

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по дисциплине «Наземные и космические системы связи»
для студентов 5-го курса дневной и заочной форм обучения
специальности «Радиотехника» (7.05090101 и 8.05090101)

Часть 2

Севастополь

2013

УДК 355.424.3 + 654.1

Лабораторный практикум по дисциплине «Наземные и космические системы связи» для студентов 5-го курса дневной и заочной форм обучения специальности «Радиотехника» (7.05090101 и 8.05090101): в 3 ч. / Сост. А.А. Савочкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013.. — Ч. 2. — 40 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам в подготовке и выполнении лабораторных работ по дисциплине «Наземные и космические системы связи», а также в получении ими теоретических знаний по методам формирования и передачи групповых сообщений с помощью радиорелейных линий.

Методические рекомендации утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций «23» октября 2012 года, протокол № 3.

Рецензент: доцент кафедры радиотехники и телекоммуникаций, канд. техн. наук С.Р. Зиборов

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций, д-р техн. наук, профессор Ю.Б. Гимпилевич

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа №3 «Исследование аппаратуры уплотнения ИКМ»	4
1.1. Цель лабораторной работы	4
1.2. Теоретическая часть	4
1.2.1. Назначение цифровой системы передачи ИКМ-30	4
1.2.2. Структура цикла сигнала ИКМ-30	4
1.3. Описание лабораторной установки	6
1.3.1. Состав установки	6
1.3.2. Структурная схема цифровой системы передачи ИКМ-30	8
1.4. Порядок выполнения лабораторной работы	12
1.4.1. Исследование свойств телефонного канала	12
1.4.2. Исследование характеристик группового канала.	13
1.4.3. Исследовательское задание.....	13
1.5. Содержание отчета по лабораторной работе	14
1.6. Контрольные вопросы.....	14
1.6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы.....	14
1.6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы	15
2. Лабораторная работа №4 «Исследование радиорелейной системы <i>Ericsson MINI-LINK E</i> ».....	16
2.1. Цель лабораторной работы	16
2.2. Теоретическая часть	16
2.2.1. Общие особенности реализации среднескоростных радиорелейных станций.....	16
2.2.2. Назначение и особенности микроволновых систем <i>MINI-LINK</i>	17
2.2.3. Характеристика оборудования <i>MINI-LINK E</i>	18
2.2.4. Особенности структурной и аппаратной реализации радиоблока <i>MINI-LINK E</i>	21
2.2.5. Особенности структурной и аппаратной реализации блока модема <i>MINI-LINK E</i>	27
2.2.6. Расчет энергетического режима пролета радиорелейной системы	28
2.3. Описание лабораторной установки	31
2.3.1. Характеристика аппаратной части	31
2.3.2. Характеристика программных средств	32
2.4. Порядок выполнения лабораторной работы	34
2.5. Содержание отчета по лабораторной работе	37
2.6. Контрольные вопросы.....	38
2.6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы	38
2.6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы	38
Библиографический список.....	39
Приложение А. Параметры приемной части радиоблоков.....	40

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ УПЛОТНЕНИЯ ИКМ

1.1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является изучение принципов формирования группового сообщения методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) и экспериментальное определение характеристик системы ИКМ-30.

1.2. Теоретическая часть

1.2.1. Назначение цифровой системы передачи ИКМ-30

Цифровая система передачи ИКМ-30 (СМВ-30) предназначена для преобразования сигналов 30-ти телефонных каналов в поток сигналов ИКМ со скоростью 2,048 Мбит/с (цифровой поток *E1*) в направлении передачи, и для восстановления сигналов 30 телефонных сигналов из цифрового потока сигналов в направлении приема.

Оборудование СМВ-30 обеспечивает подключение:

- 30-ти двух- или четырехпроводных телефонных каналов;
- цифрового интерфейса *E1* со скоростью 2,048 Мбит/с (кабельный линейный участок, оборудование радиорелейной линии, устройство уплотнения ИКМ более высокого ранга);
- цифрового канала со скоростью 8 кбит/с и четырех цифровых каналов со скоростью 4 кбит/с для произвольного внешнего использования;
- внешнего тактового сигнала 2,048 МГц.

В субпанели СМВ-30 для передачи данных по цифровому интерфейсу *E1* используется трехуровневое кодирование *AMI* или *HDB-3*.

Код с инверсией альтернативного разряда (*Alternative mark inversion, AMI*) является трехуровневым кодом, в котором нули кодируются отсутствием импульсов, а единицы — попеременно положительными и отрицательными импульсами. Однако в большинстве современных систем код *AMI* не используется, поскольку этот формат линейного кодирования приводит к частым потерям синхронизации в случае длинных последовательностей нулей.

Формат линейного кодирования (*High Density Bipolar 3, HDB-3*) был специально разработан для решения проблем синхронизации, возникающих в случае передачи длинных последовательностей нулей. В формате *HDB-3* за последовательностью из четырех нулей следует двухимпульсная вставка «плюс импульс — минус импульс». Оборудование на удаленном конце принимает поток *E1* и заменяет двухимпульсные вставки на последовательность нулей, восстанавливая исходную последовательность данных. Код *HDB-3* обеспечивает большую плотность импульсов в потоке, что дает лучшие параметры синхронизации по принимаемому сигналу.

1.2.2. Структура цикла сигнала ИКМ-30

Структура временной последовательности цикла ИКМ-30 изображена на

рис. 1.1. Цикл сигнала состоит из 32 канальных интервалов (30 канальных интервалов используются для передачи сигналов 30 телефонных каналов, 2 канальных интервала — для служебных сигналов) [1]. Во время каждого канального интервала передается двоичное число состоящее из восьми разрядов P1...P8.

Цикловая синхронизация в соответствии с рекомендацией G.732 должна осуществляться передачей и приемом определенных последовательностей сигналов в начальном канальном интервале КИ0. Цикловая синхронизация производится при помощи синхрокомбинации 0011011, передаваемой в разрядах P2...P8 интервала КИ0 соответственно через цикл (в нечетных циклах), и единицы, передаваемой в разряде P2 интервала КИ0 четных циклов, как показано на рис. 1.1. Частота следования сигнала цикловой синхронизации равна 4 кГц. Позиция разряда P1 в КИ0 всех циклов может быть использована для передачи дискретной информации со скоростью 8 кбит/с.

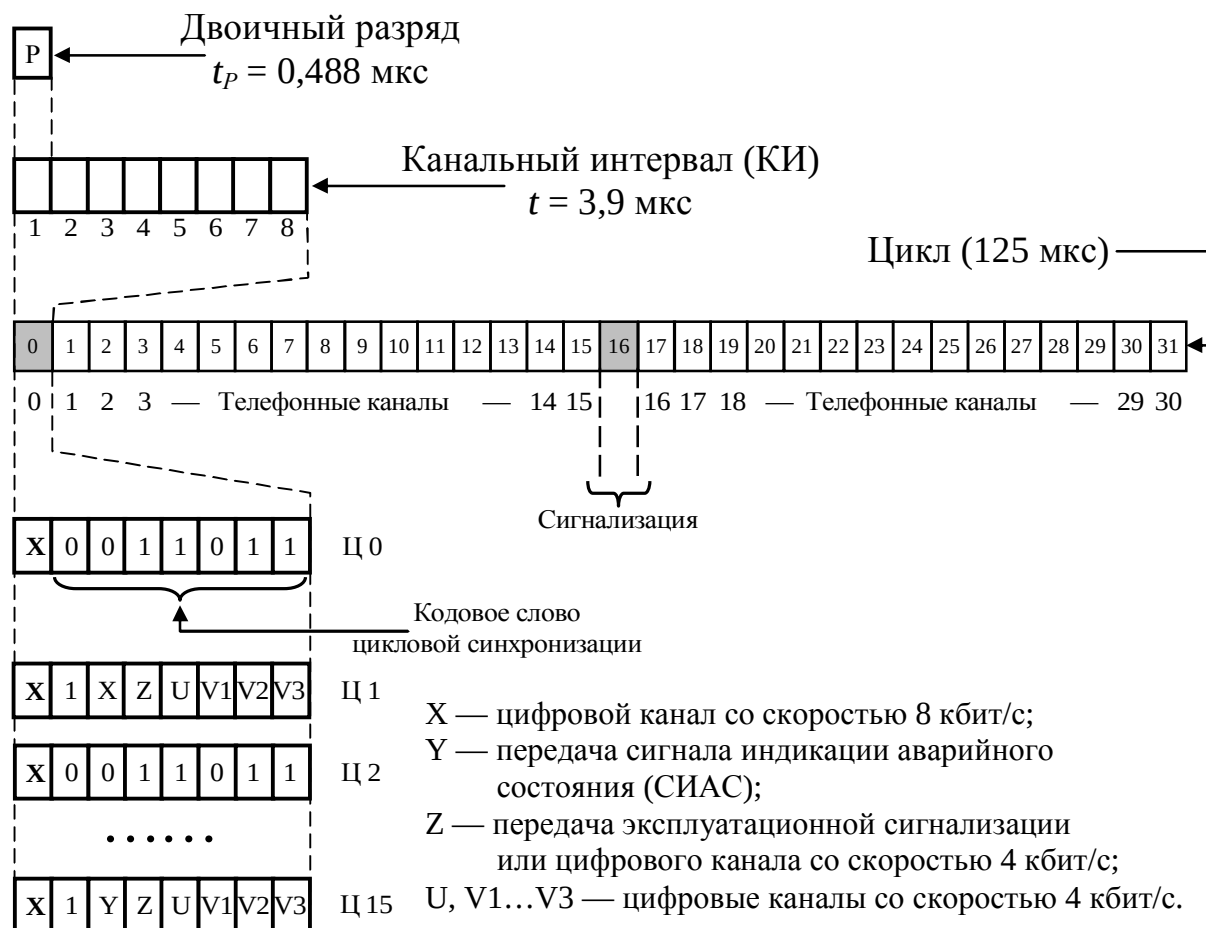


Рис. 1.1 — Структура организации цикла ИКМ-30

Канальный интервал КИ16 предназначен для передачи сигналов управления и взаимодействия (СУВ) и сигналов сверхцикловой синхронизации.

В КИ16 нулевого цикла (Ц0) на позициях P1...P4 передается сигнал сверхцикловой синхронизации вида (0000) с частотой следования 0,5 кГц. В КИ16 остальных циклов (Ц1...Ц15) на позициях P1, P2, P5, P6 передаются сигналы управления и взаимодействия (два сигнала СУВ на один телефон-

ный канал). В КИ16 первого цикла (Ц1) организуются каналы СУВ первого (позиции Р1, Р2) и шестнадцатого (позиции Р5, Р6) телефонных каналов; в КИ16 второго цикла (Ц2) организуются каналы СУВ второго (позиции Р1, Р2) и семнадцатого (позиции Р5, Р6) телефонных каналов и т.д.

Критерием потери цикловой синхронизации является прием с ошибкой трех или четырех цикловых синхрокомбинаций подряд.

Среднее время обнаружения потери цикловой синхронизации не должно превышать 3 мс.

Частота следования циклов передачи равна частоте дискретизации

$$F_{\text{ц}} = f_{\text{д}} = 8 \text{ кГц} (T_{\text{ц}} = 125 \text{ мкс}).$$

Частота следования канальных интервалов определяется по формуле

$$F_{\text{к}} = F_{\text{ц}} \cdot N_{\text{к}} = 8 \cdot 32 = 256 \text{ кГц} (T_{\text{к}} = 3,9 \text{ мкс}),$$

где $N_{\text{к}} = 32$ — число канальных интервалов.

Частота следования разрядных интервалов $F_{\text{р}}$ равна тактовой частоте цифрового потока

$$F_{\text{р}} = f_{\text{т}} = F_{\text{ц}} \cdot N_{\text{к}} \cdot m = 8 \cdot 32 \cdot 8 = 2048 \text{ кГц} (T_{\text{р}} = 0,5 \text{ мкс}),$$

где $m = 8$ — разрядность используемого кода.

Каждые 16 циклов Ц0...Ц15 объединяются в сверхцикл. Частота следования сверхциклов

$$F_{\text{сц}} = F_{\text{ц}}/16 = 0,5 \text{ кГц}.$$

Использование канального интервала КИ0 позволяет создать цифровой канал внешнего использования со скоростью 8 кбит/с. При этом разряды Р2...Р8 каждого цикла четного номера содержат кодовое слово цикловой синхронизации 0011011, а в циклах нечетного номера: Р2=1, Р3 — разряд сигнала индикации аварийного состояния (СИАС), 0 — рабочее состояние, 1 — аварийное состояние; Р4 — передача эксплуатационной сигнализации, либо организации цифрового канала со скоростью 4 кбит/с; Р5...Р8 — цифровые каналы со скоростью 4 кбит/с (см. рис. 1.1).

1.3. Описание лабораторной установки

1.3.1. Состав установки

Лабораторная установка состоит из двух комплектов оборудования СМВ-30 (ИКМ-30), размещенных в одной стойке. По терминологии производителя комплект оборудования СМВ-30 называется субпанелью.

Упрощенная структурная схема лабораторной установки изображена на рис. 1.2. Система ИКМ-30 подключена к порту радиорелейной линии *MINI-LINK E*. Допускается непосредственное соединение комплектов оборудования ИКМ-30 соединительным кабелем. В качестве источника сигналов используется генератор типа ГЗ-102. Контрольное оборудование — милливольтметр ВЗ-41 и электронный осциллограф *Tektronix TDS1001B*. Внешний вид комплекта оборудования СМВ-30 показан на рис. 1.2.

