

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

Факультет инфокоммуникаций

Кафедра инфокоммуникационных технологий

**В. Н. Мищенко**

**СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ  
И РАДИООПРЕДЕЛЕНИЯ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики  
и радиоэлектроники в качестве учебно-методического пособия  
для специальностей 1-45 01 01 «Инфокоммуникационные технологии  
(по направлениям)», 1-39 01 04 «Радиоэлектронная защита информации»,  
1-36 04 02 «Промышленная электроника»*

Минск БГУИР 2019

УДК 621.396.2(076.5)  
ББК 32.884.1я73  
М71

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра связи учреждения образования  
«Военная академия Республики Беларусь»  
(протокол №16 от 19.03.2018);

заведующий кафедрой телекоммуникационных систем  
учреждения образования  
«Белорусская государственная академия связи»  
кандидат технических наук, доцент С. И. Половоя

**Мищенко, В. Н.**

М71 Системы подвижной радиосвязи и радиоопределения. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2019. – 162 с. : ил.  
ISBN 978-985-543-458-1.

Представлены лабораторные работы, посвященные изучению систем подвижной радиосвязи и радиоопределения.

Предназначено для студентов и курсантов, изучающих дисциплины «Системы подвижной радиосвязи и радиоопределения» и «Системы обмена информацией в автомобильной технике» всех форм обучения.

**УДК 621.396.2(076.5)  
ББК 32.884.1я73**

**ISBN 978-985-543-458-1**

© Мищенко В. Н., 2019  
© УО «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники», 2019

## Содержание

Лабораторная работа №1. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СЕТИ РАДИОДОСТУПА СТАНДАРТА СОТОВОЙ СВЯЗИ GSM .....	4
Лабораторная работа №2. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА NOKIA5110.....	39
Лабораторная работа №3. ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОСТАНЦИИ РОСА-А....	53
Лабораторная работа №4. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МИКРОБАЗОВОЙ СТАНЦИИ ALKATEL A9110-E .....	82
Лабораторная работа №5. ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ В СОСТАВЕ ТЕЛЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА FM4200.....	111
Лабораторная работа №6. ИССЛЕДОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ СТАНДАРТОВ GPS И ГЛОНАСС.....	135
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	159
ЛИТЕРАТУРА.....	161

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СЕТИ РАДИОДОСТУПА СТАНДАРТА СОТОВОЙ СВЯЗИ GSM**

Цель работы: изучить назначение, состав и технические характеристики контроллера базовых станций D900BC; изучить структурную схему и принцип действия оборудования базовой станции BS-240 II, особенности контроля и диагностики оборудования сети радиодоступа.

### **1.1. Обобщенная структурная схема сети сотовой связи стандарта GSM.**

#### **Назначение отдельных подсистем, блоков и устройств**

Рассмотрим основные элементы сети сотовой мобильной связи (ССМС) и характер их взаимодействия. Схема ССМС стандарта GSM показана на рис. 1.1 [1–3]. Можно выделить четыре основных компонента – центр управления и обслуживания (ЦУО) (Operations and Maintenance Center – ОМС) и три подсистемы: подсистема мобильных станций (ПМС) (Mobile Station Subsystem – MSS); подсистема базовых станций (ПБС) (Base Station Subsystem – BSS); подсистема коммутации (ПК) (Switching Subsystem – SSS).

Подсистема мобильных станций объединяет оборудование, обеспечивающее доступ абонентов в систему.

Главным звеном в архитектуре ССМС является подсистема коммутации, которая включает в себя центр коммутации подвижной связи (ЦКПС) (Mobile Switching Center – MSC), визитный (гостевой) регистр местоположения (ВРМ) (Visited Location Register – VLR), домашний регистр местоположения (ДРМ) (Home Location Register – HLR), центр аутентификации (ЦА) (Authentication Center – AUC) и регистр идентификации оборудования (РИО) (Equipment Identity Register – EIR) [1, 3].

В подсистему базовых станций входят базовые приемопередающие станции (БС) (Base Transceiver Station – BTS) и контроллеры базовых станций (КБС) (Base Station Controller – BSC).

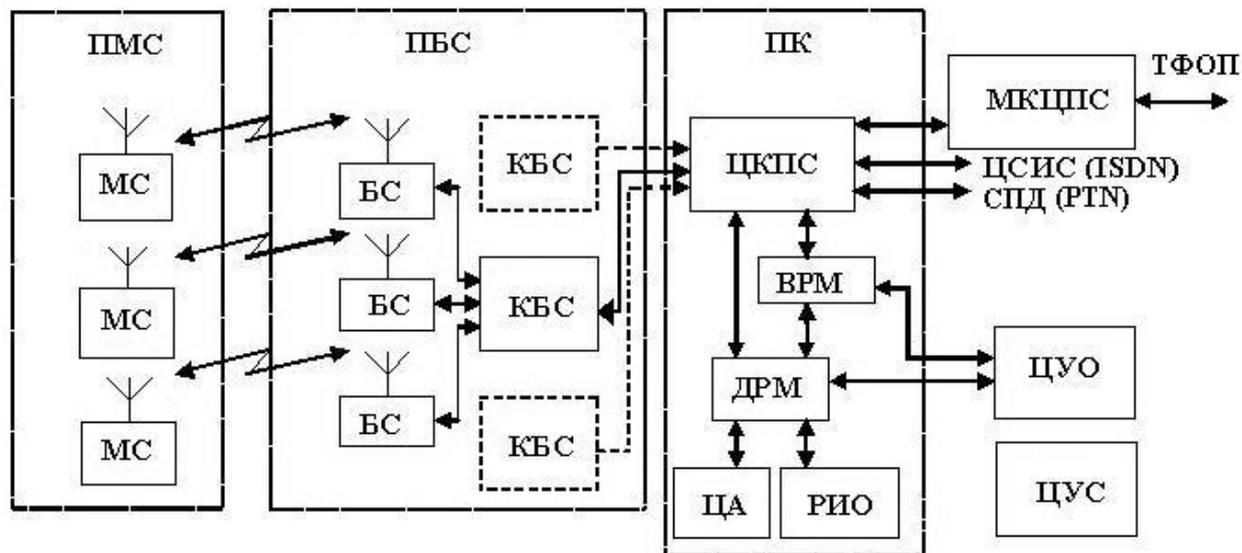


Рис. 1.1. Обобщенная структурная схема ССМС

ПМС (MSS) – подсистема мобильных станций;

ПБС (BSS) – подсистема базовых станций;

ПК (SSS) – подсистема коммутаций;

КБС (BSC) – контроллер базовых станций;

ЦКМС (MSC) – центр коммутации мобильной связи;

ВРМ (VLR) – визитный регистр местоположения;

ДРМ (HLR) – домашний регистр местоположения;

ЦА (AUC) – центр аутентификации;

РИО (EIR) – регистр идентификации оборудования;

ЦУО – регистр управления и обслуживания;

БС (BTS) – базовая станция;

МС (MS) – мобильная станция;

МКЦПС (GMSC) – межсетевой коммутационный центр подвижной связи;

ЦСИС (ISDN) – цифровая сеть с интеграцией служб;

ЦУС (ОМС) – центр управления сетью;

СПД (РТN) – сеть передачи данных;

ТФОП – телефонная сеть общего пользования.

ЦКПС представляет собой автоматическую цифровую телефонную станцию и обслуживает группу сот, обеспечивая все виды соединений, в которых нуждается мобильная станция: 1) выход мобильной станции на телефон общего пользования; 2) выход на телефон внутри сети одного оператора; 3) звонок на телефон этого стандарта другого оператора; 4) звонок на сеть другого стандарта.

На ЦКПС возлагаются также функции коммутации каналов, к которым относятся «передача обслуживания» (или «эстафетная передача») и переключение каналов в соте при появлении сильных помех и неисправностей, если только это не является обязанностью КБС. Помимо коммутационных задач, ЦКПС управляет процедурами слежения за мобильными станциями с помощью домашнего и визитного регистров местоположения для обеспечения доставки вызова, а также процедурами аутентификации и идентификации абонентов с помощью ЦА и РИО.

Блоки ДРМ и ВРМ по своей сути представляют собой базы данных. Первый содержит сведения о постоянно приписанных к данному ЦКМС абонентах и о видах услуг, которые им могут быть оказаны, второй содержит информацию об абонентах, временно находящихся в зоне обслуживания данного ЦКМС.

Контроллер базовых станций осуществляет управление несколькими БС, которые обеспечивают связь с МС через радиointерфейс, а также производит упаковку информации, передаваемой в ЦКПС, и ее распаковку при передаче в обратном направлении.

ЦКПС может выполнять функции коммутации каналов и пакетов: 1) коммутация каналов – создание канала передачи информации между абонентами на все время сеанса связи (речевой трафик – передача речевой информации); 2) коммутация пакетов (формируются пакеты переменной или

постоянной длины). ЦКПС выполняет функции эстафетной передачи и роуминга [2, 4]. Эстафетная передача (Hand Over):

1) может осуществляться в пределах одной ячейки при значительных помехах на какой-то частоте, переводе мобильных станций на другие частоты, не подверженные глубоким замираниям;

2) передает абонента из одной ячейки в другую при перемещении мобильных станций между сотами, которые контролирует один контроллер базовой станции;

3) осуществляет перемещение между сотами, которые контролируют разные контроллеры базовых станций;

4) при значительных перемещениях осуществляется переход в другой центр коммутации мобильной связи.

Во всех вариантах процедуры эстафетной передачи измеряется уровень нескольких базовых станций и переключение на ту базовую станцию, где уровень сигнала выше. Роуминг заключается в предоставлении услуг мобильной связи клиентам других сетей данного стандарта.

Каждый абонент получает уникальный международный идентификатор мобильного оборудования IMEI, а также стандартный сменный модуль подлинности абонента – SIM-карту, в которой содержится: а) международный идентификационный номер IMSI; б) персональный идентификационный номер PIN; в) персональный номер разблокировки PUK. IMEI и IMSI не связаны с друг другом. Это дает возможность использовать разные SIM-карты в разных сетях или использовать одну SIM-карту в различных терминалах мобильных телефонов.

## **1.2. Контроллер базовых станций D900BC. Структурная схема, назначение, основные характеристики**

Внешний вид контроллера базовых станций D900BC для варианта стойки BSC/72, обеспечивающий общую суммарную абонентскую нагрузку 3200 Эрл, показан на рис. 1.2.

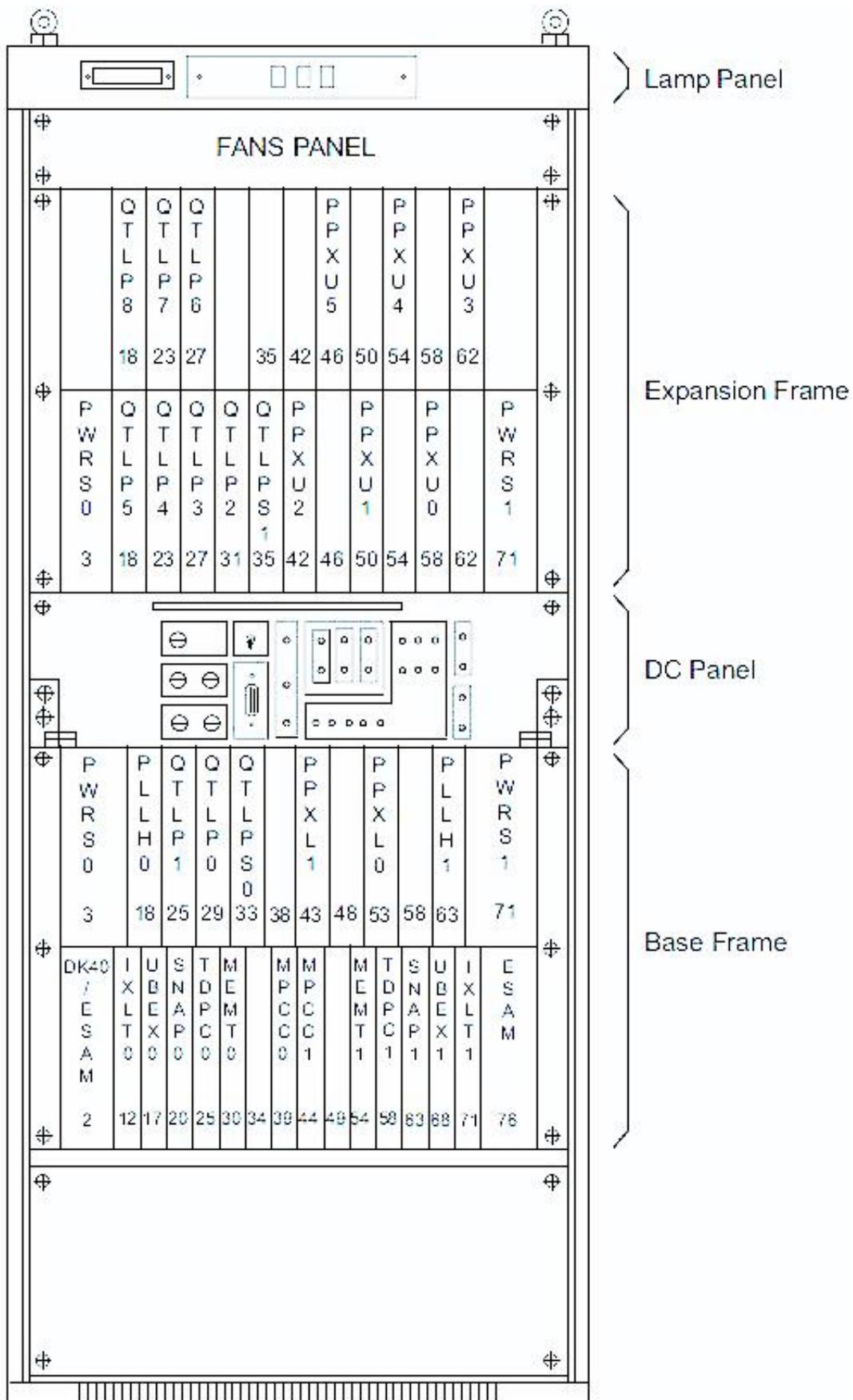


Рис. 1.2. Внешний вид контроллера базовых станций D900BC

Возможен конструктивный вариант стойки BSC/120 с максимальным количеством блоков, обеспечивающий общую суммарную абонентскую нагрузку 4800 Эрл. Контроллер базовых станций D900BC состоит из основной панели (Base Frame), панели расширения (Expansion Frame), панели питания (DC Panel), панели индикации (Lamp Panel). Внутри каждой панели располагаются съемные блоки и узлы. Блоки питания – PWRS0 и PWRS1 – располагаются на позиционных номерах 3 и 71, которые приведены под обозначением этих блоков для основной панели и панели расширения. Такой же принцип нумерации используется и для обозначения других блоков.

Самыми распространенными блоками являются блоки QTLP (Quadruple Trunk Line Peripheral) – согласующие устройства или стационарные терминалы, состоящие из четырех одинаковых частей и предназначенные для работы с внешними проводными линиями, по которым передаются информационные сигналы. Каждый из этих блоков имеет свой порядковый номер, который указывается цифрой после буквенного обозначения. Например, блок QTLP8 – блок номер 8, установленный на позиции 3.

Блоки PPXX (Peripheral Processor XX) – процессоры (микропроцессоры), связанные с обработкой входящих и исходящих вызовов. Блоки PPXL1 и PPXL2 одновременно управляют 256 физическими каналами каждый при обработке голосовых вызовов и канальной сигнализации ОКС-7 (SS-7) и располагаются только внутри базовой панели. Они расположены в верхней части стойки, в панели расширения, и обозначаются как PPXU0–PPXU5 для данного варианта стойки. Эти блоки предназначены для обслуживания только пакетной коммутации при работе технологии GPRS (General Packet Radio Service).

Блоки PLLH (Phase Locked Loop High Performance) – блоки, предназначенные для организации синхронизации либо от внутреннего тактового генератора, либо от внешних входящих 2 Мбит потоков E1.

Блоки MPCC (MPCC0 и MPCC1) (Main Processor Control Circuit) – блоки центрального (главного) процессора, работают по схеме 1+1, т. е. один из

блоков рабочий, а второй блок включен, но обычно находится в горячем резерве.

