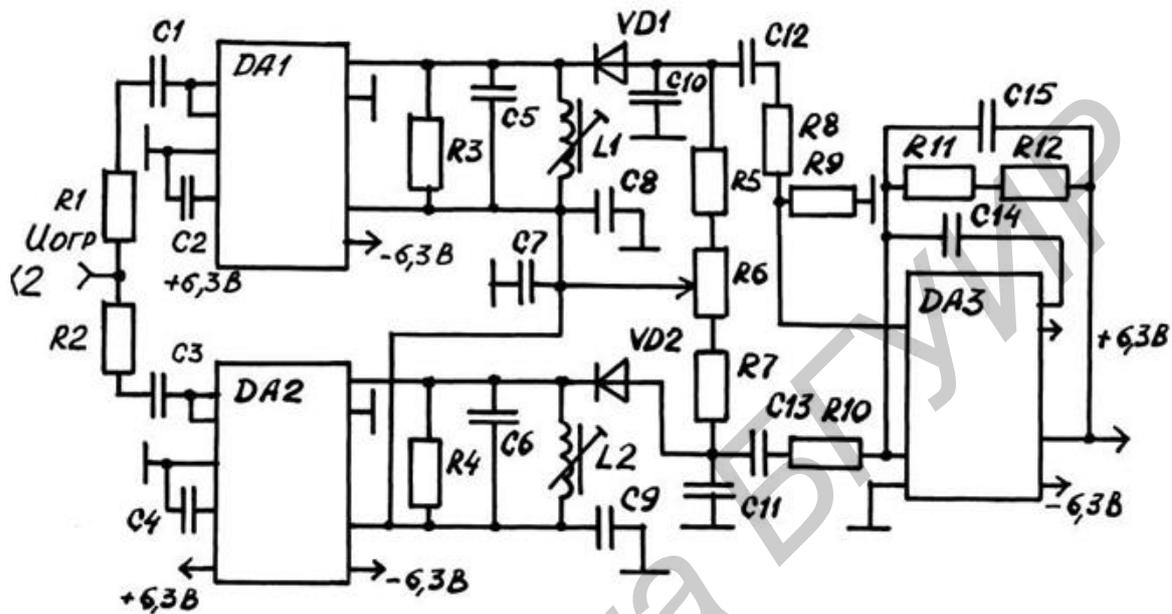


Рис. 3.7. Частотный демодулятор приемника

3.3. Панель измерения лабораторного макета

На рис. 3.8 представлен внешний вид панели измерений, на которой установлены контрольные гнезда и переключатели, связанные с отдельными устройствами ЧМд и ЧДм приемопередатчика.

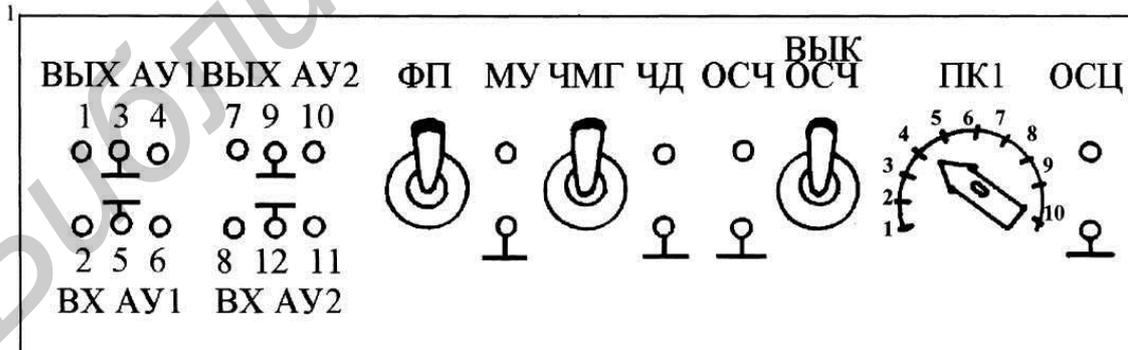


Рис. 3.8. Панель измерений

На этой панели обозначено: ФП – выключатель фильтра предискажений; МУ – гнезда на выходе модуляционного усилителя; ЧМГ – выключатель питания ЧМд; ЧД – гнезда на входе частотного демодулятора; ОСЧ – гнезда на

выходе петли обратной связи по частоте; ВЫК. ОСЧ – выключатель петли ОСЧ; ПК1 – переключатель точек контроля системы ФАПЧ; ОСЦ – гнезда подключения осциллографа для контроля системы ФАПЧ.

3.4. Порядок выполнения лабораторной работы

3.4.1. Подготовить оборудование ТРАЛ 400/24 и измерительные приборы для выполнения лабораторной работы.

Включить выпрямитель (расположен в нижней части макета) и блок питания БП-1 основного комплекта ПмПд. Нажать на панели БКУ кнопку ШЛЕЙФ ОСН. Тумблеры ФП и ОСЧ панели измерений поставить в положение ВКЛ, а тумблер ЧМГ – в положение ВЫКЛ.

Включить измерительные приборы: генератор Г4-116, измеритель амплитудно-частотных характеристик Х1-48 (блок измерений и генераторный блок), осциллограф С1-65А, милливольтметр ВЗ-39 и измеритель нелинейных искажений С6-7.

3.4.2. Исследовать параметры ЧДм петли обратной связи.

3.4.2.1. Определить крутизну демодуляционной характеристики частотного детектора.

Соединить кабельной перемычкой выход генератора Г4-116 (разъем ВЫХОД $\mu\text{В}$) и вход частотного детектора (гнезда ЧД на панели измерений макета). К выходу частотного детектора (гнезда ОСЧ) подключить С6-7 в режиме милливольтметра (нажать кнопку «V»), а выход С6-7 (гнездо ОСЦИЛЛ.) соединить с осциллографом С1-65А. Нажать на панели генератора Г4-116 кнопки ГВЧ; ЧМ ВНУТР; ЧАСТОТА 34-70 МГц. Настроить Г4-116 на частоту $f_0 = 35$ МГц и установить выходной уровень сигнала $30 \cdot 10^4$ мкВ. Изменяя девиацию частоты генератора Δf от 0 до 100 кГц, отмечать по С6-7 напряжение на выходе $U_{\text{вых}}$ ЧДм. По осциллографу определить частоту модуляции ЧМ-колебаний генератора. Построить зависимость $U_{\text{вых}} = f(\Delta f)$. Рассчитать крутизну ЧДм:

$S_{\text{чд}} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta f_p$, В/МГц, где ΔF_p , $\Delta U_{\text{вых}}$ – диапазон изменения девиации частоты на входе ЧДм и соответствующее ему изменение выходного напряжения (см. рис. 3.5, б).

3.4.2.2. Снять зависимость изменения крутизны демодуляционной характеристики ЧДм от частоты.

Схему измерений и уровень сигнала на выходе ЧДм по подп. 3.4.2.1. сохранить. Установить на выходе Г4-116 девиацию частоты сигнала $\Delta f = 50$ кГц. Изменяя частоту генератора в пределах ± 4 МГц относительно $f_0 = 35$ МГц, отмечать по С6-7 напряжение $U_{\text{вых}}$ на выходе ЧДм. Записать значения частот f_1 и f_2 , при которых $U_{\text{вых}}$ в пределах перестройки минимально. Построить зависимость $S_{\text{чд}}(f) = U_{\text{вых}}(f) / \Delta f$ и определить по ней полосу частот ΔF_1 , в пределах которой сохраняется постоянство $S_{\text{чд}}(f)$ с погрешностью 10 % (см. рис. 3.5, б). Определить частотный разнос между частотами настройки

контуров дискриминатора $\Delta F_p = (f_1 - f_2)$ и сравнить результат с техническими данными.

3.4.3. Снять амплитудную характеристику ограничителя амплитуд.