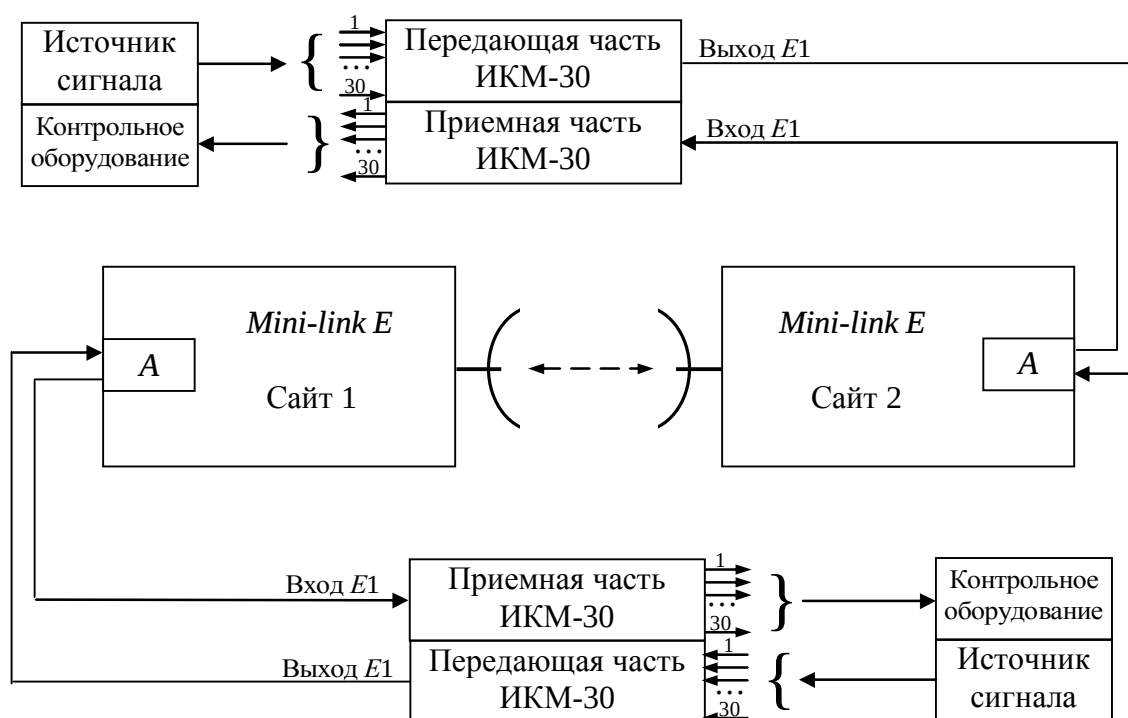
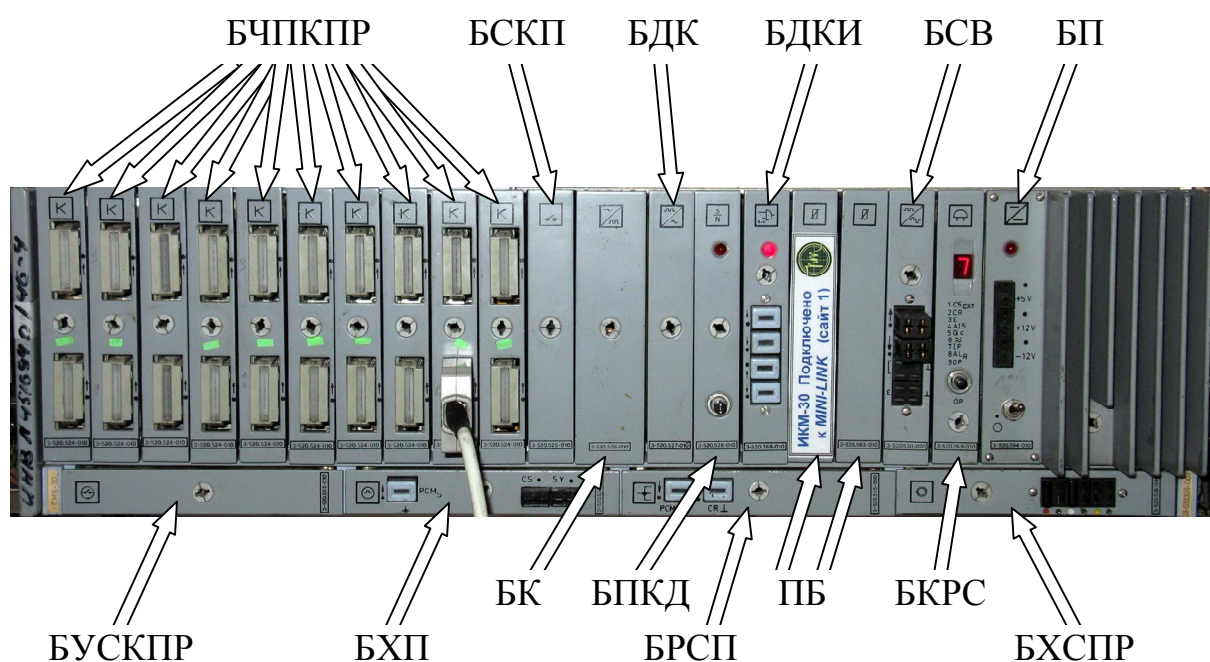


Рис. 1.2 — Структурная схема лабораторной установки



БЧПКПР — блок четырехпроводного канала передачи разговора; БСКП — блок стробирования каналов передачи; БДК — блок декодера; БДКИ — блок доступа к каналному интервалу; БСВ — блок согласования выхода; БП — блок питания; БУСКПР — блок управления стробированием каналов приема; БХП — блок хронирования передачи; БК — блок кодера; БПКД — блок проверки КОДЕК; БРСП — блок распределения сигналов приема; ПБ — пустой блок; БКРС — блок контроля рабочего состояния; БХСПР — блок хронирования и синхронизации приема.

Рис. 1.3 — Внешний вид комплекта оборудования СМВ-30

В состав оборудования входят функциональные блоки. Аппаратура уплотнения имеет блочную конструкцию. В каждом из блоков размещен один или несколько функциональных узлов.

1.3.2. Структурная схема цифровой системы передачи ИКМ-30

Структурная схема аппаратуры СМВ-30 показана на рис. 1.4. В состав субпанели СМВ-30 входит индивидуальное оборудование каналов, групповое и генераторное оборудование. Поскольку узлы индивидуального оборудования однотипны, то на схеме показана структура только для двух каналов (первого и тридцатого).

На рис. 1.4 изображена структура оборудования с четырехпроводным подключением разговорного тракта, который реализован на основе **блока четырехпроводного канала передачи разговора (БЧПКПР)**. Указанный блок включает в себя цепи приема и передачи, необходимые для присоединения трех телефонных каналов в четырехпроводном режиме.

Цепи приема и передачи обеспечивают согласование уровня и сопротивления в обоих направлениях передачи.

В направлении передачи телефонный сигнал поступает через согласующий трансформатор на ФНЧ пятого порядка с частотой среза 3,4 кГц, и далее после необходимого усиления на вход **блока стробирования каналов передачи (БСКП)**, который предназначен для дискретизации непрерывных сигналов (30-ти телефонных каналов), т.е. формирование сигналов с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) — *Pulse Amplitude Modulation (PAM_S)*. Последовательность АИМ сигналов для всех 30-ти каналов с выхода блока поступает на входной усилитель блока кодера. Дискретизация непрерывных сообщений в БСКП производится двумя каскадами: быстрым коммутатором (БК) и медленным коммутатором (МК). Управление процессом дискретизации осуществляется сигналами дешифратора (ДШ).

Блок кодера (БК) предназначен для преобразования канальных АИМ сигналов в восьмиразрядные ИКМ кодовые слова. Эта операция производится с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В состав БК входит цифровой компандер, обеспечивающий формирование на выходе БК восьмиразрядного кода, соответствующего преобразованию исходного двенадцатиразрядного кода по А-закону [2].

Амплитудная характеристика кодера состоит из 16-и сегментов (по восемь в каждой половине биполярной характеристики). Четыре средних сегмента (два в положительной и два в отрицательной части характеристики) имеют одинаковый наклон, поэтому их принято считать единым сегментом, а саму характеристику называть 13-и сегментной.

Число шагов квантования в каждом сегменте равно 16, при этом шаг квантования увеличивается в каждом последующем сегменте, начиная с третьего, в два раза [3].



Рис. 1.4 — Упрощенная структурная схема субпанели СМВ-30

С выхода БК двоичный последовательный код поступает на **блок хронирования передачи (БХП)**, который служит для создания синхронизирующих сигналов передачи из внутреннего (8,192 МГц) или внешнего (2048 кГц) тактового сигнала, а также для создания последовательного двоичного ТТЛ потока сигналов ИКМ со скоростью 2,048 Мбит/с. БХП обеспечивает формирование сигналов управления для стробирования каналов передачи, которые поступают на БСКП с выходов счетчика каналов (СК), и формирование кода цикловой синхронизации (ЦС) в канальном интервале КИ0. На выходной сумматор БХП также поступают данные от дополнительных цифровых каналов (ЦК) со скоростью 64 кбит/с.

Предварительное преобразование кода выполняется в **блоке доступа к канальному интервалу (БДКИ)**, который обеспечивает согласование сигналов интерфейса со скоростью 64 кбит/с с сигналами уровня ТТЛ, применяемыми в общих цепях устройства. Подсоединение цифровых интерфейсов со скоростью 4 и 8 кбит/с также производится с помощью БДКИ.

С выхода БХП двоичный ИКМ код подается на **блок согласования выхода (БСВ)**, предназначенный для создания последовательности сигналов с трехуровневым кодом *HDB-3* из последовательного двоичного потока сигналов со скоростью 2,048 Мбит/с как в направлении передачи, так и в направлении приема (*HDB-3* — двоичное преобразование).

В направлении приема БСВ производит также выделение кода ЦС, который совместно с восстановленным двоичным ИКМ кодом подается на **блок распределения сигналов приема (БРСП)**.

Блок БРСП служит для выполнения последовательно-параллельного преобразования двоичной последовательности сигналов ИКМ, распределения кодов разговорного сигнала и содержимого канальных интервалов КИ0 и КИ16. Таким образом, с выходов БРСП информация распределяется на **блок декодера (БДК)**, **блок хронирования и синхронизации приема (БХСПР)** и на вход блока БДКИ (для выдачи потока данных на внешнее устройство со скоростью 64 кбит/с).

Блок декодера (БДК) преобразует принятые восьмиразрядные кодовые слова в АИМ сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). При этом БДК выполняет операцию экспандирования восстанавливаемого сигнала в соответствии с используемым преобразованием (А-закон). На выходе БДК формируется АИМ сигнал 30-ти канальной группы РАМ_R, который подается на входы всех 30-ти ключевых каскадов схемы восстановления БЧПКПР. Далее выделенные канальные составляющие после усиления поступают на ФНЧ пятого порядка с частотой среза 3,4 кГц. На выход блока сигналы подаются через согласующий трансформатор.

Блок хронирования и синхронизации приема (БХСПР) предназначен для создания хронизирующих сигналов приема из восстановленного тактового сигнала 2048 кГц, для обеспечения цикловой синхронизации приемной части с помощью **блока управления стробированием каналов приема (БУСКПР)**. БУСКПР предназначен для управления цепями стробирования каналов приема, находящимися в БЧПКПР. Синхронизация производится

приемником циклового сигнала (ПРЦС) по каналному интервалу КИ0. В состав БУСКПР входит дешифратор (ДЦ) каналов, который формирует сигналы разрешения для ключевых схем направления приема БЧПКПР.

В состав субпанели СМВ-30 входит **блок проверки КОДЕК (БПКД)**, который проверяет работоспособность БК и БДК в режиме местного шлейфа с помощью кодовой последовательности, переданной в каналном интервале КИ0. На рис. 1.4 БПКД не показан.

Блок контроля рабочего состояния (БКРС) служит для определения неисправностей, обнаруженных устройством, и выдачи сигналов аварийной сигнализации. В нормальном рабочем режиме индикатор БКРС должен быть погашен. Для проверки работы оборудования предназначена нефиксируемая кнопка на передней панели блока, при нажатии на которую передается сигнал вызова на парную субпанель СМВ-30. В этом случае на индикаторе парной панели должен загориться код «9». На рис. 1.4 БКРС не показан.

Блок питания (БП) предназначен для создания внутренних напряжений питания +5 В и ± 12 В из основного напряжения питания в диапазоне от -43 до -72 В.

Пустой блок (ПБ) резервирует место для установки требуемых при использовании системы дополнительных блоков. Например, дополнительных блоков БДКИ для подключения интерфейсов 4, 8 или 64 кбит/с [4].

Расположение блоков в субпанели СМВ-30 показано на рис. 1.3.

Для подачи и снятия сигналов на передней панели БЧПКПР предусмотрены разъемы. В верхней части блока размещается разъем для подключения входных сигналов, а в нижней части блока — разъем, на который выводятся каналные сигналы. Схема расположения разъемов показана на рис. 1.5.



Рис. 1.5 — Схема расположения разъемов на передней панели БЧПКПР

Один блок БЧПКПР обслуживает три четырехпроводных системы передачи, обеспечивая работу трех телефонных каналов.

1.4. Порядок выполнения лабораторной работы

1.4.1. Исследование свойств телефонного канала

Практическая часть лабораторной работы выполняется на оборудовании ИКМ-30 производства фирмы *TERTA* (Венгрия). Выбор варианта исследования производится на основании табл. 1.1. Схема расположения разъемов для подключения измерительных приборов к оборудованию изображена на рис. 1.5.

Таблица 1.1 — Исходные данные для выполнения исследований

Последняя цифра зачетной книжки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Номер исследуемого канала	1	4	7	10	13	16	19	22	25	28
Частота тестового сигнала, Гц	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600	2000	2500

1) Выполнить подключение измерительного оборудования к заданному телефонному каналу. После включения оборудования определить максимальную амплитуду входного канального сигнала U_{max} , при которой отсутствуют заметные искажения сигнала на выходе системы. Исследование проводить на указанной в задании частоте тестового сигнала, контроль формы сигнала производить на выходе блока БЧПКПР с помощью электронного осциллографа.

2) Выполнить измерение амплитудной характеристики сквозного канала. Последовательно увеличивая амплитуду входного сигнала от 0 до U_{max} с равным шагом, выполнить измерение для 8...10 точек для линейного участка характеристики, и для 2...3 точек вне линейного участка амплитудной характеристики канала. Амплитуду входного сигнала контролировать с помощью милливольтметра, а амплитуду выходного сигнала контролировать с помощью показаний на экране осциллографа. При обработке результатов измерений учесть, что на экране осциллографа индицируется удвоенное значение максимальной амплитуды сигнала (U_p — U_p).

3) Исследовать частотную характеристику телефонного канала в диапазоне частот до 4 кГц и определить полосу пропускания канала по уровню 0,707 относительно максимального значения (не менее 10-и точек).

4) Определить величину затухания на крайних частотах полосы пропускания телефонного канала относительно затухания на частоте 800 Гц.

5) Определить вид спектра выходного сигнала при заданной частоте сигнала. Сохранить электронную копию изображения спектра на *USB* носитель для последующего включения этого изображения в отчет.

