

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

Кафедра систем телекоммуникаций

Э. Б. Липкович, В. Н. Мищенко

***ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ
РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ***

Лабораторный практикум

по дисциплине «Спутниковые и радиорелейные системы передачи»

для студентов специальностей

1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,

1-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»

всех форм обучения

Минск БГУИР 2012

УДК 621.396.43(076.5)

ББК 32.884.1я73

Л61

Липкович, Э. Б.

Л61 Изучение и исследование оборудования цифровой радиорелейной системы передачи : лаб. практикум по дисц. «Спутниковые и радиорелейные системы передачи» для студ. спец. 1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций», 1-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение», всех форм обуч. / Э. Б. Липкович, В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2012. – 59 с. : ил.
ISBN 978-985-488-736-4.

Практикум содержит две лабораторные работы, посвященные измерению характеристик цифровой радиорелейной системы передачи.

Дана справочная информация, указания по выполнению работы, приведены контрольные вопросы.

УДК 621.396.43(076.5)

ББК 32.884.1я73

ISBN 978-985-488-736-4

© Липкович Э. Б., Мищенко В. Н., 2012

© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2012

Содержание

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ PASOLINK.....	4
1.1. Общие особенности исполнения и основные характеристики современных цифровых радиорелейных систем передачи	4
1.2. Назначение и технические характеристики радиорелейной системы NEC PASOLINK.....	10
1.2.1. Общие особенности и основные параметры оборудования.....	10
1.2.2. Система защитного резервирования	19
1.2.3. Система управления сетью и её отдельными компонентами	21
1.3. Указания по выполнению лабораторной работы.....	27
1.4. Содержание отчета	32
1.5. Контрольные вопросы	33
Лабораторная работа №2. ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ NEC PASOLINK.....	34
2.1. Общие особенности исполнения и основные характеристики внешнего блока ЦРПС NEC PASOLINK.....	34
2.2. Антенна	36
2.3. Особенности построения и функционирования внешнего блока	38
2.4. Особенности построения и функционирования внутреннего блока	42
2.5. Указания по выполнению лабораторной работы	53
2.6. Содержание отчета	58
2.7. Контрольные вопросы	58

Лабораторная работа №1

ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ PASOLINK

Цель работы: изучить назначение, состав и технические характеристики цифровой радиорелейной системы передачи (ЦРПС) PASOLINK; структурную схему и принцип действия оборудования оконечной станции PASOLINK; особенности контроля и диагностики оборудования.

1.1. Общие особенности исполнения и основные характеристики современных цифровых радиорелейных систем передачи

Рабочие частоты радиорелейного оборудования обычно находятся в диапазоне от 2 до 40 ГГц и жестко регламентируются внутри каждой полосы рекомендациями ИТУ (Международного союза электросвязи). На частотах выше 10 ГГц уменьшается допустимое расстояние между станциями из-за роста затухания радиоволн в атмосфере и значительных замираний при осадках. На частотах 60 ГГц наблюдается значительная непрозрачность атмосферы из-за поглощения радиоволн в атомах кислорода. На более низких частотах сложно обеспечить передачу сигнала с широкой полосой, которая требуется для передачи цифровых сигналов.

Если в недавнем прошлом значительная часть оборудования ЦРПС размещалась на земле, то в настоящее время номенклатура цифровых радиорелейных станций с размещением всего оборудования на земле неуклонно сокращается.

Исполнение с размещением оборудования возле антенны имеет свои достоинства и недостатки. К достоинствам следует отнести:

– отсутствие затухания в волноводном тракте, которое на высоких частотах достигает довольно больших величин. Например, на частоте 7 ГГц в

стандартном волноводе марки E65 оно составляет 0,06 дБ/м, что на 100 м длины волновода дает затухание на прием и на передачу на 6 дБ. На более высоких частотах этот показатель возрастает. Компенсация потерь на затухание требует увеличения мощности передатчика и использования антенн большего диаметра для повышения уровня принимаемого сигнала, что значительно удорожает систему;

- более низкую стоимость соединительного коаксиального кабеля по сравнению с волноводом;

- отсутствие необходимости поддерживать герметичность волноводного тракта.

Как недостатки можно рассматривать следующие факторы:

- при размещении СВЧ-оборудования на мачте зачастую затруднен доступ к нему для настройки, обслуживания, профилактики или при неисправностях, что значительно замедляет устранение повреждений – важное условие при эксплуатации магистральных линий связи;

- оборудование должно работать в большом диапазоне температур наружного воздуха: от максимальной (летом) до минимальной (в сильный мороз). Кроме того, радиочастотный блок, размещенный в открытом пространстве, подвергается воздействию солнечных лучей;

- необходимо предпринимать дополнительные меры грозозащиты, предотвращающие выход из строя ВЧ-оборудования в радиочастотном блоке;

- затруднено, а порой и невозможно наращивание количества стволов при использовании одной антенны.

Сегодня аппаратуру РРС производят в виде двух составных частей: внешний блок (наружное размещение), включающий в себя выносной приемопередатчик (ODU – Outdoor Unit), 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 коаксиальными кабелями длиной до 300 м (реже до 600 м), по которым помимо сигналов передается напряжение дистанционного питания ODU. При соединении ODU и IDU используется всего один коаксиальный кабель, по которому все сигналы «вверх» и «вниз» передаются на разных поднесущих. ODU фирм NEC, Ericsson, SAT и некоторых других имеют малые габариты и массу, отличаются продуманным дизайном и небольшим весом.

Перенос приемопередатчиков цифровых РРС с «земли» на антенну первоначально имел целью избавиться от дорогих и громоздких волноводных трактов. Однако конструктивное деление РРС на ODU и IDU привело к трансформации функциональной структуры станций, к изменению электрической схемы ODU и IDU.

Теперь в ODU размещают все элементы, зависящие от диапазона и рабочих частот, но инвариантные к изменению скорости передачи от E1 до E3 (Ericsson) или от E1 до E2 (Pasolink, STD-10), а IDU содержит лишь элементы, определяющие трафик и стыки. Таким образом, блок IDU обычно одинаково подходит для всех диапазонов от 7 ГГц до 38 ГГц.

При таком исполнении аппаратуры обеспечивается большая унификация, гибкие возможности эксплуатации, предпосылки поэтапного наращивания пропускной способности путем замены плат или вставных ячеек в блоках IDU. Наружные блоки ODU при этом не затрагиваются.

Удобство обслуживания РРС во многом определяется конструкцией антенного комплекса (ODU, антенна, опорно-поворотное устройство), способами соединения ODU с антенной и крепления антенны к мачте, а также методом юстировки антенны. Для тестирования ODU и ведения служебных переговоров во время юстировки в нем предусматривают контрольные разъемы. Снятие или замена блока ODU осуществляются без нарушения юстировки антенны.

Формат цифрового сигнала, передаваемого ЦРПС, может быть синхронной цифровой иерархии (SDH) емкостью 155 Мбит/с и выше, плезиохронной иерархии (PDH) емкостью 2, 4, 8, 16, 34, 140 Мбит/с, а также для связи по протоколу локальных сетей – Ethernet 10/100 Base T. Некоторые радиорелейные станции позволяют передавать несколько форматов, выбор нужного осуществляется при конфигурировании оборудования.

Производством магистрального цифрового радиорелейного оборудования занимаются известные производители техники связи – Alkatel, Nera, NEC и др. Широкое применение интегральных СВЧ-схем и специализированных микросхем позволило создать компактную аппаратуру с высокими эксплуатационными характеристиками. Современные способы модуляции и кодирования (многоуровневая квадратурная модуляция 16-КАМ, 64-КАМ, 128-КАМ, кодирование Рида-Соломона, турбокодирование и др.) обеспечили высокую помехоустойчивость и эффективность использования частотного спектра.

Другая область применения – оборудование внутризональной сети. Его основное назначение – доставка оконечных цифровых потоков от магистральных оптоволоконных или РРЛ линий связи до потребителей. Особенно это актуально в условиях городской застройки, где невозможна прокладка кабельных или оптоволоконных линий связи, а также при значительном удалении потребителя от магистрали. Кроме того, это оборудование активно используют компании сотовой связи для организации связи между базовыми станциями, а также провайдеры Интернета. Оборудование такого класса обеспечивает обычно передачу сигнала PDH 2, 4, 8, 34 Мбит/с.

Существуют также цифровые радиорелейные системы, обеспечивающие передачу сигнала не только двухмегабитных PDH-потоков, но и в формате компьютерных сетей Ethernet 10 Base T. Применение таких РРЛ целесообразно в корпоративных ведомственных сетях, особенно при их территориальной

разбросанности. Практически все рассмотренные виды оборудования имеют программное обеспечение для контроля и управления оборудованием на всей протяженности трассы. К недостаткам можно отнести отсутствие стандартов на систему управления оборудованием ЦРРЛ, что не позволяет одной управляющей программой управлять оборудованием разных производителей.

Системы телеобслуживания (телеуправления и телесигнализации, в дальнейшем системы ТУ-ТС) существенно влияют на работу пользователя и при прочих равных условиях служат определяющим фактором при выборе РРС. Несмотря на отсутствие жесткой регламентации на проектирование систем ТУ-ТС (используются рекомендации МСЭ G-821, G-826, G-921 и ряд других), у ведущих мировых производителей РРС сложились как архитектура, так и детальные требования к этим системам.

В части архитектуры система ТУ-ТС подразделяется на систему телеобслуживания радиорелейной линии и систему управления телекоммуникационной сетью. Рассмотрим первую из них, осуществляющую следующие основные функции:

- контроль за функционированием станции и линии;
- сбор, анализ и передача сигналов аварии;
- организация шлейфов по информационному потоку и по СВЧ-сигналу как на своей станции, так и на любой станции сети;
- организация служебной голосовой связи со всеми станциями, работающими в сети;
- управление станцией и линией путем выработки, подачи команд и получения квитанций об их исполнении;
- отображение состояния станции и линии.

Для обеспечения этих функций надо иметь в РРС достаточное число датчиков состояния отдельных узлов и блоков, а также предусмотреть организацию в радиостволе между станциями по крайней мере двух служебных каналов для речевой связи и для передачи сигналов ТУ-ТС. Должен также

существовать внутренний канал связи между внешним (радиомодуль) и внутренним (базовый блок) блоками РРС, используемый для передачи сигналов состояния, команд управления и квитанций об их исполнении.

Для отображения состояния и управления РРС и РРЛ до недавнего времени использовались в основном дисплеи базового блока станции, светодиодная индикация и ручное управление с передней панели базового блока или выносного пульта управления. В настоящее время для этого обычно используют подключаемые через стык RS 232 компьютеры. На них отображается конфигурация всей сети, данные об ее функционировании, регистрируются (запоминаются) все сбои, сигналы аварий, случаи снижения достоверности, переключения на резерв и др. С компьютера производится управление всеми станциями сети с получением квитанций об исполнении команд. Предусматривается также программное сопряжение с системой управления телекоммуникационной сетью. Поскольку при построении РРЛ бывает необходимо, как и прежде, вручную управлять отдельными станциями, практически все зарубежные РРС сохранили такую возможность.

Кроме вышеперечисленных основных функций системы управления и обслуживания пользователю могут быть предоставлены дополнительные услуги:

- один или несколько цифровых (64 кбит/с) каналов для служебных нужд (телеметрия, диспетчерская связь и др.);
- входы и выходы пользователя для передачи по радиолинии от не входящих в состав РРС устройств и оборудования сигналов аварии и команд управления (например, сигнала о пропаже на пункте основного питания и, в связи с переходом на аварийное питание, команды на включение дизель-генератора; сигнала о несанкционированном доступе, пожаре и др.);
- внешний выход сигнализации о состоянии РРЛ для подключения к внешней системе управления сетью;
- возможность коммутации трафика программными средствами.

1.2. Назначение и технические характеристики радиорелейной системы NEC PASOLINK

1.2.1. Общие особенности и основные параметры оборудования

Для создания цифровых местных линий связи, обеспечивающих надежный доступ и полное использование потенциала современных систем связи между оконечными пунктами, компанией NEC была разработана ЦРПС PASOLINK, работающая в диапазонах 7–38 ГГц. Система PASOLINK обеспечивает пропускную способность при передаче сигналов от 5 до 40x2 Мбит/с или от 4 до 32x2 Мбит/с плюс передачу двух сигналов 10/100 Base-TX, а также формирует дополнительные служебные каналы связи. Аппаратура PASOLINK обладает высокими техническими показателями, просто и легко монтируется, отличается большой системной гибкостью и универсальностью, причем ее высокая надежность была проверена в полевых условиях. РПС данной модели охватывает диапазоны частот: 7/8/13/15/18/23/26/28/32/38 ГГц, скорости передачи: 5x2/10x2/20x2/40x2 Мбит/с (или 4x2/8x2/16x2/32x2 Мбит/с), 10 Base-T/100 Base-TX, варианты резервирования: 1+0 без резервирования или 1+1 с резервированием. В случае системы с резервированием можно выбрать комплексы с конфигурацией резервирования 1+1, пространственным разнесением / системы с двойной трассой. Оборудование ЦРПС отличается современными технологиями и хорошими техническими показателями: модулятор-демодулятор на одном чипе (полностью цифровые); непрерывная обработка сигнала по Найквисту; высокая надежность; низкая потребляемая мощность. Предусмотрена передача сигналов 10 Base-T или 100 Base-TX, а также автоматическая регулировка уровня мощности передатчика (АТРС). Аппаратуру отличает достаточно высокий системный коэффициент усиления и высокая эффективность использования спектра. Высокая эффективность использования спектра достигается благодаря технологии выбора модуляций

QPSK или 16QAM. Это дает возможность применять антенны меньших размеров и снижать стоимость системы. Управление мощностью передатчика осуществляется с регулировкой от 0 до 30 дБ (QPSK), 24 дБ (16QAM), шаг перестройки – 1 дБ. Используется фиксированный аттенюатор с затуханием 30 дБ для передатчика.