Схему измерений по п. 3.4.2 сохранить. Настроить генератор Г4-116 на частоту $f_0 = 35$ МГц и установить девиацию частоты $\Delta f = 70$ кГц. Изменяя напряжение $U_{вх}$ на входе ЧДм от 20 до 400 мВ, отмечать по С6-7 соответствующее напряжение $U_{вых}$ на выходе ЧДм. Построить зависимость (см. рис. 3.5, а) $U_{вых} = f(U_{вх})$ и рассчитать по формуле (3.1) по данным измерений уровень подавления паразитной АМ, где $\Delta U_{вх}/U_{вх}$ и $\Delta U_{вых}/U_{вых}$ – относительное изменение амплитуды сигнала на входе и выходе ограничителя соответственно.

3.4.4. Снять общий вид демодуляционной характеристики ЧДм.

Соединить кабельной перемычкой вход частотного демодулятора (гнезда ЧД) с выходом генераторного блока ($\odot \rightarrow$ ГКЧ) X1-48, а выход ЧДм (гнезда ОСЧ) с усилителем ($\ominus \rightarrow$ У) этого блока. Установить на приборе X1-48 переключатель множителя частотной шкалы в положение $\times 10$, ручку установки центральной частоты \blacktriangledown в положение 3,5 МГц; затухание аттенюатора 17...18 дБ; ручку усиления \triangleright У в положение «метка 1»; переключатель «Период S» в положение 0,08; переключатель меток в положение «1». Отцентрировать изображение демодуляционной характеристики. Для этого использовать ручку вертикального смещения изображения « \updownarrow », ручку установки частоты грубо \blacktriangledown , ручку ПОЛОСА. Ручкой ВИЗИР разместить измерительную линию с частотными метками по центру экрана. По меткам с шагом 1 МГц определить частотный разнос ΔF_p между вершинами характеристики. Зарисовать в масштабе демодуляционную характеристику.

3.4.5. Исследовать параметры частотного модулятора.

3.4.5.1. Снять модуляционную характеристику ЧМГ.

Подключить на вход модуляционного усилителя (гнезда 10–12) генератор ГЗ-109, а на выход усилителя (гнезда МУ) милливольтметр ВЗ-39. На выход ЧДм (гнезда ОСЧ) подключить С6-7 в режиме милливольтметра. Тумблеры ФП, ЧМГ, ОСЧ установить в положение ВКЛ. Генератор ГЗ-109 настроить на частоту $F_0 = 12$ кГц. Изменяя на входе ЧМГ (гнезда МУ) напряжение в пределах $U_{вх} = 5...15$ мВ, отмечать по С6-7 напряжение $U_{вых}$ на выходе ЧДм. По полученным данным и определенному ранее значению $S_{чд}$ построить модуляционную характеристику: $\Delta f = f(U_{вх})$, где $\Delta f = U_{вых}/S_{чд}$. Определить по ней крутизну модуляционной характеристики $S_m = \Delta f_p/\Delta U_{вх}$, где $\Delta U_{вх}$, Δf_p – изменение напряжения на входе ЧМГ и соответствующее ему изменение девиации частоты $\Delta f_p = \Delta f_{макс} - \Delta f_{мин}$.

3.4.5.2. Снять модуляционную характеристику ЧМд прямым способом.

Схему измерений по подп. 3.4.5.1 сохранить. Подключить к гнездам ЧД цепи ОСЧ измеритель модуляции СКЗ-46. Изменяя на входе ЧМд (гнезда МУ) напряжение с частотой 12 кГц от 5 до 15 мВ, фиксировать значения девиации частоты.

Построить зависимость $\Delta f = f(U_{\text{вх}})$ и определить по ней крутизну модуляционной характеристики. Сравнить результаты, полученные в предыдущих пунктах.

3.4.5.3. Снять зависимость девиации частоты на выходе ЧМД от частоты на его входе при наличии и отсутствии предискажений.

Схему измерений и положение тумблеров по подп. 3.4.5.1 сохранить. Обеспечить от ГЗ-109 на частоте $F_0 = 65$ кГц на гнездах МУ напряжение $U_{\text{вх}} = 8$ мВ. Настраивая НЧ-генератор на частоты $F = 10; 20; 40; 65; 80; 106; 130$ кГц, отмечать для двух положений тумблера ФП по ВЗ-39 напряжение $U_{\text{вх}}$, а по С6-7 напряжение $U_{\text{вых}}$ на выходе ЧД.

Построить зависимости $\Delta f(X) = U_{\text{вых}}(X)/S_{\text{чд}}$ и $U_{\text{вх}} = f(X)$ при наличии и отсутствии предискажений, где $X = F/F_0$. Определить на частотах 12 и 108 кГц относительные изменения девиации частоты на выходе ЧМГ $Y_{\text{п.1}}(X) = 20\lg(\Delta f(X)/\Delta f_0)$ и напряжения на входе ЧМГ $Y_{\text{п.2}}(X) = 20\lg(U_{\text{вх}}(X)/U_{\text{вх0}})$ по отношению к Δf_0 и $U_{\text{вх0}}$ при нулевых предискажениях. Определить на частотах 12, 65 и 108 кГц индексы ЧМ $m_{\text{чм}} = \Delta f/F$.

3.5. Содержание отчета

1. Структурная схема частотного модулятора.
2. Результаты измерений и расчета, экспериментальные зависимости.
3. Выводы по лабораторной работе.

3.6. Контрольные задания

1. Назвать основные требования, предъявляемые к частотным модуляторам и демодуляторам. Представить вид модуляционной и демодуляционной характеристик.
2. Объяснить по структурной схеме работу частотного модулятора.
3. Пояснить назначение петли ОСЧ и системы ФАПЧ. Представить упрощенные структурные схемы ЧМД, охваченные ОСЧ и системой ФАПЧ.
4. Пояснить по принципиальной схеме работу формирователя ЧМ-сигнала.
5. Пояснить по принципиальной и структурной схемам работу системы ФАПЧ.
6. Пояснить работу частотного демодулятора петли ОСЧ и частотного детектора приемника.
7. Привести структурные схемы измерений модуляционных и демодуляционных характеристик.
8. Пояснить результаты измерений и сравнить их с техническими параметрами аппаратуры.

Лабораторная работа №4
ИЗУЧЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ТРАКТА
ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА СИСТЕМЫ ТРАЛ 400/24 И
ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы: изучить структурные и принципиальные схемы устройств высокочастотного (ВЧ) тракта приемопередатчика (ПмПд); рассмотреть принципы построения и особенности работы устройств тракта; провести экспериментальные исследования основных характеристик ПмПд.

4.1. Высокочастотный тракт ПмПд и его основные характеристики

К высокочастотному тракту радиорелейной системы ТРАЛ 400/24 относятся следующие устройства (рис. 4.1): трансформатор сопротивления (ТрС), переключатель высокой частоты (ПВЧ), переключатель контроля (ПК) с согласованной нагрузкой (СН), блок частотных развязок (БЧР), ВЧ-тракты приемного (ПрУ) и передающего (ПдУ) устройств.

ВЧ-тракт определяет важнейшие показатели систем радиосвязи: коэффициент системы; мощность тепловых и переходных шумов; чувствительность и избирательность приемного устройства.

Коэффициент системы характеризует энергетический потенциал ПмПд и показывает способность оборудования противостоять потерям на радиолинии:

$$K_c = 10 \lg (P_{\text{пд}}/P_{\text{ш.пр}}) \cdot \beta, \text{ дБ}, \quad (4.1)$$

где β – выигрыш в помехоустойчивости приемника вследствие использования частотной модуляции; $P_{\text{пд}}$ – излучаемая мощность передатчика, Вт; $P_{\text{ш.пр}}$ – мощность тепловых шумов приемного устройства, равная

$$P_{\text{ш.пр}} = k \cdot T_0 \cdot \Pi_{\text{ш}} \cdot F_{\text{ш.пр}} \cdot L_{\text{п}}, \text{ Вт}. \quad (4.2)$$

В формуле (4.2) $k \cdot T_0 \approx 4 \cdot 10^{-21}$, Вт/Гц; $\Pi_{\text{ш}}$ – шумовая полоса ПрУ, примерно равная его ширине полосы пропускания $\Pi_{\text{пр}}$, Гц; $F_{\text{ш.пр}}$ – коэффициент шума ПрУ; $L_{\text{п}}$ – потери в пассивных устройствах ПрУ (переключателях и фильтрах).