1.4.2. Исследование характеристик группового канала

- 1) С помощью преподавателя подключить осциллограф к выходу группового оборудования передающей части субпанели СМВ-30.
- 2) Зафиксировать вид временной диаграммы группового сигнала. Определить основные временные характеристики потока $E1$ (период следования импульсов, длительность импульсов).
- 3) Зафиксировать вид спектра группового сигнала. Оценить ширину спектра потока $E1$ по уровню -3 дБ и по уровню -10 дБ.

1.4.3. Исследовательское задание

Задание выполняется по варианту, который определяется последней цифрой зачетной книжки.

1 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему и опишите работу контрольного блока КОДЕК.

2 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему и опишите работу кодера и декодера $HDB-3$. Приведите в отчете примеры временных диаграмм кодового сигнала.

3 вариант. Определите по какому варианту (для двухпроводного или четырехпроводного подключения) выполнен разговорный тракт в оборудовании лабораторной установки. Изобразите в отчете структурную схему разговорного тракта при двухпроводном подключении, и письменно охарактеризуйте работу узла на уровне принципиальной схемы.

4 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему системы временной синхронизации на передающей стороне и опишите работу блока хронирования сигналов передачи.

5 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему системы временной синхронизации на передающей стороне и опишите работу блока хронирования сигналов приема.

6 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, опишите назначение блока контроля рабочего состояния. Изобразите в отчете структурную схему блока и объясните принцип кодирования ошибочных состояний.

7 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, опишите назначение основного кодера канальных сигналов. Изобразите в отчете структурную схему блока и постройте амплитудную характеристику кодера.

8 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему декодера канальных сигналов и опишите ее работу.

9 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему блока распределения каналов приема и опишите ее работу.

0 вариант. Используя техническую документацию на субпанель канального уплотнения СМВ-30, изобразите в отчете структурную схему блока доступа к канальному интервалу 64 кбит/с и опишите ее работу.

1.5. Содержание отчета по лабораторной работе

1) Сформулировать цель лабораторной работы, в которой указать подробно какие зависимости и параметры исследуются в лабораторной работе.

2) Изобразить структурную схему лабораторной установки с указанием назначения отдельных блоков.

3) Оформить таблицы результатов измерений амплитудных и амплитудно-частотных характеристик телефонного канала.

4) Оформить графики амплитудных и амплитудно-частотных характеристик телефонного канала.

5) Привести временные диаграммы группового сигнала. Определить основные временные характеристики потока $E1$ (период следования импульсов и длительность импульсов).

6) Привести спектр группового сигнала. Определить значение ширины спектра группового сигнала по уровню -3 дБ и по уровню -10 дБ.

7) Привести результаты выполнения исследовательского задания в соответствии с вариантом.

8) Сформулировать выводы по работе, в которых подробно проанализировать экспериментальные данные и обсудить полученные результаты.

1.6. Контрольные вопросы

1.6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

1) Охарактеризуйте порядок измерения амплитудной характеристики звукового тракта.

2) Охарактеризуйте порядок измерения амплитудно-частотной характеристики звукового тракта.

3) Объясните, каким образом реализуется дуплексный режим работы телефонного тракта в системах с временным разделением каналов при двухпроводном подключении.

4) Используя схему размещения блоков (см. рис. 1.3), объясните путь прохождения сигналов между блоками субпанели СМВ-30.

5) Объясните, каким образом выполняется передача непрерывных сигналов по системам связи с разделением каналов по времени.

6) Какую максимальную частоту могут иметь составляющие спектра группового сигнала системы с ИКМ?

7) Какие характеристики системы с ИКМ необходимо определить при выполнении лабораторной работы?

1.6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы

- 1) Объясните принцип организации цикловой синхронизации в системе с ИКМ.
- 2) Охарактеризуйте принципы организации групп каналов более высоких порядков чем ИКМ-30.
- 3) Изобразите структуру цикла группового сигнала в системе ИКМ-30 с указанием всех временных характеристик.
- 4) Объясните, каким образом и с какой целью реализовано сжатие динамического диапазона сигнала в системе с ИКМ.
- 5) Сформулируйте назначение компандирования сигнала и приведите характеристику компрессии типа А.
- 6) Объясните ход прохождения сигнала в передающей части субпанели СМВ-30, используя ее структурную схему.
- 7) Объясните ход прохождения сигнала в приемной части субпанели СМВ-30, используя ее структурную схему.
- 8) Поясните назначение и принцип функционирования БСВ.
- 9) Приведите сравнительную характеристику элементов выбора канала в передающей и приемной частях субпанели СМВ-30.
- 10) Объясните принцип работы БСКП.
- 11) Определите уровень подавления побочных составляющих в спектре АИМ сигнала при использовании для фильтрации ФНЧ пятого порядка с частотой среза 3,4 кГц.
- 12) Охарактеризуйте назначение дифференциальной системы и приведите варианты ее практической реализации.
- 13) Каковы причины появления эхо сигналов в телефонных каналах. Опишите варианты эхо сигналов. Какие методы используются для их уменьшения?
- 14) В каких блоках субпанели СМВ-30, и с какой целью реализована гальваническая развязка?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ СИСТЕМЫ *Ericsson MINI-LINK E*

2.1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является ознакомление студентов с принципами построения и работы радиорелейных систем путем экспериментального исследования радиорелейного оборудования *Ericsson MINI-LINK E*.

2.2. Теоретическая часть

2.2.1. Общие особенности реализации среднескоростных радиорелейных станций

Цифровые радиорелейные линии применяются в качестве региональных и местных систем передачи данных, а также для связи между базовыми станциями сотовой сети.

Архитектура цифровой радиорелейной станции (PPC) делится на две функциональных части: выносное оборудование, к которому относятся антенное устройство с элементами крепления, кабели, приемопередающие устройства и внутреннее оборудование (модули доступа, мультиплексоры, источники питания). Приемопередающее устройство (ППУ) соединяется с внутренним оборудованием гибким волноводом — симметричным или коаксиальным кабелем, по которому поступают информационные потоки и электропитание. Конструктивное исполнение приемопередатчиков с синтезаторами частоты обеспечивает возможность перестройки частоты в пределах заданного поддиапазона. Зарубежные изготовители применяют функцию автоматической регулировки мощности выходного сигнала в зависимости от уровня принимаемого сигнала на удаленном конце, что обеспечивает экономию энергоресурсов и отвечает требованиям электромагнитной совместимости. «Горячий резерв» обеспечивается с помощью двух приемопередатчиков, работающих на одну антенну, с возможностью переключения ствола в случае аварийной ситуации. Внутреннее оборудование, применительно к схеме организации связи, может комплектоваться либо собственно модулем доступа для передачи группового сигнала в ППУ, с функциями резервирования, служебной связи, дополнительных сервисных каналов управления внешними устройствами и служебной связью, либо может интегрироваться с блоками дополнительных каналов, мультиплексорами для увеличения информационной емкости радиоканала до 34 Мбит/с (поток *E3*). В этом случае мультиплексоры обычно обеспечивают дополнительный канал со скоростью передачи данных 2,048 Мбит/с.

Для контроля функционирования станций и линий, сбора и передачи сигналов аварии, организации шлейфов, управления станцией и отображения ее состояния применяется система телеуправления и телесигнализации.

Управление параметрами PPC и конфигурирование сети обычно производят программными средствами, локально по интерфейсу RS-232 или с по-

мощью удаленного доступа, например, по протоколу *Simple Network Management Protocol (SNMP)* с любого терминала сети [5].

2.2.2. Назначение и особенности микроволновых систем *MINI-LINK*

Радиорелейные системы *Ericsson* средней пропускной способности для связи «точка-точка» *MINI-LINK E* пригодны для организации работы сетей любого типа. *MINI-LINK E* может иметь конфигурацию, удовлетворяющую требованиям по дальности и скорости передачи данных. Эта аппаратура работает в частотном диапазоне от 7 до 38 ГГц и обеспечивает скорость передачи данных от 2 до (34+2) Мбит/с. Терминалы *MINI-LINK E* могут использоваться в сетях любой конфигурации — в виде звезды, дерева, или кольца как показано на рис. 2.1.

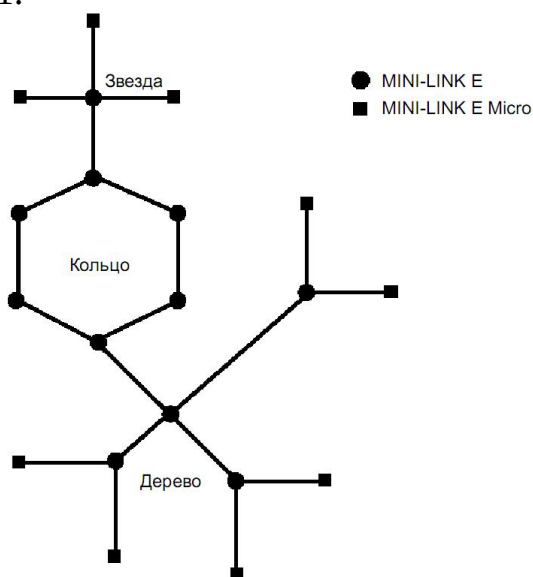


Рис. 2.1 — Пример топологии сети

На рис. 2.2 изображена структурная схема мобильной сети, в которой аппаратура *MINI-LINK* осуществляет связь базовых станций с центром коммутации мобильной связи (*Mobile services Switching Center, MSC*). При этом базовые станции работают под управлением контроллера базовой станции (*Base Station Controller, BSC*).

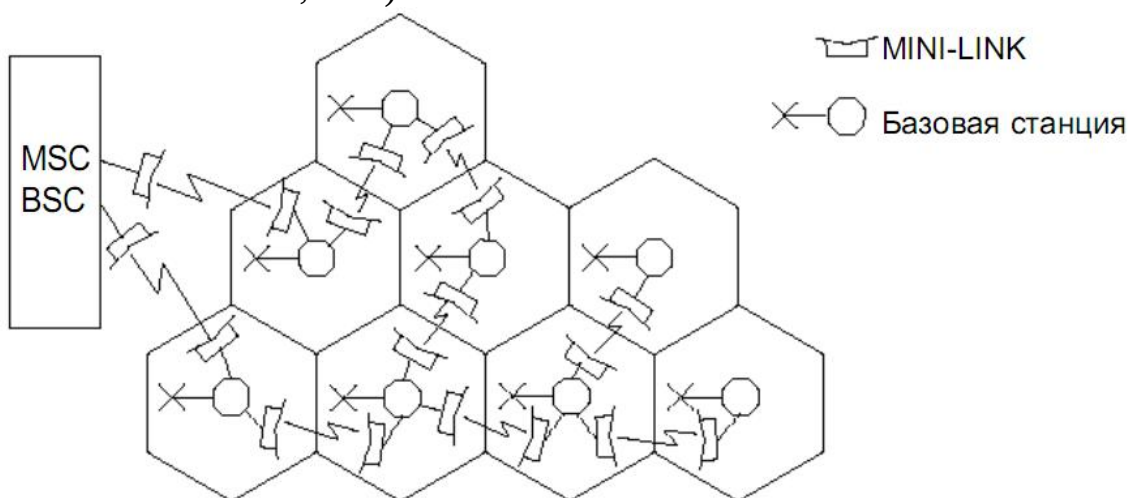


Рис. 2.2 — Структурная схема мобильной сети, в которой аппаратура *MINI-LINK* обеспечивает связь базовых станций с центром коммутации

Для повышения надежности могут быть использованы системы с резервированием типа (1+1) или сети с кольцевой структурой. Системы *MINI-LINK E* подразделяется на два вида: автономная, полностью наружная аппаратура *MINI-LINK E Micro*, имеющая минимальную стоимость и сплит-система *MINI-LINK E*, позволяющая выполнить компоновку многотерминальных сайтов.

Полностью наружная аппаратура *MINI-LINK E Micro* содержит все компоненты передачи, что устраняет необходимость использования части оборудования РРС внутри помещения. Это особенно важно, когда необходимо обеспечить быстрый ввод системы в строй и минимальную стоимость сайта.

Сайтом называется пункт РРС, оборудованный одним или несколькими терминалами.

Радиорелейное оборудование *Ericsson MINI-LINK* является широко распространённым среди операторов связи. В настоящее время используется три линейки оборудования [6, 7]:

- *MINI-LINK E*;
- *MINI-LINK Traffic Node* (скорость до 32×2 Мбит/с, модуляция C-QPSK, 16QAM);
- *MINI-LINK High Capacity* (скорость до 155 Мбит/с, модуляция 16QAM, 128QAM).

Для настройки и управления оборудованием используется система управления сетью (*MINI-LINK Service Manager, MSM*), которая состоит из комплекса специализированных программ. Для централизованного управления и эксплуатации всего оборудования используется система *MINI-LINK Netman*. Она может использоваться, как изолированная система, или быть интегрирована в Систему Управления Сетью (*Network Management System, NMS*) более высокого порядка с помощью стандартного *SNMP* интерфейса [5].

Программное управление конфигурацией сайта и взаимными связями позволяет минимизировать количество кабельных соединений, обеспечить высокую надежность и сократить время установки РРС. Кроме того, программное управление скоростью трафика облегчает возможность расширения сети без замены аппаратуры.

2.2.3. Характеристика оборудования *MINI-LINK E*

Несколько терминалов *MINI-LINK E* могут быть интегрированы в один общий модуль доступа. Это позволяет создавать компактные сайты сети, а также эффективно распределять между разными терминалами такие ресурсы, как мультиплексоры, интерфейсы служебных каналов и системы поддержки.

Возможно создание конфигураций сайта, поддерживающих до четырех радиомодулей, как показано на рис. 2.3.

Маршрутизация трафика и его переадресация в пределах сайта могут выполняться при минимальном количестве внешних кабелей. Маршрут трафика задается с помощью программного обеспечения (ПО) и конфигурируется в процессе установки станции.

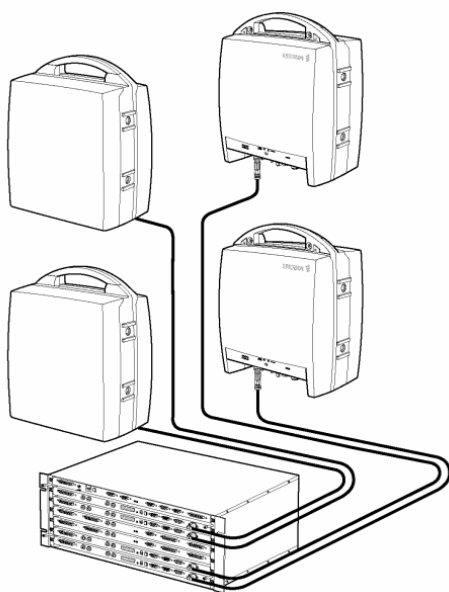


Рис. 2.3 — Состав оборудования многотерминального сайта

Unit, RAU) и соответствующего установочного оборудования. Антенна и радиоблок могут устанавливаться совместно или раздельно. Для резервируемых систем (1+1) используются два радиоблока и одна или две антенны.