На рис. 1.1. показан внешний вид двух вариантов исполнения внутреннего блока ЦРПС PASOLINK. Выносными линиями показаны участки корпуса и разъемы, которые требуют осторожности при включении и в последующей эксплуатации. К внутреннему блоку относятся следующие предупреждения: CAUTION – осторожно; HOT SURFACE – теплая поверхность; Avoid contact – избегать контакта; WARNING – предупреждение; -43V OUTPUT – выходной сигнал величиной -43 В; TURNOFF POWER BEFORE DISCONNECTING IF CABLE – выключить питание перед отключением соединительного ПЧ (IF) кабеля между внешним и внутренним блоками.

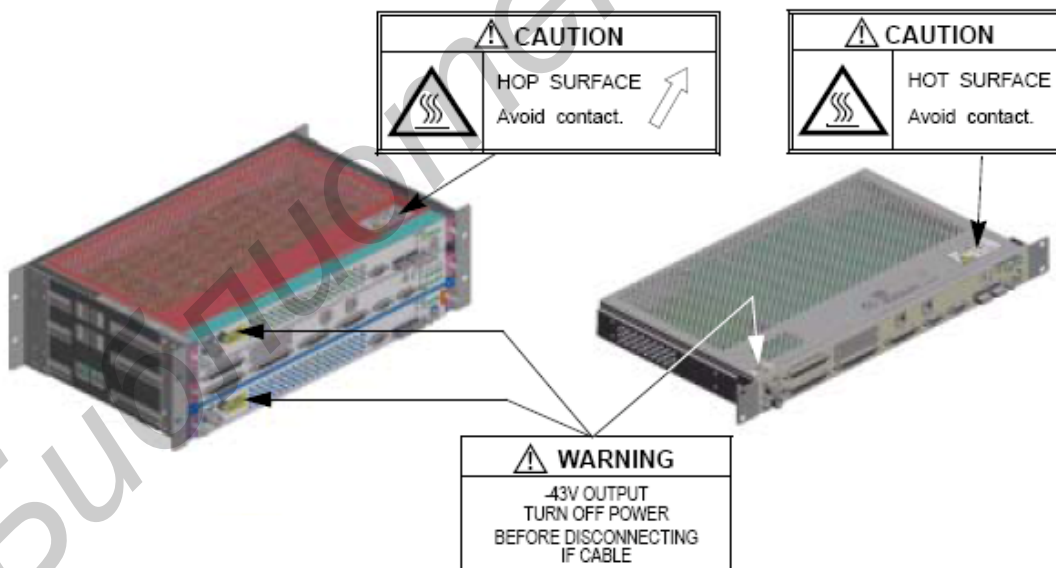


Рис. 1.1. Внутренний блок

На рис. 1.2. показано изображение внешнего блока ЦРПС PASOLINK с увеличенным изображением фирменной планки, укрепленной на корпусе

внешнего блока, которая содержит информацию о ЦРПС. На нем последовательно сверху вниз указано: тип оборудования – TRP-13G-3A; параметры внешнего блока (OUTDOOR UNIT): SHIFT FREQUENCY MHz; SUB BAND TX; SERIAL NUMBER; DATE; WEIGHT; NEC CORPORATION TOKYO JAPAN; MADE IN JAPAN; предупреждения – Non-ionizing radiation – неионизирующее излучение; TURN OFF POWER BEFORE DISCONNECTING IF CABLE – выключить питание IDU перед отключением кабеля между внешним и внутренним блоками.

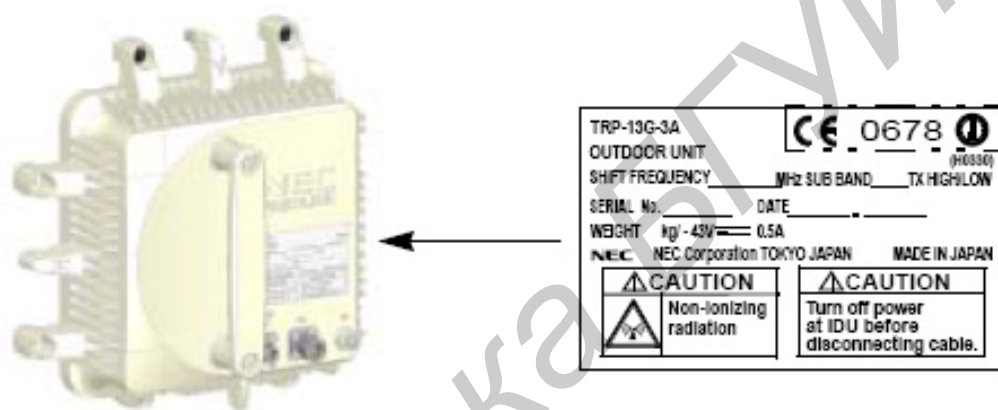


Рис. 1.2. Внешний блок

На рис. 1.3. показано изображение внешнего блока ЦРПС PASOLINK вместе с присоединенной к нему параболической антенной диаметром 0,6 м.

Общие технические характеристики оборудования ЦРПС PASOLINK 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.



Рис. 1.3. Внешний блок и антенна диаметром 0,6 м в собранном варианте при реализации резервирования 1+0

Таблица 1.1.

Основные параметры и характеристики оборудования ЦРПС ПАСОЛИНК

Позиция		7 ГГц	18 ГГц	23 ГГц	38 ГГц
Частотный план ITU-R/CEPT		385-6	F.595-6 F.191 CEPT/ERC REC12-03	CEPT/ERC REC T/R 13-02 Приложение А	CEPT/ERC REC T/R 12-01
Разнос каналов	QPSK	7 МГц (5xE1), 14 МГц (10xE1), 28 МГц (20xE1)			
	16QAM	3,5 МГц (5xE1), 7 МГц (10xE1), 14 МГц (20xE1), 28 МГц (40xE1)			
Разнос по РЧ TX/RX [МГц]		161	1008 1010 340 1560	1008 1200 1232	1260

Пороговый уровень (дБм, измерено на антенном порте) BER = 10 ⁻⁶				
20xE1	-83	-82	-81	-80
10xE1	-86	-85	-84	-83
5xE1	-89	-88	-87	-86
Коэффициент системы (дБ, измерено на антенном порте) BER = 10 ⁻⁶				
40xE1	–	–	–	–
20xE1	108	105	104	95
10xE1	111	108	107	98
5xE1	114	111	110	101
ЭМС	Соответствует нормам ETS301 489-4			
Электропитание	От – 20 до – 60 / от +20 до +60 В			

Анализ этой таблицы показывает, что разнос каналов зависит от вида модуляции (QPSK или 16QAM), а также скорости цифрового потока. Так при передаче пяти потоков E1 разнос каналов составляет 3,5 МГц, а при передаче двадцати каналов E1 – 28 МГц. Разнос частот настройки передатчика и приемника может быть разным в зависимости от диапазона частот, а также и внутри отдельных диапазонов. Условия по ЭМС (электромагнитной совместимости) должны во всех диапазонах соответствовать нормам ETS301 489-4.

Ширина полосы радиотракта $\Delta F_{\text{вч}}$ при известных значениях скорости передачи данных B_0 , порядка модуляции M и относительной скорости кодирования R_K определяется по формуле

$$\Delta F_{\text{вч}} = B_0 \cdot b_p / (\log_2 M) \cdot R_K, \text{ Гц}, \quad (1.1)$$

где B_0 – информационная скорость передаваемых данных, бит/с; R_K – относительная кодовая скорость; b_p – коэффициент расширения полосы, равный отношению требуемой полосы $\Delta F_{\text{вч}}$ к полосе, занимаемой радиосигналом ΔF_C . Величина ΔF_C численно равна символьной скорости B_C , симв/с. Коэффициент $b_p = 1, 2 \dots 1, 3$.

В формуле (1.1) при отсутствии в ЦРРСП помехоустойчивого кодирования $R_K = 1$. По значению $\Delta F_{\text{вч}}$ выбирают минимальный частотный разнос ΔF_p между соседними каналами приема или передачи. Спектральная эффективность, которая характеризует меру использования полосы ЦРРСП для передачи требуемого объема данных, составляет:

$$\gamma_C = \frac{B}{\Delta F_p}, \text{ (бит/с)/Гц}, \quad (1.2)$$

где B – общая скорость передачи информационных и вспомогательных данных, бит/с.

Пороговая чувствительность приемника $p_{\text{пор}}$ характеризует минимальный уровень входного сигнала, при котором на его выходе обеспечивается допустимая вероятность битовых ошибок $P_{\text{ош}} = N_{\text{ош}} / B \cdot t$, где $N_{\text{ош}}$ – число ошибочных бит за время t . Величина $p_{\text{пор}}$ зависит от вида модуляции, пропускной способности канала, допустимого значения $P_{\text{ош}}$, наличия кодирования и находится в диапазоне значений от -90 до -65 дБм.

Пороговая чувствительность приемника (в точке соединения с фидером) определяется по формуле

$$p_{\text{ПОР}} = c_{\text{ТР}} + n_{\text{Ш}} + 10 \lg(B / m \cdot R_{\text{К}}) - 174, \text{ дБм}, \quad (1.3)$$

где $\rho_{\text{ТР}}$ – требуемое отношение мощности сигнала на частоте несущей к мощности шума (ОНШ), при котором реализуется заданное значение $P_{\text{ОШ}}$, дБ; $m = \log_2 M$ – кратность модуляции или число передаваемых бит в радиопосылке модулированного сигнала.

Требуемое ОНШ включает минимальное значение ρ_0 , необходимое для обеспечения $P_{\text{ОШ}}$, и запас $\Delta\rho$ на отклонение реальных параметров тракта от теоретических, дБ:

$$p_{\text{ТР}} = \rho_{0i} + \Delta\rho = \rho_{0i} + 2 \lg(m \cdot \sqrt{f_p}), \text{ дБ}, \quad (1.4)$$

где ρ_{0i} – значение ОНШ, равное ρ_0 при отсутствии кодирования и $\rho_{0к}$ при его наличии; f_p – рабочая частота, ГГц.

Минимальное значение ОНШ при квадратурной амплитудно-фазовой модуляции М-КАМ и отсутствии помехоустойчивого кодирования ($R_{\text{К}} = 1$) определяется по формуле

$$\rho_{0(\text{М-КАМ})} = 10 \lg [1,533 \cdot (M - 1) \cdot (A_1 - 0,5 \lg A_1)], \text{ дБ}; \quad (1.5)$$

$$A_1 = -\lg P_{\text{ОШ}} - \lg \left(\frac{m}{1 - 1/\sqrt{M}} \right) - 0,13, \text{ для } m\text{-четных } (2, 4, 6 \dots);$$

$$A_1 = -\lg P_{\text{ОШ}} - \lg m - 0,13, \text{ для } m\text{-нечетных } (1, 3, 5 \dots).$$

Типовые значения ошибок, для которых оцениваются качественные показатели ЦРРСП, принимаются равными 10^{-3} и 10^{-6} .

Для систем с многопозиционной фазовой модуляцией М-ФМ и при $R_{\text{К}} = 1$ имеем

$$\rho_{0(\text{М-ФМ})} = 10 \lg [2,3(A_2 - 0,5 \lg A_2) / \sin^2(\pi/M)], \text{ дБ}; \quad (1.6)$$

$$A_2 = -\lg P_{\text{ОШ}} - \lg m - 0,43.$$

При использовании в радиорелейных системах помехоустойчивого кодирования сверточным кодом и квадратурной модуляции М-КАМ

$$\rho_{\text{ОК(М-КАМ)}} = 10 \lg \left[0,3 \cdot (0,7 + R_{\text{СК}}^4) \cdot M \cdot (A_3 - 0,5 \lg A_3) \right], \text{ дБ}; \quad (1.7)$$

$$A_3 = -\lg P_{\text{ОШ}} - \lg \left(\frac{m}{1 - 1/\sqrt{M}} \right) + 2,0, \text{ для } m\text{-четных (2, 4, 6...)};$$

$$A_3 = -\lg P_{\text{ОШ}} - \lg m + 2,0, \text{ для } m\text{-нечетных (1, 3, 5...)},$$

где $R_{\text{СК}}$ – относительная скорость сверточного кода, равная 1/2, 2/3, 3/4 и др.