При передаче многоканальной телефонии по тракту с частотной модуляцией

$$\beta = \Pi_{\text{ш}} \cdot (\Delta f_k / F_B)^2 \cdot K_{\text{пр}} \cdot K_{\text{пс}} / \Delta F_{\text{т.ч}}, \quad (4.3)$$

где Δf_k – эффективная девиация частоты несущей на канал, Гц; F_B – частота верхнего канала в групповом спектре многоканального сообщения, примерно равная $4 \cdot N_k$, кГц; $\Delta F_{\text{т.ч}}$ – ширина полосы канала ТЧ, равная $3,1 \cdot 10^3$ Гц; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент предискажений, вносимых в тракт, равный 2,5 (4 дБ) на верхней частоте

те многоканального сообщения; $K_{\text{ПС}}$ – психометрический коэффициент, учитывающий избирательность слуха к шумам по частоте и равный 1,78 (2,5 дБ).

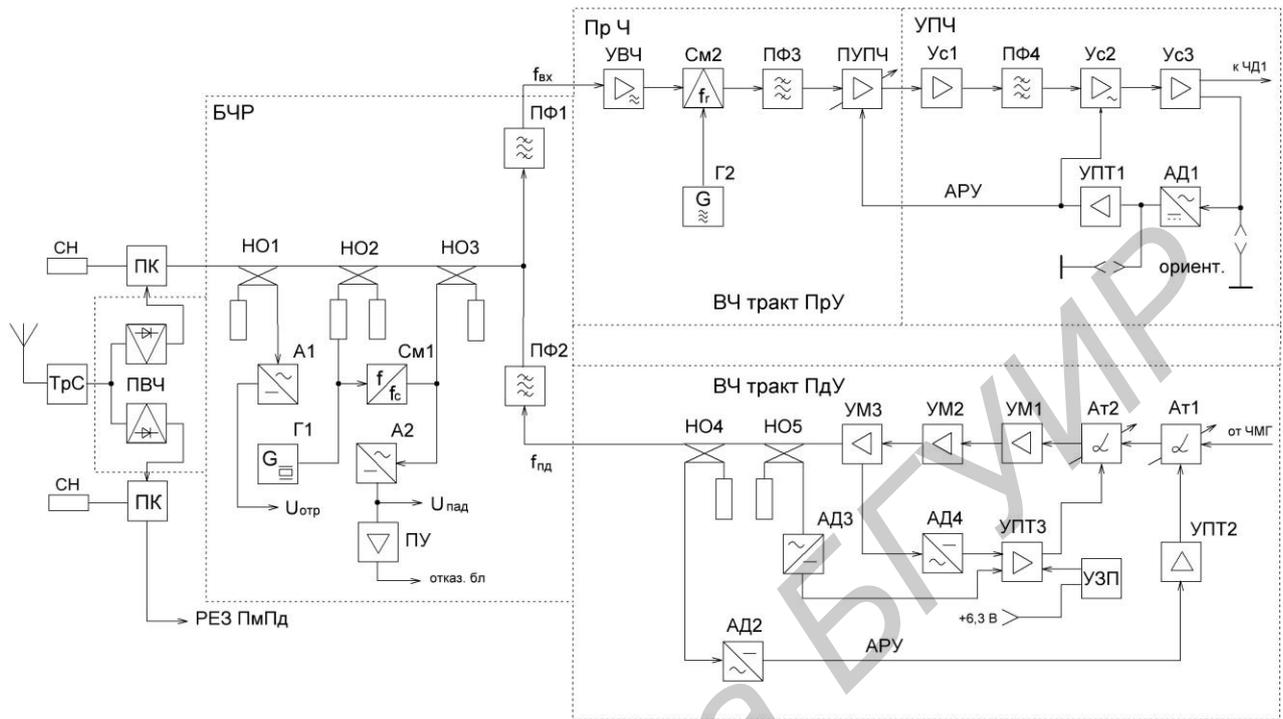


Рис. 4.1. Высокочастотный тракт приемопередатчика

Ширина полосы пропускания ВЧ-тракта ПрУ определяется по формуле

$$\Pi_{\text{ПР}} = 2 \cdot (\Delta f_k \cdot 10^{0,05(p_{\text{CP}} + \chi)} + F_B), \text{ Гц}, \quad (4.4)$$

где p_{CP} – средний уровень мощности многоканального сообщения, дБм; χ – пик-фактор, характеризующий превышение квазипикового уровня мощности над средним, дБ.

Для числа каналов $12 \leq N_k \leq 240$ величина $\Delta f_k = 50$ кГц и

$$p_{\text{CP}} = -1 + 4 \lg N_k, \text{ дБм}. \quad (4.5)$$

Пик-фактор уменьшается с ростом числа каналов и составляет 15,6 дБ для $N_k = 10$ и 10,5 дБ для $N_k = 1000$.

В аппаратуре ТРАЛ 400/24 коэффициент системы $K_c = 166$ дБ при $P_{\text{ПД}} = 3$ Вт, $F_{\text{Ш.ПР}} = 5$, $L_{\text{П}} = 1,8$, $F_B = 108$ кГц, $\Pi_{\text{ПР}} = 1,6$ МГц и $\chi = 13,4$ дБ. Коэффициент системы не зависит от усиления антенн и потерь в фидерных трактах.

Наличие собственных тепловых шумов в ПрУ (определяется коэффициентом шума) приводит к образованию шумов в каналах тональной частоты, снижающих качества воспринимаемого сигнала. Психометрическая мощность этих шумов в канале ГЧ (с учетом психометрического фильтра) рассчитывается по формуле

$$P_{\text{шт}} = 10^{0,1(90 - K_{\text{с}} + A_{\text{инт}})}, \text{ пВт}, \quad (4.6)$$

где $A_{\text{инт}}$ – потери энергии сигнала на интервале РРЛ между выходом передатчика и входом приемника:

$$A_{\text{инт}} = a_0 + a_{\text{ф.пр}} + a_{\text{ф.пд}} - g_{\text{пд}} - g_{\text{пр}}, \text{ дБ}. \quad (4.7)$$

В формуле (4.7) $a_0 = 20 \lg(4\pi R / \lambda)$, дБ, – потери энергии сигнала при его распространении в свободном пространстве, дБ; $a_{\text{ф.пд}}$, $a_{\text{ф.пр}}$ – затухание сигнала в фидере передатчика и приемника, дБ; $g_{\text{пд}}$, $g_{\text{пр}}$ – усиление передающей и приемной антенн, дБ; R – длина интервала, м; λ – длина волны на частоте сигнала, м.

Величина псофометрической мощности тепловых шумов, вносимых одной станцией ТРАЛ 400/24 в канал ТЧ при $R = 40$ км, $g_{\text{пд}} = g_{\text{пр}} = 14,5$ дБ, $a_{\text{ф.пр}} = a_{\text{ф.пд}} = 5$ дБ, составляет около 100 пВт. Для РРЛ максимальной протяженности, содержащей до 20 ПРС, $P_{\text{шт}} = 1500 \dots 2000$ пВт.

В ВЧ-тракте ПрУ имеет место неравномерность амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик, что приводит к искажениям передаваемого сигнала и возникновению переходных шумов в каналах ТЧ. Мощность этого вида шумов максимальная в верхнем телефонном канале группового спектра и в ПРС ТРАЛ 400/24 составляет около 50 пВт.

Способность приемника противостоять помехам, действующим на его входе, оценивают значением избирательности по внеполосным помехам, соседним и побочным каналам приема. В аппаратуре ТРАЛ 400/24 ослабление сигнала соседнего канала (ствола) приема с частотой $f_{\text{ск}} = f_{\text{вх}} \pm 1,86$ МГц составляет не менее 40 дБ. Ослабление помехи на зеркальной частоте с $f_{\text{з.к}} = f_{\text{вх}} - 2f_{\text{пч}} = f_{\text{г}} - f_{\text{пч}}$ составляет более 80 дБ, где $f_{\text{г}}$ – частота гетеродина; $f_{\text{пч}}$ – промежуточная частота. Требуемое ослабление помехи на частоте зеркального канала обеспечивается использованием высокодобротного фильтра, включенного на входе приемника (до преобразователя частоты). Требуемое ослабление сигналов соседних каналов и внеполосных помех обеспечивается всеми селективными устройствами приемника и, прежде всего, трактом ПЧ с высоким вносимым затуханием $a_{\text{пч}}(f)$ для помех вне информационной полосы (рис. 4.2).