Блоки MEMT (MEMT0 и MEMT1) (Memory of Telephony Processor) – блоки памяти процессоров, связанные с обслуживанием телефонных вызовов.

Блоки IXLT (IXLT0 и IXLT1) (X25 Interface to RC and Local Terminal) – предназначены для организации интерфейса X25 для стационарных (локальных) терминалов.

Блоки UBEX (UBEX0 и UBEX1) (Universal Bus Extender) – устройства для организации связи центрального (главного процессора) с другими процессорами (микропроцессорами) и блоками.

Блоки SNAP (SNAP0 и SNAP1) (Switching Network Advanced Performance) – представляют блоки групповой коммутации (групповой коммутатор).

Блоки TDPC (TDPC0 и TDPC1) (Telephony and Distributor Processor Circuit) – процессоры для управления и распределения телефонных сигналов. Блоки TDPC располагаются только внутри базовой панели и работают по схеме 1+1, т. е. в данный момент один из блоков работает, а второй блок включен, но обычно находится в горячем резерве.

Блок DK40 (Alarm Handling Functionality) – блок обработки контрольных сигналов, ESAM (Ethernet Switch and Alarm Module) – блок коммутации и управления сигналами стандарта Ethernet.

Упрощенная структурная схема КБС показана на рис. 1.3. Основными элементами КБС являются: групповой коммутатор, стационарные терминалы, центральный процессор (ЦП), процессор поддержки, блок коммутации каналов, блок управления приемопередатчиками, блок адаптации скорости, микропроцессоры (МП) и блоки ОКС-7 (общеканальной сигнализации).

Количество одновременно обслуживаемых телефонных каналов с полной скоростью (телефонные каналы TCH/F) составляет соответственно 3800 и 6900 для вариантов стоек BSC/72 и BSC/120.

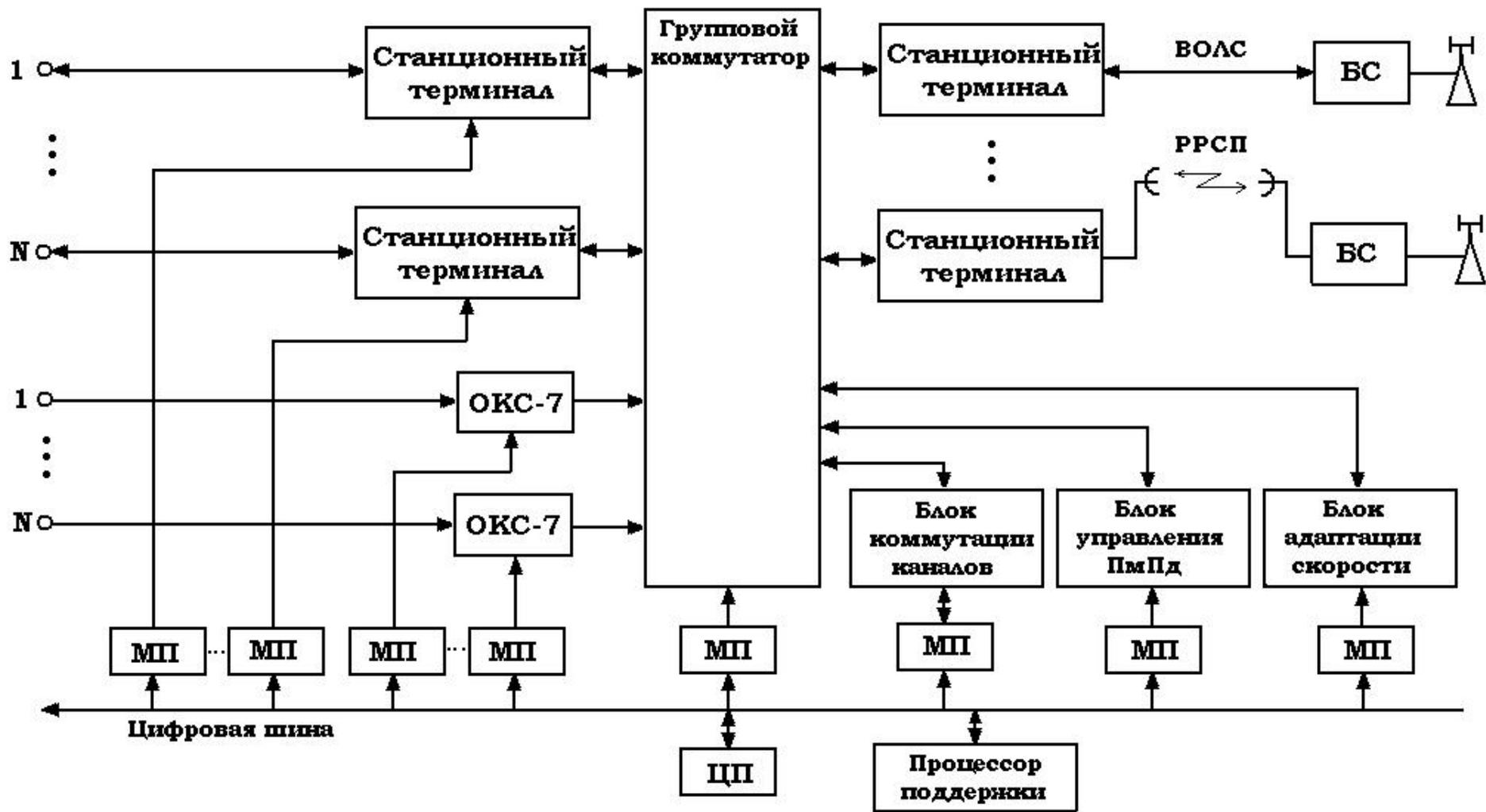


Рис. 1.3. Структурная схема контроллера БС

Максимальное количество одновременно обслуживаемых приемопередатчиков в базовых станциях составляет 500 и 900 соответственно. Интенсивность трафика на один канал через радиointерфейс при связи с мобильной станцией оценивается приблизительно в 0,7 Эрл. Управление оборудованием осуществляется с центрального процессора, который управляет работой соответствующих процессоров или микропроцессоров. МП в свою очередь управляют работой соответствующих контролируемых ими блоков и устройств. Блоки управления приемопередатчиков (ПмПд), блок адаптации скорости, блок коммутации каналов принимают участие в передаче информации через групповой коммутатор и реализуются на базе соответствующих микропроцессоров. Блок управления ПмПд принимает решение и управляет процессами процедуры эстафетной передачи (хэндовера) для МС, находящейся в зоне действия соответствующего контроллера. Блок адаптации скорости регулирует величину скорости обмена информацией в зависимости от условий работы оборудования. Стационарные терминалы могут связываться по протоколу А-bis с БС посредством оптических кабелей при организации волоконно-оптических систем передачи (ВОЛС) или радиорелейных систем передачи (РРСП).

### **1.3. Назначение и технические характеристики базовой станции BS-240 II**

Как видно из общей структурной сети стандарта GSM, показанной на рис. 1.1, важное место при передаче информации занимают базовые станции, которые обеспечивают непосредственный обмен информацией с мобильными станциями (сотовыми телефонами). Внешний вид базовой станции BS-240 II показан на рис. 1.4. БС, как уже отмечалось, представляет собой дуплексный приемопередатчик, работающий в автоматическом режиме, который формирует зону обслуживания данной станции. БС поддерживает работу в следующих частотных диапазонах: GSM 850 (линия вверх, т. е. диапазон работы

передатчиков МС или диапазон работы приемников БС – от 824 до 849 МГц; линия вниз, т. е. диапазон работы приемников МС или диапазон работы передатчиков БС – от 869 до 894 МГц); расширенный E-GSM 900 (линия вверх – от 880 до 915 МГц; линия вниз – от 925 до 896 МГц); GSM 1800 (линия вверх от 1710 до 1785 МГц; линия вниз – от 1805 до 1880 МГц); GSM 1900 (линия вверх – от 1850 до 1910 МГц; линия вниз – от 1930 до 1990 МГц).

Общая структурная схема базовой станции BS-240 II, предназначенной для установки в помещениях, показана на рис. 1.5. Основным блоком БС является блок СОВА, который содержит основной процессор, узел формирования сигналов синхронизации, контроллер с последовательным интерфейсом для управления приемопередающими блоками (FCU), блок внутреннего интерфейса для формирования контрольных сигналов, а также интерфейсный модуль для связи с блоком СОСА. Количество блоков FCU в конфигурации может изменяться от 1 до 8 в зависимости от различных факторов: диапазонов работы, количества несущих частот и, соответственно, количества обслуживаемых абонентов и других факторов. Блок СОВА может управлять 1–4 блоками FCU. Для реализации управления 5–8 блоками FCU блок СОВА включается совместно и управляет блоком СОСА. Блок FICOM является фильтрующим комбайнером, который позволяет объединить до 8 несущих в тракте передачи (TX) для направления вниз. Блок DIAMCO используется для распределения несущих частот в тракте приема (RX) и работает совместно с блоком FICOM.

Блок MFDUAMCO – многодиапазонный гибкий активный комбайнер. Блок TMA – выносной усилитель, который располагается за пределами стойки базовой станции в составе антенно-фидерного тракта (АФТ). Блок DUBIAS – диплексер, имеющий в своем составе цепи питания для других узлов. Блоки TMA и DUBIAS не входят в состав стойки базовой станции и обычно при необходимости устанавливаются в составе АФТ за пределами помещения. Блок HPDU – диплексер, обеспечивающий передачу сигналов

повышенной мощности. Блок ОВРТ – блок сопряжения с проводными линиями связи для передачи информации на контроллер базовых станций.



Рис. 1.4. Внешний вид базовой станции BS-240 II

Блоки FICOM, HPDU, DIAMCO являются опциональными (дополнительными) и поставляются по заказу эксплуатирующей организации при установлении конфигурации оборудования. Интерфейс OASI – последовательный интерфейс оператора для подключения внешнего компьютера и загрузки программного обеспечения. На рис. 1.5 не показаны блоки и устройства системы электропитания, а также фильтры, вентиляторы, которые обес-

печивают работу оборудования в сложных климатических условиях работы оборудования.

Приемопередатчик FCU осуществляет прием и передачу сигналов на частотах, выделенных оператору в диапазонах, указанных ранее. Возможно использование трех конструктивных вариантов блоков FCU. Блоки типа GCU используются в диапазонах 900 и 1800 МГц с гауссовской МЧМ (минимальная частотная манипуляция, или MSK – Minimal Shift Keying) или (GMSK – Gaussian MSK), при которой закон изменения фазы в течение посылки повторяет ход гауссовской интегральной функции распределения. Использование этого вида модуляции обеспечивает плавность изменения фазы и частоты, а значит, высокую степень компактности спектра по сравнению со стандартной квадратурной относительной фазовой манипуляцией – ОФМ-4.

Блоки типа ECU используются в диапазонах 850, 900, 1800 и 1900 МГц с модуляцией GMSK и дополнительной модуляцией ОФМ-8 для технологии GPRS. Блоки типа FlexCU также используются в диапазонах 850, 900, 1800 и 1900 МГц с модуляциями GMSK и ОФМ-8, однако в одном корпусе этого блока объединены два идентичных приемопередатчика, что позволяет создать различные режимы работы оборудования.

Всего известно порядка 17 различных вариантов конструктивного исполнения всех приемопередатчиков. Уровень выходного сигнала передатчиков находится в диапазоне от 45,7 до 48,3 дБм (37–68 Вт) в зависимости типа FCU, диапазона частот, модуляции и ряда других факторов.

Оборудование БС имеет модульную структуру, что облегчает ремонт и обслуживание. Для организации работы передается информация управления и конфигурирования, а также информация о состоянии блоков и аварийной сигнализации. В диапазон обратного канала от МС до БС, т. е. в направлении «вверх» (up-link), принимается радиосигнал от мобильной станции (через антенну и антенно-фидерный тракт), затем производится его демодуляция, разделение его на речевую и сигнальную информацию, и передача ее дальше в направлении контроллера базовой станции.

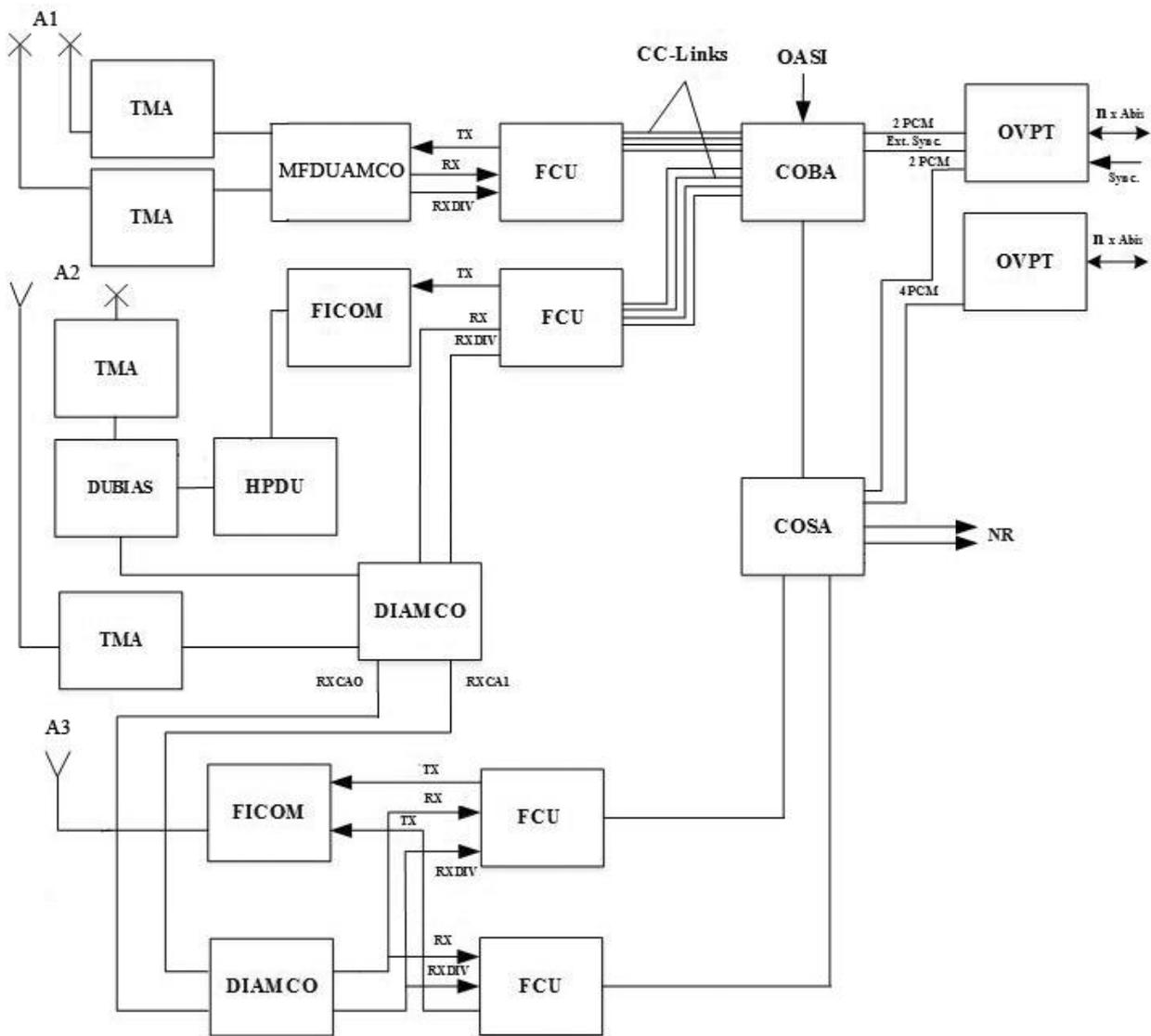


Рис. 1.5. Общая структурная схема базовой станции BS-240 II

В диапазоне прямого канала, т. е. в направлении «вниз» (down-link), речь и сигнальная информация после обработки в блоке процессора далее в виде единого сигнала передается через антенно-фидерный тракт и антенну на мобильную станцию. БС обычно содержит несколько секторных антенн, хотя возможна установка одной антенны с круговой диаграммой направленности. Антенно-фидерный тракт состоит из коаксиального или оптического кабеля, ряда дополнительных устройств, устройств защиты от ударов молний, мачтовых выносных усилителей. Чтобы предотвратить влияние грозowego атмо-

сферного разряда на аппаратуру, используются защитные разрядники и предохранители. Возможна организация одновременной работы в виде работы в двух частотных диапазонах, ими являются диапазоны GSM 850 / GSM 1800; GSM 850 / GSM 1900; GSM 900 / GSM 1800; GSM 900 / GSM 1900. На рис. 1.6 показан общий вид двухдиапазонной антенны со снятым защитным чехлом для базовой станции BS-240 II.