При использовании кодирования сверточным кодом и многопозиционной фазовой модуляции М-ФМ

$$\rho_{\text{ОК(М-ФМ)}} = 10 \lg \left[0,588(A_4 - 0,5 \lg A_4) \cdot (0,7 + R_{\text{СК}}^4) / \sin^2(\pi / M) \right], \text{ дБ}; \quad (1.8)$$

$$A_4 = -\lg P_{\text{ОШ}} - \lg m + 1,6.$$

Если в системах с модуляцией М-КАМ и М-ФМ принято кодирование блочным кодом Рида-Соломона (РС), то величина ОНШ рассчитывается по (1.7) или (1.8) при допущении, что $R_{\text{СК}} = 0,8 \cdot R_{\text{РС}}$, где $R_{\text{РС}}$ – относительная скорость РС.

Коэффициент системы $K_{\text{СИС}}$ (или коэффициент её усиления) характеризует способность приемопередающего оборудования компенсировать потери на интервале радиолинии при условии обеспечения заданных значений $P_{\text{ОШ}}$ и определяется по формуле

$$K_{\text{СИС}} = 10 \lg P_{\text{ПД}} - p_{\text{ПОР}}, \text{ дБ}, \quad (1.9)$$

где $10 \lg P_{\text{ПД}}$ – уровень мощности радиосигнала на выходе передатчика, дБм.

В зависимости от параметров аппаратуры $K_{\text{СИС}}$ находится в пределах от 80 до 120 дБ. Очевидно, чем выше $K_{\text{СИС}}$ аппаратуры, тем выше ее энергетический потенциал.

Структурная схема организации связи с использованием двух ЦРССП показана на рис. 1.4. Как уже отмечалось, основными структурными блоками

являются внутренний (IDU) и внешний блоки (ODU) с антенной. Рассмотрим работу одной из ЦРПС, содержащей IDU 1 и ODU 11. Сигнал, принимаемый с антенны 18, проходит через полосно-пропускающий фильтр ПФ1 16 и поступает в приемопередатчик ПмПд 15, частоты настройки которого контролируются генератором, управляемым напряжением – ГУН1 17. Радиочастотный тракт обработки сигнала содержит непосредственно приемопередатчик ПмПд 15, устройство разъединения и объединения сигналов УРОС 13 и ряд устройств обработки сигнала по промежуточной частоте – Тракт ПЧ 14. Для контроля уровня принимаемого сигнала в ODU с помощью цифрового многофункционального измерительного прибора или специального фирменного прибора OW/RX LEV MONITOR анализируется величина постоянного сигнала RX LEV, который подается на специальный коаксиальный разъем. Прибор OW/RX LEV MONITOR позволяет также организовать служебный телефонный канал EOW между удаленными абонентами.

В блоках IDU на передней панели для организации служебного телефонного канала EOW также имеются специальные разъемы совместно с кнопкой CALL (Вызов). Используя телефонную или микротелефонную гарнитуру (комплект из телефона и микрофона), можно организовать технологическую служебную связь между персоналом на соседних РПС (см. рис. 1.4).

Связь с внутренним блоком IDU 1 осуществляется через устройство разделения и объединения сигналов – УРОС 8, выполняющее функции объединения и разделения информационных, служебных и контрольных сигналов, а также подачи напряжения питания –43 В, поступающего из преобразователя напряжения питания ПН1 6. Во внешнем блоке ODU 11 напряжение питания выделяется УРОС 13 и подается на преобразователь сигналов ПС1 12, где формируются все необходимые напряжения питания для этого блока. Передача сигналов контроля и управления организуется с использованием узла БСС1 10.

Основным узлом внутреннего блока является центральный процессорный модуль ЦПУ1 3. Блок ДМ1 9 осуществляет обработку принимаемого из ODU 11 информационного сигнала, который поступает из УРОС 8. Входные сигналы, поступающие на блок IDU 1 и обозначенные как $n \times E1$, сигналы Ethernet, сигналы контроля и управления, поступают на ЦПУ1 3 через соответствующие модули интерфейса BC1 2, BC2 4, BC3 5. Аппаратура стандартно оборудована для передачи двух цифровых служебных каналов со скоростью 9,6 кБит/с. Для одного из них используется интерфейс RS232C, а для второго можно выбрать интерфейсы из ряда необходимых – RS232C, RS422 или RS485. По желанию эксплуатирующей стороны путем внедрения дополнительного оборудования можно организовать передачу одного из ряда служебных каналов: аналогового служебного, аналогового контрольного, цифрового контрольного со скоростью 64 кБит/с (рекомендации G.703 или V11) или со скоростью 9,6 кБит/с и специального контрольного при организации передачи со скоростью $16 \times E1$. Модуль МД1 7 принимает сигнал, сформированный в ЦПУ1 3, выполняет его модуляцию в виде QPSK или QAM. Далее сигнал через модуль УРОС 8 передается во внешний блок ODU 11 и излучается в направлении соседней ЦРПС с помощью параболической антенны 18.

Обработка сигнала, который поступает на антенну 19 второй ЦРПС, состоящей из IDU 26 и ODU 36, осуществляется аналогично тому, как это происходит в первой ЦРПС. Более подробно работа блоков ODU и IDU описана в лабораторной работе №2.

1.2.2. Система защитного резервирования

Выпускаются следующие конфигурации системы PASOLINK: 1+0 без резервирования или с горячим резервированием 1+1. Системы с резервированием имеют дублированные жизненно важные системные компоненты — чтобы улучшить технические показатели системы.

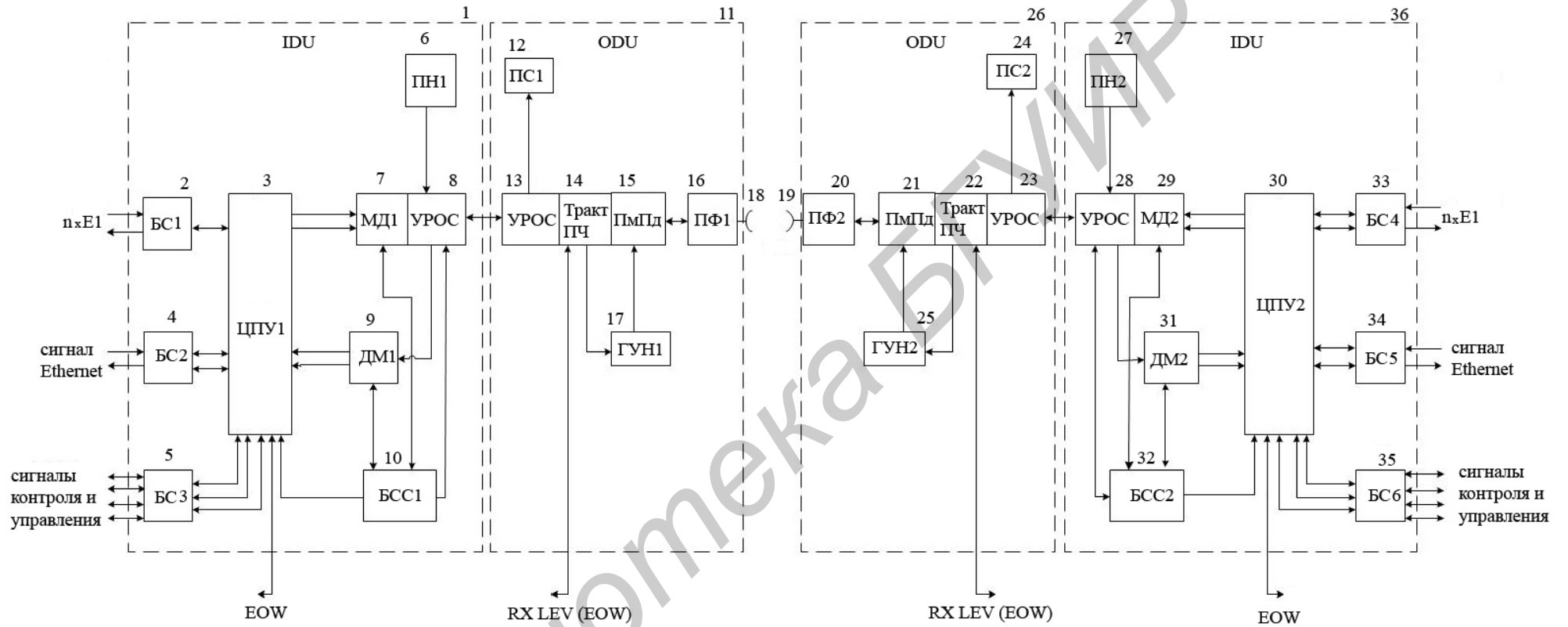


Рис. 1.4. Структурная схема организации связи с использованием двух цифровых радиорелейных систем передачи NEC PASOLINK.

Блок внутренней установки систем без резервирования имеет высоту 1RU, его можно смонтировать в стандартной стойке типоразмера 19 дюймов и в стойке ETS. Для систем с резервированием блок внутренней установки 1+1 имеет высоту 2RU.

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, две антенны 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.

1.2.3. Система управления сетью и её отдельными компонентами

Система управления сетью (NMS) для комплекса PASOLINK формирует удобный и дружелюбный к пользователю графический интерфейс для работы с радиоаппаратурой серии PASOLINK производства компании NEC, предназначенной для построения РПЛ малой протяженности.

Пакет программного обеспечения на основе Windows 2000/XP дистанционно контролирует состояние и конфигурацию сети PASOLINK вместе с подключенной аппаратурой и ведет управление, а кроме того, обеспечивает контроль технических показателей работающих РПЛ и управление ими. Ниже перечислены наиболее важные элементы системы NMS для комплекса.

Центральный компьютер управляет системой управления сетью PASOLINK (PNMS). Компьютер PNMS находится в главном или региональном центре.

PNMS создает одну точку доступа, работая в которой, можно непрерывно контролировать всю сеть и управлять ею. Программное обеспечение PNMS содержит обзорные карты сети и её подсетей – они нужны для простой, визуальной («одним взглядом») оценки работы сети в целом. Для технического обслуживания может быть поставлена операционная система и упрощенная версия программы управления сетью PASOLINK, названная PNMT. Используется мобильный терминал, в состав которого входит ПК с ОС Windows 2000/XP.

Такая конфигурация позволяет одновременно контролировать и управлять одной линией связи PASOLINK. С ПК можно дистанционно контролировать и управлять любой линией связи, относящейся к сети, при этом организуется подключение через цифровой служебный канал.

Аппаратно функция управления PASOLINK реализована в модуле главных плат (MAIN BOARD) для блока IDU PASOLINK. Задача этой функции — поддержание связи между терминалом PASOLINK и системой управления сетью. Функция собирает события и данные о технических показателях аппаратуры PASOLINK и запоминает информацию. Для обеспечения дистанционного доступа к любому элементу сети PASOLINK из одного пункта организуется связь между сетевыми элементами через служебные каналы. На рис. 1.5. проиллюстрирована концепция системы NMS для PASOLINK.

На рис. 1.6. показано подключение технологического телефона со всеми пунктами.

Для получения подробной информации о состоянии сети и для изменения конфигурации сетевых элементов система PNMS выводит на дисплей обзорную схему сети, а щелчок мыши вызывает ниспадающее меню.

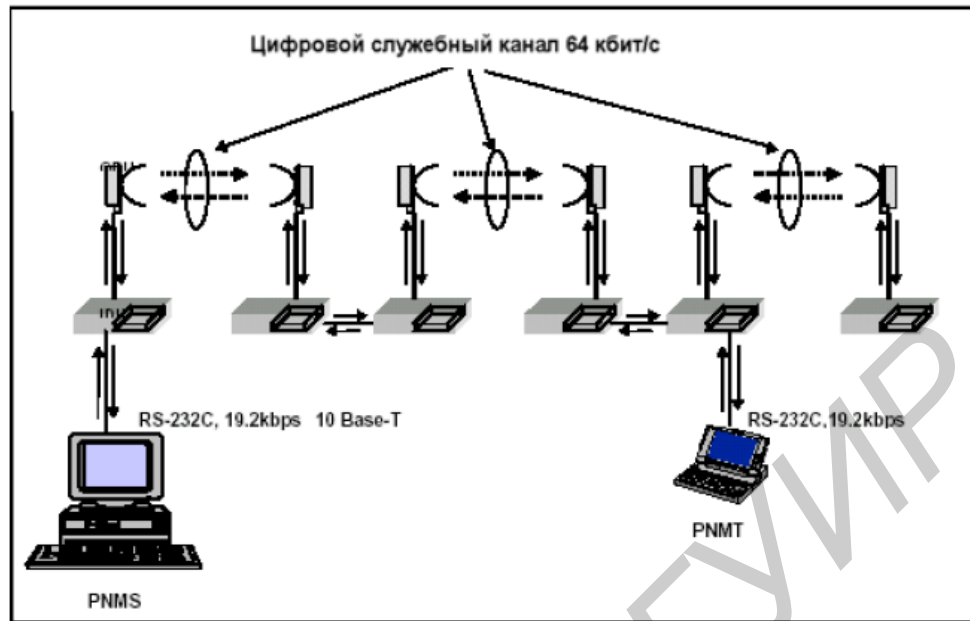


Рис. 1.5. Концепция NMS

Многоуровневая оконная структура обеспечивает простое управление ключевой аппаратурой проверяемой станции PASOLINK, а следовательно, и компонентами контролируемой точки. Начиная работать со схемы показывающей подгруппы, и продолжая вызывать схемы с различными конфигурациями подгрупп, оператор может быстро найти окно-сводку для любой станции PASOLINK.