Внутренняя часть РРС это часть, устанавливаемая внутри помещения (модуль доступа), полностью независимая от частотного диапазона. Внутренняя часть поставляется для разных скоростей трафика и конфигурации системы. Модуль доступа может обслужить до четырех радиомодулей, как показано на рис. 2.4.

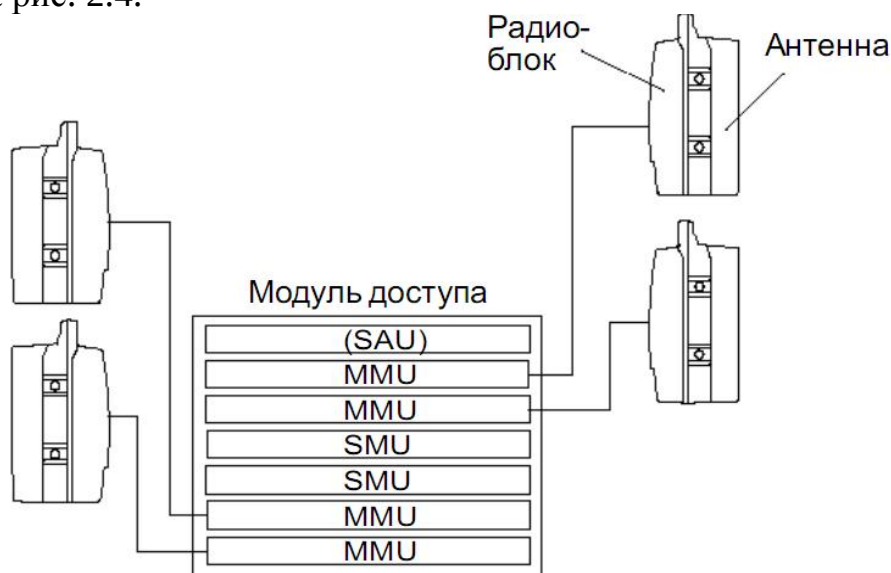


Рис. 2.4 — Конфигурация многотерминального сайта

Внутренняя часть оборудования содержит блок модема (*Modem Unit, MMU*) и устанавливаемые при необходимости блоки:

- блок ключей-мультиплексоров (*Switch Multiplexer Unit, SMU*);
- блок служебных каналов (*Service Access Unit, SAU*).

Терминал может быть сконфигурирован как нерезервируемый (1+0) или резервируемый (1+1). Резервирование может быть также обеспечено сетью кольцевого типа. Каждый терминал обеспечивает скорость трафика до (34+2) Мбит/с. Терминал *MINI-LINK E* состоит из наружной и внутренней частей. Кроме того, имеется целый ряд адаптированных к ним принадлежностей, оборудования и программного обеспечения.

Наружная часть РРС полностью независима от скорости трафика и поставляется для различных частотных диапазонов. Наружная часть состоит из антенного модуля, радиоблока (*Radio*

Все блоки размещаются в одном общем магазине модуля доступа (*Access Module Magazine, АММ*). Для систем с резервированием используются два блока *MMU* и один блок *SMU*.

Наружная и внутренняя части терминала соединяются одним коаксиальным кабелем.

Для систем с кольцевым резервированием может быть использован дополнительный блок мультиплексирования и кросс-коммутации (*Multiplexing and Cross Connect Unit, MXU*).

Блоки *MXU* поддерживают резервирующие переключения в сетях кольцевой конфигурации, уплотнение данных на уровне скоростей передачи 64 кбит/с.

Внутренние части оборудования монтируются в 19" стойках, объединенных в «кабинеты», или устанавливаются непосредственно на стене или столе. Модуль доступа состоит из магазина модуля доступа *АММ* и набора съемных блоков.

Для различных применений выпускаются следующие стандартные типы модулей *АММ*:

- *АММ 1U* для конечных терминалов;
- *АММ 2U* для сайтов с одним или двумя терминалами (вмещает до четырех съемных блоков);
- *АММ 4U* для более сложных многотерминальных сайтов (вмещает до семи съемных блоков).

Находящаяся внутри помещения часть может быть модернизирована или реорганизована с помощью съемных блоков, что обеспечивает гибкость конфигурирования сайта. Связь наружной части (радиоблока и антенны) с находящейся внутри помещения частью терминала, осуществляется **единственным** коаксиальным кабелем, по которому передаются полный дуплексный трафик, трафик поддержки, оперативные и эксплуатационные данные, а также подводится постоянное напряжение питания.

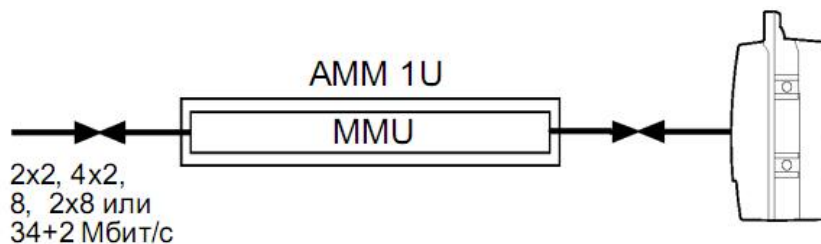
Рассмотрим пример конфигурации терминала типа (1+0). Конфигурация терминала изображена на рис. 2.5, а и содержит как минимум:

- радиоблок *RAU*;
- антенну;
- магазин модуля доступа *АММ 1U*;
- блок модема *MMU*;
- соединяющий коаксиальный кабель.

Для трафика со скоростью 8×2 , 17×2 и $(4 \times 8 + 2)$ Мбит/с требуется также блок ключей-мультиплексоров *SMU*. Пример конфигурации сайта показан на рис. 2.5, б.

В магазин модуля доступа может быть также добавлен блок служебных каналов *SAU*, который обеспечивает дополнительные интерфейсы для управления и аварийной сигнализации, передачу служебных каналов и других специфических потребностей клиента. Более подробно особенности использования *SAU* охарактеризованы в [6].

а)



б)

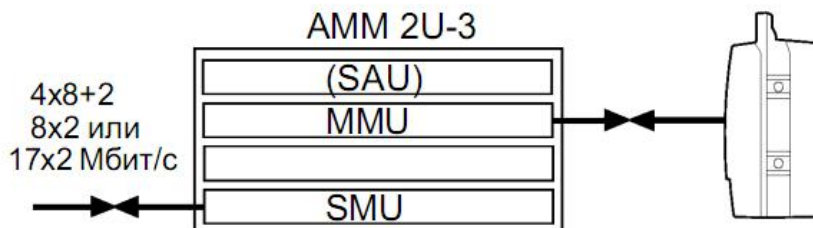


Рис. 2.5 — Конфигурация сайта типа (1+0):

а) вариант для трафика со скоростью менее 8×2 Мбит/с;б) вариант для трафика со скоростями 8×2 , $4 \times 8 + 2$ и 17×2 Мбит/с

Чтобы сделать возможной передачу трафика *Ethernet*, в модуль доступа *АММ* добавляется блок интерфейса *Ethernet* (*Ethernet Interface Unit, ETU*). Основной функцией блока *ETU* является преобразование трафика *Ethernet* в поток данных (*Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH*) с выбранной пропускной способностью трафика и наоборот.

Блок *ETU* — внутренний сменный блок, который устанавливается в слот модуля доступа *АММ*. Для подключения к локальной сети он имеет один *Ethernet* интерфейс *10BASE-T* или *100BASE-TX*.

Для связи с модемом *ММУ* или блоком *SMU* возможно использовать три варианта интерфейса *G.703* — 2, 8 и 34 Мбит/с (*E1*, *E2* и *E3*). Важно, что *Ethernet* трафик от блока *ETU* может сочетаться с другими типами трафика, например с трафиком телефонной сети, канал которого подключается непосредственно к блоку *ММУ*. При пропускной способности РРС (34+2) Мбит/с, трафик 34 Мбит/с может использоваться, например, для передачи данных *Ethernet*, а трафик 2 Мбит/с — для речевой связи.

2.2.4. Особенности структурной и аппаратной реализации радиоблока *MINI-LINK E*

В составе линий *MINI-LINK E* используются два типа радиоблоков — *RAU1* и *RAU2*. Они имеют одинаковое функциональное назначение, но различаются по конструкции и микроволновой технологии. Блок *RAU2* имеет более высокую степень интеграции микроволновых цепей.

Радиоблоки обеспечивают работу сайта с любой пропускной способностью трафика в пределах ограничений оборудования *MINI-LINK*. Рабочая частота определяется радиоблоком и устанавливается с помощью управляющего ПО. Радиоблок подключается непосредственно к волноводному порту антенного блока, и имеют защищенный от атмосферных воздействий корпус

серого цвета с ручкой для переноски и подъема. Радиоблок имеет два крюка и захваты, что облегчает процедуры монтажа или съема блока при его совместном монтаже с антенной.

Существуют радиоблоки для работы в различных частотных диапазонах, рекомендуемых *Radiocommunication Sector of the International Telecommunication Union (ITU-R)* и *European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*. Более подробная информация о частотных вариантах радиоблоков приведена в [6].

Рассмотрим особенности реализации радиоблока *RAU1* (15-*E*, 18-*E*, 23-*E*, 26-*E* и 38-*E*). Внешний вид блока *RAU1* показан на рис. 2.6. Радиоблок состоит из корпуса, рамы, субблока радиоинтерфейса и микроволнового субблока.

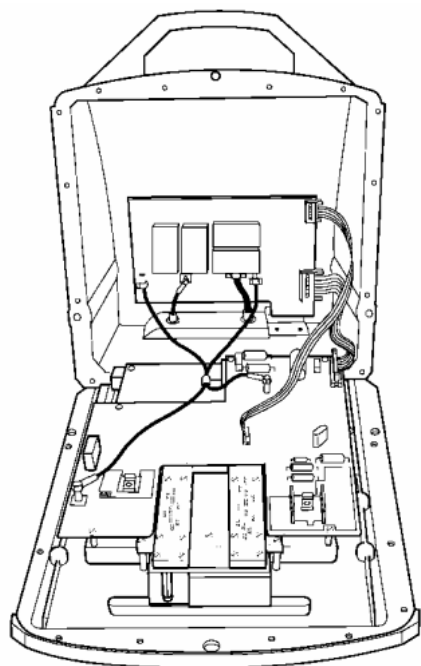


Рис. 2.6 — Внешний вид радиоблока *RAU1* с открытым корпусом

Радионтерфейс субблока представляет собой схемную сборку, содержащую интерфейсы внешних сигналов к блокам, которые размещаются внутри помещения. Конструктивно интерфейс представляет собой 50-омный разъем *N*-типа. Разъем для измерения уровня входного ВЧ сигнала и светодиоды индикации также размещены на наружной панели радиоблока.

Микроволновый субблок состоит из микрополосковой платы, защищенной алюминиевой крышкой, которая обеспечивает экранирование отсека с высокочастотными цепями.

Плата управления устанавливается на нижней поверхности микрополосковой платы. Микроволновой субблок снабжен волноводным выходом для подключения к антенне. Преобразователь напряжения питания *DC/DC* установлен непосредственно на вертикальной раме и соединен с микроволновым субблоком плоским кабелем.

Вертикальная рама имеет также волноводный фланец для присоединения к антенне. В нижней части корпуса расположен разъем радиокабеля, который служит интерфейсом для установленного внутри помещения блока модема *MMU* и разъем для измерения напряжения, пропорционального уровню входного ВЧ сигнала (предназначено для юстировки антенны). Разъем для радиокабеля оснащен газоразрядными элементами для защиты от молнии. Структурная схема радиоблока *RAU1* (вариант 15-*E*, 18-*E*, 23-*E*, 26-*E* и 38-*E*) изображена на рис. 2.7. В ее состав входят субблок радиоинтерфейса и микроволновый субблок.

- а) Субблок радиоинтерфейса выполняет следующие функции:
- интерфейс кабеля;
 - управление и контроль;

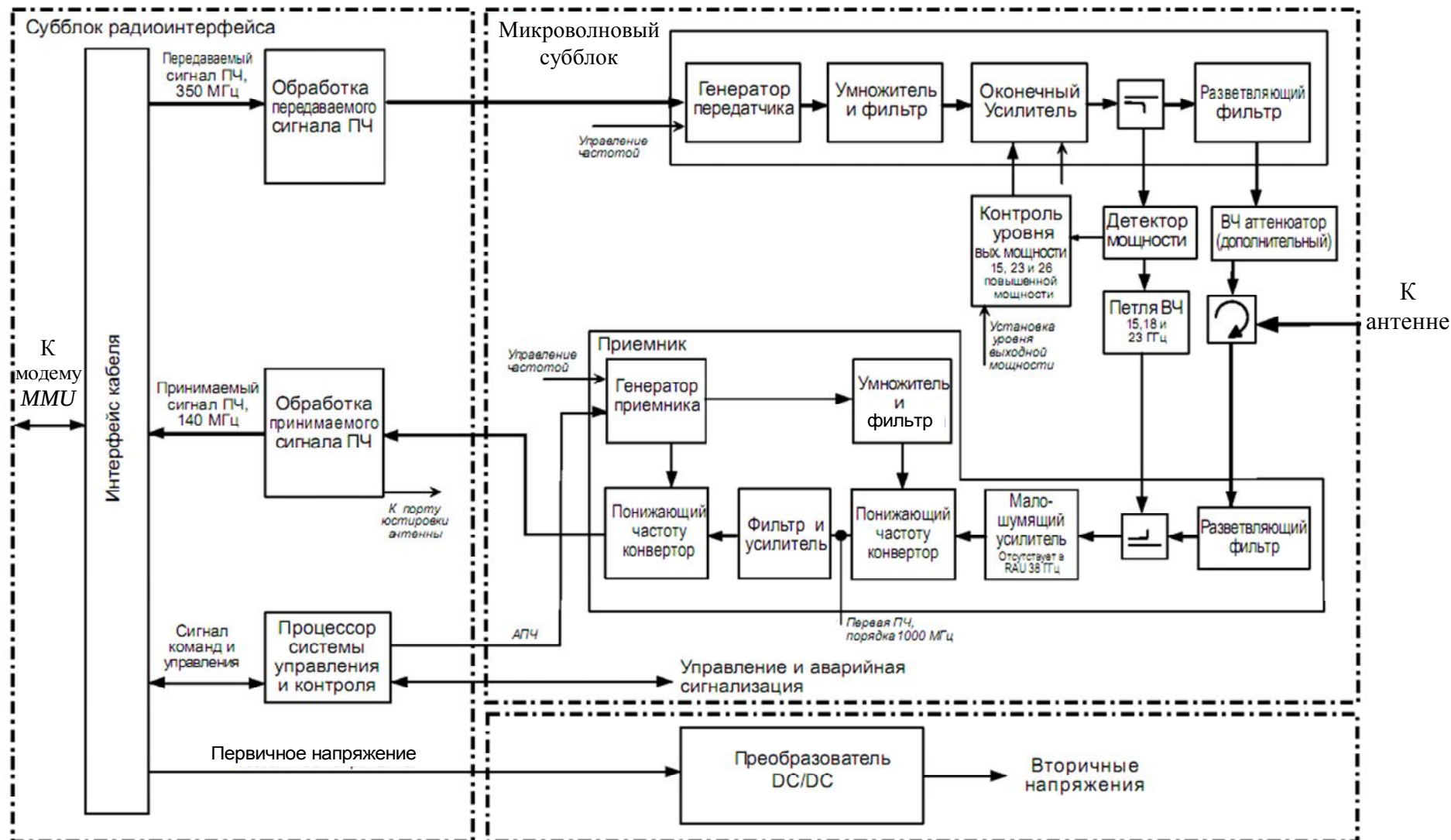


Рис. 2.7 — Структурная схема радиоблока RAU1 (вариант 15-E, 18-E, 23-E, 26-E и 38-E)

- обработка передаваемого сигнала промежуточной частоты (ПЧ);
- обработка принимаемого сигнала ПЧ.