Чувствительность приемника характеризует его способность принимать сигналы низкого уровня. Величина чувствительности ограничена собственными шумами устройства. Чем ниже принимаемый пороговый уровень мощности входного сигнала, тем выше его чувствительность:

$$p_{\text{пор}} = 10 \lg(D \cdot P_{\text{ш.пр}}), \text{ дБВт}, \quad (4.8)$$

где D – отношение мощности несущей к мощности шума, при котором обеспечивается требуемое качество приема (обычно 8...10).

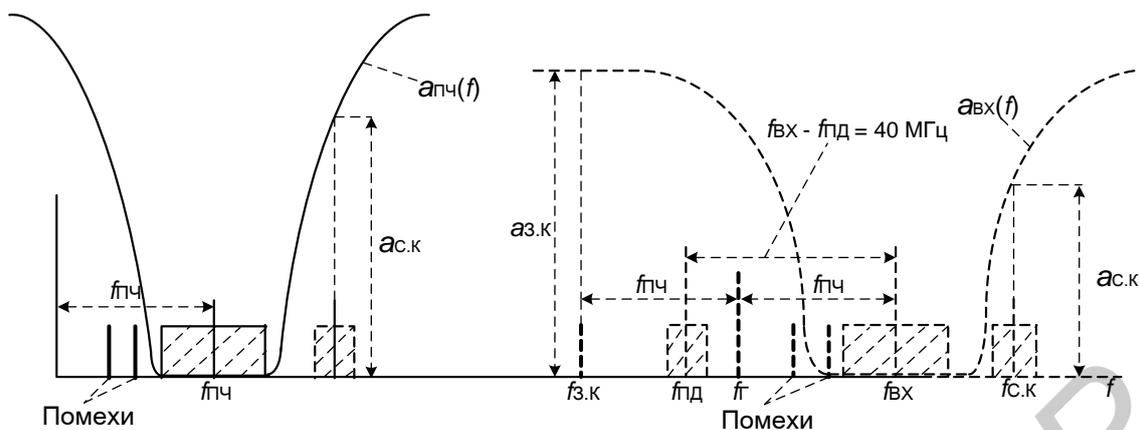


Рис. 4.2. Схема преобразования входных сигналов в область промежуточной частоты

4.2. Принципы построения и особенности работы устройств ВЧ-тракта

4.2.1. Переключатель высокой частоты (ПВЧ)

Переключатель высокой частоты служит для подключения основного или резервного ПмПд на общую антенну. Прямые потери для включенного канала составляют менее 0,7 дБ, для выключенного – более 20 дБ. ПВЧ состоит (рис. 4.3) из СВЧ-переключателя П1, выполненного на шести последовательно включенных коммутационных диодах VD1...VD6, и схемы управления П2, выполненной на транзисторах VT1...VT5. Схема управления формирует положительное (+5 В) или отрицательное (–27 В) напряжение смещения на диоды в зависимости от сигнала управления с БКУ.

Работа ПВЧ состоит в следующем. Если на контакте 5 входного разъема действует сигнал управления с уровнем логического нуля, то транзисторы VT1, VT2 и VT5 закрыты, открыты транзисторы VT3, VT4. В результате этого на диоды VD4...VD6 через фильтр (L3, C5) поступает положительный потенциал +5 В, который открывает их. Через открытые диоды с низким сопротивлением проходит ВЧ-сигнал от антенны на вход основного ПмПд. Одновременно на диоды VD1...VD3 через резистор R4 и фильтр (L2, C4) поступает отрицательное напряжение смещения (–27 В), которое закрывает эти диоды и канал резервного направления. Таким образом, к приемной антенне подключен только основной ПмПд.

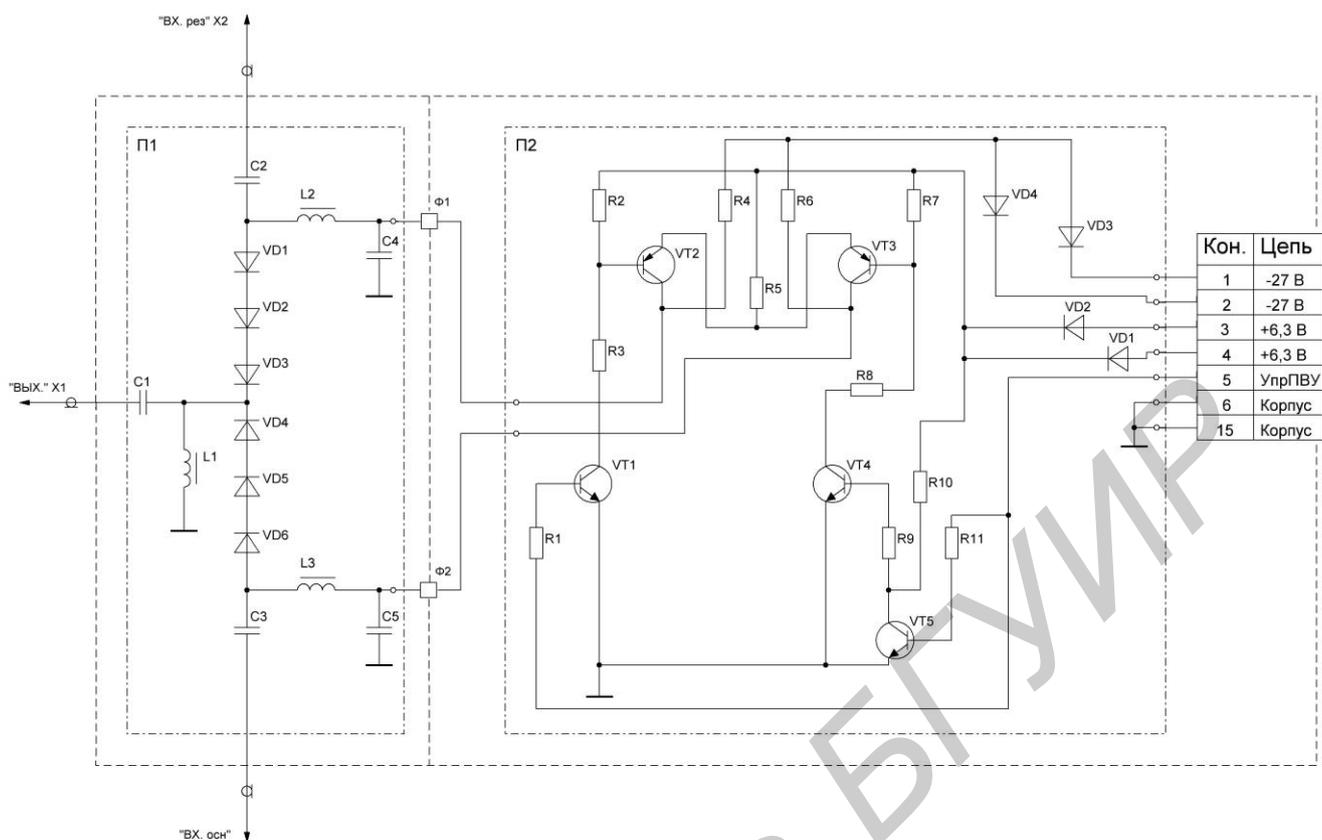


Рис. 4.3. Принципиальная схема переключателя высокой частоты

Если на контакте 5 разъема X4 действует уровень логической единицы, то транзисторы VT1, VT2 и VT5 открыты, а транзисторы VT3, VT4 закрыты. На диодах VD1...VD3 установится смещение +5 В, а на диодах VD4...VD6 – минус 27 В. В результате обеспечивается закрытое состояние канала от антенны в направлении основного ПмПд и открытое -ВХ.РЕЗ. в направлении резервного ПмПд. Таким образом, к приемной антенне подключается только резервный ПмПд.