Для удобства эксплуатации системы PNMS/PNMT на дисплей автоматически выводят состояния противостоящей станции PASOLINK вместе с наиболее важными параметрами линии связи.

В рамках мнемонического представления PASOLINK разделяются такие ключевые компоненты, как блоки ODU и IDU. В последующих окнах можно найти подробную информацию по каждому из данных компонентов.

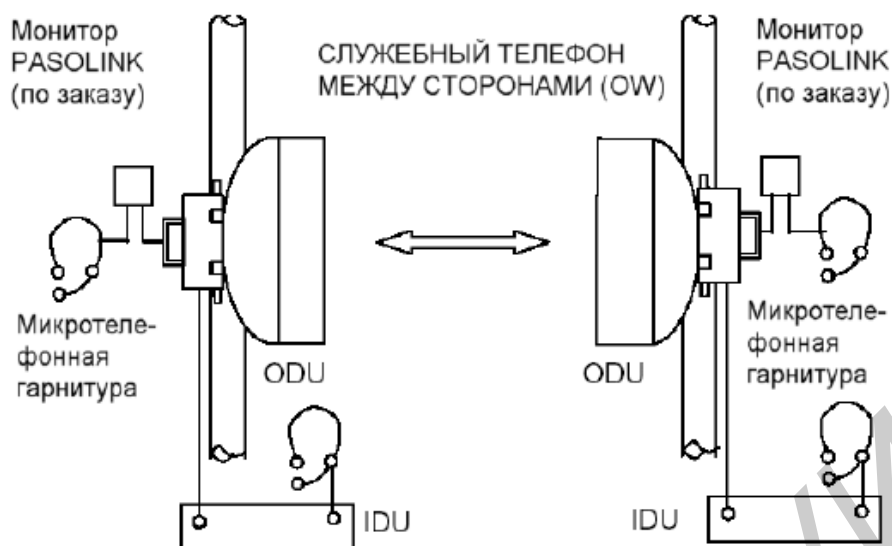


Рис. 1.6. Подключение технологического телефона со всеми пунктами (этот телефон — EOW — может быть использован при работе нескольких последовательных пролетов)

Система PNMS 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. Система PNMT обеспечивает дистанционный доступ к терминалу, относящемуся к подсети.

События, происходящие в ходе работы сети и системы управления, запоминаются автоматически и выводятся на дисплей в окне регистрации событий. Выводимые на экран события могут проходить фильтрацию с целью представления сводки только по конкретным событиям и только для конкретного периода (только в PNMS).

Регистрируются следующие события: изменение состояния; появление аварии; восстановление после аварии; инициация управления; изменение параметра.

Системы PNMS/PNMT могут запрашивать данные о технических показателях по всем внесенным в список станциям PASOLINK 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 (только в PNMS), а также сведения для выбранного промежутка времени (только в PNMS). Пользователи регистрируются с помощью логина и пароля. Для защиты сети и системы управления сетью от несанкционированного доступа или от несанкционированных изменений предусмотрены десять уровней пользователей с разными правами доступа в случае PNMS и пять — для PNMT.

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 27500 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. Для РРЛ протяженного участка, входящего в состав национальной линии связи, ПКО определяются по следующим формулам:

$$\text{ПКО} = A \cdot (F_1 + 2 \cdot 10^{-5} L), \quad \text{для } L > 100 \text{ км}; \quad (1.10)$$

$$\text{ПКО} = A \cdot (F_1 + 2 \cdot 10^{-3}) L / 100, \quad \text{для } 50 \text{ км} < L \leq 100 \text{ км}, \quad (1.11)$$

где A – параметр, характеризующий ПКО; F_1 – коэффициент допустимого отклонения, принятый 0,01...0,02; L – длины РРЛ, км. Значение параметра $A = K_{СПО}$ (SERS) = 0,002 при всех значениях скорости передачи. Величина параметра $A = K_{ПО}$ (ESR) зависит от скорости передачи. Так, например, при значениях скорости передачи, не превышающей 5 Мбит/с, величина параметра $A = K_{ПО} = 0,04$. При увеличении скорости передачи более 5 Мбит/с величина параметра $A = K_{ПО}$ возрастает и достигает значения 0,16 при скорости передачи от 55 до 160 Мбит/с.

Для РРЛ короткого участка передачи и участка доступа

$$\text{ПКО} = A \cdot F_i, \quad (1.12)$$

где F_i – коэффициент допустимого отклонения на рассматриваемом участке, принятый 0,075–0,085 для $F_2 = F_3$. Сумма допустимых отклонений должна соответствовать $F_1 + F_2 + F_3 \leq 0,175$ (или 17,5 %).

Для РРЛ, входящих в состав международного участка связи, показатель качества по ошибкам для транзитных и конечных стран определяется по отдельной формуле с другими значениями параметра A и остальных коэффициентов.

Зная основные данные и характеристики по проектируемой радиорелейной линии передачи, можно определить показатели качества по ошибкам и затем использовать их при эксплуатации оборудования.

1.3. Порядок выполнения работы

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

2. Включить два компьютера, которые входят в состав лабораторной установки и позволяют управлять и контролировать две ЦРРСП. При загрузке компьютера набрать имя пользователя – Student, пароль – 1. Дождаться загрузки операционной системы компьютеров.

3. Включить аттенюатор ДЗ-35. Для этого тумблер СЕТЬ, расположенный на передней панели, поставить в положение I. Вращая поворотную ручку, установить значение затухания этого прибора равным приблизительно 30 дБ.

4. Включить оборудование двух ЦРРСП. Для этого на внутренних блоках этих ЦРРСП тумблер СЕТЬ I-O, потянув его на себя, поставить в положение I. При этом на передней панели внутреннего блока

ЦРССП должен загореться индикатор PWR – зеленым светом, индикатор MAINT – оранжевым цветом. Индикаторы ODU, IDU загораются красным светом; после установления связи между двумя ЦРССП они погасают. На рабочем поле двух компьютеров активизировать программу PNMT двойным нажатием левой клавиши компьютерной мыши. После запуска этой программы на экране компьютера появляется информационный экран, разделенный на две области. Каждая из этих областей содержит информацию о двух включенных ЦРССП. В верхней части каждой из таблиц содержится название и номер этой ЦРССП. В одной из областей располагается надпись Selected Network Element (Выбранный Сетевой Элемент), N0.001. В другой области располагается надпись Opposite Network Element (Противоположный Сетевой Элемент), N0.002. Сверху также отображается укрупненная структурная схема ЦРССП, содержащая узлы и блоки IDU, ODU, PMC, AUX.

Зеленый цвет, который заполняет соответствующий структурный элемент, отражает исправное состояние этого блока или узла. Два оттенка красного цвета этих элементов, которые могут появиться в процессе работы, говорят об отказе или неисправности соответствующего блока. В остальной части каждой из информационных областей при нажатой клавише Overall, расположенной в нижней части информационной области, выводится таблица, которая содержит общую информацию о состоянии основных блоков, узлов и программного обеспечения. Переписать в отчет значения этих параметров: MTPC TX (величина ослабления уровня мощности передатчика при ручной системе контроля), TX Frequency (частота передатчика), RX Frequency (частота приемника), Redudancy (резервирование), TX Power Control (вид системы контроля мощности передатчика). Bit Rate (скорость передачи), состояние узла MAINT, Frame ID (номер кадра), ODU Type (тип внешнего блока).

5. Проверить настройку приемопередатчика первой ЦРССП. Подвести курсор к специальному значку Login/Logout, расположенному в верхнем левом углу экрана и нажать левую клавишу мыши. При появлении панели доступа в строке USER NAME набрать admin, а строку PASSWORD оставить незаполненной. Нажать клавишу ОК. Появляется рабочее информационное окно. Далее войти в опцию Configuration (Конфигурация), нажать клавишу Equipment Setup (параметры оборудования). Нажать клавишу Frequency Plan (частотный план). В окне TX/RX CH проверить установку частотного канала номер 1. Проверить значение частоты передатчика в поле TX Frequency. Записать значение частоты в отчет. Аналогично проверить и записать значение частоты настройки приемника в поле RX Frequency. Проверить работу системы ручной установки уровня мощности передатчика исследуемой ЦРССП. Для этого подвести курсор к полю MTPC TX Power и нажать левую клавишу мыши. В информационном окне появится значение уровня ослабления мощности передатчика. Это значение можно изменить, нажимая на информационные поля «стрелка вверх» или «стрелка вниз». При нажатии на эти поля значение уровня сигнала будет увеличиваться или уменьшаться на единицу дБ соответственно. В окне MTPC TX Power N0.001 однократно нажать на кнопку уменьшения мощности (условное обозначение «стрелка вниз»), установив значение -1 дБ. Нажать кнопку Execute. Выйти из окна MTPC TX Power N0.001 перейдя в окно ODU. Проверить изменение уровня выходной мощности передатчика и установку нового значения, равного $+22$ дБ, в зоне TX с помощью строчки TX Power. Вернуться к предыдущему максимальному значению уровня выходной мощности, равному $+23$ дБ. Для этого в окне MTPC TX Power N0.001 вместо значения ослабления уровня мощности -1 дБ установить значение 0 дБ, нажав на кнопку увеличения мощности (условное обозначение «стрелка вверх») один раз. Нажать кнопку Execute. Закрыть окно MTPC TX Power N0.001 нажав кнопку Close. Проверить изменение уровня выходной мощности передатчика

и установку нового значения, равного +23 дБ, в зоне TX с помощью строчки TX Power. В области Equipment Setup – N0.001 установить состав и скорость информационного потока, равную 16x2МВ (16Е1).

6. Аналогично пп. 4 и 5 на информационной области первого компьютера при нажатой клавише Overall под надписью Opposite Network Element, N0.002 проверить установки приемопередатчика второй ЦРССП. Проверить засветку индикаторов PWR, ODU, IDU, MAINT на передней панели внутреннего блока второй ЦРССП. По методике, описанной в пп. 4 и 5, проверить значения частот настройки приемника и передатчика второй ЦРССП. Для организации связи частота настройки приемника второй ЦРССП должна быть равна частоте настройки передатчика первой ЦРССП. Аналогичным образом должны совпадать частоты настройки и скорости передачи обратного тракта, где передача сигнала идет от передатчика второй ЦРССП на приемник первой ЦРССП. Все данные по частотам настройки приемников и передатчиков и по скоростям двух ЦРССП записать в отчет.

7. Исследовать и записать в отчет установки внутреннего блока (IDU) для информационной области Main Signal Status при нажатой внизу клавише Overall: Bit Rate (скорость передачи), Redundancy (резервирование), BER Threshold (пороговое значение коэффициента ошибки), значения специальных параметров AIS SEND, AIA RCVD, DEM Invert, Channel Usage Error, MANT on AIS Activation.

8. Определить величину пороговой чувствительности и коэффициента системы исследуемой ЦРССП. В нижней левой части информационной области нажать клавишу ODU, что позволит получить информацию о состоянии внешнего блока первой исследуемой ЦРССП (Selected Network Element, N0.001). Проверить записанные ранее значения частот настройки передатчика и приемника первой ЦРССП, зафиксировать уровень сигнала на входе приемника второй ЦРССП. Уровень выходной мощности передатчика контролируется по значениям, записанным в поле TX, Status Monitoring, TX

Power (два значения – в дБм и В). Уровень входной мощности приемника контролируется по значениям, записанным в поле RX, Monitoring, RX Level (два значения – в В и дБм). Выполнить измерения при значении коэффициента ошибки, равного 10^{-6} . Ввести затухание в лабораторный волноводный тракт. Для этого, вращая поворотную ручку аттенюатора ДЗ-35, медленно увеличивать значение затухания, контролируя его по шкале прибора. При достижении пороговой величины передаваемой мощности аппаратура приемного тракта будет фиксировать отказ тракта по изменению цвета блока ODU с зеленого на бледно-розовый. Уровень сигнала на входе приемника в этой ситуации будет соответствовать величине предельной чувствительности приемника. Зафиксировать значения уровней сигнала передачи и приема двух ЦРПС, работающих друг с другом по лабораторному волноводному тракту. Выполнить расчет значения коэффициента системы по формуле 1.9. Сравнить это значение с типовой, паспортной величиной для данного диапазона частот. Повторить проделанные измерения для коэффициента системы и предельной чувствительности для другого значения коэффициента ошибки 10^{-3} . Сделать выводы.

9. Выполнить измерение основных показателей качества по ошибкам для двух исследуемых цифровых РПС. Для этого в нижней части экрана одной из РПС выбрать и загрузить информационное поле LinkPerformanceMonitor-N0.002. Для переустановки и сброса всех показаний экрана служит кнопка All Data Reset. При проведении измерений сброс данных, которые появляются в информационных таблицах, производить следующим образом. Подвести курсор к необходимому полю таблицы и нажать клавишу, обозначенную символом \updownarrow . Проверить установку и при необходимости установить все пороговые значения ошибок, равные 10 % в правой части информационного табло, озаглавленного надписью Threshold.