Интерфейс кабеля. Набор сигналов, поступающих от расположенного внутри помещения оборудования, а именно, передаваемый сигнал ПЧ, сигналы команд и управления, а также постоянное напряжение разделяются интерфейсом кабеля и передаются далее для последующей обработки. Передаваемый сигнал ПЧ является модулированным сигналом с центральной частотой 350 МГц.

Передаваемый вверх сигнал команд и управления представляет собой амплитудно-модулированный сигнал с несущей частотой 6,5 МГц. По высокочастотному кабелю на радиоблок подается напряжение источника питания (в диапазоне 45...60 В). К модему *MMU* подводится постоянное напряжение номиналом 24...60 В.

Аналогично, интерфейсом кабеля объединяются сигналы, передаваемые вниз: принятый сигнал на промежуточной частоте (ПЧ), а также сигналы команд и управления. Промежуточная частота принятого сигнала равна 140 МГц.

Передаваемый вниз сигнал команд и управления представляет собой амплитудно-модулированный сигнал с несущей частотой 4,5 МГц.

Кроме того, интерфейс кабеля содержит цепи защиты от перенапряжений. Процессор системы управления и контроля входит в состав субблока радиоинтерфейса радиоблока. Основные функции процессора описаны ниже.

Сбор сигналов о неисправностях (сигналы о неисправностях и сигналы статуса радиоблока пересылаются во внутренний процессор *MMU*). Сводные сигналы статуса визуализируются светодиодами, расположенными в радиоблоке.

Выполнение команд управления (команд, поступающих от внутреннего оборудования). Это команды включения и выключения передатчика, установки частоты канала и уровня выходной мощности, а также команды на включения и выключения петли высокочастотного (ВЧ) сигнала.

Управление радиоблоком (внутренними процессами в радиоблоке и петлями в режиме тестирования оборудования).

Обработка передаваемого сигнала ПЧ. Передаваемый сигнал ПЧ усиливается, ограничивается и демодулируется. Демодулированный сигнал усиливается и, пройдя через буферный усилитель, подается на микроволновый субблок для модуляции несущей ВЧ сигнала.

Входной усилитель имеет систему автоматической регулировки усиления (АРУ), благодаря чему не требуется каким-либо образом компенсировать различия в длине кабеля между внутренним и наружным оборудованием.

При определенном уровне выходного сигнала система АРУ вырабатывает сигнал неисправности, указывающий, что уровень передаваемого сигнала ПЧ слишком низок из-за чрезмерных потерь в кабеле.

Обработка принимаемого сигнала ПЧ. Поступающий от микроволнового блока сигнал ПЧ с частотой 140 МГц усиливается и подается на интерфейс кабеля.

Этот сигнал частично отводится к калиброванному детектору, который обеспечивает измерение уровня входного сигнала приемника. Измеренная величина доступна для измерения в виде аналогового напряжения на выходе порта юстировки антенны (*Antenna Gain Control. AGC*) и цифровом виде в программе обслуживания системы, где производится ее вывод в дБм.

б) Микроволновый субблок

Преобразователь DC/DC обеспечивает стабильные напряжения для питания микроволнового субблока и блока радиointерфейса.

Генератор передатчика входит в состав блока передатчика. Частота передатчика поддерживается цепью фазовой автоподстройки частоты. При этом сигнал генератора управляемого напряжением (*Voltage-controlled oscillator, VCO*) частично отводится к делителю и далее поступает на программируемый фазовый детектор). Встроенная система контроля и управления регулирует подачу сигнала о неисправности по последовательной шине. При нарушении петли обратной связи VCO генерируется сигнал с учетом отклонения частоты передатчика.

Умножитель частоты и фильтрация. Сигнал VCO усиливается, его частота умножается, после чего сигнал фильтруется.

Оконечный усилитель. Выходная мощность передатчика задается установкой коэффициента усиления оконечного усилителя. Выходная мощность устанавливается с шагом 1 дБ с помощью ПО. Передатчик может быть включен или выключен соответствующим переключением режима работы оконечного усилителя.

Примечание: Вышеизложенное относится к блокам RAU1 15-E, 18-E, 23-E и 26-E повышенной мощности. Блоки RAU1 26-E и 38-E имеют механически регулируемый аттенюатор, расположенный вблизи согласующего фильтра.

Разветвляющий фильтр. В направлении передачи сигнал подается в антенну через разветвляющий фильтр и циркулятор. В направлении приема сигнал через циркулятор поступает на вход разветвляющего фильтра.

Измеритель мощности. При контроле уровня передаваемой мощности вырабатывается сигнал несоответствия уровня выходной мощности установленному значению.

Петля ВЧ сигнала (Только для RAU1 15-E, 18-E и 23-E). Передаваемый сигнал частично отводится и смешивается с сигналом генератора смещения частоты, после чего сигнал подается на приемник с целью контроля работы всех элементов тракта от входа передающей части до выходы приемной части.

Ослабление ВЧ сигнала. Наряду с описанным выше способом регулировки выходной мощности передатчика, уровень выходного ВЧ сигнала может быть уменьшен подключением к микроволновому блоку ВЧ аттенюатора с фиксированным ослаблением. Передаваемый ВЧ сигнал может иметь суммарное ослабление до 50 дБ для блока RAU1 23-E, 26-E и 38-E.

Блок приемника. Используемая в блоке RAU1 схема супергетеродинного приема с двойным преобразованием частоты и высокой первой ПЧ обеспечи-

вает высокую частотную избирательность по прямому и зеркальному каналам в широком диапазоне частот.

Принятый сигнал через входной согласующий фильтр поступает на малошумящий усилитель (за исключением блока модели *RAU1 38-E*) и преобразуется с понижением частоты в первую ПЧ, равную приблизительно 1 ГГц. После фильтрации полосовым фильтром и усиления частота сигнала еще раз понижается до второй ПЧ, равной 140 МГц.

Генератор приемника, умножитель и фильтр. Сигналы гетеродинов (*Local oscillator, LO*) для двух понижающих частоту преобразований генерируются так же, как и в случае передаваемого сигнала. Поступающий от модема *MMU* сигнал автоматического управления частотой (*Automatic Frequency Control, AFC*) передается генератору приемника через процессор системы управления и контроля.

Распределение частот приема и передачи для радиоблоков типа *RAU 23-E* и *RTU 23-E* приведен в табл. 2.1. Величина «дуплекс» в табл. 2.1 показывает величину частного разнеса между каналами приема и передачи.

Таблица 2.1 — Распределения частот для *RAU 23-E* и *RTU 23-E*

Под-диапазон	Дуплекс [МГц]	Нижняя/Верхняя несущие частоты Тх [МГц], устанавливаются с шагом 0.25 МГц			
		2* и 2x2 Мбит/с	8 Мбит/с**	2x8 Мбит/с**	34+2 Мбит/с**
12	1050	21952.00 / 22496.25	21953.75 / 22494.50	21957.25 / 22491.00	21964.25 / 22484.00
14	1050	23002.00 / 23546.25	23003.75 / 23544.50	23007.25 / 23541.00	23014.25 / 23534.00
21	1232	21225.75 / 21784.00	21227.50 / 21782.25	21231.00 / 21778.75	21238.00 / 21771.75
23	1232	22457.75 / 23016.00	22459.50 / 23014.25	22463.00 / 23010.75	22470.00 / 23003.75
22	1232	21785.75 / 22361.50	21787.50 / 22359.75	21791.00 / 22356.25	21798.00 / 22349.25
24	1232	23017.75 / 23593.50	23019.50 / 23591.75	23023.00 / 23588.25	23030.00 / 23581.25
45	1200	21220.00 / 21795.75	21221.75 / 21794.00	21225.25 / 21790.50	21232.25 / 21783.50
47	1200	22420.00 / 22995.75	22421.75 / 22994.00	22425.25 / 22990.50	22432.25 / 22983.50
46	1200	21798.00 / 22373.75	21799.75 / 22372.00	21803.25 / 22368.50	21810.25 / 22361.50
48	1200	22998.00 / 23573.75	22999.75 / 23572.00	23003.25 / 23568.50	23010.25 / 23561.50
56	1008	22004.50 / 22512.00	22006.25 / 22510.25	22009.75 / 22506.75	22016.75 / 22499.75
58	1008	23012.50 / 23520.00	23014.25 / 23518.25	23017.75 / 23514.75	23024.75 / 23507.75
57	1008	22081.50 / 22589.00	22083.25 / 22587.25	22086.75 / 22583.75	22093.75 / 22576.75
59	1008	23089.50 / 23597.00	23091.25 / 23595.25	23094.75 / 23591.75	23101.75 / 23584.75

* Скорость трафика 2 Мбит/с только для *RTU 23E*.

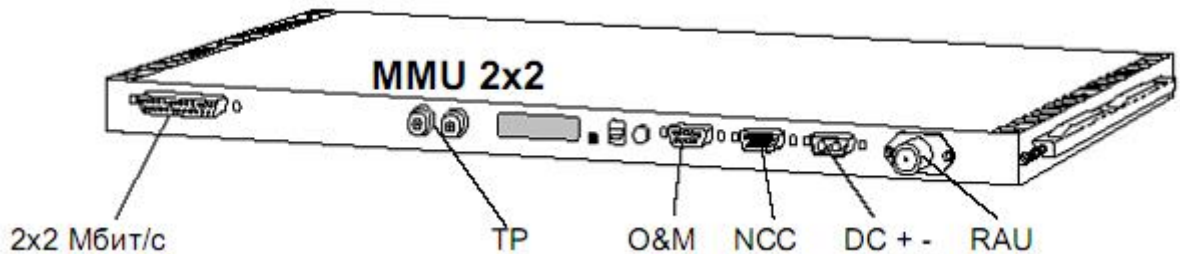
** Скорость трафика 8, 2x8, (34+2) Мбит/с только для *RAU2 23E*.

Ширина полосы частот для работы оборудования *MINI-LINK E* зависит от скорости передачи трафика:

- 3,5 МГц для 2x2 Мбит/с;
- 7 МГц для 4x2 или 8 Мбит/с;
- 14 МГц для 2x8 или 8x2 Мбит/с (13,75 МГц для диапазона 18 ГГц);
- 28 МГц для 17x2 или 34+2 Мбит/с (27,5 МГц для диапазона 18 ГГц).

2.2.5. Особенности структурной и аппаратной реализации блока модема *MINI-LINK E*

Блок модема *MMU* выполняет функции интерфейса к радиоблоку. Этот блок изготавливается в следующих вариантах: с фиксированными значениями пропускной способности (2×2, 4×2, 8, 2×8, 34+2 Мбит/с); с регулируемой пропускной способностью от 2 до 34+2 Мбит/с. Внешний вид блока модема *MMU* показан на рис. 2.8.



TP — разъем подключения тест-порт, *O&M* — разъем интерфейса *RS-232*, *NCC* — канал связи узла, *DC* — разъем подключения источника питания, *RAU* — высокочастотный разъем подключения кабеля к радиоблоку

Рис. 2.8 — Внешний вид блока модема *MMU*

Все виды модемов *MMU* полностью независимы от используемого частотного диапазона, т.е. могут работать совместно с радиоблоком любого частотного диапазона. Структурная схема блока модема *MMU* изображена на рис. 2.9.