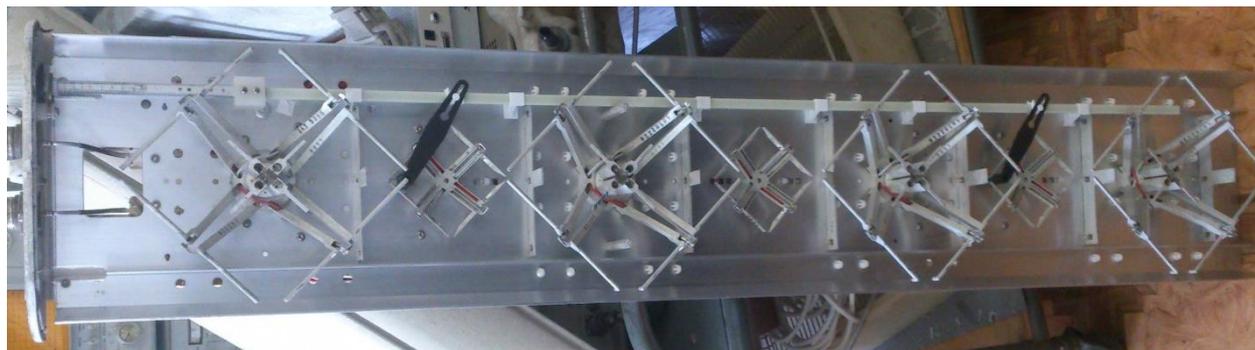


Рис. 1.6. Общий вид двухдиапазонной антенны со снятым защитным чехлом для базовой станции BS-240 II

Структурная схема антенного комбайнера MFDUAMCO представлена на рис. 1.7. Максимально с помощью одного комбайнера MFDUAMCO может быть обслужено два приемопередатчика FCU. Это количество может быть увеличено в два раза с помощью гибридного устройства HYBRID4 и в четыре раза при комбинации гибридных устройств HYBRID4 и COAMCO8. Комбайнер MFDUAMCO содержит два идентичных модуля Module0 и Module1, предназначенных для обработки сигналов в трактах приема и передачи, устройств и цепей, предназначенных для обслуживания выносных мачтового головного усилителя МНА и усилителя ТМА. Также в составе этого блока есть общие каскады, связанные с формированием контрольных сигналов, и, в частности, сигналов с использованием специальной CAN-шины (CAN bus) с помощью CAN-контроллера (CAN Control.). Особенности работы приемного тракта зависят от одного из двух режимов работы – AMCO и MUCO.

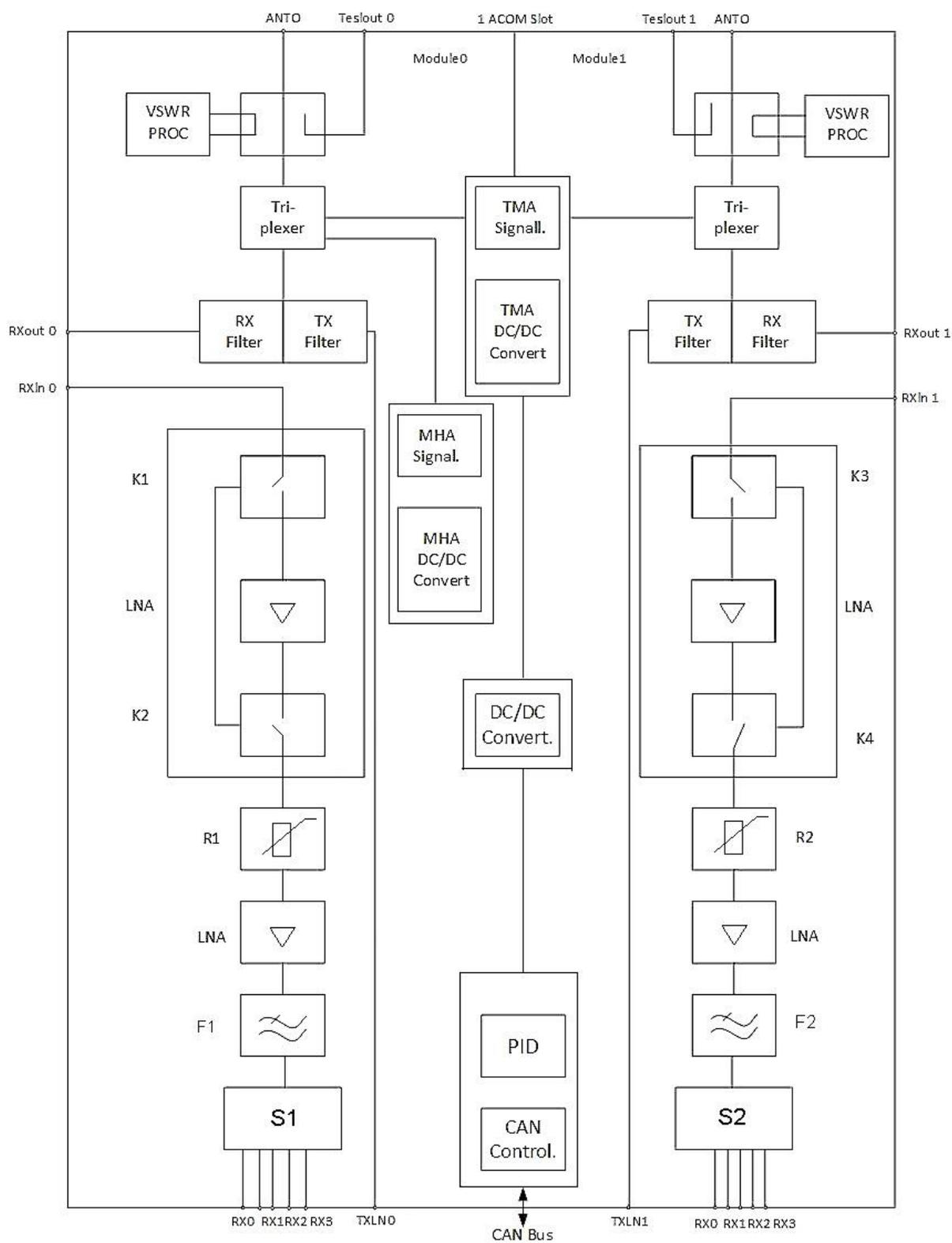


Рис. 1.7. Структурная схема антенного комбайнера MFDUAMCO

Режим работы АМСО обычно применяется, когда не используются выносные усилители ТМА и МНА, и характеризуется высоким коэффициентом усиления в 20 дБ для диапазона 900 МГц и 22 дБ для диапазона 1800 МГц.

Для режима работы MUCO при использовании выносных усилителей TMA и MHA в тракте включается дополнительный аттенюатор и общий коэффициент усиления тракта составляет 2 дБ для диапазона 900 МГц и 3 дБ – для диапазона 1800 МГц. Диапазон регулировки аттенюатора в тракте приема составляет от 0 до 12 дБ с шагом 1 дБ. Для реализации указанных выше режимов работы и характеристик используется набор элементов – усилителей LNA, ключевых устройств K1–K4, фильтров F1 и F2, элементов регулировки R1 и R2.

Антенные разъемы ANT0 и ANT1 связаны с контрольным блоком, который содержит направленный ответвитель для формирования контрольного сигнала на разъемах Teslot0 и Teslot1, и узел измерения величины параметра KCB антенного кабельного тракта – VSWR PROC.

При значениях KCB меньше 2 сигнал аварии не формируется, при значениях KCB больше 2 формируется сигнал ошибки, который передается для последующей обработки центральным процессором.

Сигналы трактов приема и передачи фильтруются устройствами RX filter и TX filter соответственно. В тракте передачи в каждом из модулей обрабатывается один сигнал, который подается на разъемы TXLNO и TXLN1. В тракте приема формируются четыре выходных сигнала делителями S1 и S2 и подаются на выходные разъемы RX0–RX3. Содержатся также цепи контроля выносных усилителей TMA и MHA (TMA Signal. и MHA Signal.) и цепи питания этих усилителей TMA DC / DC Convert. и MHA DC / DC Convert. Для подключения этих устройств используется специальный разветвитель/сумматор – триплексер (Triplexer). В тракте приема содержатся малошумящие усилители (LNA), которые обеспечивают усиление слабых входных сигналов.

Для защиты от ошибок в радиоканалах подвижной связи GSM используются сверточное (СК) и блочное (БК) кодирования с перемежением. Перемежение обеспечивает преобразование пакетов ошибок в одиночные ошибки. Сверточное и блочное кодирования являются мощными средствами борьбы с

одиночными ошибками. Сложность декодирования СК по наиболее выгодному с точки зрения реализации алгоритму Витерби возрастает экспоненциально с увеличением длины кодового ограничения, типовые значения параметра  $K$ , характеризующего исправляющую способность кода, малы и лежат в интервале 3–10. В стандарте GSM для обнаружения ошибок используется код на основе сверточного кода (2, 1, 5) с относительной скоростью  $r = 1/2$ .

#### **1.4. Особенности функционирования программного комплекса LMT Evolution**

Интегрированный графический интерфейс предлагает удобный доступ ко всем функциям LMT Evolution и приложениям через главную панель вместе с панелью меню и панелью инструментов для управления и контроля сети.

Программный комплекс LMT Evolution является основным инструментом для локального взаимодействия с системой радиодоступа стандарта GSM, в которую входит оборудование КБС (BSC) и БС (BTS) (рис. 1.8).

Комплекс LMT Evolution обеспечивает функции управления и контроля оборудования сети радиодоступа NE (BSC, BTS, TRAU), к которому он физически подключается. Основные функциональные возможности обеспечивают высокую гибкость и экономию времени, благодаря рабочему режиму *multioperation* и интегрированному графическому интерфейсу. Режим *multioperation* означает возможность активации контекста для разных режимов работы с LMT Evolution (подготовка сценария, автономный режим пользовательской сессии, режим работы сети Интернет).

Комплекс LMT Evolution представляет собой интерфейс между оператором и сетью NE, обычно используется для настройки и поддержания работы GSM-сети через набор функций и процедур, адаптированных для работы.

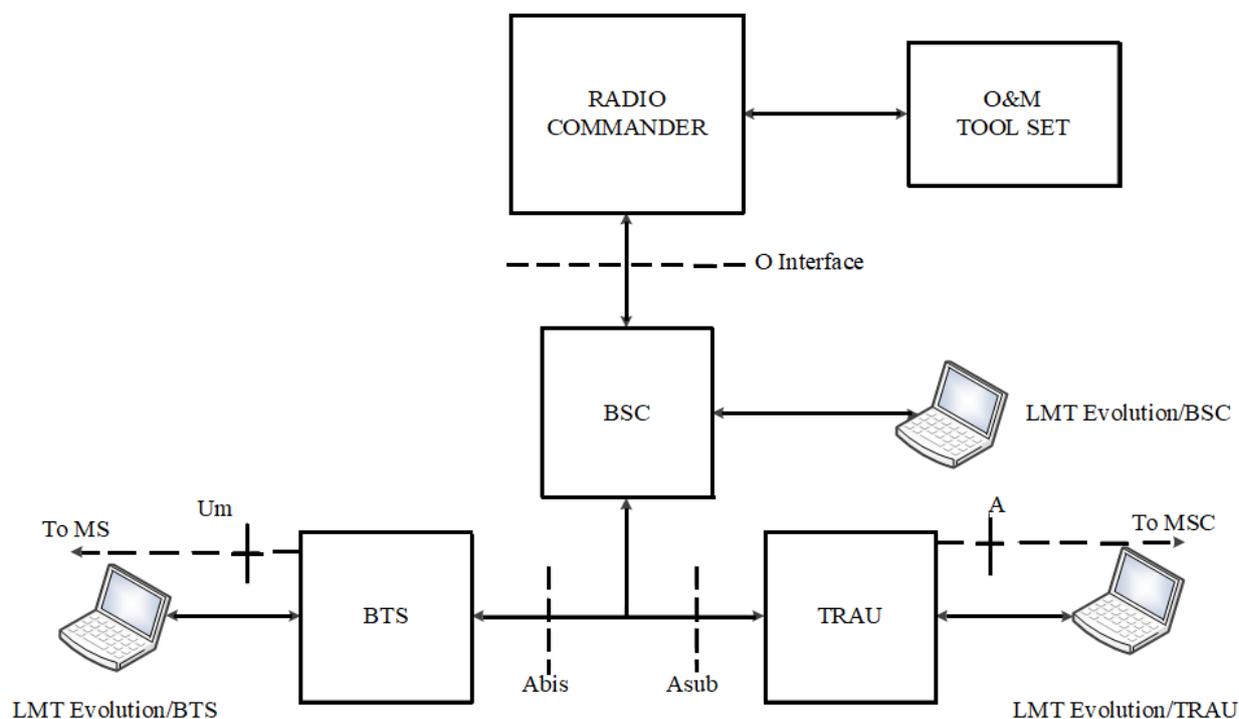


Рис. 1.8. Особенности подключения и функционирования программного комплекса LMT Evolution

Комплекс LMT Evolution можно подключить к сети NE через интерфейс, работающий по протоколу X.21/V.11 вместе с протоколами DLHC + LAPB и интерфейсом Ethernet IP. Соединение по X.21/V.11 физически реализуется с помощью кабеля, содержащего в своем составе специальный адаптер HALCA, который подключается к параллельному порту компьютера и порту мыши компьютера. На стороне оборудования сети NE кабель подключается к стандартному разъему типа SUB-D15 (рис. 1.9).

Программный комплекс LMT Evolution включает в себя семь приложений: 1) режим BTS commissioning tool (инструменты и инструкции для ввода в эксплуатацию BTS); 2) режим G-DBAEM; 3) режим LMT Evolution; 4) рабочие инструменты; 5) утилиты; 6) режим помощь; 7) режим удаления LMT Evolution (рис. 1.10).