Вращая поворотную ручку на аттенюаторе ДЗ-35, установить значение затухания прибора равным приблизительно 35 дБ. При этом контролируется

изменение цвета индикатора IDU для выбранной ЦРСП. При небольшом значении затухания первоначально наблюдается зеленый цвет индикатора. При увеличении значения затухания добиться перехода свечения индикатора в темно-красный цвет. В этом режиме аппаратура автоматически производит измерения показателей качества по ошибкам – параметры ES, SES, UAS, VBE. В информационных столбцах 15 min (длительность обработки потока данных по ошибкам – 15 мин) и DAY (длительность обработки потока данных по ошибкам – один день) наблюдать изменение цифровых данных по указанным выше параметрам ошибок, заноса данные в отчет через равные интервалы времени. В эти же моменты времени фиксировать получаемые значения коэффициента ошибок по индикатору BER. Длительность проведения измерений – 15 мин. После окончания этого промежутка времени зафиксировать полученные данные в отчете. Для получения зафиксированных в памяти программы данных по ошибкам нажать кнопку Detail и переписать данные в столбцах ES, SES, UAS, VBE с привязкой к конкретному временному интервалу. Проанализировать полученные данные. Построить зависимости распределения указанных выше ошибок ES, SES, UAS, VBE по времени. Сделать выводы.

10. Нажать клавишу Version в нижней части информационной области. Записать в отчет серийные номера, дату изготовления, версию программного обеспечения внешнего и внутреннего блоков в информационных полях: ODU Serial N, Date of Manufacture, Soft Version, IDU Serial N, Date of Manufacture, Soft Version, для PMC – Code N, Serial N, Date of Manufacture, Soft Version.

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

12.

1.4. Содержание отчета

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

1.5. Контрольные вопросы

1. Назовите общие особенности исполнения и основные характеристики современных цифровых радиорелейных систем передачи.
2. Назовите основные характеристики и параметры исследуемой ЦРПС ПАСОЛИНК.
3. Конструкция и состав оборудования исследуемой ЦРПС ПАСОЛИНК.
4. Опишите систему управления сетью ЦРПС и её отдельные компоненты.
5. Какие основные особенности системы защитного резервирования.
6. Назовите основные показатели качества по ошибкам и соответствующие им коэффициенты.
7. Опишите особенности организации связи между двумя РПС на пролете между ними.

Лабораторная работа №2

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОСТРОЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ NEC PASOLINK

Цель работы: изучить назначение, состав и технические характеристики оборудования цифровой радиорелейной системы передачи (ЦРПС) PASOLINK, изучить структурные схемы, принципы работы и проверить работоспособность.

2.1. Общие особенности исполнения и основные характеристики внешнего блока ЦРПС NEC PASOLINK

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 коаксиальными кабелями длиной до 300 м (реже до 600 м), по которым помимо сигналов передается напряжение дистанционного питания ODU. При соединении ODU и IDU используется всего один коаксиальный кабель, по которому все сигналы «вверх» и «вниз» передаются на разных поднесущих.

Общие технические характеристики блоков ODU оборудования ЦРПС PASOLINK 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 ПАСОЛИНК
при использовании модуляции QPSK

Позиция	13 ГГц	18 ГГц	23 ГГц	38 ГГц
Выходная мощность (дБм, ном.) (измерено на антенном выходе)	+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			
Быстрая частотная перестройка (МГц, без смены фильтров)	56	252	280	280
Максимальный уровень на входе	-15 дБм			
Тип интерфейса	PBR 140	PBR 220	PBR 220	PBR 320
Габариты, вес	170 (ширина) x 69 (глубина) x 170 (высота) Примерно 3,0 кг			

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

Основные параметры межблочных соединений между ODU и IDU
оборудования ЦРПСИ PASOLINK

Позиция	Спецификация	
Стандартный тип кабеля	5D-FB, 8D-FB, 10D-FB или 12D-FB	
Сигналы	Сигнал ПЧ, аварии, управления, контроля, источника питания и служебного телефона	
Максимальная длина кабеля	QPSK	16QAM
	150 м (5D-FB)	100 м (5D-FB)
	300 м (8D-FB)	200 м (8D-FB)
	350 м (10D-FB)	230 м (10D-FB)
	450 м (12D-FB)	300 м (12D-FB)

2.2. Антенна

В полный перечень антенн ЦРПСИ NEC PASOLINK входят антенны диаметром от 0,3 м до 1,8 м, включительно. Они сконструированы так, чтобы удовлетворять самым строгим требованиям к механической жесткости. Все антенны ЦРПСИ NEC PASOLINK диаметром от 0,3 м 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, – это сохраняет ориентацию антенны. В диапазоне 7-8 ГГц для соединения блока ODU и антенны применяется коаксиальный или волноводный фидер.

На рис. 2.1. показано изображение внешнего блока ЦРПСИ PASOLINK (см. также рис. 1.2). На рис. 2.2.– 2.4. представлены изображения и варианты монтажа внешнего блока ЦРПСИ PASOLINK вместе с присоединенной к нему параболической антенной.

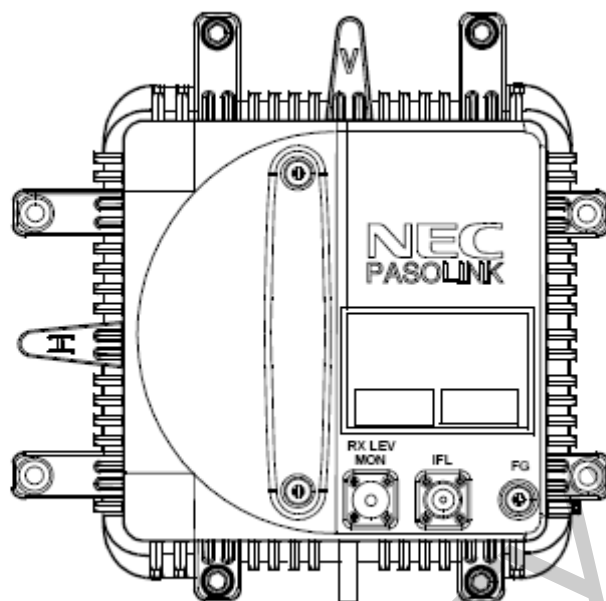


Рис. 2.1. Блок внешней установки (ODU)



Рис. 2.2. Антенна диаметром 0,3 м и ODU (непосредственный монтаж и резервирование 1+0)

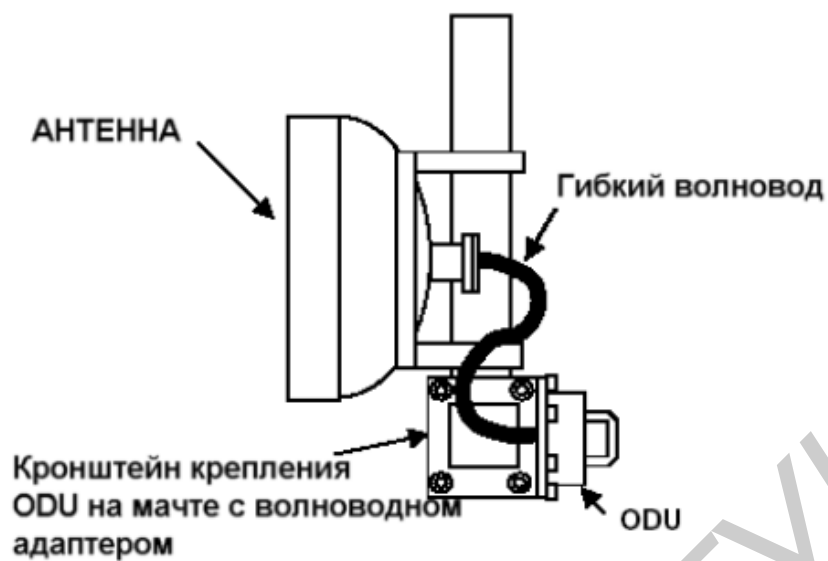


Рис. 2.3. Дистанционный (выносной) монтаж 1+0 PASOLINK ODU 13–38 ГГц с использованием гибкого волновода

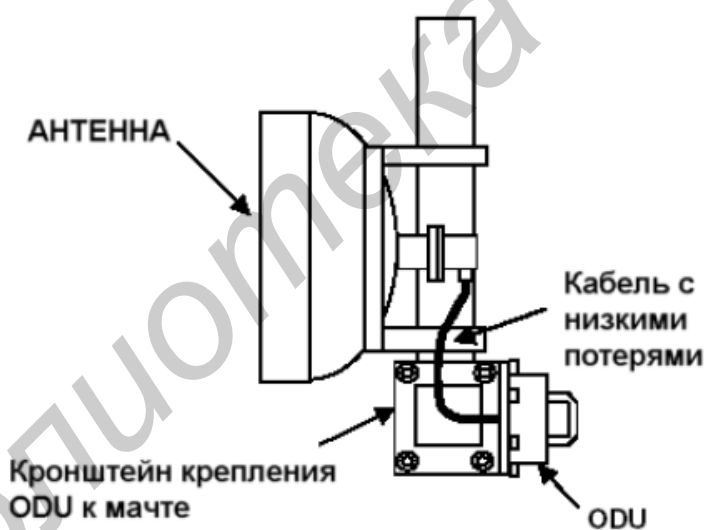


Рис. 2.4. Дистанционный (выносной) монтаж 1+0 PASOLINK ODU 7/8 ГГц (7/8 ГГц, ODU имеет волноводный интерфейс) с использованием кабеля

2.3. Особенности построения и функционирования внешнего блока

Внешний блок предназначен для работы с цифровым сигналом

10–80 Мбит/с в диапазонах 7–38 ГГц. Аппаратура сконструирована так, чтобы выдержать воздействие самых неблагоприятных климатических условий. Для достижения высокого системного коэффициента усиления при модуляции используется квадратурная фазовая манипуляция QPSK. Для достижения высокой частотной эффективности применяется 16-уровневая квадратурная амплитудная манипуляция 16QAM.

ODU представляет собой приемопередающий модуль с низким коэффициентом шума и с электрическим управлением с IDU выходной мощностью передатчика и частотой настройки (рис. 2.5).

Приемный тракт ODU строится по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты и малошумящим усилителем (МШУ 31) на его входе. Для снижения уровня сигнала передатчика, попадающего на вход приемника, и ослабления помех по комбинационным каналам приема, перед МШУ 31 устанавливают полосовой фильтр ПФ5 33 в комбинации с ферритовым циркулятором ФЦ1 32, в одно из плеч которого устанавливается нагрузочное сопротивление R1. Для разделения направлений передачи приема используется ферритовый циркулятор ФЦ3 34. Эти устройства снижают также уровень просачивания сигнала гетеродина на вход приемника. С выхода МШУ 31 сигнал через полосовой фильтр ПФ2 30 подается на первый преобразователь частоты СМ2 24. Он является балансным с компенсацией шумов гетеродина и нежелательных компонент преобразования. На второй вход СМ2 24 подается сигнал с выхода гетеродина ГЕТ 25, который, в свою очередь, управляется сигналом с выхода генератора, управляемого напряжением (ГУН 20). Цепь связи между этими узлами формируется за счет направленного ответвителя (НО) 26, нагруженного на сопротивление R2. Первая промежуточная частота выбирается высокой, что позволяет простыми средствами обеспечить высокий уровень подавления помех по зеркальному каналу до 70 дБ. Генератор КГ 16 формирует сигнал с частотой 20 МГц, стабилизированной с

помощью кварцевого резонатора. Подстройка частоты этого генератора осуществляется подачей сигнала TX F DATA с цифрового процессора ЦПУ 10. В состав синтезатора частоты (СЧ) входят также делители частоты ДЧ1 18 и ДЧ2 17 с коэффициентом деления 1/2, фазовые детекторы ФД1 15 и ФД2 19, ГУН 20 и генератор 14.

Сигнал с выхода СМ2 24 поступает на вход второй ступени преобразования СМ1 12. На второй вход этого преобразователя поступает сигнал с выхода гетеродина 14, частота которого управляется СЧ посредством подачи сигнала RX IF DATA с ЦПУ 10 на фазовый детектор ФД1 15. Контроль работы СЧ осуществляется в ЦПУ 10 по принимаемым сигналам S IF (контролируется формирование сигнала для управления гетеродина СМ1 12 приемного тракта) и S RF (контролируется формирование высокочастотного сигнала для управления гетеродинов приемного и передающего трактов). Далее сигнал поступает на вход усилителя промежуточной частоты УС 11, который управляется системой автоматической регулировки уровня АРУ 13. Контроль работы этой системы осуществляется по сигналу RX MON, поступающему в ЦПУ 10, а управление – сигналом RX CTRL. Сформированный таким образом сигнал промежуточной частоты $f_{пч1}$ в диапазоне 70 МГц через устройство объединения и разделения сигналов (УРОС 1) поступает по коаксиальному кабелю на вход внутреннего блока IDU. УРОС 1 содержит соединение фильтров верхних частот ФВЧ1 2, ФВЧ2 4, ФВЧ3 8, полосно-пропускающих фильтров ПФ1 3, ПФ4 5, ПФ3 6, а также фильтра нижних частот ФНЧ 7. УРОС 1 предназначен для объединения сигналов промежуточной частоты $f_{пч1}$, формируемой в тракте приема ODU, и $f_{пч2}$, которая поступает на вход тракта передачи из IDU, напряжения питания –40 В, а также контрольных и служебных сигналов, которые необходимы для организации управления и контроля блоков IDU и ODU. Для передачи телефонного служебного канала (EOW) используется амплитудная модуляция с несущей частотой 450 кГц

при передаче от IDU и ODU и частотой 468 кГц при передаче от ODU и IDU. Несущая частота передачи контрольных служебных сигналов и сигналов сигнализации составляет 10 МГц и используется ASK модуляция.