4.2.2. Блок частотных развязок (БЧР)

БЧР предназначен для разделения сигналов приема и передачи, обеспечения требуемой избирательности приемника и подавления внеполосного излучения на выходе передатчика. Кроме того, БЧР обеспечивает контроль согласованности ПмПд с антенной и преобразование частоты передачи в частоту приема при проверке работоспособности блоков ПмПд в режиме шлейфа. БЧР состоит из двух узлов: фильтра частотных развязок и индикатора проходящей мощности (ИПМ).

Фильтр частотных развязок (см. рис. 4.1) содержит два высокодобротных трехрезонаторных полосовых фильтра (ПФ): ПФ1 – настроен на частоту приема, ПФ2 – на частоту передачи. Разнос между этими частотами составляет 40 МГц. Потери каждого фильтра в рабочей полосе не более 1,5 дБ. Ширина поло-

сы пропускания фильтров на уровне -3 и -60 дБ составляет 2,25 и 52 МГц соответственно. Для этих значений крутизна АЧХ фильтров $S_{\Phi} = 2 \cdot (a_2 - a_1) / (P_2 - P_1)$ составляет 2,29 дБ/МГц, где P_2, P_1 – значения полос пропускания фильтра на соответствующих уровнях затухания a_2, a_1 . Величина снижения мощности передатчика фильтром на входе приемника около 60 дБ. Фильтры приема и передачи имеют отдельные входы и общий выход.

Индикатор проходящей мощности (рис. 4.4) содержит устройство контроля излучаемой и отраженной от ВЧ-устройств энергии П1, пороговое устройство П2 и устройство сдвига частоты П3. Система контроля состоит из трех направленных ответвителей (НО), выполненных на симметричных полосковых линиях с боковой связью. Переходное ослабление НО равно примерно 40 дБ. НО1 обеспечивает направленный отбор части отраженной от антенны мощности передатчика, а НО3 – отбор части доставляемой мощности передатчиком в антенну (от гнезда Х2 к гнезду Х1). С помощью диодов VD1 и VD2 осуществляется детектирование этих мощностей для контроля их уровней. Установка номинальных значений протестированных напряжений осуществляется резисторами R6 и R7. Часть напряжения с диода VD2 через R8 поступает на пороговый усилитель (ПУ), выполненный на микросхеме DA1. В ПУ вырабатывается сигнал состояния блока «исправно» или «неисправно». Если мощность передатчика более 1,2 Вт, то на выходе DA1 формируется сигнал с уровнем логического нуля («исправно»). При мощности менее 0,9 Вт формируется сигнал аварии (ОТКАЗ Бл) с уровнем логической единицы. Устройство сдвига частоты П3 состоит из смесителя на транзисторе VT2 и кварцевого автогенератора на транзисторе VT1 и оно служит для контроля работоспособности устройств ПмПд в режиме шлейфа (работа «на себя»)

В соответствии с приведенной схемой на вход базы VT2 поступают два сигнала: один – через емкость C12 и индуктивность W1 от автогенератора с частотой $f_{\text{сд}} = 40$ МГц, а другой – через направленный ответвитель НО2 от передатчика с частотой $f_{\text{пд}}$. Эти сигналы между собой разделены с помощью индуктивности L3 и емкости C14.

В результате преобразования двух сигналов на выходе смесителя образуется сигнал с частотой приема $f_{\text{вх}} = f_{\text{пд}} + f_{\text{сд}}$, который снимается с резонансной нагрузки (W2, C_{к-э}, C18) транзистора VT2 и через делитель напряжения на сопротивлениях R23 и R24 и направленный ответвитель НО3 поступает на вход фильтра приемника.