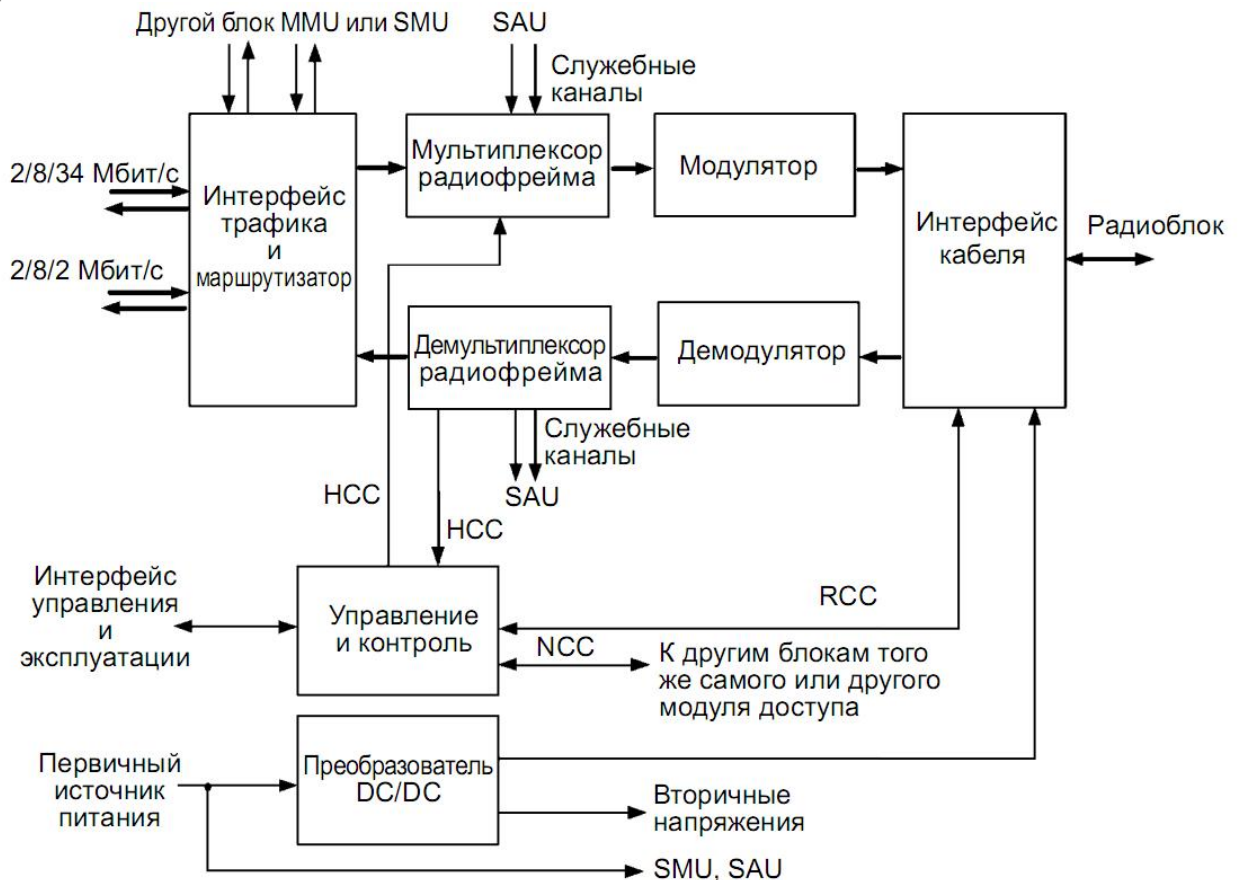


Рис. 2.9 — Структурная схема блока модема *MMU* для конфигураций 2×2, 2×8 и (34+2) Мбит/с

Охарактеризуем работу некоторых элементов блока модема *MMU*. Так мультиплексор радиофрейма обеспечивает объединение трех различных типов данных передаваемых по каналу радиосвязи: трафик данных, данные служебного канала и данные служебного канала пролета (*Hop Communication Channel, HCC*). Передающиеся данные трафика обеспечивают поддержание необходимой скорости передачи данных. Если на вход блока не поступают корректные данные, то включается подача сигнала *AIS*, передаваемого с номинальной скоростью и трафик данных через пролет заполняется единицами.

В системе предусмотрены два типа служебных каналов — аналоговые и цифровые, которые обрабатываются по-разному. Блок *SAU* получает тактовые и синхронизирующие импульсы, и данные из блока *SAU* подаются в мультиплексор. Цифровые данные и синхроимпульсы вначале поступают в несинхронный буфер, а затем считываются в синхронном режиме, определяемом тактовой частотой.

Служебный канал пролета *HCC* используется для обмена управляющей и обслуживающей информацией между модемами *MMU* на разных концах пролета.

В итоге формируется цифровой поток со следующими скоростями:

- 4,5195 Мбит/с для канала 2×2 Мбит/с;
- 8,9316 Мбит/с для канала 4×2 или 8 Мбит/с;
- 17,6071 Мбит/с для канала 2×8 Мбит/с;
- 37,5369 Мбит/с для канала (34+2) Мбит/с.

Составной поток данных, обработанных мультиплексором радиофрейма, далее модулируется с использованием квадратурной фазовой модуляции с постоянной коррекцией огибающей спектра (*Constant Envelope Offset Quadrature Phase Shift Keying, C-QPSK*). По данным разработчика *C-QPSK* представляет собой компенсированный фазомодулированный сигнал. Такой сигнал оптимизирован с позиций обеспечения высокой эффективности использования частотного диапазона, поскольку он сочетает постоянство огибающей спектра с высокой эффективностью подавления помех.

Модулятор содержит генератор, управляемый напряжением (*Voltage Controlled Oscillator, VCO*), генерирующий сигнал с частотой 350 МГц. Он смешивается с сигналом частотой 490 МГц, выделенный сигнал с разностной частотой 140 МГц используется для контроля.

Все блоки *MMU* получают питание с постоянным напряжением. В состав модема *MMU* входит изолированный преобразователь напряжения *DC/DC*, который обеспечивает стабилизированное напряжение для наружного радиоблока и вторичное питание модема *MMU*. После фильтрации напряжение питания также подается на находящиеся в модуле доступа блоки *SMU* и *SAU*.

2.2.6. Расчет энергетического режима пролета радиорелейной системы

Энергетический режим линии характеризуется параметром — запасом на замирания (*M*). Запас на замирания представляет собой разницу между

уровнем сигнала на входе приемника РРС в отсутствии замираний и пороговым уровнем сигнала, при котором *Bit Error Rate (BER)* (или вероятность ошибки) достигает максимально допустимого значения [8].

Рассмотрим упрощенную структурную схему пролета радиолинии РРС и соответствующую диаграмму уровней, которые изображены на рис. 2.10. Очевидно, что качество работы линии связи, определяется уровнем сигнала на входе приемника $P_{пр}$ и возможными отклонениями этого уровня при замираниях. Из диаграммы уровней видно, что сигнал передатчика с уровнем $P_{пд}$, проходит через разделительный фильтр (РФ), в котором его уровень уменьшается за счет потерь, поступает через фидер в передающую антенну с коэффициентом усиления G_1 и излучается.

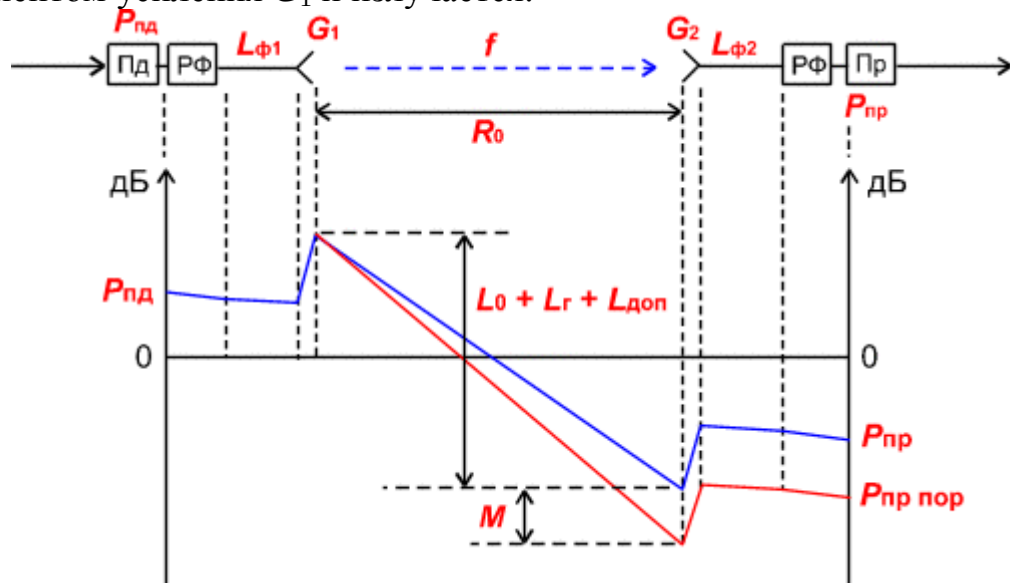


Рис. 2.10 — Структурная схема и диаграмма уровней радиолинии РРС

За счет потерь в фидере $L_{ф1}$ уровень сигнала уменьшится, а в передающей антенне увеличится на величину G_1 . При распространении сигнала по интервалу РРС (протяженностью R_0 , на рабочей частоте f) его уровень уменьшается за счет ослабления L_0 , вносимого свободным пространством, потерь в газах атмосферы L_r и некоторых дополнительных потерь $L_{доп}$. В результате общее ослабление сигнала за счет указанных факторов может превышать 130...140 дБ.

В приемной антенне уровень сигнала увеличится на величину коэффициента усиления приемной антенны G_2 , затем уменьшится в приемной фидерной линии, в разделительном фильтре и поступит на вход приемника, имея уровень $P_{пр}$. Это значение получается в отсутствии замираний сигнала на пролете РРС.

Запас на замирания (M) является разницей между пороговым значением уровня сигнала на входе приемника $P_{пр}$ и пороговым значением ($P_{пр\ пор}$), которое определяется из параметров конкретной аппаратуры цифровых РРС для заданной величины коэффициента ошибок *BER* (обычно $BER=10^{-3}$ или $BER=10^{-6}$).

Уровень сигнала на входе приемника определяется по формуле

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пд}} + G_1 + G_2 - L_{\text{ф1}} - L_{\text{ф2}} - L_0 - L_{\text{г}} - L_{\text{рф}} - L_{\text{доп}},$$

где $P_{\text{пд}}$ — уровень мощности передатчика, дБм; $L_{\text{ф1}}, L_{\text{ф2}}$ — ослабление сигнала в фидерных линиях, дБ.

В общем случае ослабление сигнала в фидерных линиях рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ф1}} = a L,$$

где a — погонное затухание фидера, дБ/м; L — длина фидера, м.

Ослабление сигнала в фидерной линии на стороне приемника $L_{\text{ф2}}$ определяется аналогично.

При отсутствии фидера (когда приемопередатчики объединены с антенной в один моноблок) необходимо учитывать конструктивные особенности устройства объединения. При диаметре антенн (0,3...0,5) м. приемоподающий блок соединяется с антенной непосредственно с помощью прецизионного волноводного соединителя, поэтому в этих случаях потерями в фидерах можно пренебречь $L_{\text{ф1}} = L_{\text{ф2}} = 0$ дБ. При больших диаметрах антенн соединение проводится коротким отрезком гибкого волновода, потери в котором можно считать равными $L_{\text{ф1}} = L_{\text{ф2}} = 0,5$ дБ.

Величина $L_{\text{рф}}$ — определяется параметрами аппаратуры. Но при моноблочной конструкции, данные на уровень мощности передатчика и пороговые значения уровня сигнала на входе приемника, часто относятся к точкам, соответствующим уровням на антенном волноводном соединителе (другими словами, в значения уровней уже учтены потери в разделительных фильтрах). В этих случаях величина потерь $L_{\text{рф}} = 0$. При разнесенной конструкции приемопередатчиков и антенн, потери в разделительных фильтрах составляют (4...5) дБ (это относится к РРС большой емкости).

Дополнительные потери $L_{\text{доп}}$, складывающиеся из потерь в антенных обтекателях и потерь от перепада высот приемной и передающей антенн, обычно полагают равными $L_{\text{доп}} = (1...2)$ дБ.

Ослабление свободного пространства рассчитывается по формуле

$$L_0 = 20 \lg (4,189 \cdot 10^4 R_0 f), \text{ дБ},$$

где R_0 — протяженность пролета, км; f — рабочая частота, ГГц.

Величина $L_{\text{г}}$ рассчитывается по формуле

$$L_{\text{г}} = (\gamma_0 + \gamma_{\text{н}}) R_0, \text{ дБ},$$

где $\gamma_0, \gamma_{\text{н}}$ — погонные затухания в водяных парах и атомах кислорода атмосферы (дБ/км), определяемые по графику на рис. 2.11.

В данной лабораторной работе, запас на замирания определяется при $BER = 10^{-6}$ по формуле

$$M = P_{\text{пр}} - P_{\text{пр пор}}(10^{-6}),$$

где $P_{\text{пр пор}}(10^{-6})$ — пороговый уровень сигнала на входе приемника при указанном коэффициенте ошибок (определяется из параметров аппаратуры), определяется по данным, приведенным в приложении А.

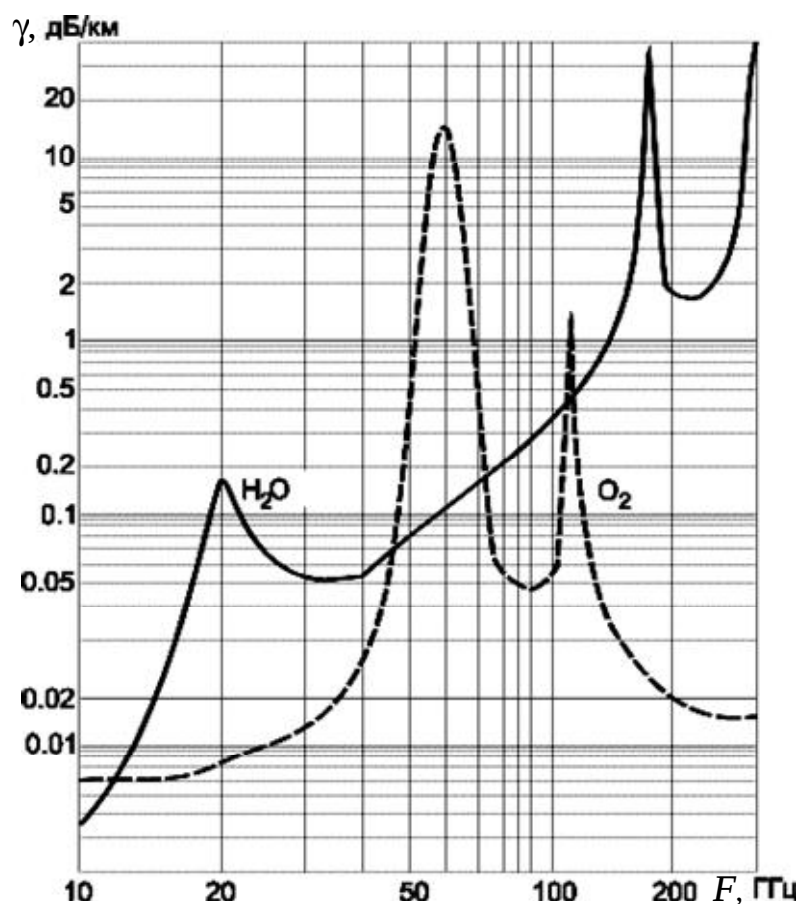


Рис. 2.11 — Погонные потери радиосигнала в газах атмосферы

Величина запаса на замирания должна составлять порядка (37...43) дБ. При меньших значениях, нельзя обеспечить режим устойчивой связи, а при значениях, значительно превышающих эти пределы — параметры системы, а следовательно, ее стоимость будут неоправданно завышены. Поэтому, меняя коэффициенты усиления антенн, мощность передатчика, диапазон рабочих частот, тип аппаратуры нужно добиться, чтобы запас на замирания находился в вышеуказанных пределах.