В тракте передачи блока ODU сигнал fпч2 с частотой 850 МГц из блока IDU поступает на вход усилителя УС 22. Регулировка усиления узла УС 22 производится из ЦПУ 10 посредством сигнала TX IF CTRL, который поступает на систему автоматической регулировки уровня сигнала АРУ 23. Контроль работы этой системы производится путем анализа сигнала TX IF MON, который поступает на ЦПУ 10.

Сигнал с выхода УС 22 поступает на вход преобразователя частоты СМЗ 27 и через полосовой фильтр ПФ7 28 на вход усилителя УСВЧ 29. Коэффициент усиления этого усилителя может изменяться по командам из ЦПУ 10 посредством сигнала TX CTRL, что необходимо для адаптивной регулировки выходной мощности при наличии потерь на радиолинии. Контроль работы УСВЧ 29 осуществляется из ЦПУ 10 при помощи сигнала TX MON.

Для снижения нежелательного уровня внеполосных помех, образованных в тракте передачи, на выходе УСВЧ 29 устанавливается полосовой фильтр ПФ6 36 с требуемой АЧХ и ферритовый циркулятор ФЦ2 37 с нагрузочным согласованным сопротивлением R3.

Цепь формирования напряжений питания содержит преобразователь напряжения ИП 21, который позволяет сформировать необходимые напряжения -7 В и -40 В для питания соответствующих цепей и устройств блока. В блоке УРОС 1 с помощью фильтра верхних частот ФВЧЗ 8 можно выделить телефонный сигнал служебной связи EOW, который выводится на специальный коаксиальный разъем внешнего блока RX LEV (EOW). Используя этот разъем, можно с помощью цифрового многофункционального измерительного прибора или специального фирменного прибора OW/RX LEV MONITOR контролировать уровень

принимаемого сигнала по величине постоянной составляющей, подаваемой с ЦПУ 10. Проведение служебных переговоров с другим абонентом возможно при подключении специальной фирменной микротелефонной гарнитуры к прибору OW/RX LEV MONITOR.

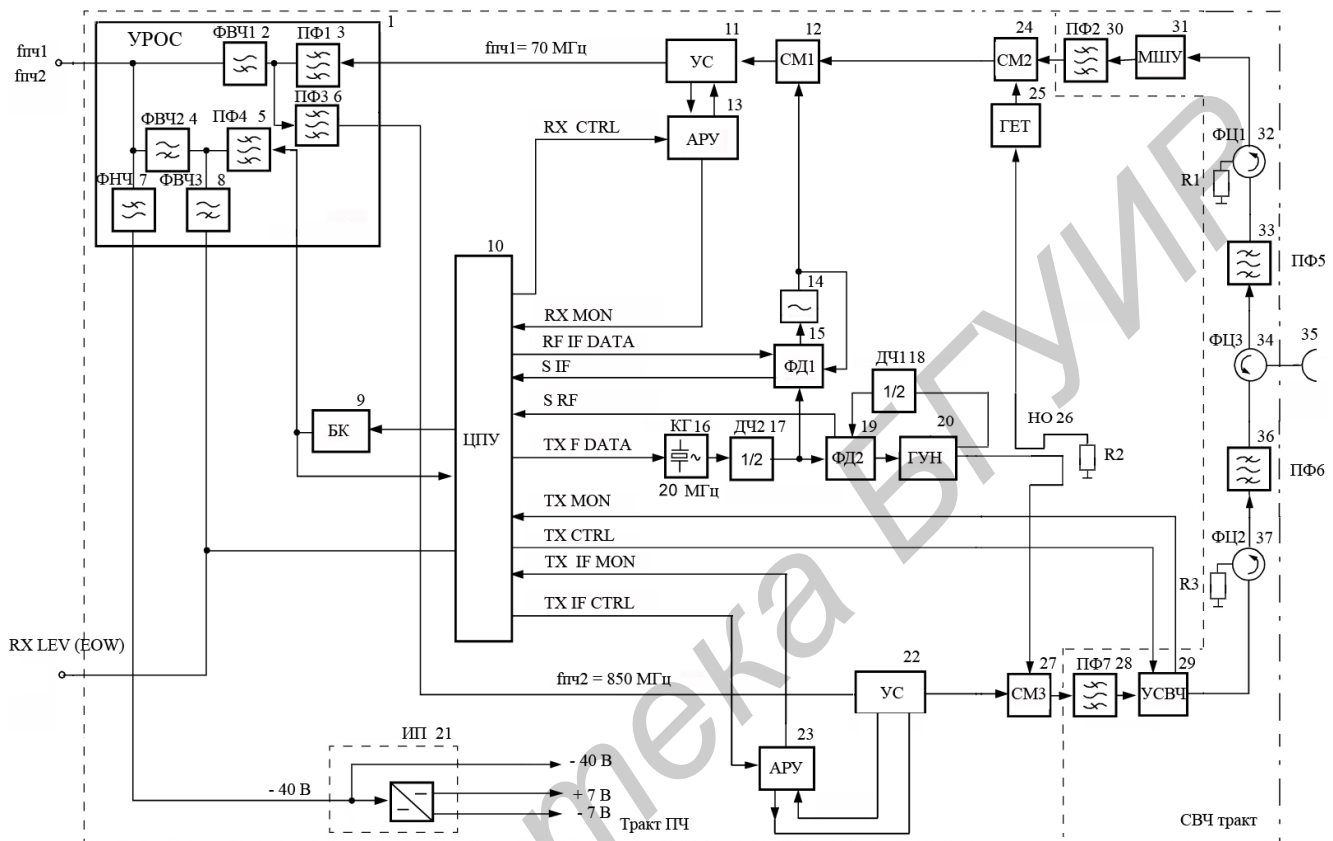


Рис. 2.5. Структурная схема ODU ЦРПСП

В ЦПУ 10 происходит обработка сигналов контроля и управления, которые поступают из внутреннего блока IDU. В работе системы формирования и обработки служебных контрольных сигналов участвует блок БК 9, который взаимодействует с ЦПУ 10 и УРОС 1.

2.4. Особенности построения и функционирования внутреннего блока

Блок внутренней установки выполняет пять функций: мультиплексора, модема, интерфейса для ввода или вывода внешних сигналов, управления всеми процессами и формирования сигналов электропитания.

Мультиплексор обеспечивает объединение/разделение поступающих сигналов для блока ODU. Функция модулятор/демодулятор позволяет путем программной настройки 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 PASOLINK 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 2.3.

Таблица 2.3

Основные параметры и характеристики внутреннего блока оборудования
ЦРПС PASOLINK

Позиция	Спецификации (1+0 или 1+1)
Тип модуляции	QPSK/16QAM(программный выбор с помощью LCT/PNMT)
Интерфейс с каналообразующей аппаратурой	E1:2.048 Мбит/с \pm 50 ppm, Ethernet:10/100Base-T(X)
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
Управление и настройка с помощью LCT/PNMT	
Обратный шлейф	а) Обратный шлейф с дальним окончанием по каналообразующей частоте б) Обратный шлейф с ближним окончанием по каналообразующей частоте с) 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) VBE, б) ES, с) SES, д) UAS
Измерение	а) Уровень выходной мощности (TX PWR) б) Уровень принимаемого сигнала (AGC V) с) Вероятность битовой ошибки (BER MON)
Габариты, мм Вес, кг	вариант 1+0: 482 (ширина) x 240 (глубина) x 44 (высота); приблизительно 5,0

На рисунках 2.6 и 2.7 приведены структурные схемы внутреннего блока цифровой радиорелейной системы передачи.

Внутренний блок IDU состоит из передающего и приемного трактов. На рисунке 2.6 представлены начальные и конечные каскады передающего и приемного трактов для четырех потоков E1, которые формируют суммарный поток E2. Цепи формирования и обработки других потоков E1 организованы в ЦРПС аналогично и на рисунках 2.6 – 2.8 не показаны. На входе и выходе этих трактов установлены устройства сопряжения РУ1 4, РУ2 9, РУ3 12, РУ4 15, РУ5 25, РУ6 30, РУ7 33 и РУ8 36 с использованием развязывающих трансформаторов. Рассмотрим прохождение одного из сигналов потока E1 (1 вх), который поступает на вход согласующего устройства РУ1 4 и далее проходит на вход преобразователя кода ПК2 8. Устройства РУ служат для согласования параметров внутреннего блока IDU с внешними транспортными линиями. Устройства сопряжения являются электрическими. Принятые цифровые потоки данных преобразуются из квазитрочного кода HDB3 в код NRZ и проходят устройства регенерации цифровых сигналов. Регенераторы исключают линейные искажения, внесенные кабелем. Рассматриваемый сигнал первого канала проходит цифровой корректор ЦК1 5, регенератор РП1 6, модулятор МУ 7 и преобразователь кодов – ПК1 3, который объединяет четыре потока E1, сигналы 1 вх, 2 вх, 3 вх, 4 вх в единый цифровой сигнал, обозначенный буквами а и б. Цепи синхронизации различных цифровых каскадов и устройств формируются с использованием опорного генератора ГЕН 20, тактового генератора ТГ 21, схем ИЛИ 41 и ИЛИ 42, делителя частоты ДЧ 43, схем синхронизации, обработки цифровых сигналов СИА 2, ДСА 24, ИО1 1, ИО2 18, ИО3 23, ИО4 40, ИТС1 19, ИТС2 39 и преобразователя кода ПК8 45. С выхода ПК1 3 рассматриваемый цифровой поток E1, обозначенный буквой а (см. рис. 2.6), поступает на вход

преобразователя кода ПР1 1 (см. рис. 2.7.), который входит в состав процессорного модуля DPU.

После регенерации цифровые потоки объединяются в мультиплексоре МУ 2. Объединению в МУ 2 подлежат также сигналы синхронизации и телеуправления. В МУ 2 содержится буферная память, данные из которой считываются в последовательном коде. Следующий за МУ 2 преобразователь кода СК 3 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 равномерный спектр радиосигнала на выходе передатчика. Последнее обстоятельство позволяет улучшить электромагнитную совместимость радиосредств. Канальный кодер ДИФ 4 совместно с цифровым фильтром ЦФ 5 служит для канального кодирования, которое повышает помехоустойчивость системы. За счет внесенной избыточности осуществляется прямое исправление ошибок и, следовательно, улучшается достоверность приема.

При наличии кодирования требуемое значение ОНШ, при котором достигается заданная вероятность ошибки на бит, снижается. После кодирования цифровые потоки, синфазный и противофазный каналы, через цифроаналоговые преобразователи ЦАП1 6 и ЦАП2 11 поступают на модулятор МОД 7, который формирует сигнал промежуточной частоты, который далее передается в блок ODU. При модуляции QPSK амплитуда радиопосылок не меняется, т.е. передается радиосигнал с постоянной огибающей. При модуляции КАМ формируется соответствующая фазовая диаграмма. На выходе модулятора обычно содержатся две боковые полосы, спектр которых ограничивают полосовым фильтром ПФ1 8 и фильтром верхних частот ФВЧ1 9. Управление МОД 7 осуществляется с помощью

генератора, управляемого напряжением ГУН 18. Генератор ГЕН1 23 является опорным и управляет ГУН 18 и другими каскадами.

При использовании ряда фильтров формируется устройство разъединения и объединения сигналов – УРОС блока IDU (см. рис. 2.7), которое содержит фильтры верхних частот ФВЧ1 9, ФВЧ2 12, полосно-пропускающие фильтры ПФ2 13, ПФ3 25, фильтры нижних частот ФНЧ2 27, ФНЧ1 24. Фильтр ФНЧ2 27 предназначен для подачи постоянного напряжения питания –43 В, которое через коаксиальный кабель подается на устройства внешнего блока ODU. Таким образом, УРОС предназначено для объединения сигнала $f_{пч1}$, формируемого в тракте передачи IDU, $f_{пч2}$, который поступает на вход тракта приема этого блока, напряжения питания –43 В и сигналов каналов служебной связи, сигнализации и управления.

На мультиплексор поступают команды для управления режимами блока ODU, которые формируются в процессорном модуле DPU под действием внешних сигналов TX FPLS и TX CLK. Эти сигналы поступают на узел ТГ1 16 и далее проходят на мультиплексор МУ 2.

Тракт формирования и прохождения низкочастотного канала служебной связи включает в себя следующие устройства и каскады: EOW – разъем для подключения телефонной гарнитуры (микрофон и телефон), блок кодирования телефонного канала – ИКМ КОД 20, модулятор МОД СС 26 и демодулятор ДЕМ СС 29, которые управляются генератором ГЕН2 30 с несущей частотой 450 кГц.