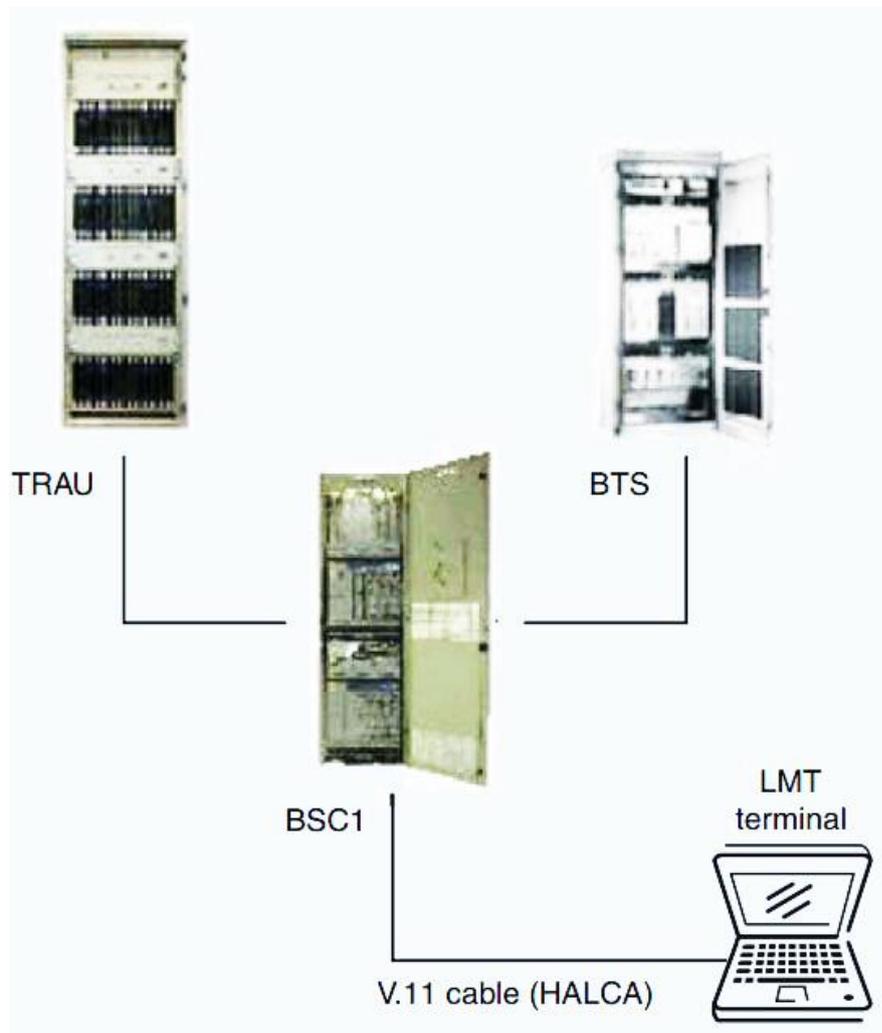


Рис. 1.9. Подключение к LMT-терминалу через HALCA-кабель

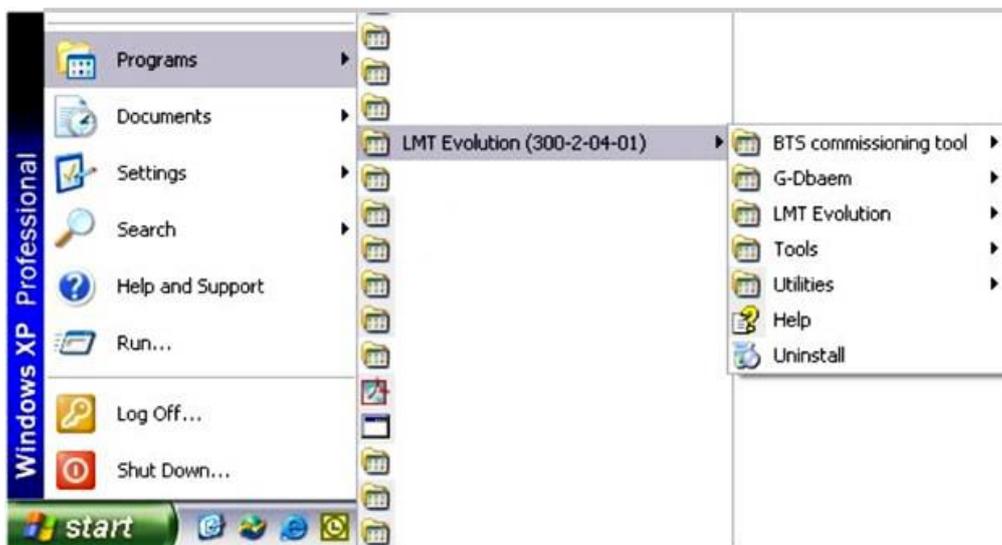


Рис. 1.10. Окно приложений LMT

Меню BTS commissioning tool предназначено для ввода в эксплуатацию базовых станций (BTS), меню G-DBSEM – для работы с базами данных и командами.

Меню LMT Evolution используется для настройки и обслуживания GSM-сети через набор функций и процедур (рис. 1.11). При запуске меню LMT Evolution открываются следующие варианты работы: режим Offline User Session позволяет импортировать сохраненный ранее (или predetermined) режим работы; режим Online – подключаться к сети NE и работать в режиме реального времени; режим Training Script «Обучение» – получить доступ к некоторым автономным функциональным возможностям LMT.

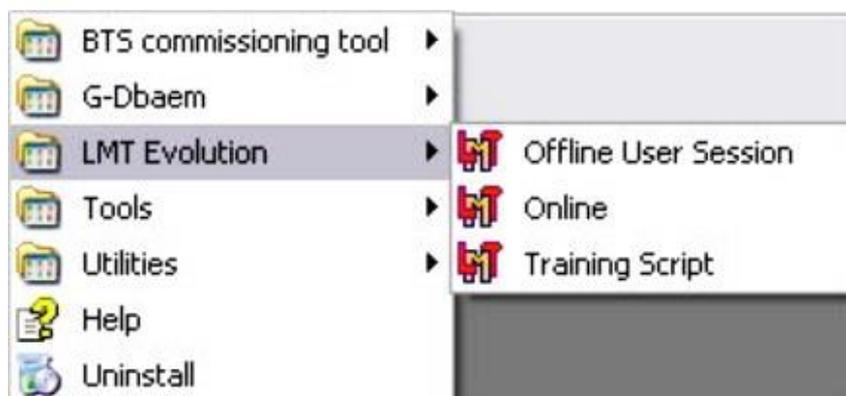


Рис. 1.11. Меню LMT Evolution

Главная панель в режиме LMT Evolution (GUI) в виде начального экрана показана на рис. 1.12.

С графической точки зрения LMT Evolution имеет главное окно, которое предоставляет доступ ко всем подключенным функциональным LMT сети и представляет собой режим общего мониторинга в отношении информации о состоянии соединений. Основные параметры, которые влияют на визуализацию LMT главного окна, зависят от состояния информации (рабочий контекст) и конфигурации оборудования сети NE (семейство, тип, версия и т. п.).

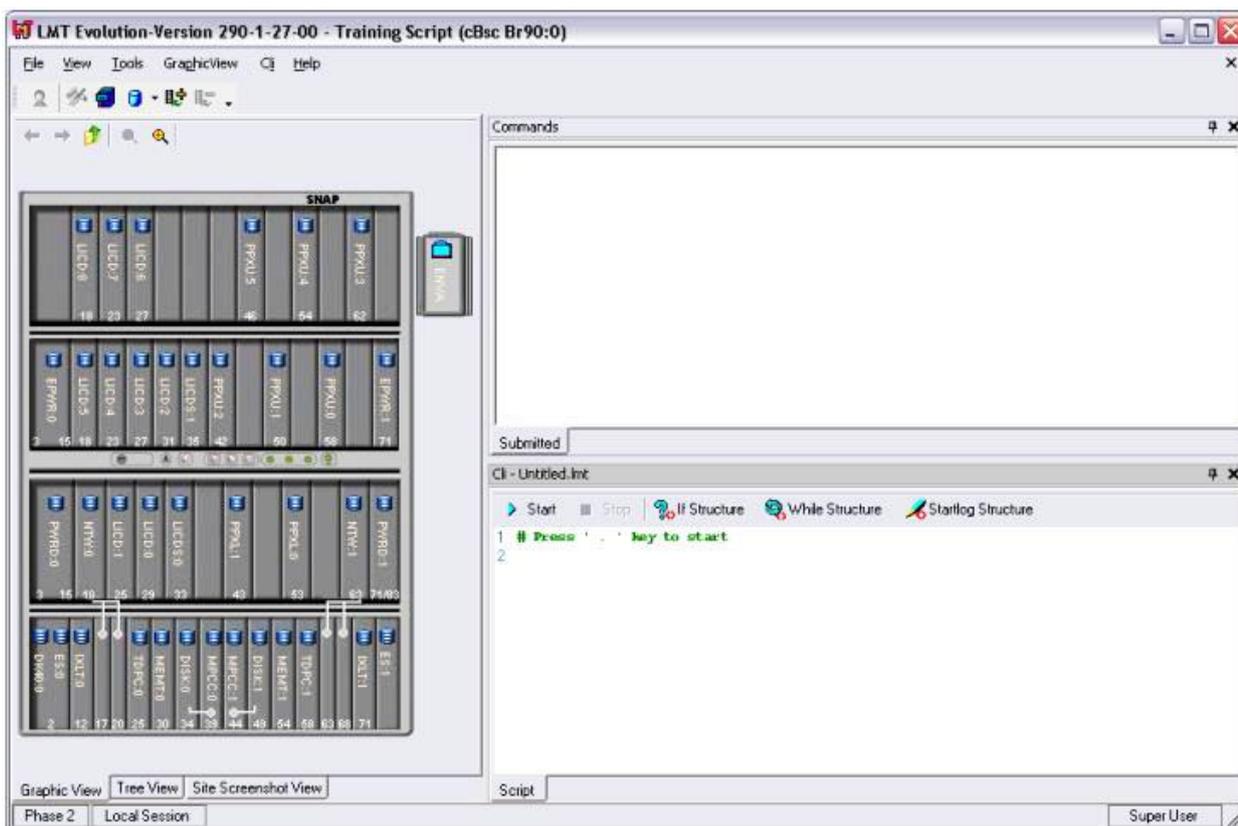


Рис. 1.12. Главная панель режима LMT Evolution

В LMT можно использовать офлайн- или онлайн-режимы, поэтому существуют две различные процедуры запуска. Для работы в интерактивном режиме существует прямая взаимосвязь и взаимодействие между LMT и NE. Для работы в автономном режиме не существует взаимосвязи и взаимодействия между LMT и сетью NE и тогда можно использовать LMT в автономном режиме. Можно использовать автономный режим сеанса пользователя для просмотра старых или экспортированных другими LMT состояний оборудования.

Вход для выбора режима сеансов осуществляется с помощью панели приложения Message Viewer. Различные варианты состояния главного окна и дополнительных панелей (в развернутом и скрытом состоянии с использованием кнопки Spin) показаны на рис. 1.13 и 1.14.

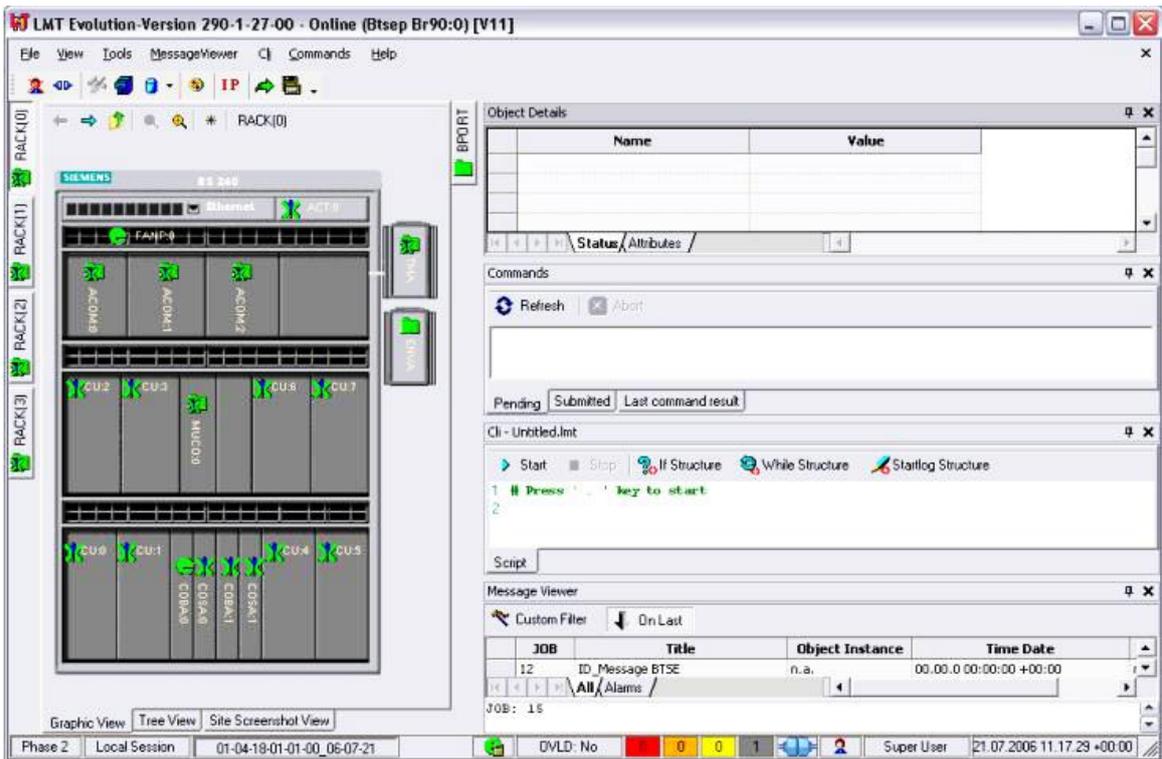


Рис. 1.13. Четыре панели окна присоединены к правой стороне главного окна

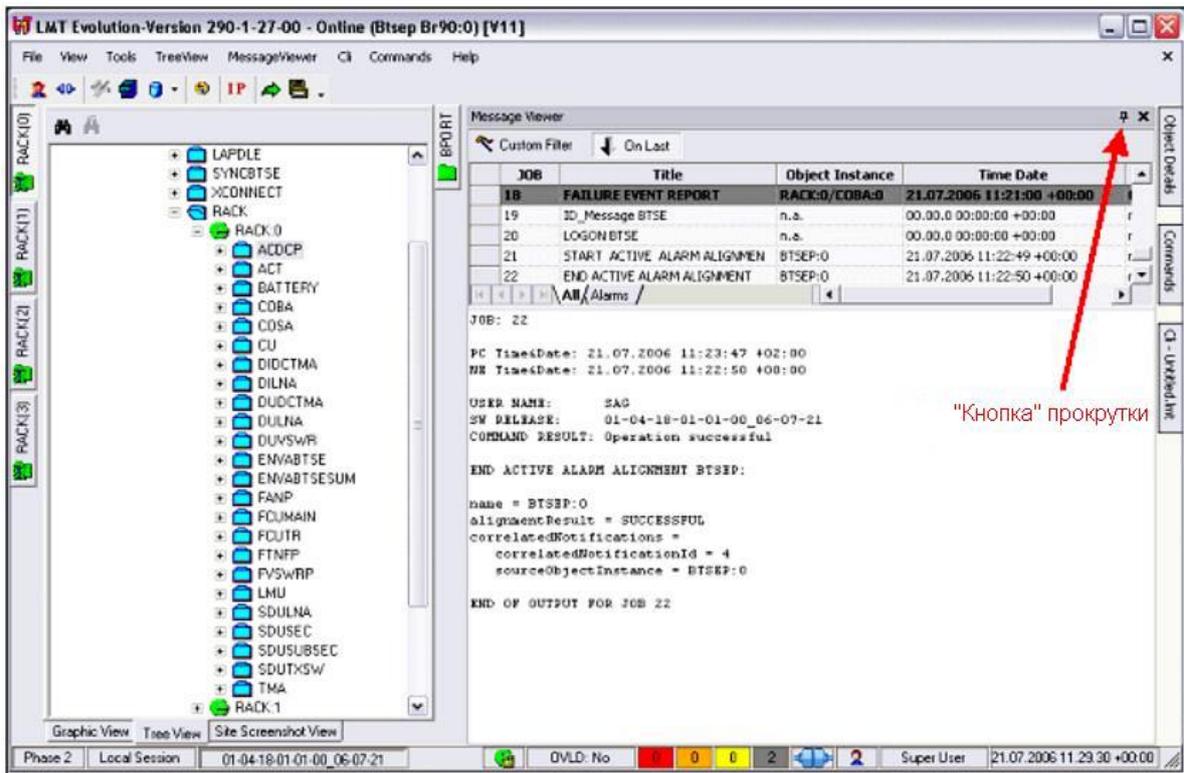


Рис. 1.14. Три окна панели в скрытом состоянии и одна панель в развернутом состоянии

Можно выделить пять графических областей, которые являются общими для всех режимов визуализации. Состояние главного окна зависит от выбора, который делается на основании команд меню Tools: 1) Строка заголовка (Title Bar); 2) Строка меню (Menu Bar); 3) Панель инструментов (Tool Bar); 4) Панель клиента (Client Area); 5) Строка состояния (Status Bar) (рис. 1.15).

Панель Message Viewer собирает все сообщения, которыми обмениваются между собой LMT и сеть NE в данной сессии (рис. 1.16).