2.3. Описание лабораторной установки

2.3.1. Характеристика аппаратной части

Лабораторная работа выполняется на оборудовании *MINI-LINK E*. PPC содержит один пролет типа «точка-точка». В состав лабораторной установки входят радиоблоки типа *RAU 23-E*, работающие в диапазоне частот (21,2...23,6) ГГц.

Упрощенная структурная схема лабораторной установки изображена на рис. 2.12. Источником и потребителем цифрового потока *E1* для PPC *MINI-LINK* является система уплотнения 30-ти телефонных каналов с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ-30). Система ИКМ-30 подключена к порту *A* *MINI-LINK*, порт *B* в ходе выполнения лабораторной работы не используется.

Исследование производится с использованием персональных компьютеров (ПК) подключенных к блокам *MMU* станций *MINI-LINK*.

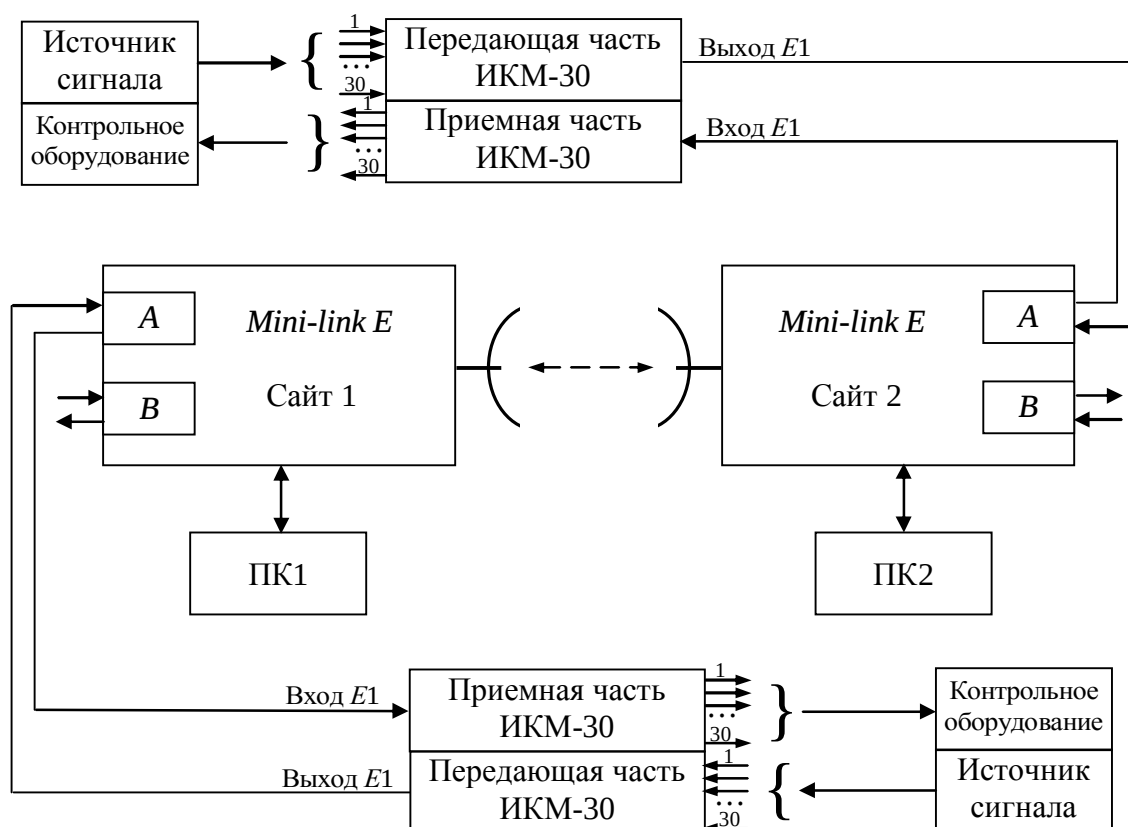


Рис. 2.12 — Структурная схема лабораторной установки

2.3.2. Характеристика программных средств

Менеджер обслуживания *MSM* используется для установки и технической поддержки оборудования. Использование программного обеспечения (ПО) *MSM* дает возможность получить доступ ко всем терминалам сети с любого сайта сети. Одновременно доступ к одной и той же сети могут иметь несколько ПК.

Средства менеджера *MSM* обеспечивают установку, локальную и дистанционную трассировку неисправностей, мониторинг производительности. После запуска *MSM* необходимо выбрать категорию пользователя *Control Operator* и ввести пароль. По умолчанию производителем ПО установлен пароль 1111.

Основное окно программы показано на рис. 2.13.

Меню программы содержит пункты — *Network, Log, Config, Help*. Для просмотра состава оборудования всей сети следует выполнить команду меню *Network — Scan*. Команда «*Scan Local*» позволяет произвести сканирование только по составу оборудования местного сайта. В результате работы команд отобразится состав и основные идентификационные параметры сетевого оборудования *MINI-LINK*. Далее выполнив двойной щелчок мышью на любом из элементов оборудования можно активизировать два терминальных окна (одно окно для оборудования местного сайта и второе окно для оборудования удаленного сайта). Вид окон терминальной программы для сети с резервированием по схеме (1+1) показан на рис. 2.14.

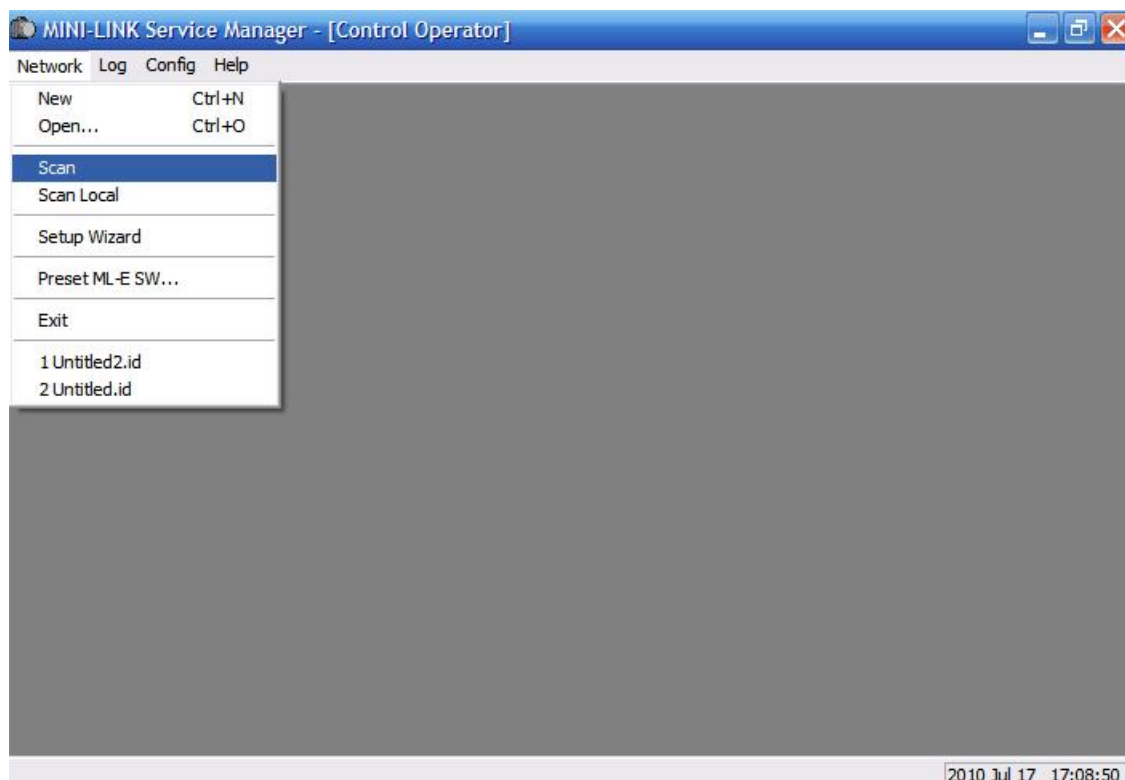


Рис. 2.13 — Вид основного окна программы *MINI-LINK Service Manager*

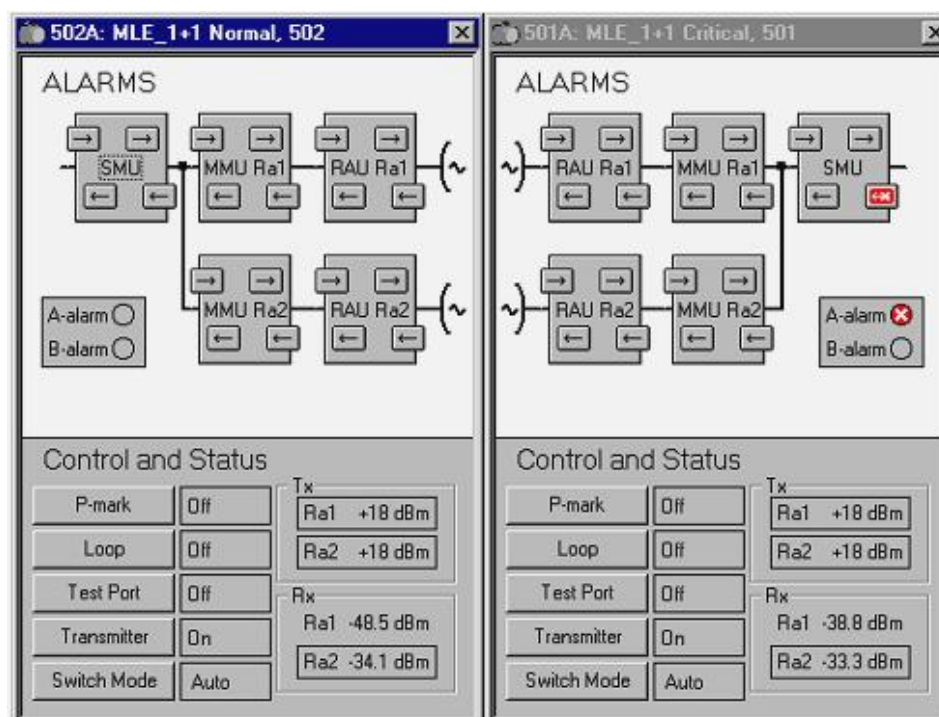


Рис. 2.14 — Вид терминальных окон оборудования *MINI-LINK*

Элементы системы, для которых существуют проблемы, индицируются красным цветом. Точнее вид неисправности можно определить, выполнив двойной щелчок на неисправном блоке системы.

В нижней части терминальных окон индицируются уровни мощности на выходе передающей и на входе приемной частей сайтов.

Кнопка **Loop** вызывает элемент управления включения — выключения диагностических петель «заворотов» в режиме тестирования. Использование режима петель позволяет точнее определить местоположения неисправности.

Кнопка **Transmitter** предназначена для перехода в режим управления «включение — выключение» передающей частью. Конфигурирования оборудования возможно с помощью мастера *Setup Wizard* (подробно описано в [9] на стр. 106 — 111), либо поэтапно с помощью вызова окна настроек, как показано на рис. 2.15:

— *AM Setup* — настройка параметров магазина модуля доступа (местоположение и идентификация отдельных модулей в магазине),

— *Hop Setup* — настройка параметров радио блока (частотный диапазон, уровень выходного сигнала, идентификатор удаленного сайта, пороговое значение *BER*),

— *Traffic Setup* — параметры передаваемых информационных потоков (*Connection, Alarm, Traffic Routing*).

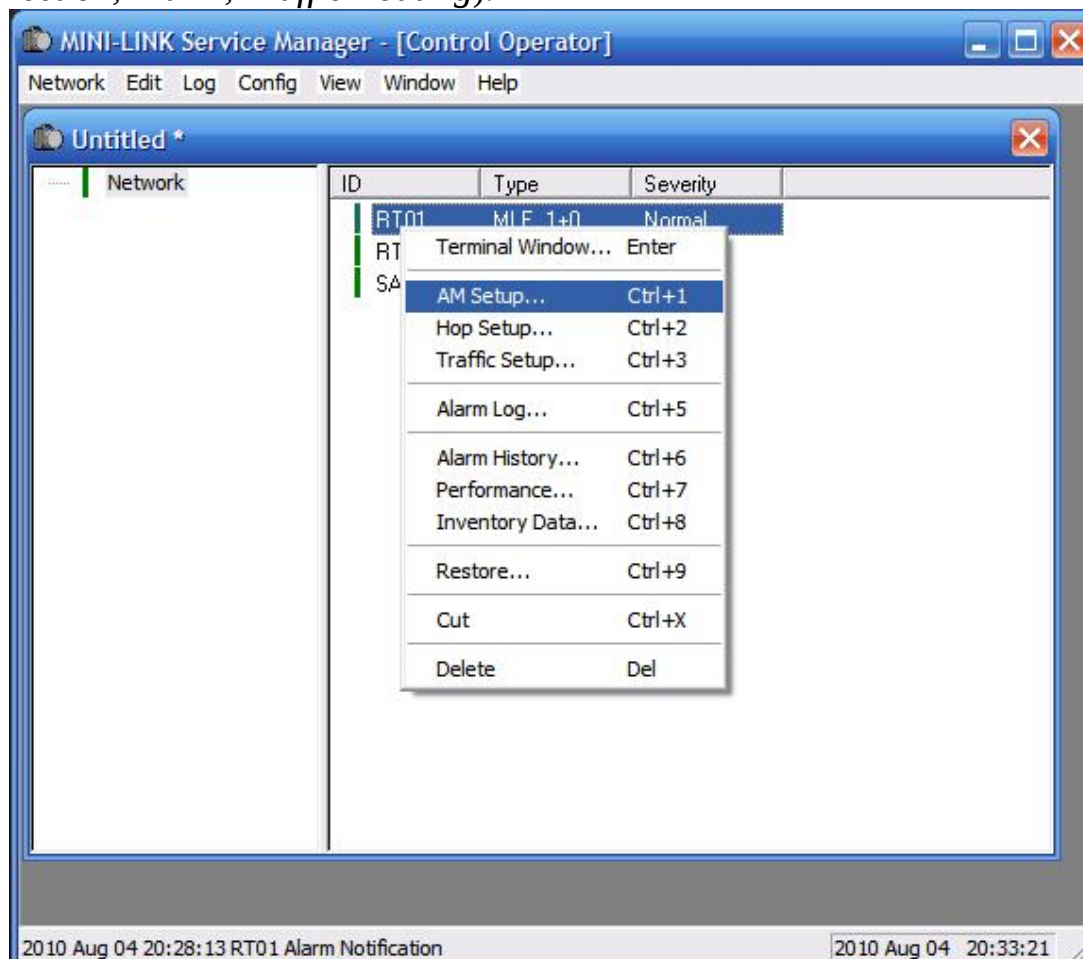


Рис. 2.15 — Пример вызова окон настройки параметров оборудования

2.4. Порядок выполнения лабораторной работы

2.4.1. Выполнение лабораторной работы производится по вариантам. Номер варианта выбирается по последней цифре зачетной книжки студента. Номер варианта для выполнения выбирается один для обоих пунктов (сайтов) РРС. Исходные данные для выполнения работы приведены в табл. 2.2.