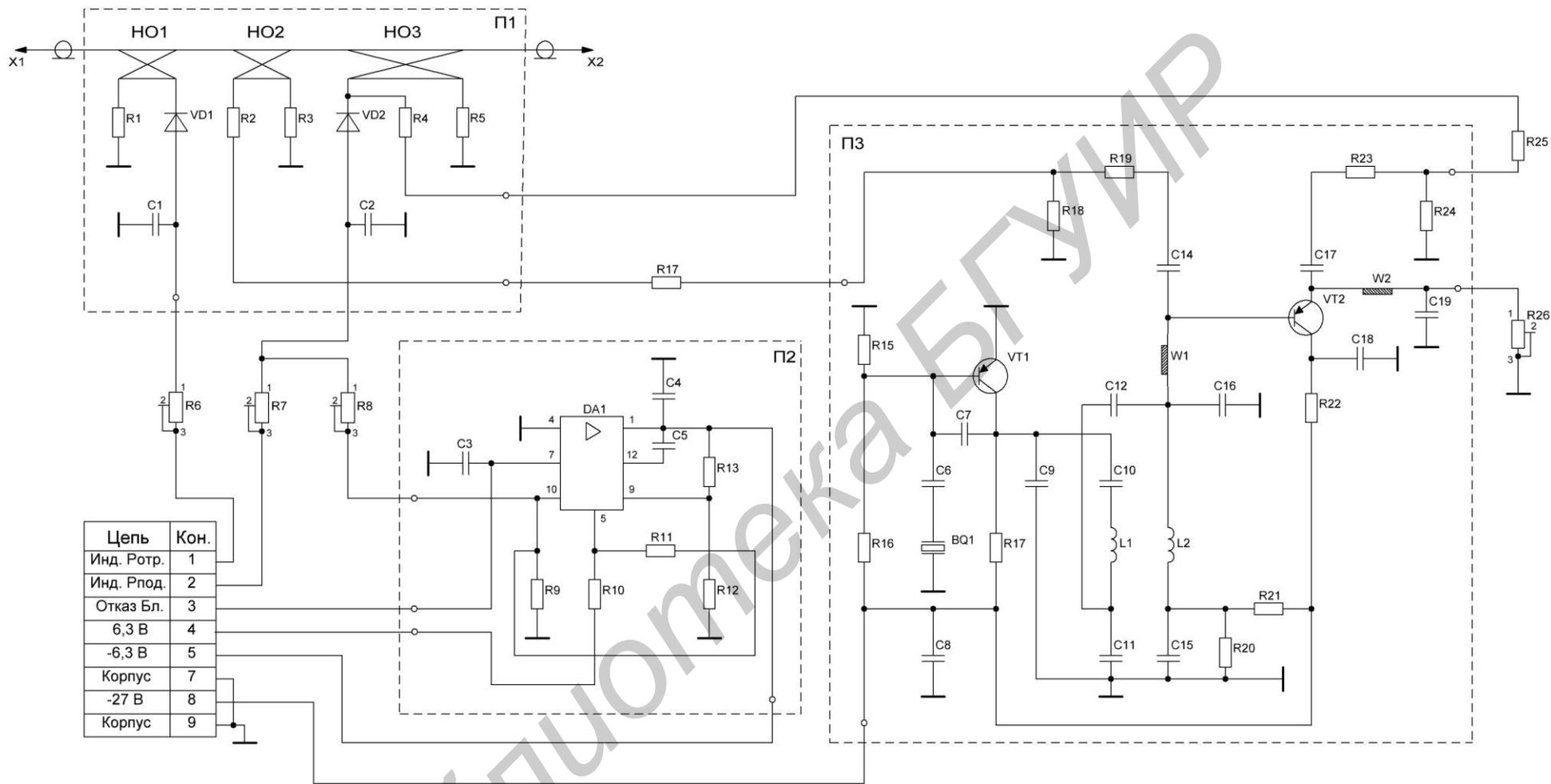


Рис. 4.4. Принципиальная схема индикатора проходящей мощности

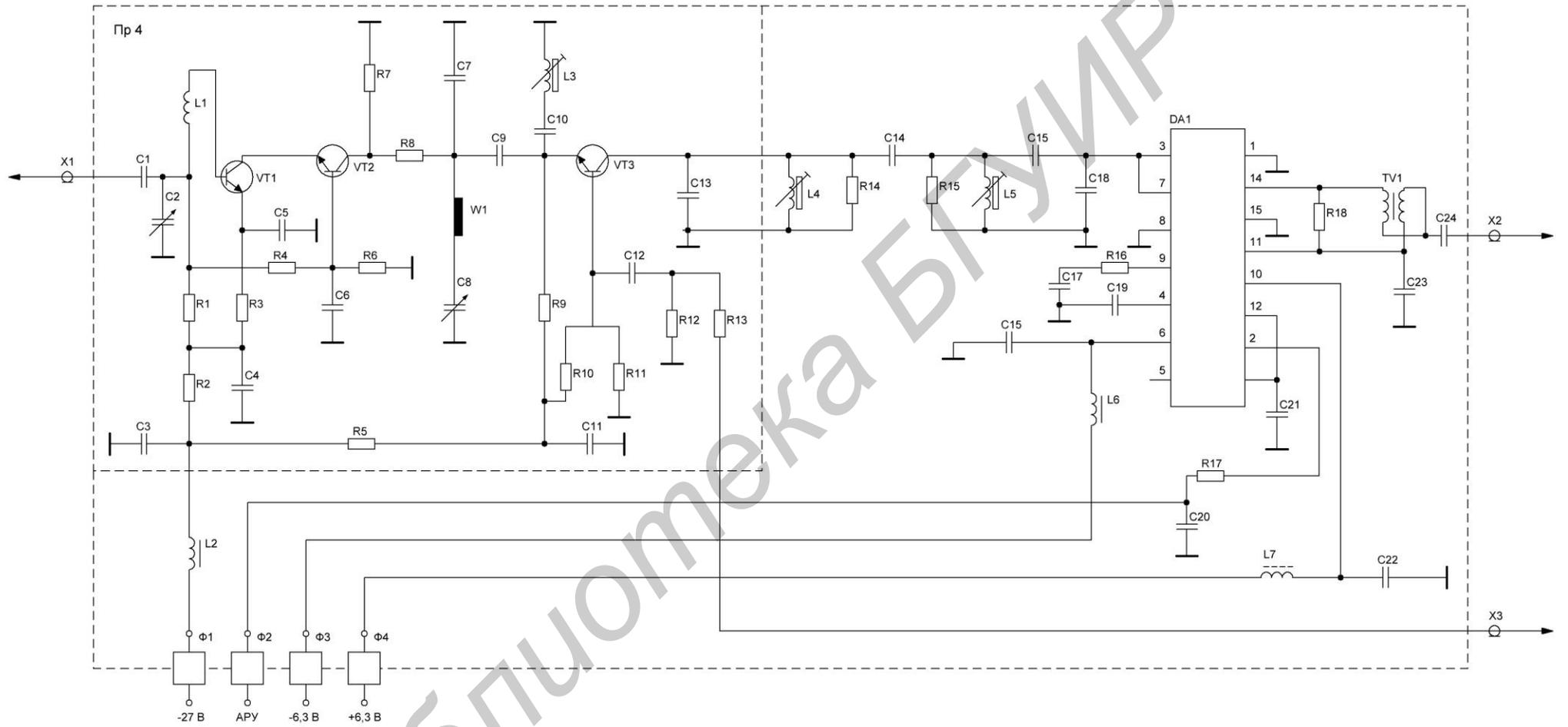
4.2.3. ВЧ-тракт приемного устройства

ВЧ-тракт ПрУ выполнен по супергетеродинной схеме с малошумящим усилителем на входе и однократным преобразованием частоты. В состав ВЧ-тракта ПрУ (см. рис. 4.1) входят: блок усиления и преобразования частоты (ПрЧ) и усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Тракт обеспечивает: коэффициент шума 5,5 дБ; полосу пропускания по уровню -3 дБ, равную 1,6 МГц; избирательность при расстройке на $\pm 1,86$ МГц относительно центральной частоты не менее 40 дБ.

Блок ПрЧ состоит (рис. 4.5) из усилителя высокой частоты (УВЧ) с низким коэффициентом шума, транзисторного смесителя (СМ2), гетеродина (Г2) и предварительного усилителя промежуточной частоты (ПУПЧ). УВЧ выполнен по составной каскодной схеме ОЭ-ОБ на малошумящих транзисторах VT1, VT2 типа 2Т382А. Согласование на входе усилителя обеспечивается регулировкой параметров П-образного контура, образованного емкостью С2, индуктивностью L1 и входной емкостью транзистора VT1. Настройка УВЧ на рабочую частоту производится конденсатором С8, который включен в полуволновой резонатор W1 на выходе каскада.

Для ослабления шумов, действующих на выходе УВЧ и попадающих в полосу УПЧ, на входе смесителя (VT3) включен последовательный фильтр (С10, L3). Смеситель СМ2 выполнен по схеме с общей базой. Напряжение гетеродина с частотой $f_{Г} = f_{ВЧ} - f_{ПЧ}$ поступает от источника с кварцевой стабилизацией (разъем Х3) на базу транзистора VT3. Промежуточная частота, равная 35 МГц, выделяется двухконтурным полосовым фильтром (С13, L4, С14, L5, С16, С18) и поступает для усиления в ПУПЧ, который выполнен на микросхеме DA1 типа 228УВ2. Выход предварительного усилителя согласован со входом блока УПЧ с помощью широкополосного трансформатора TV1.

Блок УПЧ обеспечивает основное усиление сигнала ($K_{УС} \approx 10^5$), требуемую полосу пропускания и заданную избирательность по соседнему каналу. УПЧ состоит (см. рис. 4.1) из трех усилительных каскадов Ус1-Ус3, выполненных на микросхемах, шестизвенного фильтра сосредоточенной селекции ПФ4, амплитудного детектора (АД1) и усилителя постоянного тока (УПТ1) цепи АРУ.



4.5. Принципиальная схема ВЧ-тракта приемного устройства

Конструктивно УПЧ входит в состав блока промежуточной частоты (БПЧ), в котором, кроме того, размещается частотный демодулятор. На входе первого каскада УПЧ включен согласующий трансформатор. На выходах второго и третьего каскадов УПЧ включены одноконтурные фильтры, настроенные на промежуточную частоту $f_{ПЧ} = 35$ МГц. Благодаря использованию группы избирательных устройств обеспечивается АЧХ с полосой пропускания, необходимой для передачи информационного сигнала при существенном ослаблении внеполосных помех.

С выхода УПЧ сигнал ПЧ поступает на частотный демодулятор и на параллельный амплитудный детектор цепи АРУ. Усиленное в УПТ1 напряжение АРУ управляет усилением каскадов ПУПЧ и УПЧ и обеспечивает постоянство напряжения на выходе УПЧ при изменении уровня входного сигнала. Диапазон регулирования АРУ более 50 дБ. Продетектированное с помощью АД1 напряжение входного сигнала поступает на гнездо ОРИЕНТ., которое служит для контроля точности настройки антенны на сопряженную станцию. С выхода УПТ1 снимается также сигнал на шумоподаватель, который отключает выходные каскады приемника (блок УНЧ), если уровень сигнала на входе станции $P_{ВХ} \leq -126$ дБВт.

4.2.4. ВЧ-тракт передающего устройства

ВЧ-тракт ПДУ предназначен для усиления частотно-модулированных колебаний, полученных в ЧМГ, до уровня 3 Вт. ВЧ тракт ПДУ (см. рис. 4.1) содержит три каскада усиления мощности (УМ1–УМ3); двухступенчатый электрически управляемый аттенюатор Ат; цепь АРУ и цепь защиты от перегрузок. Первый каскад усиления УМ1 выполнен на транзисторе 2Т911А и работает в режиме класса А. Второй и третий каскады усиления мощности выполнены по балансным схемам на транзисторах 2Т911А и 2Т913Б соответственно. Преимущество использования балансной схемы при построении усилителей состоит в том, что мощность, отраженная от входов усилителей, поглощается балансными сопротивлениями и не влияет на режим согласования.