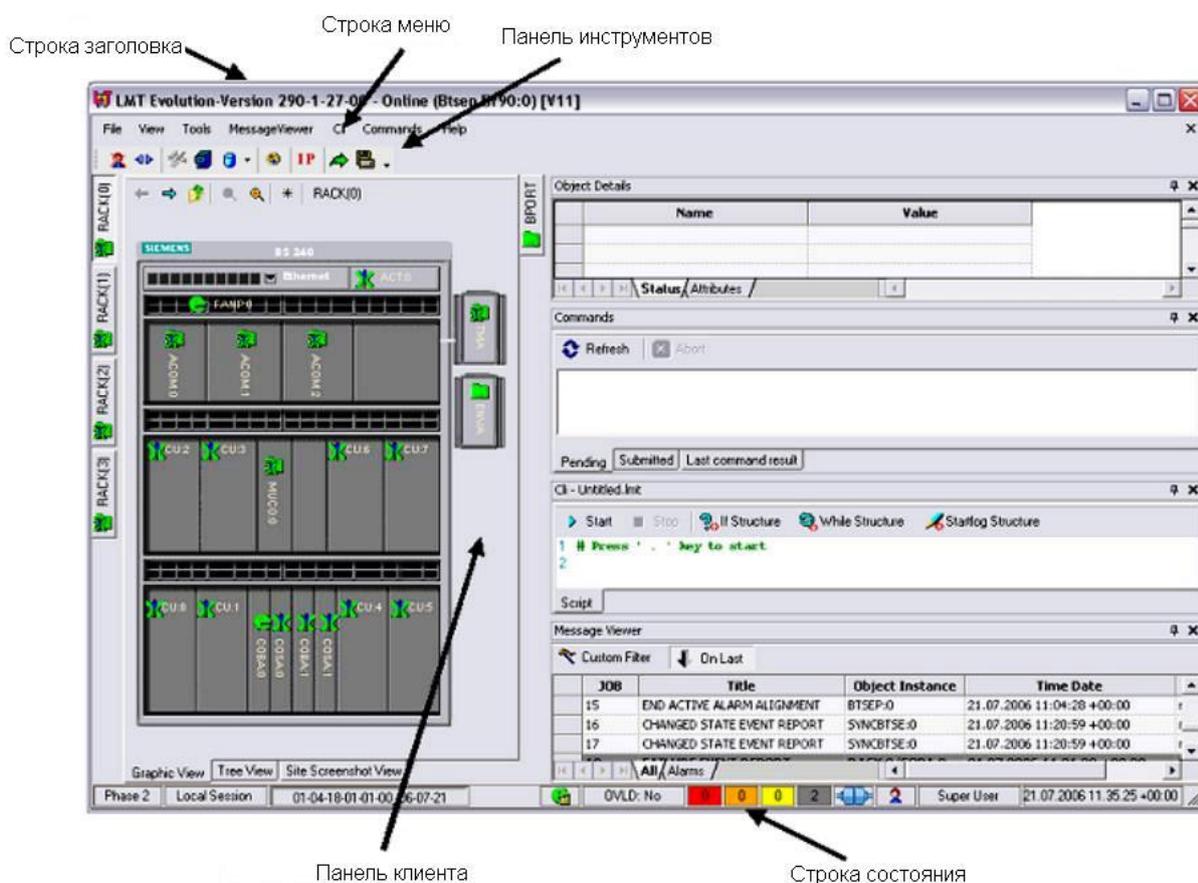


Рис. 1.15. Внешний вид главной панели LMT Evolution (TreeView)

Среди текущих сообщений аварийные сообщения отображаются с учетом их уровня приоритета, который определяется в соответствии с документированными правилами (рис. 1.17).

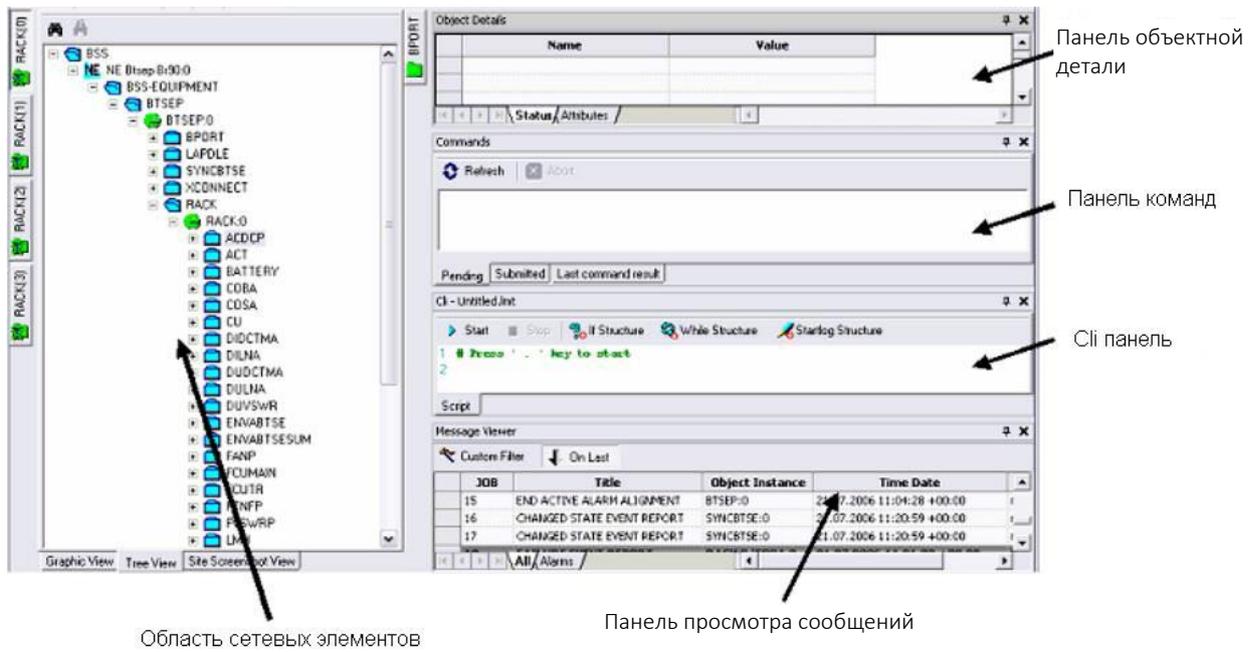


Рис. 1.16. Панель портала клиента

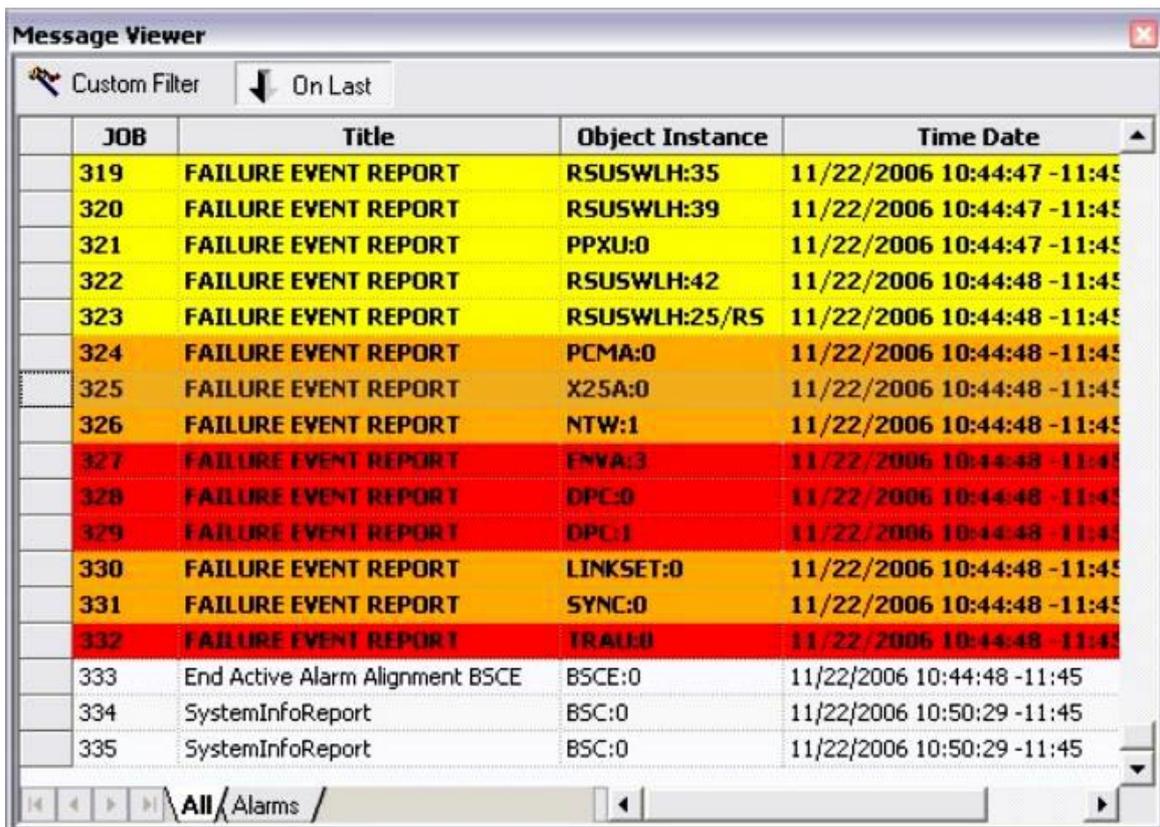


Рис.1.17. Панель Message Viewer

Вкладка All содержит таблицу данных (элементы управления сети), состоящую из последовательно упорядоченных отмеченных строк и столбцов. Каждая строка содержит запись, которая собирает информацию, связанную с основными полями обмениваемых сообщений в конкретной сессии.

Вкладка All имеет стандартную конфигурацию колонок, но можно добавить или удалить один или несколько из этих столбцов (рис. 1.18).

Стандартная конфигурация состоит из столбцов:

- Работа: идентификатор сообщения;
- Название: краткая информация о сообщении;
- Объект Instance: частичное или полное название объекта;
- Время, дата: время (чч: мм: сс) и дата (дд / мм / гггг) текущего события или получения ответа;
- Время наработки на отказ: конкретное время, когда произошла авария или отказ;
- Идентификатор ошибки: текст конкретной проблемы;
- Nacskause строка: описание причины получения ответа;
- Ast новый: сигнализация состояния. Когда происходит изменение состояния, текущее состояние объекта (если состояние имеется), как сообщается, соответственно;
- Новый Ost: рабочее состояние. Когда происходит изменение состояния, текущее состояние объекта (если состояние имеется), как сообщается, соответственно;
- Avs новое: состояние доступности. Когда происходит изменение состояния, текущее состояние объекта (если состояние имеется), как сообщается, соответственно.

Окно «Форматирование сообщений» может отображаться при подсказке, при установке курсора на колонке сообщения (первый на левой стороне). Слишком большие сообщения могут быть только частично показаны и обычно они усекаются (фиксируется до 1000 знаков).



Рис. 1.18. Окно вкладки All

При выборе окна «Форматирование сообщений» выбирают команду из меню просмотра сообщений или из пункта меню в контекстном меню. Обычно окно «Форматирование сообщений» показано даже в случае, если сообщение очень большое, тогда пользователь может увидеть сообщение целиком, без каких-либо ограничений по размеру, как показано в случае подсказки (рис. 1.19) или контекстной команды (рис. 1.20).

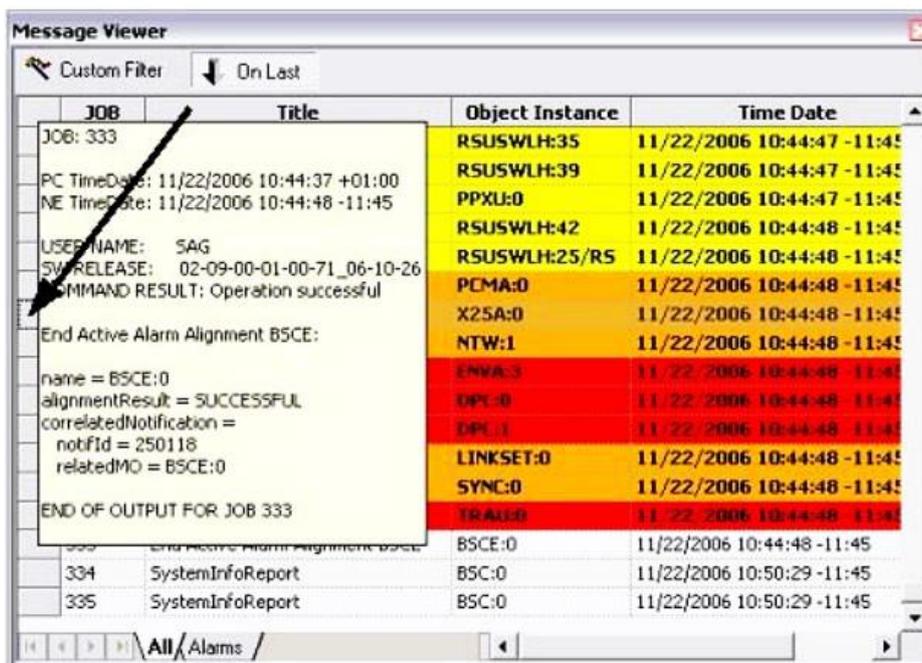


Рис. 1.19. Предварительный просмотр форматированных сообщений в подсказке

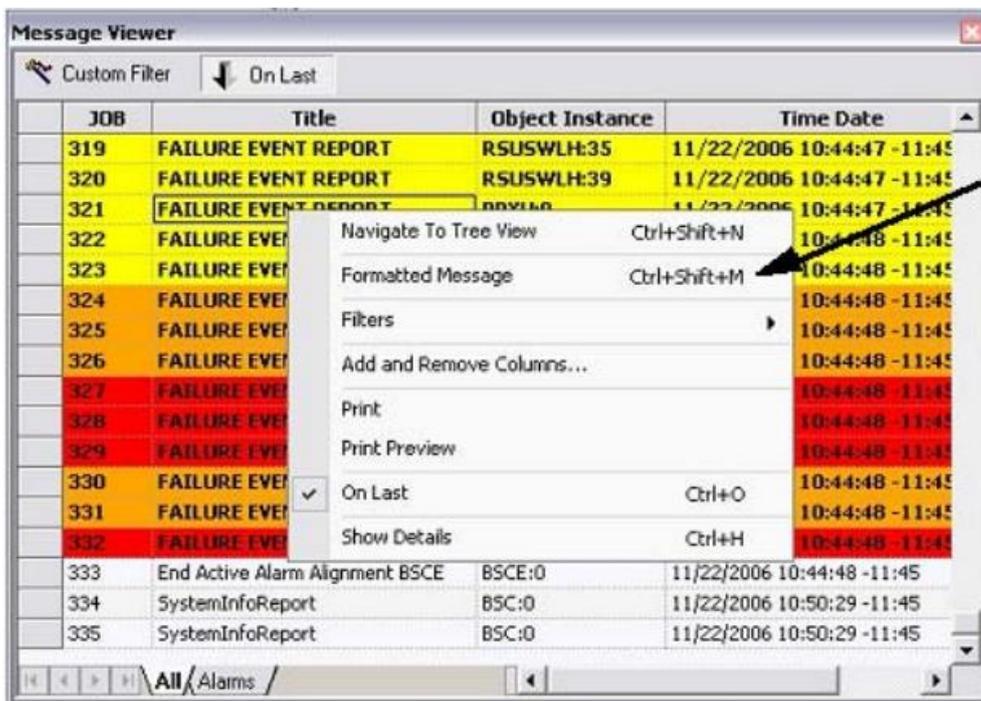


Рис. 1.20. Окно «Форматирование сообщений» контекстной командой

## 1.5. Порядок выполнения работы

1. Включить блок питания ZTE (ZXDU68b201), расположенный в стойке в центре а. 509-3. Для этого поставить трехфазный выпрямитель AC input в верхнее положение. Поставить выключатели №1 (БС) и №2 (КБС) на панели DC output в верхнее положение, тем самым обеспечив подачу напряжения  $\pm 48$  В на оборудовании БС (BD240) и КБС (D900BC).