В табл. 2.2 указана частота работы передающей части для одного сайта системы, частота работы второго сайта определяется с помощью плана распределения частот, который приведен в табл. 2.1. На первом этапе работы необходимо определить частотный план для выполнения экспериментальных исследований.

Таблица 2.2 — Исходные данные для выполнения экспериментальных исследований

Номер варианта	Частота передачи, МГц		Включение петли в режиме тестирования
	Сайт 1	Сайт 2	
1	21800	—	в удаленном радиоблоке
2	—	23092	в местном радиоблоке
3	21920	—	в местном модеме для всего трафика
4	—	23212	в местном модеме для трафика потока А
5	22040	—	в местном модеме для трафика потоков А и В
6	—	23332	в удаленном радиоблоке
7	22160	—	в местном радиоблоке
8	—	23452	в местном модеме для всего трафика
9	22280	—	в местном модеме для трафика потока А
0	—	23572	в местном модеме для трафика потоков А и В

2.4.2. Запустить программу менеджер обслуживания *MSM* и определить особенности работы оборудования пролета. Убедится в отсутствии аварийных сообщений в окнах терминального вывода.

Определить и сохранить в электронном протоколе лабораторной работы уровни сигнала на входе приемных устройств местного и удаленного сайта.

2.4.3. Скопировать содержимое экрана (путем нажатия клавиш клавиатуры *Alt — PrintScreen*) и сохранить его в протоколе лабораторной работы для всех конфигурационных параметров системы *MINI-LINK (AM Setup, Hop Setup, Traffic Setup* и др., см. рис. 2.15).

2.4.4. Показать протокол выполнения лабораторной работы преподавателю. Дальнейшая часть работы должна начинаться только после выполнения п.п. 2.4.1., 2.4.2., 2.4.3. на обоих сайтах сети. После одобрения полученных результатов преподавателем, произвести сброс настроечных параметров

системы, для этого выполнив команду «*Preset ML E SW...*» в меню *Network*, и далее подтвердить ее выполнение, выбрав команду *Save*.

2.4.5. Произвести конфигурирование станции на сайтах для заданного частотного плана. В качестве идентификатора блоку *MMU* выбрать два символа фамилии студента с последующим указанием номера сайта. Например, для студента с фамилией Иванов при конфигурировании сайта 1, *ID* следует выбрать *IV01*. Для студента с фамилией Петров при конфигурировании сайта 2, *ID* следует выбрать *PE02*. Студенты, работающие на разных сайтах пролета должны обмениваться выбранными идентификаторами перед выполнением работы.

Идентификатор блока *SAU* обозначить числом в виде даты выполнения лабораторной работы и номера сайта. Например, при выполнении лабораторной работы 23 октября для сайта 1 следует выбрать идентификатор 2301, а для сайта 2 — 2302.

Настроенная конфигурация не должна иметь сообщений об ошибках в работе оборудования. Выполнение задачи завершается только после настройки системных параметров на обоих сайтах пролета. Результат выполнения этой части работы сохранить в виде копий содержимого экрана для режима терминального вывода и в виде настроек радиоблоков (*hop setup*).

Определить и сохранить в протоколе измерений уровни сигнала на входе приемных устройств местного и удаленного сайта.

2.4.6. Поочередно для каждого сайта выполнить режим тестирования в режиме петель в соответствии с заданием (см. табл. 2.2). Сохранить копии экранов работы программы в режиме тестирования. Убедится в наличии аналогового сигнала при включении соответствующей тестовой петли на определенном выходном канале системы ИКМ-30. Объяснить полученный результат. При необходимости обсудить полученные результаты тестирования с преподавателем.

2.4.7. Выключить режим тестирования. Проверить отсутствие диагностических сообщений в терминальных окнах программы *MSM*.

2.4.8. После выполнения работы на местном и локальном сайтах системы доложить преподавателю о завершении работы, доказать работоспособность системы и по разрешению преподавателя, выключить оборудование.

2.4.9. Дальнейшая часть задания выполняется студентами самостоятельно (без использования оборудования). Разработать конфигурацию *PPC* и изобразить ее структурную схему с использованием необходимых элементов оборудования *MINI-LINK* (*MMU*, *SMU*, *RAU*, *SAU*, *AMM*, *ETU*) в соответствии с заданием, изложенным в табл. 2.3. Используя [10] произвести выбор конкретных элементов оборудования, предполагая, что для работы системы разрешено использовать частотный диапазон 23 ГГц.

2.4.10. Изобразить план распределения частот для заданного варианта частот (см. табл. 2.2.).

2.4.11. Произвести расчет энергетического режима *PPC* для условий выполнения лабораторной работы. Построить диаграмму уровней сигнала на пролете *PPC*.

Таблица 2.3 — Исходные данные для разработки структуры РРС

Номер варианта	Содержание задания
1	Конфигурация РРС типа (1+1). Горячее резервирование
2	Конфигурация РРС типа (1+1). Рабочее резервирование
3	Сайт узла локальной сети на три направления
4	Сайт на максимальное число радиоблоков для потоков <i>E1</i>
5	Конфигурация типа (1+0) для передачи <i>Ethernet</i> трафика
6	Конфигурация типа (1+0) для передачи голосового трафика и сигналов сигнализации
7	Конфигурация типа (1+0) для передачи сигналов сигнализации
8	Сайт узла сети с резервированием типа (1+1) на два направления
9	Сайт с резервированием типа (1+1) на одно направление и без резервирования на два других направления
0	Конфигурация РРС без резервирования, объединяющая три географических пункта с передачей только <i>PDH</i> трафика

2.5. Содержание отчета по лабораторной работе

1) Сформулируйте цель лабораторной работы, в которой укажите какие зависимости и параметры исследуются в лабораторной работе.

2) Составьте упрощенную структурную схему лабораторной установки с указанием назначенных отдельным элементам идентификаторов.

3) В графическом виде изобразите частотный план для заданного варианта исследований. На частотном плане укажите область частот, занимаемую при передаче трафика $2 \times E1$.

4) Подготовьте протокол исследований в виде копий содержимого экрана для всех конфигурационных параметров системы *MINI-LINK* при ее работе в режиме терминального вывода и для всех настроек радиоблоков (*AM*, *Hor*, *Traffic*) после завершения настройки оборудования.

5) Подготовьте протокол исследований в виде копий содержимого экрана для режима тестирования в соответствии с заданием. Поясните полученные результаты в отчете.

6) Приведите результат разработки конфигурации РРС и изобразите в отчете ее структурную схему.

7) Приведите результаты расчета энергетического режима РРС для условий выполнения лабораторной работы. Изобразите диаграмму распределения уровней сигнала вдоль пролета РРС.

8) Сформулируйте выводы по работе, в которых приведите подробный анализ и сопоставление расчетных и экспериментальных данных, и выполните подробный анализ результатов.

2.6. Контрольные вопросы

2.6.1. Вопросы для допуска к выполнению лабораторной работы

- 1) Чем отличаются характеристики и области применения трех вариантов оборудования *MINI-LINK*?
- 2) Охарактеризуйте состав и назначение элементов субблока радиointерфейса радиоблока *MINI-LINK E*.
- 3) Охарактеризуйте состав и назначение элементов микроволнового субблока радиоблока *MINI-LINK E*.
- 4) Охарактеризуйте, какие элементы структурной схемы радиоблока *RAU* обеспечивают работу оборудования в режиме тестирования.
- 5) Чем отличается результат работы программы *MSM* при выполнении команд *Scan* и *Local Scan*?
- 6) В чем будет заключаться отличие выходной информации в терминальных окнах *MSM* для сети с резервированием по схеме (1+0), по сравнению с примером на рис. 2.14?
- 7) Для чего предназначена кнопка *Loop* в терминальном окне *MSM*? Опишите пример использования режима петель.
- 8) Перечислите последовательность действий оператора *MSM* для включения передающей части на локальном и удаленном сайтах.
- 9) Охарактеризуйте максимально подробно источник трафика, используемый в лабораторных исследованиях.
- 10) Изобразите схематично и поясните план распределения частот для оборудования диапазона частот 23 ГГц оборудования *MINI-LINK E*.

2.6.2. Вопросы для защиты лабораторной работы

- 1) Какие средства имеет оборудование *MINI-LINK* для организации тестирования? Каким образом выполняется тестирование радиорелейной линии типа «точка-точка» реализованной на оборудовании *MINI-LINK E*?
- 2) Перечислите особенности обеспечения электропитания отдельных устройств оборудования *MINI-LINK E*.
- 3) Сравните результатов измерения уровня мощности с расчетными величинами. В случае значительного отличия расчетных и экспериментальных результатов укажите возможные причины их отличия.
- 4) Поясните особенности потока *E1* с точки зрения информационных характеристик и точки зрения частотно-временных параметров.
- 5) Изобразите структурную схему блока модема *MMU* и охарактеризуйте назначение отдельных составляющих структурной схемы.
- 6) Охарактеризуйте расчетную методику и выведите формулу для определения мощности сигнала на входе приемной части.
- 7) Выведите формулу для определения ослабления свободного пространства на пролете РРС.

- 8) Охарактеризуйте виды модуляции, используемые для передачи цифрового потока в радиорелейных системах *MINI-LINK*.
- 9) В чем заключается основное отличие различных вариантов оборудования *MINI-LINK*?
- 10) Охарактеризуйте приемную часть структурной схемы радиоблока *RAU1*.
- 11) Охарактеризуйте передающую часть структурной схемы радиоблока *RAU1*.
- 12) Определите последовательность действий оператора *MSM*, которую необходимо выполнить для определения уровня сигнала на входных устройствах пролета.
- 13) Определите последовательность действий оператора ПО *MSM*, которую необходимо выполнить для перестройки уже работающего пролета на другой частотный диапазон, частота которого находится в пределах рабочего диапазона используемых радиоблоков.
- 14) Охарактеризуйте назначение элементов управления параметрами в окне *Traffic Setup*.
- 15) Изобразите пример структурной схемы для мобильной сети, в которой аппаратура *MINI-LINK* осуществляет связь базовых станций с центром коммутации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рудой В.М. Системы передачи информации / В.М. Рудой. — М.: Радиотехника, 2007. — 280 с.
2. Курицын С.А. Телекоммуникационные технологии и системы / С.А. Курицын. — М.: Академия, 2008. — 304 с.
3. Калашников Н.И. Системы радиосвязи. / Н.И. Калашников, Э.И. Крупницкий, И.Л. Дороднов и др.; Под ред. Н.И. Калашникова. — М.: Радио и связь, 1988. — 352 с.
4. СМВ-30. Субпанель канального уплотнения 03-513328. Пользовательская документация / *Terta // Budavox, Hungary*.
5. Радиорелейные станции для «последней мили» / В.А. Васильев. — <http://www.oc.ru/media/010.html>. — 16.11.2012.
6. *MINI-LINK E* и *E Micro*. Техническое описание / Эрикссон Корпорация АО. — http://files.radioscanner.ru/files/download/file10353/mini_link_e_i_emicro_tehnicoskoe_opisanie.pdf. — 06.12.2012.
7. *MINI-LINK TN*. Дальнейшее развитие радиорелейных систем передачи / *Ericsson*. — http://www.ini-tel.ru/datadocs/doc_451we.pdf. — 11.11.2012.
8. Цифровые микроволновые системы связи. Методические указания по курсовому проектированию / В.С. Лобач. — <http://vlobatch.narod.ru/Kurs/KursRRL.htm>. — 30.12.2012.
9. *MSM 6.3 User Guide MINI-LINK* / *Ericsson*, 2003. — 198 p.
10. *MINI-LINK E* и *E Micro*. Каталог продукции / № *RU/LZT 110 2011 R8C Ericsson AB*, 2002. — 154 с.

Приложение А

Параметры приемной части радиоблоков

Таблица А1 — Пороговая чувствительность приемников *RAU1* и *RAU2*

Радио- блок	Ско- рость трафика, Мбит/с	Пороговый уровень при $BER=10^{-3}$, дБм		Пороговый уровень при $BER=10^{-6}$, дБм	
		Типовой	Гарантиро- ванный	Типовой	Гарантиро- ванный
23-Е	2×2	−90	−89	−86	−85
	4×2	−87	−86	−83	−82
	8×2	−84	−83	−80	−79
	17×2+2	−81	−80	−77	−76

Таблица А2 — Пороговая чувствительность приемника *RTU*

Радио- блок	Ско- рость трафика, Мбит/с	Пороговый уровень при $BER=10^{-3}$, дБм		Пороговый уровень при $BER=10^{-6}$, дБм	
		Типовой	Гарантиро- ванный	Типовой	Гарантиро- ванный
23-Е	1×2	−92	−91	−88	−87
	2×2	−90	−89	−86	−85

Таблица А3 — Коэффициент усиления антенн (дБи) на средней частоте

Диаметр антенны, м	Средняя частота диапазона, ГГц							
	7...8	13	15	18	23	26	28	38
0,2	—	—	—	—	31,8	—	34,6	36,6
0,3	—	—	32,1	34,4	36,2	37,3	38,1	40
0,6	31	36	36,6	39,2	40	41,5	42,4	44,3
1,2	37	41,8	42,7	44,6	46	47,1	48	—
1,8	41	45,3	46,4	48,5	49,5	—	—	—
2,4	42,9	—	—	—	—	—	—	—
3,0	44,8	—	—	—	—	—	—	—