Как упоминалось в лабораторной работе №1, аппаратура оборудована для передачи двух цифровых служебных каналов со скоростью 9,6 кБит/с. Для одного из них используется интерфейс RS232C, а для второго можно выбрать интерфейсы из ряда необходимых – RS232C, RS422 или RS485. Можно организовать передачу одного из ряда служебных каналов: аналогового служебного, аналогового контрольного, цифрового контрольного со скоростью 64 кБит/с (рекомендации G.703 или V11) или со

скоростью 9,6 кБит/с и специального контрольного при организации передачи со скоростью 16xE1.

Внутренний блок содержит ряд цифровых устройств: схемы И 33; ИЛИ 22; сумматор по модулю 2 – СУМ2 17; сумматор цифровых сигналов – ПР2 32; разветвитель цифровых сигналов – ПР3 34; формирователь уровня сигнала СХЕМА СОГЛ1 35 – для ввода/вывода сигналов Ethernet 10BASE-TX, 100BASE-TX; преобразователь кода ПК1 31 – для ввода или вывода сигналов WS IN/OUT (RJ45) при передаче сигналов со скоростью 16E1.

В приемном тракте IDU происходит выделение радиосигнала с промежуточной частотой 70 МГц, который поступает по соединительному кабелю из внешнего блока.

Этот сигнал через фильтр верхних частот ФВЧ1 9 и полосно-пропускающий фильтр ПФ4 46 поступает на демодулятор ДЕМ 44, где формируются синфазная и противофазная компоненты общего комплексного сигнала (см. рис. 2.8). Одна из этих компонент через фильтр нижних частот ФНЧ3 43 поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП 1 42. Вторая компонента – через фильтр нижних частот ФНЧ4 50 на аналого-цифровой преобразователь АЦП2 49. Далее две компоненты комплексного сигнала подаются на дифференциальный декодер ДИФ ДЕК 48, где осуществляется декодирование принимаемого сигнала, обратное процедуре кодирования, которое осуществлялось на передающей стороне в каскадах ДИФ 4 и ЦФ 5.

Дескремблер ДЕСК 47 выполняет преобразование цифровой последовательности, поступающей с выхода ДИФ ДЕК 48.

Последующие устройства тракта приема IDU выполняют задачи, обратные задачам тракта передачи.

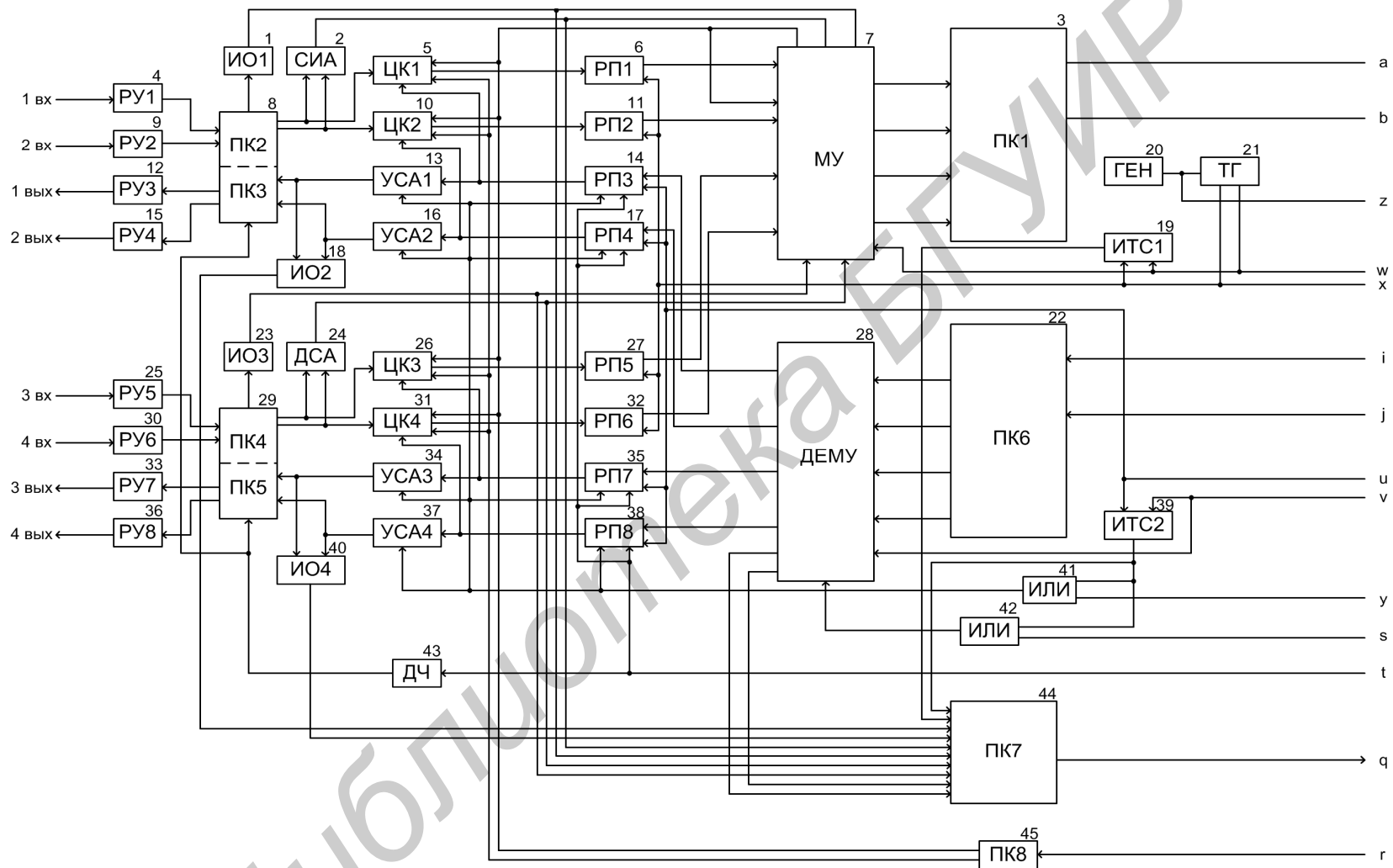


Рис. 2.6. Структурная схема IDU ЦРРСП (первая часть)

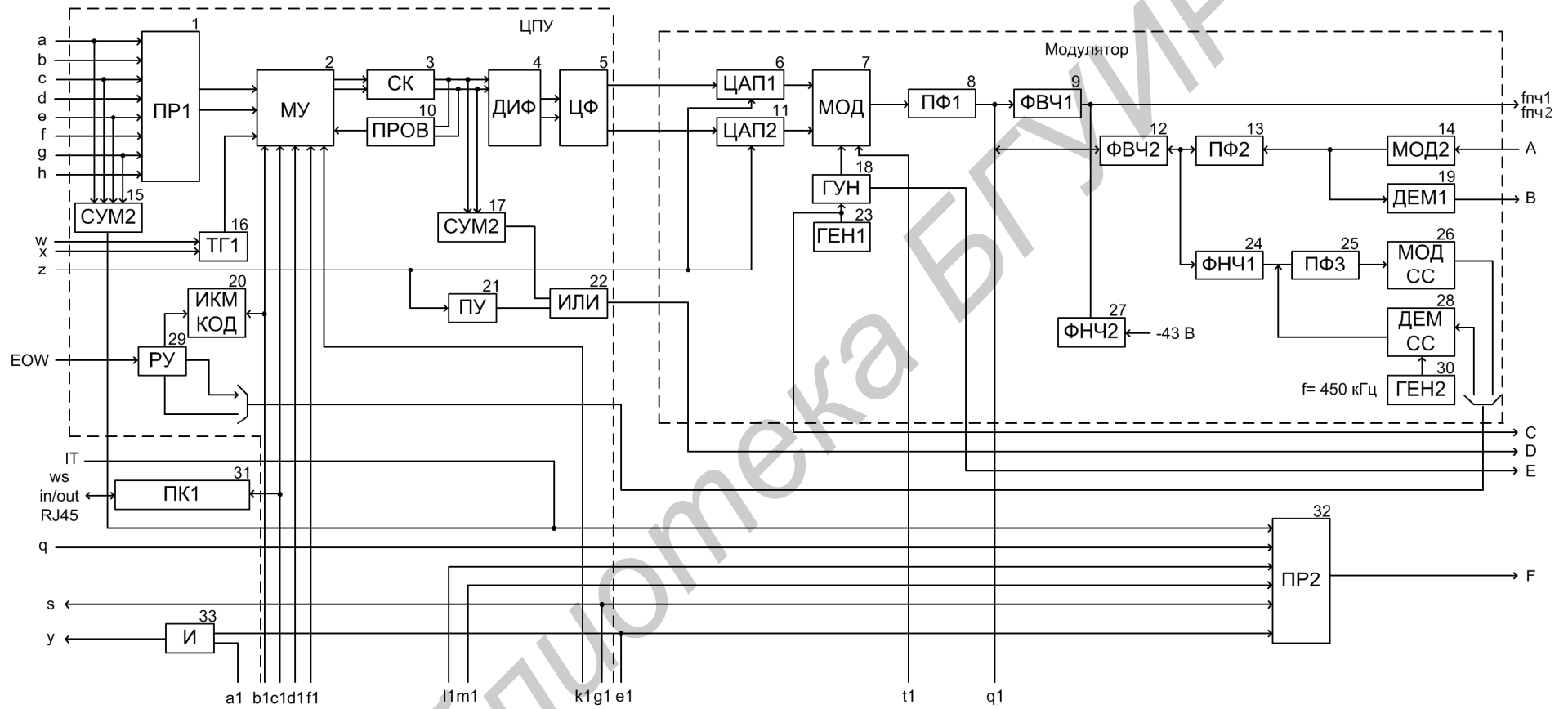


Рис. 2.7. Структурная схема IDU ЦРРСП (вторая часть)

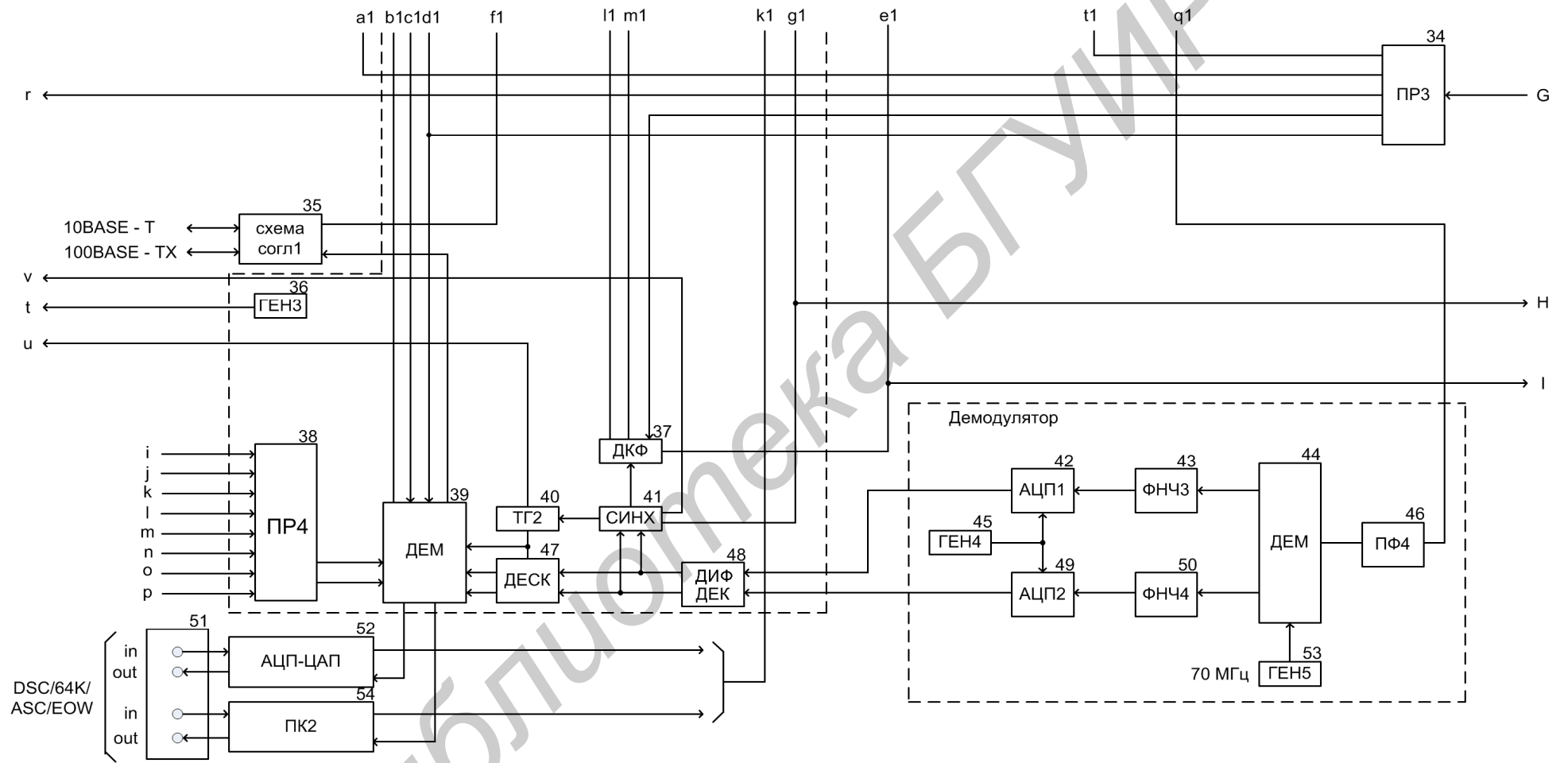


Рис. 2.8. Структурная схема IDU ЦРПС (третья часть)

Узел СИНХ 41 выделяет синхронизирующую последовательность, которая управляет работой тактового генератора ТГ2 40 и декодера фазы ДКФ 37, а также используется для синхронизации других цепей и устройств (рис. 2.6–2.8). С выхода дескремблера ДЕС 47 сигнал поступает на демультимплексор ДЕМ 39, где происходит выделение цифровых сигналов различного назначения и форматов.