2. Открыть защитную переднюю крышку для оборудования КБС (D900BC) фирмы Siemens, нажав две кнопки, встроенные в защитную крышку, и потянув ручки на себя.

3. Подать напряжение питания на оборудование контроллера, нажав черные кнопки четырех блоков питания. Два блока PWR0 (позиция блока 3) и PWR1 (позиция блока 71) размещены на базовой панели, которая расположена ниже панели контроля постоянного питания (DC Panel). Два других блока – PWR0 (позиция блока 3) и PWR1 (позиция блока 71) – размещены на резервной панели (или панели расширения), расположенной выше панели 30

контроля питания (DC Panel). Проконтролировать засветку зеленым цветом индикаторов IS и ON на передней панели четырех блоков питания, указанных выше.

4. Занести в отчет состояние индикаторов на верхней панели контроля (Lamp Panel), где располагаются индикаторы CRITICAL ALARM, MAJOR ALARM и MINOR ALARM.

5. Проверить состояние индикаторов на панели контроля постоянного питания (DC Panel), расположенной в средней части стойки. Занести в отчет состояние индикаторов, расположенных на панелях GLOBAL ALARM, SYSTEM ALARM, FAULT INDICATION, S/W RUN и ALARM. Проконтролировать засветку индикаторов, нажав вниз и удерживая тумблер LAMP TEST в нижнем состоянии.

6. Проверить засветку индикатора красным цветом для блока LICD6 (QTLF) на позиции №27 в верхней половине стойки КБС.

7. Включить питание на базовую станцию BS-240 II, предварительно открыв защитную переднюю крышку. Для этого поставить тумблеры BR01-BR04 (красного цвета), BR05-BR06 (черного цвета) и BR07-BR08 (зеленого цвета) в верхнее положение. Наблюдать загорание индикаторов Power0, Power1 на комбайнерах. На четырех приемопередающих блоках, расположенных в предпоследней линии устройств, наблюдать засветку индикатора ОК (мигает зеленым цветом), индикаторы RES и SW не горят, индикатор PA горит постоянным красным цветом. На блоке COBA AP12V2 мигает индикатор АСТ (зеленый цвет), индикатор FLOC горит зеленым цветом, остальные индикаторы не горят. На блоке FCUGV1, расположенном в нижнем левом углу, мигает индикатор ОК, индикаторы P0 и P1 горят красным цветом.

8. Проверить подключение специального интерфейсного кабеля HALK от компьютера к разъему LOCAL TEM IN, расположенному на панели контроля питания (ДС-панель) контроллера D900BC (см. рис. 1.2). Вторым концом этого кабеля должен быть подключен к LPT-разъему компьютера.

Также необходимо проконтролировать подключение второго кабеля с разъемом круглой формы, отходящего от приборной коробки интерфейсного кабеля HALK, к аналогичному разъему на компьютере. Включить лабораторный персональный компьютер. На рабочем экране компьютера запустить специальную программу LMT Evolution (версия 301-1-2002) двойным нажатием кнопки мыши компьютера. В папке FILE выбрать опцию Log-on и нажать кнопку ОК. На дополнительной панели, которая появится после этого, набрать имя пользователя SAG (простыми буквами) и затем пароль SAG. Убедиться в появлении рабочего экрана программы LMT, который состоит из нескольких рабочих панелей. Изучить состав оборудования данного контроллера. Для этого на левой контрольной панели (см. рис. 1.2) нажать вкладку Graphic View и изучить состав оборудования по месту его расположения в данном КБС. Затем перейти к вкладке Tree View и изучить состав оборудования по количеству одноканальных блоков. При работе со вкладками Graphic View и Tree View подвести курсор к символу данного блока или группы блоков и нажать ОК правой кнопкой мыши. Проконтролировать состояние блока в специальной панели (Object Details), расположенной справа сверху. Записать в отчет информацию, которая появилась в этом окне для каждого блока, входящего в состав данного блока КБС. Полученные данные на компьютере с помощью специальной программы LMT проверить непосредственным визуальным осмотром состава и расположения реальных блоков в стойке данного контроллера.

9. Изучить особенности функционирования специальной контрольной панели Message Viewer, предназначенной для сбора контрольных сигналов с оборудования КБС и базовых станций, которые подключены к данному КБС. Записать в отчет пять последних сообщений при нажатии кнопки ALL в нижней части экрана. Выбрать опцию Alarms (контрольные сигналы), нажав соответствующую кнопку внизу экрана. Записать в отчет пять последних сообщений на данном экране. Сделать выводы.

10. Изучить особенности организации передачи сообщений между КБС и БС, расположенными в учебной аудитории. В исходном состоянии между КБС и БС проложен специальный симметричный кабель, с помощью которого организуется двухсторонняя передача сообщений в рамках стандарта проводной цифровой системы передачи. Убедиться в подключении данного кабеля с одной стороны к соответствующей коммутационной панели КБС, которая расположена в верхней части стойки (в торцевой части), с другой стороны – к аналогичной коммутационной панели БС, расположенной в верхней части стойки. Проверить предварительно состояния экрана Message Viewer на отсутствие сообщений, связанных с неисправностью БС. Тумблер К1, установленный на верхнем торце стойки БС, поставить в положение ВЫКЛ, чтобы обеспечить искусственный разрыв на линии симметричного кабеля, и тем самым прервать обмен сообщений между КБС и БС. Наблюдать появление контрольных сообщений на экране Message Viewer, связанных с фиксацией КБС неисправности данной БС. Записать появившиеся сообщения в отчет по данной лабораторной работе, сделать выводы. Поставить тумблер К1, расположенный в верхней части стойки БС, в исходное состояние. Снова пронаблюдать появление сообщений на экране Message Viewer, связанных с контролем состояния данной БС. Сделать выводы. Записать в отчет общее количество ошибок на специальном экране, расположенном внизу. На красном фоне в ячейке строки высвечивается количество критических ошибок, далее идет ячейка строки с коричневым фоном, а затем – с желтым. Цифры, которые зафиксированы на этих ячейках, занести в отчет и дать им соответствующие пояснения.

11. Включить комплект РРСП NEC Pasolink диапазона 38 ГГц. Для этого подать питание от двух блоков питания ИП-2 на два комплекта РРСП, поставить тумблеры «Сеть», расположенные на передней панели, в верхнее положение. Проконтролировать напряжение величиной 24 В на двух встроенных вольтметрах в двух блоках питания. Включить оба комплекта РРСП, поставив два тумблера питания I-O на каждом из комплектов в верхнее по-

ложение. Убедиться, что на выходе передатчика левого по расположению комплекта РРСЦ наблюдается наличие мощности по специальному измерителю проходящей мощности (ИПМ), который измеряет проходящую мощность и шкала которого градуирована в милливаттах (мВт). Включить виртуальную машину, нажав на передней панели на значке VM Ware Workstation. Запустить программу управления цифровых РРСЦ, нажав на иконку Pnmt.exe. Тумблеры коммутации потока 2,048 Мбит/с, расположенные на боковой панели базовой станции, перевести с проводящего канала на радиорелейную станцию. В программе PNMT подвести курсор к символу  и в появившемся окне Login/Logout набрать User Name – Admin и нажать ОК. Щелкнуть IDU на обоих комплектах. Выбрать канал 1 (CH 1), в появившемся окне нажать Usage и выбрать Used. Аналогично операции провести на втором комплекте РРСЦ.

Наблюдать засветку красным цветом поля IDU и индикатора Alarm для каналов CH1 двух комплектов РРСЦ. Тумблеры коммутации направлений перевести из верхнего положения (связь организуется посредством кабеля) в нижнее (связь организуется посредством радиорелейной связи). Контролировать загорание зеленым цветом поля IDU на схеме двух комплектов РРСЦ, индикаторов Alarm для двух каналов CH1 и двух индикаторов IDU на передней панели двух внутренних блоков РРСЦ. Атенюатором, который располагается в лабораторном волноводном тракте, плавно увеличить затухание, вращая ручку аттенюатора по часовой стрелке, пока не загорится светодиод IDU красным цветом на одном из двух РРСЦ. На передней панели контроллера после небольшого отрезка времени наблюдать загорание мерцающего зеленым цветом индикатора Line и красным цветом индикатора QoS. Открыть окно Link Performance Monitor правого комплекта, где загорается красным цветом поле блока IDU. Щелкнуть на значке  (обновить), расположенному в левом верхнем углу поля (экрана) BER. Выписать в отчет значение параметра коэффициента ошибки BER (приблизительная величина 1,1E-04). Привести аттенюатор в исходное состояние, т. е. обеспечить нормальное, без

дополнительного затухания, состояние. Наблюдать переход индикаторов и светодиода IDU на передней панели в состояние нормальной работы, которое отмечается их загоранием зеленым цветом. Контролировать восстановление индикаторов Line в состояние засветки светодиода постоянным зеленым цветом, а индикатор Q<sub>0</sub>S должен загореться через некоторый временной интервал (приблизительно 10 с) красным постоянным свечением. Тумблеры переключения направлений перевести в верхнее (связь организуется посредством кабеля) положение. Выйти из программы PNMT, закрыть все окна. Выключить виртуальную машину. Выключить два комплекта РРСП, поставив 2 тумблера I-O в нижнее положение. Выключить два блока питания по 24 В, поставив тумблеры «Сеть» в нижнее положение.

12. Изучить особенности функционирования, состав оборудования и технические характеристики BS-240 XL II. Проанализировать состав функциональных блоков по рис. 1.2 данной лабораторной работы, сверить этот рисунок с реальным составом и расположением блоков данной БС.

13. Исследовать особенности функционирования тракта приема гибридного комбайнера FDUAMCO. Включить генератор APSIN4010, поставив черный тумблер, расположенный на задней панели прибора, в положение ON. Наблюдать за засветкой табло генератора, где после включения высвечиваются данные о генераторе, его модель, серийный номер и другая информация. Через небольшой интервал времени генератор показывает, что установлена частота 100 МГц и уровень выходного сигнала равный 0 дБм. Подключить с помощью информационного кабеля генератор APSIN4010 к USB-порту компьютера. Запустить управляющую программу ANAPICO GUI Y2.81 на рабочем экране компьютера. Убедиться в появлении надписи на экране генератора – USB remote control. На рабочем экране управляющей программы APICO GUI Y2.81 убедиться в появлении строки, которая содержит идентификационные параметры генератора: ID – 1; Device Name-APSIN4010; Serial Number – 161-233500000-0594; IP/UISAID USB-161-233500000-0594. Выбрать окно SWEEP. В поле FREQ. SWEEP установить

значения начальной и конечных частот измерения: Start Frequency – 830 МГц и Stop Frequency – 940 МГц. Количество точек для просмотра – параметр Point over span – выбрать равным 10 000. Проверить установку выходного уровня равного 0 дБм по контрольному экрану. На рабочем экране генератора нажать две кнопки – ON и RF ON, убедившись в засветке их зеленым цветом. Соединить выход генератора RF 50  $\Omega$  с разъемом ANT1 гибридного комбайнера FDUAMCO, расположенного в стойке базовой станции. Выход тракта приема разъем RX2 – соединить внешним кабелем с входом анализатора Tektronix. Включить данный анализатор, нажав синюю нижнюю кнопку включения прибора на панели в нижней части прибора. Установить частоту на анализаторе спектра равной 900 МГц. В окне Trace1 установить режим Max Hold. Наблюдать построение исследуемой характеристики АЧХ на экране анализатора спектра, нажав при необходимости на сенсорной панели кнопку Autolevel. Исследовать полученную характеристику АЧХ тракта приема комбайнера FDUAMCO. Для этого установить красную измерительную метку анализатора спектра в произвольную точку плоской части полученной характеристики. Записать в отчет значение частоты и уровня сигнала, которые соответствуют этой метке с помощью специального табло, которое расположено в нижней части сенсорного экрана анализатора спектра.

Далее выполнить установку двух других измерительных меток – зеленого и фиолетового цвета. Установить зеленую метку на начальный участок склона АЧХ слева от красной метки. Сиреневую метку установить на начальный участок правого склона АЧХ. С помощью табло плавной регулировки уровня сигнала, расположенного в правой нижней части экрана прибора и представляющего собой круг с секторами, являющимися условными кнопками регулятора, добиться разницы уровней сигналов зеленой и фиолетовой меток, равной приблизительно 3 дБ. Зеленую метку установить на левый склон АЧХ. С помощью табло плавной регулировки уровня сигнала, расположенного в правой нижней части экрана прибора, добиться разницы между уровнями сигналов зеленой и сиреневой меток, приблизительно рав-

ной 3 дБ. Результаты измерения полосы АЧХ, которые отображаются на специальном экране в нижней его части, записать в отчет. Все данные измерений, связанные с метками, в частности, частота и уровень сигнала, занести в отчет. Полученную характеристику АЧХ приемного тракта представить в отчете. Сделать выводы.

14. Исследовать особенности функционирования тракта передачи гибридного комбайнера FDUAMCO. Для этого разъем ТХО, расположенный на передней панели комбайнера, соединить внешним кабелем с выходом генератора APSIN4010. Разъем ANT1 гибридного комбайнера FDUAMCO соединить внешним кабелем с входом RF INPUT анализатора Tektronix. Построить АЧХ тракта передачи комбайнера FDUAMCO. Для этого в поле FREQ. SWEEP генератора установить значения начальной и конечных частот измерения: Start Frequency – 910 МГц и Stop Frequency – 980 МГц. По методике, описанной в п. 13, получить и исследовать АЧХ тракта передачи гибридного комбайнера FDUAMCO. Все данные занести в таблицу. Полученную характеристику АЧХ передающего тракта представить в отчете. Сделать выводы.

## **1.6. Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Основные характеристики и параметры контроллера базовых станций D900BC и базовой станции BS-240 XL II.
3. Экспериментальные данные.
4. Выводы по проделанной работе.

## **1.7. Контрольные вопросы**

1. Опишите особенности функционирования сети GSM и назначение отдельных подсистем и устройств.

2. Назовите основные характеристики и параметры контролера базовых станций D900BC.

3. Назовите основные характеристики и параметры исследуемой базовой станции BS-240 II.

4. Опишите особенности функционирования программного комплекса LMT Evolution.

5. Опишите особенности модуляции радиосигнала в стандарте GSM.

6. Опишите структурную схему и особенности функционирования антенного комбайнера MFDUAMCO.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОТОВОГО ТЕЛЕФОНА NOKIA5110**

Цель работы: изучить устройство и особенности функционирования сотового телефона Nokia5110; произвести измерения характеристик и параметров сотового телефона Nokia5110; дать анализ полученных результатов в выводах.

### **2.1. Краткие теоретические сведения**

#### *2.1.1. Основные особенности построения и характеристики сотового телефона Nokia5110*

Рассмотрим особенности построения и основные характеристики сотового телефона Nokia5110 (по системе фирменного обозначения – модель NSE-1 или NSE-2). Этот телефон представляет модель первой фазы развития стандарта GSM поколения 2G (рис. 2.1).

Главным элементом телефона является микросхема типа СБИС (сверхбольшая интегральная схема) или ASIC (в англоязычных текстах) типа MAD2 фирмы Intel, позиционный номер D220. В составе этой схемы интегрирован цифровой сигнальный процессор (DSP) и распределенная схема главного контрольного узла (MCU – Main Control Unit). Цифра 2 в маркировке микросхемы обозначает ее применимость для стандарта GSM. В составе микросхемы MAD2 можно выделить три крупных узла – DSP (цифровой сигнальный процессор), MSU (главный сигнальный узел) и узел системной логики – System Logic. Анализ построения DSP позволяет выделить основные операции при обработке цифровой информации в трактах передачи и приема: речевое и канальное кодирование, шифрование, формирование вре-

менного кадра, цифровая фильтрация и др. Микросхема MAD2 по параллельным шинам взаимодействует с тремя микросхемами памяти – FLASH (оперативная, объем 512 кбит), SRAM (постоянная, объем 128 кбит), EEPROM (полупостоянная, объем 2 кбит), их позиционные номера D221, D210, D240 соответственно.