Двухступенчатый входной аттенюатор служит для изменения уровня усиливаемого в тракте сигнала и выполнен на двух трехдецибельных направленных ответвителях. Затухание сигнала между ответвителями регулируется с помощью р-і-п-диодов типа 2А517А. Аттенюатор Ат1 входит в состав цепи АРУ, Ат2 – в состав цепи защиты. Цепь АРУ обеспечивает стабилизацию уровня мощности на выходе передатчика и включает направленный ответвитель падающей мощности (НО4), амплитудный детектор (АД2) и усилитель постоянного тока (УПТ2).

Цепь защиты служит для блокирования усилителя мощности при нарушении режима бегущей волны в выходных каскадах тракта. Эта цепь состоит из направленного ответвителя отраженной мощности (НО5), амплитудного детектора (АД3), датчиков коллекторного напряжения выходных транзисторов (АД4), усилителя постоянного тока (УПТ3) и устройства задержки питания

(УЗП). Срабатывание схемы защиты происходит только при возникновении больших коэффициентов отражения ($|\Gamma_{отр}| \geq 0,2$) в выходных каскадах, когда отраженная мощность на НО5 около 0,8 Вт. Быстродействие кольца защиты 2...10 мкс. Время задержки подачи напряжения +6,3 В на схему защиты от момента включения питания БП-1 составляет 2...5 с, что соответствует времени установления рабочего режима системы ФАПЧ частотного модулятора. При отсутствии напряжения питания +6,3 В аттенюатор АТ2 закрыт и на выходе усилителя нет мощности.

4.3. Порядок выполнения лабораторной работы

4.3.1. Включить генератор Г4-116, милливольтметр ВЗ-39, два блока измерителя АЧХ Х1-42, модулятор генератора шума и прибор Я8Х-263 измерителя коэффициента шума.

4.3.2. Выполнить калибровку измерителя АЧХ Х1-42 согласно приложению.

4.3.3. Снять АЧХ полосового фильтра передатчика.

Оборудование системы ТРАЛ не включать. Присоединить детекторную секцию измерителя Х1-42 к выходу фильтра (разъем Прд БЧР), а вход фильтра (разъем Ан) соединить с выходом генераторного блока Х1-42. Ручкой F-центр. настроить генератор Х1-42 на частоту передатчика (около 401 МГц), а ручкой ПОЛОСА установить удобный для измерений размах АЧХ. Ручкой F-центр. отцентрировать положение АЧХ на экране, зарисовать АЧХ с соблюдением масштаба и записать значение центральной частоты.

4.3.4. Определить потери, вносимые фильтром передатчика на частоте передачи.

Уменьшая затухание аттенюатора Х1-42, совместить вершину АЧХ с верхней линией сетки экрана. Потери в фильтре равны разнице в показаниях аттенюатора, т. е. $a_{\phi} = a_0 - a_1$, где a_0, a_1 – начальное и конечное значение аттенюатора.

4.3.5. Определить ширину полосы пропускания фильтра передатчика на уровне – 3 и –10 дБ.

Установить затухание аттенюатора $a_2 = a_0 + 3$ дБ. Совместить измерительную линию с вершиной АЧХ и вернуть аттенюатор в первоначальное положение. Ручками АМПЛ. МЕТОК и ПОЛОСА обеспечить необходимую амплитуду меток (шаг 1 МГц) и размах АЧХ для достаточно точного определения по меткам ширины полосы пропускания $\Pi_{\phi 1}$ фильтра. Аналогично определить полосу пропускания $\Pi_{\phi 2}$ фильтра по уровню –10 дБ, совместив измерительную линию с вершиной АЧХ при затухании аттенюатора $a_3 = a_0 + 10$ дБ. Рассчитать коэффициент прямоугোলности АЧХ $K_{\Pi\phi} = \Pi_{\phi 2} / \Pi_{\phi 1}$ и крутизну ее скатов $S_{\phi} = 2(a_3 - a_2) / (\Pi_{\phi 2} - \Pi_{\phi 1})$, дБ/МГц.

4.3.6. Определить частотные характеристики полосового фильтра приемника.

Схему измерений сохранить, но детекторную секцию присоединить к выходу фильтра приемника (разъем Прм БЧР). Ручкой F-центр. настроить генератор X1-42 на частоту приема (около 441 МГц). Отцентрировать положение АЧХ на экране, зарисовать АЧХ и записать значение центральной частоты. Аналогично п. 4.3.4 и п. 4.3.5 определить потери в фильтре, значения полос пропускания $P_{\Phi 1}$ и $P_{\Phi 2}$ по уровню -3 и -10 дБ. По данным измерений рассчитать коэффициент прямоугольности АЧХ $K_{ПФ}$ и крутизну ее скатов S_{Φ} .

4.3.7. Определить избирательность фильтра приемника при расстройке на ± 2 МГц от центральной частоты f_0 .

Установить измерительную линию в положение, при котором ширина полосы пропускания фильтра составляет 4 МГц. Изменяя затухание аттенюатора, совместить вершину АЧХ с измерительной линией. Величина избирательности: $I_{\Phi} = a_4 - a_0$, где a_4 – полученное затухание аттенюатора.

4.3.8. Исследовать характеристики устройств тракта приемника.

4.3.8.1. Определить усиление и полосу пропускания блока ПрЧ по уровню -3 и -10 дБ.

Подсоединить детекторную секцию к разъему ВЫХ ПЧ блока ПрЧ, а вход блока ПрЧ (разъем Вх ВЧ блока ПрЧ) соединить с выходом генератора X1-42. Установить затухание аттенюатора 30 дБ. Нажать на БКУ аппаратуры кнопку ШЛЕЙФ ОСН и поставить тумблер ЧМГ в положение ВЫКЛ, что исключит наличие мощности на выходе передатчика. Включить выпрямитель аппаратуры и блок питания БП-1 основного комплекта Пмпд. Изменяя затухание аттенюатора X1-42, совместить вершину АЧХ с верхней линией сетки экрана. Усиление блока ПрЧ рассчитать по формуле $K_{р1} = a_5 - a_0$, дБ, где a_5 – полученное затухание аттенюатора.

Аналогично п. 4.3.5 определить полосы пропускания P_{y1} и P_{y2} блока ПрЧ по уровню -3 и -10 дБ, устанавливая измерительную линию для затухания аттенюатора $a_5 + 3$ и $a_5 + 10$ дБ. По полученным данным рассчитать коэффициент прямоугольности АЧХ блока ПрЧ $K_{ПЧ} = P_{y2} / P_{y1}$ и крутизну ее скатов $S_y = 14 / (P_{y2} - P_{y1})$, дБ/МГц.

4.3.8.2. Определить избирательность блока ПрЧ при расстройке на ± 2 МГц от f_0 .

Установить измерительную линию в положение, при котором ширина полосы АЧХ составляет 4 МГц. Изменяя затухание аттенюатора, совместить вершину АЧХ с измерительной линией. Величина избирательности: $I_{y1} = a_6 - a_5$, дБ, где a_5 , a_6 – начальное и конечное затухание аттенюатора при измерении блока ПрЧ.

4.3.8.3. Определить характеристики блока промежуточной частоты (БПЧ).

Установить затухание аттенюатора 50 дБ. Настроить генератор X1-42 на частоту 35 МГц. Подключить детекторную секцию к выходу блока (разъем ОРИЕНТ блока БПЧ), а вход блока (разъем ВХОД ПЧ) соединить с генератором X1-42. Тумблер АРУ на панели БПЧ поставить в положение ВЫКЛ. Ручками F-центр. и ПОЛОСА обеспечить центровку и необходимый размах АЧХ. Изменяя затухание аттенюатора, совместить вершину АЧХ с верхней линией

сетки экрана. Усиление БПЧ определить по формуле $K_{p2} = a_7 - a_8$, дБ, где a_7 – затухание аттенюатора. Полоса пропускания БПЧ по уровню -3 и -10 дБ определяется аналогично п. 4.3.5 при поочередном введении затухания аттенюатора (a_7+3) и (a_7+10) дБ. По полученным данным рассчитать коэффициент прямоугольности АЧХ $K_{п.упч}$ и крутизну ее скатов $S_{упч}$, дБ/ МГц.