Цифровые сигналы PDH-формата поступают на выделитель цифровых потоков Е1 – ПР4 38, на выходе которого формируются восемь потоков Е1, обозначенных буквами i, j, k, l, m, n, o, p (см. рис. 2.8).

Демультимплексор ДЕМ 39 также выделяет служебный цифровой сигнал DSC/64Kj ASC/EOW, имеющий скорость 64 кБит/с. Этот сигнал обрабатывается схемой аналого-цифрового и цифроаналогового преобразователей АЦП-ЦАП 52, схемой согласования уровней 51 и преобразователем кода ПК2 54. Сигналы стандарта Ethernet – 10BASE-TX, 100BASE-TX, как уже упоминалось выше, проходят через схему согласования уровней СХЕМА СОГЛ1 35.

Рассмотрим прохождение сигналов двух потоков Е1, обозначенных буквами i и j (см. рис. 2.8). Они поступают на преобразователь кодов ПК6 22 и демультимплексор ДЕМУ 28 (см. рис. 2.6). С выхода демультимплексора ДЕМУ 28 сигналы проходят цифровые устройства РПЗ 14 и РП4 17, УСА1 13 и УСА2 16 и поступают на преобразователь кодов ПК3 8. С его выхода указанные потоки Е1 – 1 вых и 2 вых через согласующие устройства РУ3 12 и РУ4 15 поступают на выход блока IDU.

Из анализа рисунков 2.7, 2.8 видно, что центральное место в блоке IDU занимает микропроцессор (DPU). Можно отметить, что он управляет работой всех основных устройств 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 программы PMNT. Регистрируются такие события, как изменение состояния, появление аварии, восстановление после аварии, изменение параметров и т. д.

2.5. Указания по выполнению лабораторной работы

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

2. Включить компьютер. Пароль пользователя при загрузке компьютера – 1. Дождаться загрузки операционной системы компьютера.

3. Включить аттенюатор ДЗ-35. Для этого тумблер СЕТЬ, расположенный на передней панели, поставить в положение I. Вращая поворотную ручку, установить значение затухания этого прибора равным приблизительно 32 дБ. Включить приборы: преобразователь частоты Ч5-13, частотомер ЧЗ-54 с преобразователем частоты ЯЗЧ-42, поставив соответствующие сетевые тумблеры в верхнее положение.

4. По указанию преподавателя подать питание на оборудование одной из исследуемых ЦРПС. Для этого на внутреннем блоке этой ЦРПС тумблер СЕТЬ I-O, потянув его на себя, поставить в положение I. При этом должен загореться индикатор PWR – зеленым светом, индикаторы ODU, IDU – красным светом, которые затем должны загореться зеленым цветом. На компьютере активизировать программу PNMT двойным нажатием правой клавиши компьютерной мыши. На информационном экране, который появляется после этого, отображается ряд рабочих полей. Сверху показана укрупненная структурная схема ЦРПС, содержащая блоки IDU, ODU, PMS.

Зеленый цвет, который заполняет соответствующий структурный элемент, отражает исправное состояние этого блока. Два оттенка красного цвета этих элементов говорят об отказе или неисправности соответствующего блока. Подвести курсор к специальному значку (Login), расположенному в верхнем левом углу экрана, и нажать левую клавишу мыши. При появлении панели доступа в строке USER NAME набрать admin, а строку PASSWORD оставить незаполненной. Нажать клавишу ОК. Появляется рабочее информационное окно. Далее войти в опцию Configuration (Конфигурация), нажать клавишу Equipment Setup (параметры оборудования). Нажать клавишу Frequency Plan (частотный план). В окне TX/RX CH выбрать частотный канал номер 1. Проверить значение частоты передатчика в поле TX Frequency, равное 19207,5 МГц. Записать это значение в отчет. Аналогично проверить значение частоты настройки приемника в поле RX Frequency – 18197,5 МГц. Исходя из этих данных, определить сдвиг между частотами приема и передачи первого канала. В окне TX/RX CH выбрать частотный канал номер 2. Определить частоты настройки передатчика и приемника. Записать эти значения в отчет. Исходя из полученных данных, определить частотный сдвиг между частотами настройки передатчика и приемника при изменении номера канала на единицу. В окне TX/RX CH выбрать частотный канал с последним номером. Записать это значение, а также значения частот настройки передатчика и приемника в отчет. Определить величину шага перестройки частотного синтезатора, который определяет шаг перестройки частот передатчика и приемника данной ЦРПС. В отчете нарисовать фрагмент частотного плана с данными частот передатчика и приемника, указав на нем значения настроек первого, второго и последнего канала.

5. Проверить установку уровня мощности передатчика исследуемой ЦРПС. Для этого подвести курсор к полю MTRSTX и нажать левую клавишу мыши. В информационном окне появиться значение уровня мощности передатчика. Это значение можно изменить, нажимая на информационные поля «стрелка вверх» или «стрелка вниз». При нажатии на

эти поля значение уровня мощности будет увеличиваться или уменьшаться на единицу дБм. Определить диапазон перестройки уровня выходной мощности и шаг перестройки. Записать эти данные в отчет. Сравнить их с паспортными значениями. Сделать выводы.

6. Выполнить измерение частоты передачи выбранного комплекта ЦРРСП. С использованием программы PMNT произвести установку значения уровня выходной мощности, равного 23 дБм, номера радиочастотного канала, равного 1, скорости передачи 2E1. Проверить исходное положение ручек и переключателей на блоке ЧЗ-54: переключатель РОД работы – частота А, кнопка БЛОК – нажата, мерцает лампочка СЧЁТ, горит лампочка КВАЦ. ГЕНЕР., переключатель ВРЕМЯ СЧЁТА – в положении ms, переключатель МНОЖИТЕЛЬ – в положении 1 МГц. Длительность прогрева приборов ЧЗ-54, Ч5-13 и ЯЗЧ-42 составляет приблизительно 20 минут.

7. На приборе Ч5-13 установить: клавишу НГ в положение «нажата», частоту гетеродина – $479,5 \times 10$ МГц. Плавно вращая ручку ЧАСТОТА ГЕТЕРОДИНА в небольших пределах по часовой стрелке или против часовой стрелки, добиться максимального уровня сигнала по стрелочному индикатору этого прибора. Таким образом, осуществляется первое преобразование частоты передатчика из диапазона 18 ГГц в диапазон работы 3,5–5 ГГц преобразователя частоты ЯЗЧ-42 на четвертой гармонике.

8. Плавно вращая ручку частоты гетеродина на преобразователе частоты ЯЗЧ-42 в диапазоне приблизительно $f_g = 4,75$ ГГц в небольших пределах по часовой стрелке или против часовой стрелки добиться максимального уровня сигнала по стрелочному индикатору μA этого прибора. Таким образом, осуществляется второе преобразование измеряемой частоты из диапазона 3,5–5 ГГц в диапазон работы прибора ЧЗ-54. Произвести расчёт частоты передачи в МГц по формуле $f_t = 4 \cdot (4750 + f_{ot}) + 30$. Значение частоты f_{ot} необходимо записать с индикатора частотомера ЧЗ-54. Эта величина измеряется в МГц. Полученное значение частоты записать в

отчет и сравнить со значением частоты, которое установлено в поле TX Frequency для канала номер 1, равным 19207,5 МГц.

9. Наблюдать за изменением частоты f_{ot} в течение одной минуты. Записать крайние значения частоты – f_{max} и f_{min} . Произвести расчёт относительной нестабильности частоты передатчика по формуле

$$\Delta f = (f_{max} - f_{min}) / f_n,$$

где $f_n = (f_{max} - f_{min}) / 2$ – номинальная (средняя) частота на интервале измерения. Сравнить значения f_n и Δf с номинальными значениями этих параметров из табл. 1.1 и 2.1. Записать эти значения в отчет. Сделать выводы.

10. С помощью анализатора спектра Tektronix Y400 NetTek Analyzer (далее Tektronix) выполнить исследование спектра сигналов, которые передаются по коаксиальному кабелю между внешним и внутренним блоками одной из РРСП. Для этого коротким отрезком коаксиального кабеля соединить разъем RF INPUT, расположенный в верхней части корпуса прибора, т. е. вход анализатора спектра Tektronix с разъемом коаксиального тройника, включенного в коаксиальный кабель, соединяющий внутренний и внешний блоки РРСП. Включить анализатор спектра Tektronix, нажав соответствующую голубую овальную кнопку, расположенную внизу слева от широкого сенсорного экрана. После включения прибора дважды нажать на сенсорном экране на значок соответствующей измерительной программы, указанной преподавателем. При выполнении этих операций требуется соблюдать меры осторожности. Прикосновения к сенсорному экрану необходимо выполнять с использованием специальной палочки из диэлектрического материала, входящей в комплект прибора. Допускается использование других тонких, незаостренных диэлектрических предметов для прикосновения к экрану в нужном месте с небольшим усилием. После загрузки соответствующей измерительной программы необходимо получить изображения спектров двух сигналов промежуточной частоты, расположенных ориентировочно в диапазонах 70 и 850 МГц. Для удобства измерения частоты можно использовать прием совмещения участка

просматриваемого спектра с одной из четырех измерительных меток, изображения которых выведены на соответствующем табло внизу измерительного экрана. Для переноса измерительных меток в соответствующую точку исследуемого сигнала необходимо сначала дотронуться до этой метки в соответствующем табло внизу экрана, а затем повторным касанием дотронуться до соответствующей точки изображения исследуемого сигнала. На экране вблизи этой метки будут располагаться цифры, которые отражают частоту в данной точке характеристики. С использованием вертикальной оси, расположенной справа от экрана, оценить уровень сигнала двух промежуточных частот. Зарисовать в отчет полученные характеристики, записать необходимые числовые данные, сделать выводы. После проведения измерений закрыть используемую программу, выключить анализатор спектра Tektronix, отсоединить короткий отрезок коаксиального кабеля, который использовался для подачи сигнала на прибор.

11. Произвести проверку работы системы служебной связи. Для этого получить у преподавателя два комплекта гарнитур (микрофон и головные телефоны). Присоединить их к соответствующим разъемам EOW, находящимся справа на лицевой панели двух внутренних блоков. Вызов запрашиваемого абонента осуществляется нажатием соответствующей кнопки CALL на лицевой панели блока рядом с местом включения гарнитура, а затем производятся переговоры с абонентом, расположенным на соседней ЦРПС.

12. Выключить измерительные приборы: преобразователь частоты Ч5-13, частотомер ЧЗ-54 с преобразователем частоты ЯЗЧ-42, поставив соответствующие сетевые тумблеры в нижнее положение. Выключить компьютер, выйдя из программы PMNT. Выключить исследуемую ЦРПС. Для этого на внутреннем блоке этой ЦРПС тумблер СЕТЬ I-O поставить в положение О, потянув его на себя. Выключить аттенюатор ДЗ-35.

2.6. Содержание отчета

1. Основные характеристики и параметры исследуемой ЦРПС PASOLINK.
2. Экспериментальные данные.
3. Основные структурные схемы исследуемых трактов.
4. Выводы по проделанной работе.

2.7. Контрольные вопросы

1. Назовите особенности исполнения и основные характеристики внешнего блока ЦРПС PASOLINK.
2. Опишите конструкцию и основные параметры антенны ЦРПС PASOLINK.
3. Структурная схема и особенности работы внешнего блока.
4. Опишите основные измеренные параметры внешнего блока.
5. Назовите особенности исполнения и основные характеристики внутреннего блока.
6. Структурная схема и особенности работы внутреннего блока.
7. Опишите основные измеренные параметры внутреннего блока.
8. Опишите особенности организации работы служебного телефонного канала и других контрольных служебных каналов.

Учебное издание

Липкович Эдуард Борисович
Мищенко Валерий Николаевич

ИЗУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ЦИФРОВОЙ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Лабораторный практикум
по дисциплине «Спутниковые и радиорелейные системы передачи»
для студентов специальности
1-45 01 01 «Многоканальные системы телекоммуникаций»,
1-45 01 02 «Радиосвязь, радиовещание и телевидение»
всех форм обучения

Редактор И. П. Острикова

Корректор И. П. Острикова

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная.

Гарнитура «Таймс».

Отпечатано на ризографе.

Усл. печ. л. 2,5

Уч.-изд. л. 2,7.

Тираж 100 экз.

Заказ 302.

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