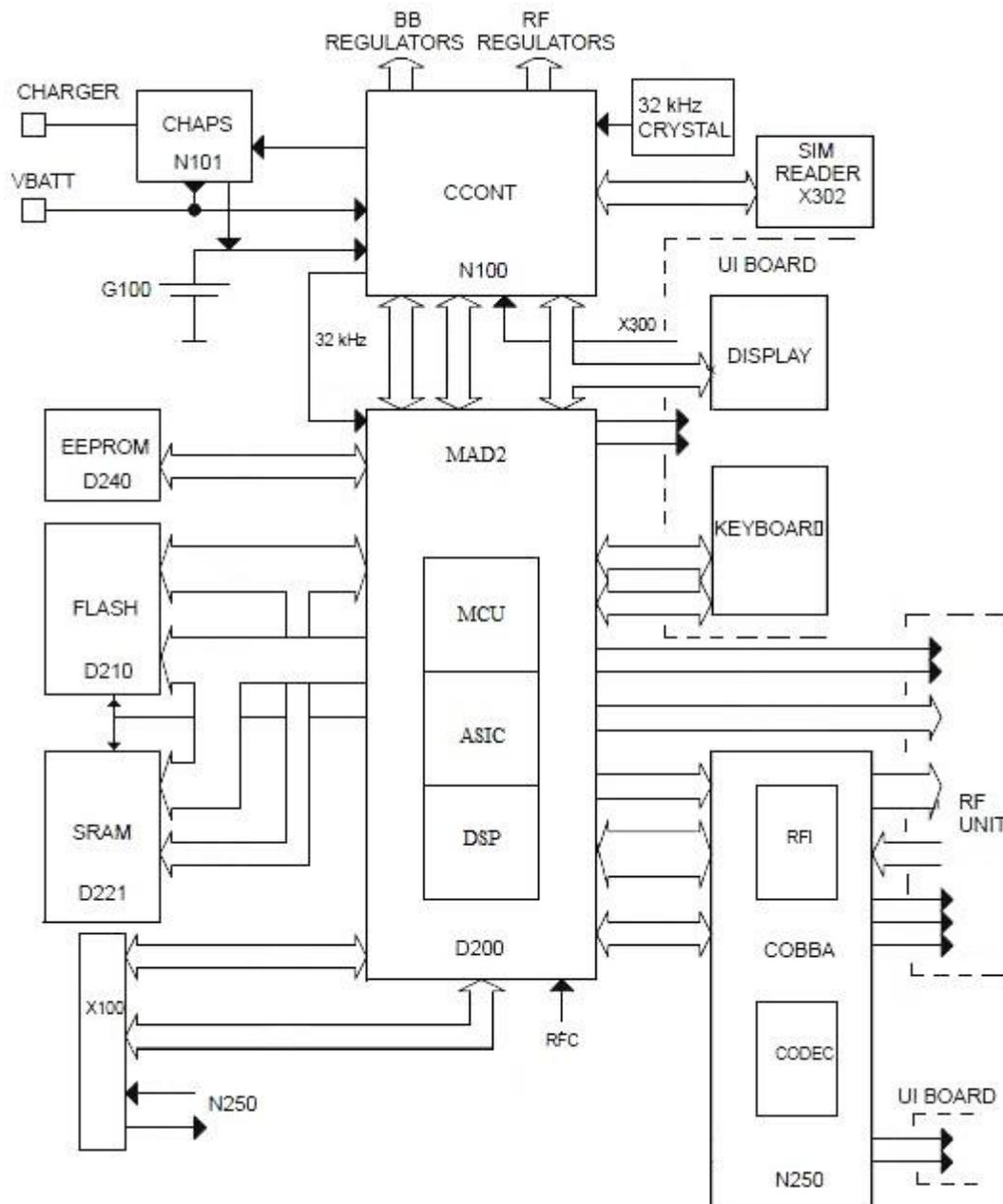


Рис. 2.1. Структурная схема сотового телефона Nokia5110

Микросхема CCONT (N100) представляет собой микросхему, которая управляет распределением напряжений питания, поступающих на базовый блок (BB Regulators) и радиочастотный блок (RF Regulators). На эту микросхему напрямую подается напряжение аккумулятора (VBATT) и через защитную микросхему CHAPS(N101) напряжение от зарядного устройства CHARGER. Также посредством этой микросхемы осуществляется связь с SIM-картой через узел SIM READER с разъемом X302. Важное место в любом телефоне занимает интерфейс пользователя (UI – User Interface), который обычно формируется из клавиатуры (Keyboard) и (или) сенсорного экрана или дисплея (Display), микрофона, телефона и других устройств. Радиочастотный тракт этого телефона формируется из микросхемы COBBA, содержащей в своем составе аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи, фильтры нижних частот, усилители и ряд других устройств, и группа микросхем и других элементов, формирующих приемопередающий, высокочастотный тракт – RF (Radio Frequency) UNIT-блок. Для передачи информации во внешние цепи служит системный разъем – System Connector X100. Радиочастотный блок (RF Unit) подробно изучается при выполнении данной лабораторной работы и рассматривается далее. При построении радиочастотного блока используется двухкратное преобразование частоты. Радиочастотный тракт формируется с использованием микросхем PLUSSA, CRFU 2a, MMIC pwr amp (монолитная микросхема усилителя мощности в тракте передатчика) и ряда отдельных дискретных радиоэлектронных элементов – фильтров, резисторов, конденсаторов, индуктивностей, которые не интегрированы в составе этих микросхем.

Данный телефон предназначен для работы в стандарте GSM 900 в двух диапазонах частот: 890–915 МГц – обратный канал (с МС на БС), 935–960 МГц – прямой канал (с БС на МС). Разнос по частоте прямого и обратного канала (дуплексный разнос) составляет 45 МГц. Разнос частот между соседними каналами составляет 200 кГц. Таким образом, в отведенной для приема (передачи) полосе частот шириной 25 МГц размещаются 124 канала

связи. Используется многостанционный доступ с временным разделением. Это позволяет на одном частотном канале разместить восемь физических каналов. Обработка речи осуществляется на основе системы прерывистой передачи речи DTX, которая обеспечивает включение передатчика только во время разговора. Для преобразования речевых сигналов используется речевой кодек RPE/LTP-LPC с регулярным импульсным возбуждением и скоростью преобразования речи 13 кбит/с. Для защиты от ошибок, возникающих в радиоканалах, применяется блочное и сверточное кодирование с перемежением. Повышение эффективности кодирования и перемежения достигается медленным переключением рабочих частот в процессе сеанса связи (217 скачков в секунду). Для борьбы с замираниями сигналов, вызванных многолучевым распространением радиоволн, используются эквалайзеры, обеспечивающие выравнивание импульсных сигналов со среднеквадратичным отклонением времени задержки до 16 мкс. Система синхронизации рассчитана на компенсацию абсолютного времени задержки сигналов до 233 мкс, что соответствует дальности связи (максимальному радиусу соты) 35 км. Для модуляции радиосигнала используется спектрально-эффективная гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом (GMSK).

### *2.1.2. Радиочастотный блок сотового телефона Nokia5110*

В состав радиочастотного блока входит приемник, передатчик и синтезатор частоты (рис. 2.2).

Приемник является супергетеродинным приемным устройством с двойным преобразованием частоты. Принятый радиочастотный сигнал от антенны WA проходит через фильтр Z1 к малошумящему усилителю (МШУ) A1 в тракте ВЧ. Регулировка усиления производится под управлением сигнала  $U_{упр}$  из процессора. Усиление в МШУ подвергается регулированию, когда уровень радиосигнала на входе составляет  $-45$  дБм и выше. После прохождения МШУ сигнал подается на полосовой фильтр Z3, выполненный по техно-

логии, при которой возбуждаются поверхностные акустические волны (ПАВ). Отмеченные фильтры обеспечивают блокирование мешающих внеполосных сигналов и соответствующую избирательность по соседнему каналу.

Отфильтрованный сигнал затем через согласующую цепь (СЦ) поступает в смеситель UB1 и преобразуется в частоту 71 МГц, которая является первой промежуточной частотой. Поскольку это активный смеситель, он также усиливает сигнал промежуточной частоты. Сигнал гетеродина для смесителя формируется синтезатором частоты и подается на него через усилители А5 и А6. Сигнал промежуточной частоты фильтруется избирательным ПАВ фильтром Z5. Фильтр промежуточной частоты обеспечивает селективность для каналов при отстройке частоты больше чем  $\pm 200$  кГц. Также он подавляет зеркальную частоту второго смесителя и сигналы взаимной модуляции.

Следующий элемент в цепи приемника – усилитель с автоматической регулировкой усиления (АРУ) (каскады А14, А15 и А16). Они интегрированы в соответствующую интегральную схему.

Управляющее напряжение для АРУ (сигнал  $U_{\text{упр}}$ ) формируется в цифроаналоговом преобразователе, в схеме обработки и преобразования. АРУ обеспечивает точный диапазон контроля усиления (минимальная величина, приблизительно 60 дБ) для приемника. После схемы АРУ содержится второй смеситель UB4, который формирует вторую промежуточную частоту 13 МГц. Сигнал гетеродина образуется при делении частоты, и, таким образом, частота гетеродина для этого преобразователя составляет 58 МГц.

Второй фильтр промежуточной частоты – керамический фильтр Z10, настроенный на частоту 13 МГц. Он обеспечивает избирательность по соседним каналам.

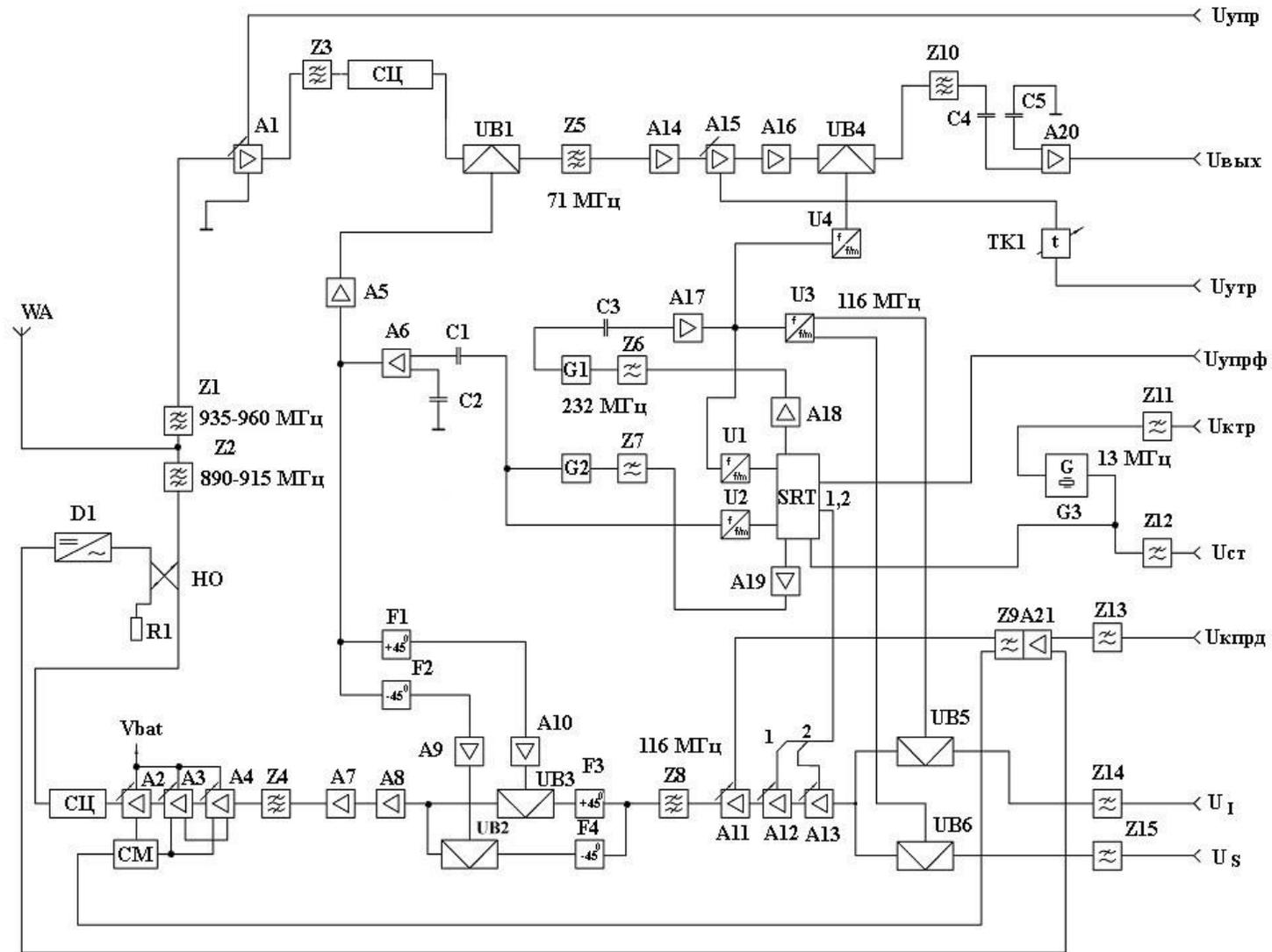


Рис. 2.2. Структурная схема радиочастотного блока сотового телефона Nokia5110

После фильтра 13 МГц расположен буферный усилитель А20 для сигнала промежуточной частоты. Далее сигнал подается в схему АЦП. Буферный каскад А20 имеет коэффициент усиления 36 дБ.

Передачик состоит из IQ-модулятора, смесителя, усилителя мощности и петли управления усилением. I- и Q-сигналы вырабатываются в тракте обработки низкочастотных сигналов. После фильтрации в фильтрах Z14 и Z15 они поступают в IQ-модулятор (устройства UB5 и UB6). Таким образом, формируется необходимый вид цифровой манипуляции – гауссовская частотная манипуляция с минимальным сдвигом (GMSK). Значение промежуточной частоты составляет 116 МГц. После этого сигнал усиливается в каскадах А11, А12, А13 и фильтруется в фильтре Z8 для преобразования в конечную частоту тракта передачи. Выходной смеситель образован на элементах UB2 и UB3. В схему также интегрированы фазовращатели F1–F4, которые помимо формирования необходимого сдвига фазы, обеспечивают также подавление помех зеркальной частоты. Сигнал гетеродина, необходимый для преобразования, сформирован синтезатором частоты и подается через буферные усилители А9 и А10.

Следующий каскад – межкаскадный фильтр Z4, который подавляет нежелательные сигналы от преобразователя частоты, главным образом это сигналы гетеродина и зеркальной частоты преобразователя частоты. Этот фильтр также выполнен по ПАВ-технологии.

Окончательное усиление реализуется выходным усилителем мощности, реализованным в виде ММИС (монолитная СВЧ интегральная схема) – каскады А2, А3, А4, на которых формируется напряжение смещения с помощью каскад, который обозначен как СМ. Через каскад СМ подается также сигнал регулировки коэффициента усиления с петлей контроля. Усилитель имеет коэффициент усиления 35 дБ, максимальная выходная мощность составляет 0,8 Вт. Диапазон управления усилением – более чем 35 дБ. Гармоники полезного сигнала отфильтровываются согласующей цепью (СЦ) и фильтром Z2. Схема контроля усиления состоит из датчика мощности на вы-

ходе усилителя и усилителя ошибки в схеме промежуточной частоты. На выходе усилителя мощности включен направленный ответвитель (НО). С него ответвляется сигнал, который далее выпрямляется с помощью диода Шоттки (D1), фильтруется и преобразуется в сигнал постоянного тока. Этот сигнал сравнивается в усилителе ошибки A21 с напряжением, которое подается через фильтр Z13. Замкнутый управляющий контур линейно отслеживает выходное напряжение. Сигнал с выхода фильтра Z9 имеет приподнятую косинусную форму (функция  $\cos x$ ), которая уменьшает переходные процессы при пульсациях сигнала.

Синтезатор частоты содержит два генератора, управляемых напряжением (ГУН) – G1 и G2. Это стабилизированные генераторы частоты, которые связаны с системой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Система ФАПЧ управляется напряжением с кварцевого генератора G, имеющего температурную компенсацию. Учет температуры осуществляется подачей сигнала АПЧ – напряжением, которое генерируется трактом обработки сигналов с помощью 11-битного ЦАП в схеме обработки и преобразования.