4.3.8.4. Определить избирательность БПЧ при расстройке на ± 2 МГц от f_0 .

Ввести затухание аттенюатора a_7+10 дБ и подвести измерительную линию к вершине АЧХ. Уменьшать затухание аттенюатора до такого значения a_8 , при котором ширина полосы АЧХ, отсчитываемая по меткам на измерительной линии, будет составлять 4 МГц. Величина избирательности БПЧ: $I_{y2} = a_7+10 - a_8$, дБ. Измеритель АЧХ Х1-42 выключить.

4.3.8.5. Рассчитать общее усиление ВЧ-тракта приемника $K_{p\Sigma} = K_{p1} + K_{p2} - a_{\phi}$, дБ и результирующую избирательность $I_{\Sigma} = I_{\phi} + I_{y1} + I_{y2}$, дБ. Полосу пропускания по уровню -3 дБ принять $P_{пр} \approx P_{упч}$, МГц. По результатам расчетов сделать выводы.

4.3.9. Определить порог включения шумоподавителя.

Подключить к выходу УНЧ приемника (гнезда Вых Прм колодки контроля, расположенной на левой стенке ПмПд) милливольтметр ВЗ-39. Отсоединить разъем коаксиального кабеля от генератора Х1-42 и соединить его с выходом генератора Г4-116. Настроить Г4-116 на частоту 35 МГц, установить девиацию частоты $\Delta f = 70$ кГц и выходное напряжение 200 мкВ. Нажать кнопки ГВЧ и ЧМ ВНУТР Г4-116. Уменьшать выходное напряжение генератора до порогового значения $U_{п.упч}$, при котором резко уменьшатся показания ВЗ-39.

Рассчитать пороговую мощность сигнала на входе БПЧ $P_{п.упч} = U_{п.упч}^2 / R_{вх}$, где $R_{вх} = 75$ Ом. Определить пороговый уровень мощности сигнала на входе приемника (относительно точки подключения антенны) $p_{п.вх} = 10 \lg P_{п.упч} - K_{p1} + a_{\phi} + a_{д}$, дБВт, где a_{ϕ} – потери в фильтре приемника, дБ; $a_{д}$ – дополнительные потери в пассивных устройствах: в переключателе контроля ($a_{пк} \approx 0,3$ дБ) и ВЧ-переключателе ($a_{вч} \approx 0,7$ дБ). Полученный результат сравнить с техническими данными.

4.3.10. Исследовать шумовые характеристики приемного устройства.

4.3.10.1. Измерить коэффициент шума приемника на входе БЧР.

Подключить на вход фильтра приемника (разъем Ан) генератор шума, связанного с модулятором ГШ. Выход блока ПрЧ (разъем Вых ПЧ) приемника соединить с внешним преобразователем частоты (10–120 МГц). На модуляторе ГШ нажать кнопки ВНЕШ. МОД. и ПРЕДЕЛЫ ТОКА "10". Настроить преобразователь частоты на значение "11", что соответствует настройке на частоту 35 МГц. На панели прибора Я8-263 установить «вертушку» в положение F и нажать следующие кнопки: \wedge – широкая полоса; F – коэффициент шума; ∇ – калибровка; \odot - автоматическая регулировка уровня; черную кнопку *1 – деление уровня входного сигнала; «25» – переключатель измерений; «1S» – постоянная времени прибора. Ручками \blacksquare – грубо и \blacktriangledown – точно установить по шкале индикатора FКp1 относительную шумовую температуру, равную 23. Ко-

коэффициент шума $F_{ш1}$ определяется (в размах) по шкале индикатора при нажатии кнопки ∇ – измерение. При низком значении F нажимается кнопка с меньшим значением предела измерения.

4.3.10.2. Измерить коэффициент шума блока ПрЧ приемника.

Схему измерений и положение ручек на приборе Я8Х-263 сохранить. Генератор шума подключить на вход блока ПрЧ (разъем Вх ВЧ). Проверить калибровку прибора, нажав кнопку \blacktriangledown – калибровка. Ручками \blacksquare – грубо и $\blacktriangledown\blacktriangledown$ – точно обеспечить показание индикатора – «23». Коэффициент шума $F_{ш2}$ определить, нажав кнопку ∇ – измерение.

4.3.10.3. Рассчитать коэффициент шума ПрУ относительно его входа:

$F_{ш.пр} = a_d + 10\lg (F_{ш1})$, дБ. Определить потери в фильтре приемника $a_\phi = 10\lg (F_{ш1} / F_{ш2})$ и сравнить их с экспериментальными результатами.

Рассчитать превышение уровня включения шумоподавителя над уровнем мощности шумов приемника: $10\lg D = p_{п.вх} - 10\lg P_{ш.пр}$, дБ.

4.4. Содержание отчета

1. Структурная схема ВЧ-тракта приемопередатчика системы ТРАЛ 400/24.
2. Данные измерений и результаты расчетов.
3. Основные выводы по выполненной работе.

4.5. Контрольные задания

1. Объяснить по структурной схеме назначение отдельных каскадов ВЧ-тракта РРС с указанием их характеристик.
2. Назвать основные показатели оборудования ПмПд РРС и указать устройства, которые их определяют.
3. Дать пояснение параметрам «чувствительность» и «избирательность» ПрУ и указать способы их улучшения. Рассчитать пороговую чувствительность.
4. Указать факторы и устройства, определяющие полосу пропускания ВЧ-тракта, и пояснить схему преобразования входных сигналов и помех.
5. Указать основные способы повышения коэффициента системы данной РРС и рассчитать его значения для известных параметров.
6. Указать причины образования шумов в каналах ТЧ и способы их снижения. Рассчитать мощность тепловых шумов в каналах ТЧ.
7. Пояснить назначение и работу переключателя высокой частоты по принципиальной схеме.
8. Пояснить назначение и принцип работы измерителя проходящей мощности. Определить уровень сигнала на входе приемника в режиме шлейфа, если затухание сигнала в смесителе сдвига 10 дБ.

9. Пояснить по структурной и принципиальной схемам назначение и особенности работы ВЧ-тракта приемного устройства с указанием его характеристик.

10. Пояснить работу ВЧ-тракта передающего устройства.

11. Пояснить методику измерения характеристик ВЧ-тракта ПрУ.

12. Объяснить полученные результаты экспериментальных исследований и сравнить их с техническими данными на аппаратуру.

Библиотека БГУИР

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиорелейные и спутниковые системы передачи: учебник для электротехн. ин-тов связи / А. С. Немировский [и др.]; под ред. А. С. Немировского. – М. : Радио и связь, 1986. – 392 с.

2. Маковеева, М. М. Радиорелейные линии связи: учебник для техникумов / М. М. Маковеева. – М. : Радио и связь, 1988. – 312 с.

3. Системы радиосвязи: учебник для вузов / Н. И. Калашников [и др.]; под ред. Н. И. Калашникова. – М. : Радио и связь, 1988. – 352 с.

4. Мордухович, Л. Г. Системы радиосвязи. Курсовое проектирование: учеб. пособие для вузов / Л. Г. Мордухович, А. П. Степанов. – М. : Радио и связь, 1987. – 192 с.

5. Муравьев, В. В. Проектирование цифровых радиорелейных линий связи: метод. пособие по курсовому проектированию / В. В. Муравьев, Э. Б. Липкович. – Минск : БГУИР, 2011. – 56 с.

Библиотека БГУИР

Учебное издание

Липкович Эдуард Борисович
Мищенко Валерий Николаевич

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОРЕЛЕЙНЫХ
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ.
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

ПОСОБИЕ

Редактор *М. А. Зайцева*
Корректор *Е. Н. Батурчик*
Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоля*

Подписано в печать 20.01.2014. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 4,53. Уч.-изд. л. 4,5. Тираж 100 экз. Заказ 192.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
ЛИ №02330/0494371 от 16.03.2009. ЛП №02330/0494175 от 03.04.2009.
220013, Минск, П. Бровки, 6