Схема ФАПЧ содержит делители частоты U1–U4, петлевые фильтры Z6, Z7, развязывающие усилители A18, A19, модуль SRT, содержащий фазовый детектор, и ряд других каскадов.

Фазовый детектор сравнивает внешний опорный сигнал с сигналом, полученным с делителя частоты. Выход фазового детектора связан с генератором подкачки заряда, который заряжает или разряжает интегрирующий конденсатор в петлевом фильтре в зависимости от фазы измеренной частоты, сравненной с частотой делителя. Петлевой фильтр отфильтровывает пульсации и формирует напряжение, чтобы управлять частотой ГУН. Петлевой фильтр определяет переходную характеристику ФАПЧ (время установления) и стабилизирует форму характеристики. Сигнал частотой 200 кГц является опорной частотой для фазового детектора.

## 2.2. Порядок выполнения работы

1. Изучить состав лабораторного стенда, предназначенного для исследования сотового телефона Nokia5110. Он подключается с помощью специального кабеля к разъему COM1 персонального компьютера.

2. Включить блок питания ИП-2, поставив тумблер «Сеть» на его передней панели в верхнее положение. При этом будет осуществляться подача напряжения питания на сотовый телефон Nokia5110. Включить компьютер, вольтметр ВЗ-43. Включить сотовый телефон Nokia5110 через отверстие в стенде с помощью специального штыря. При загрузке компьютера контролировать загрузку оболочки Windows. Войти в программу WinTesla. При появлении загрузочных таблиц нажимать ESC, а затем Enter (OK).

3. В меню Product войти в опцию Open. В таблице, которая появляется после этого, выбрать модель телефона NSE-1 и нажать OK. Проанализировать две таблицы Quick Info и Phone Identity Information, которые появляются после этого. Переписать наиболее существенную информацию, относящуюся к телефону: серийный номер (Serial Number), производственный серийный номер (Production Serial Number), базовый производственный код (Basic Production Code) и др. Закрыть таблицу, нажав Close.

4. В меню Testing выбрать опцию RF Controls. Провести проверку работы передающего тракта телефона. Соединить разъем подключения внешней антенны, расположенный на передней панели стенда, с помощью кабеля со входом вольтметра ВЗ-43. Активизировать в окне Active Unit поле TX. Определить диапазон изменения выходной мощности передающего тракта. В окне Channel установить номер канала равным 1, записать значение частоты настройки радиопередающего тракта. Открыть окно TX Power Level, установить значение уровня выходной мощности равным 19. Активизировать поле Apply в окне управления телефона. В дальнейшем при установке любых численных значений параметров телефона, задаваемых диалоговым окном на экране компьютера, обязательно нажимать опцию Apply. Измерить величину

напряжения с помощью вольтметра ВЗ-43. Рассчитать величину средней мощности на выходе передающего тракта телефона при условии, что нагрузочное сопротивление равно 50 Ом. Аналогичные измерения и расчеты проделать и для других значений уровня выходного сигнала телефона, изменяя их от величины 19 до величины 12 в окне TX Power Level. Построить зависимость выходной мощности телефона от значения уровня выходного сигнала телефона в окне TX Power Level.

5. Исследовать диапазон перестройки частоты передатчика телефона. Установить в окне Channel сначала номер канала равным 1, записать значение частоты, а затем номер 124 и также записать значение частоты. Сверить полученные значения частоты с нормативными значениями для стандарта GSM. Построить и исследовать зависимость выходной мощности телефона от частоты, изменяя номер канала настройки от минимального до максимального (через значение 10). Данные записать в отчет, сделать выводы.

Вид и тип тестовой последовательности цифровых данных, которые передаются по телефону, может быть изменен. Обозначение RAND соответствует числовой последовательности, которая состоит из случайной комбинации передаваемых значений 0 и 1, а при включении Cont0, Cont1 передаются последовательности, состоящие полностью, соответственно, из значений 0 и 1. Заккрыть таблицу, нажав Close.

6. Провести проверку работы приемного тракта телефона. Активизировать в окне Active Unit поле RX. Установить импульсный режим работы. Для этого в окне Operation Mode активизировать поле Burst. Исследовать диапазон работы приемного тракта. В окне Channel поставить крайние номера каналов этого диапазона, записать значения номеров каналов и частот. Установить непрерывный режим работы. Для этого в окне Operation Mode активизировать поле Continuous. Определить диапазон изменения сигнала автоматической регулировки уровня по значениям окна AGC Absolute (абсолютные значения уровня), а затем записать величину этого сигнала, выраженную в децибелах по окну AGC. Определить диапазон изменения сигнала

ла AFC (абсолютные значения уровня), который контролирует частоту задающего генератора 13 МГц. Данные записать в отчет. Закрывать таблицу, нажав Close.

7. Проверить уровень тестового сигнала, который измеряет цифровой сигнальный процессор после аналого-цифрового преобразования и цифровой фильтрации. В меню Testing выбрать опцию RSSI Value. Записать уровень сигнала в децибелах по мощности (дБм). Закрывать таблицу, нажав Close.

8. Проверить работу звукового тракта телефона. В меню Testing выбрать опцию Audio. Активизировать в окне Busser поле Volume On. Установить уровень звучания сигнала 20 и частоту 1000 Гц. Для этого установить опции Level в положение 20, а опцию Frequency – в положение 1000 Гц. Прислушаться к воспроизводимому звуковому сигналу частотой 1000 Гц. Закрывать таблицу, нажав Close.

9. Проверить работу дисплея телефона. В меню Testing выбрать опцию User Interface Test. Активизировать в окне LCD Test Displays сначала 1 Test Pattern, а затем 2 Test Pattern. Наблюдать засветку матрицы светодиодов, используемых в конструкции дисплея, во время первого и второго теста. Закрывать таблицу, нажав Close.

10. Проверить цепи питания телефона. В меню Testing выбрать опцию ADC Reading. Переписать значения параметров из таблицы: величину напряжения, температуру батареи и др. Сделать выводы. Закрывать таблицу, нажав Close.

11. Исследовать спектр выходного сигнала с помощью анализатора спектра Tektronix RSA 507A (далее анализатор спектра). В программе Win-Tesla, которая управляет работой сотового телефона, установить в окне Channel номер канала равным 1, в окне TX Power Level установить последовательность Cont0, в окне TX Power Level поставить значение уровня выходной мощности равным 15. Активизировать поле Apply в окне управления телефона, таким образом, включив работу передатчика сотового телефона в специальном режиме непрерывной генерации выходного сигнала с установ-

ленными значениями. К разъему RF In анализатора спектра подключить штатную штыревую антенну, которая необходима для приема сигнала от сотового телефона через радиointерфейс. Использование анализатора спектра позволит выполнить исследование спектра выходного радиочастотного сигнала сотового телефона. Включить анализатор спектра. Для этого подключить шнур питания к сети ~220 В. Подключить разъем USB 3.0, расположенный на передней панели анализатора спектра, с помощью соединительного кабеля к разъему USB 3.0 компьютера, который будет управлять работой анализатора спектра. Для просмотра результатов измерений с помощью анализатора спектра запустить на компьютере, который управляет работой этого прибора, специальную программу Tektronics Signal Vu-PC, дважды нажав кнопкой компьютерной мыши на изображении этой программы на экране компьютера. Установить значение частоты исследуемого канала с номером 1. Для этого в окне Frequency, которое расположено в левой нижней части экрана, установить значение частоты равным 890,2 МГц и нажать кнопку Ввод в программе. В специальном окне Function установить режим измерения Max Hold (сохранение максимального значения). В специальном окне Span (разрешение) установить значение частоты равным 1,0 МГц. Контролировать появление изображения спектра выходного сигнала на экране анализатора спектра. Для его центрирования нажать кнопку To Center на нижней панели управления и при необходимости – кнопку Autoscale. Получить удобное изображение спектра сигнала и затем зарисовать его в отчет. Выполнить исследование и измерение основных характеристик полученного спектра выходного радиосигнала телефона: центральную частоту сигнала, уровень выходной мощности на этой частоте, ширину полосы по уровню –3 дБ относительно основного уровня на центральной частоте канала и другие параметры. Для удобства измерения частоты использовать прием совмещения участка просматриваемого спектра с одной из трех измерительных меток – MR, M1, M2, изображения которых нанесены на кривую изображения спектра и могут перемещаться по кривой с помощью курсора компьютера при совмещении

курсора с изображением соответствующей метки. На экране в левом и правом углу выводятся данные о параметрах сигнала, где в данный момент расположены метки. Вначале установить метку MR в такую точку на кривой спектра, где наблюдается максимальная величина уровня сигнала. Занести в отчет по лабораторной работе параметры сигнала в этой точке, используя измерительный экран в левом или правом углу экрана. Затем установить измерительные метки M1 и M2 в такое положение на кривой спектра, соответственно слева и справа от метки MR, чтобы величина уровня в этих точках была на 3 дБ меньше уровня сигнала в точке, где располагается метка MR. Значение разницы значений частот сигнала, которые характеризуют положение меток MR и M1 (или M2) можно также контролировать по окну Frequency, которое расположено внизу в правой половине панели управления программой. Записать в отчет полученные числовые данные, сделать выводы. Изменить тип тестовой последовательности данных, которые передаются по телефону. Вместо установки последовательности Cont0 в программе WinTesla, которая управляет работой сотового телефона, поставить последовательность Cont1. Зарисовать форму сигнала на экране анализатора спектра, записать данные измерений, сделать выводы.

12. Исследовать скачки частоты выходного сигнала с помощью анализатора спектра Tektronix RSA 507A. Установить диапазон частоты анализатора спектра 1710–1785 МГц. Подключить внешнюю антенну к входному разъему анализатора спектра. Вблизи анализатора спектра поместить другой включенный телефон с SIM-картой. Перевести этот телефон в режим передачи сообщений, например, передать любое текстовое сообщение другому абоненту. На время передачи сообщения наблюдать изменение формы сигнала (скачки частоты) на экране анализатора спектра. Сделать выводы.

13. Выйти из программ WinTesla и Tektronics Signal Vu-PC, выключить сотовый телефон, блок питания ИП-2, вольтметр ВЗ-43 и компьютер.

### **2.3. Содержание отчета**

1. Основные характеристики и параметры стандарта сотовой связи GSM.
2. Экспериментальные данные по всем пунктам.
3. Выводы по проделанной работе.

### **2.4. Контрольные вопросы**

1. Опишите особенности построения и основные характеристики сотового телефона Nokia5110.
2. Объясните назначение идентификаторов IMSI и IMEI.
3. Опишите особенности прохождения сигналов в тракте передачи телефона Nokia5110.
4. Опишите особенности работы тракта приема телефона Nokia5110.
5. Объясните основные особенности работы синтезатора частоты.

## ПРОВЕРКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОСТАНЦИИ РОСА-А

Цель работы: изучить устройство, особенности функционирования радиостанции Роса-А; произвести измерения характеристик и параметров оборудования радиостанции Роса-А; дать анализ полученных результатов в выводах по работе.

### 3.1. Назначение и условия эксплуатации

Радиостанция Роса-А (модификации Роса-АА, Роса-АА12, Роса-АС, Роса-АР, Роса-АЛ, Роса-АТ) предназначена для обеспечения двухсторонней симплексной радиосвязи с однотипными радиостанциями в различных отраслях народного хозяйства, за исключением морского флота и авиации.

Радиостанция имеет от одного до сорока рабочих каналов, расположенных в полосе частот до 1 МГц в одном из диапазонов 26,975–27,275 МГц, 33–48,5 МГц или 146–174 МГц, в зависимости от требований, что учитывается при изготовлении радиостанции.

Радиостанции предназначены для эксплуатации в следующих климатических условиях: интервал рабочих температур от минус 25 до плюс 55 °С (для радиостанций Роса-АС, Роса-АТ – минус 10 °С); относительная влажность воздуха до 93 % при температуре 25 °С; атмосферное давление от  $6,1 \cdot 10^4$  до  $10,4 \cdot 10^4$  Па (от 460 до 790 мм рт. ст.).

Изготавливаются следующие варианты радиостанций:

– Роса-АА (абонентская автомобильная) – для установки на транспортных средствах с питанием от бортовой сети автомобиля напряжением –12 или +24 В, с заземленным минусом (может поставляться с усилителем низкой частоты и без него);

– Роса-АА12 (абонентская автомобильная) – для установки на транспортных средствах с питанием от бортсети автомобиля напряжением +12 В, с заземленным минусом;

– Роса-АС (абонентская стационарная) – для установки в стационарных помещениях с питанием от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц;

– Роса-АЛ (абонентская локомотивная) – для установки на локомотивах с питанием от бортсети локомотива напряжением от +50 до +110 В;

– Роса-АР (абонентская ретрансляторная) – для установки в стационарных помещениях с питанием от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц;

– Роса-АТ (абонентская телефонная) – для установки в стационарных помещениях с питанием от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц с выходом в телефонную сеть.

В зависимости от функциональных возможностей радиостанции комплектуются приемопередатчиком с системой вызова и модификациями пульта управления: с «А1» – двухразрядный индикатор и две кнопки управления; с «Б1» – трехразрядный индикатор и две кнопки управления; с «В1» – шестиразрядный индикатор и восемнадцатикнопочная клавиатура; «МП» (манипулятор для одноканальной радиостанции) обеспечивает включение радиостанции, включение/выключение подавителя шумов и оперативный перевод радиостанции с режима приема в режим передачи.

## **3.2. Основные технические характеристики и параметры**

### *3.2.1. Характеристики радиостанции*

Радиостанции Роса-А являются абонентскими радиостанциями диапазона ультракоротких волн (УКВ) с частотной модуляцией. Номинальный диапазон звуковых частот передаваемого информационного сигнала составляет от 300 до 3400 Гц. Радиостанции обеспечивают работу в одном из диа-

54

пазонов частот и имеют от одного до сорока каналов связи при частотном разnose между ними, указанном в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Диапазон частот и характеристики каналов связи

Диапазон частот, МГц	Количество каналов связи, шт.	Номинальный частотный разнос между соседними каналами, кГц
26,950–27,450	1–100	5
27,285–27,405	1–13	12,5
27,150–27,275	1–11	25
27,975–27,400	1–18	25
27,150–27,275	1–6	25
33,000–48,500	1–40	25
57,000–57,500	1–21	25
146,000–174,000	1–40	25

Максимальный частотный разнос между каналами связи в радиостанции – 1 МГц. Радиостанции обеспечивают непрерывную круглосуточную работу при соотношении времени «прием-передача» 3:1, при этом допустимая продолжительность непрерывной работы в режиме передачи – не менее 15 мин. Антенный ввод имеет волновое сопротивление 50 Ом. Модуляционный вход передатчика закрыт.

Мощность, потребляемая радиостанциями Роса-АС, Роса-АР, Роса-АТ в любом режиме работы от сети переменного тока при номинальном напряжении питания 220 В, не превышает 130 В·А. Ток, потребляемый радиостанциями Роса-АА12, не превышает 4 А в режиме передачи и 0,5 А – в режиме приема. Для радиостанции Роса-АА ток, потребляемый в режиме передачи, составляет от 2 до 8 А, а в режиме приема – 1–2 А. Для Роса-АЛ ток, потреб-

ляемый в режиме передачи, составляет от 1,2 до 2 А, а в режиме приема – 0,4–0,5 А.

В радиостанции предусмотрена защита от переполюсовки источника питания постоянного тока, а также возможность неоперативной подстройки частоты гетеродина приемника и возбuditеля передатчика при техническом обслуживании радиостанции. В радиостанции предусмотрена защита передатчика от выхода из строя при кратковременном коротком замыкании или обрыве в антенне.

Масса действующих комплектов радиостанции должна быть не более: для радиостанции Роса-АА – 9,1 кг; радиостанции Роса-АА12 – 6,85 кг; радиостанции Роса-АС – 20,6 кг; радиостанции Роса-АЛ – 14,1 кг; радиостанции Роса-АР – 25,75 кг; радиостанции Роса-АТ – 23,0 кг.

### *3.2.2. Основные характеристики передатчика*

Мощность несущей передатчика на нагрузке 50 Ом – не менее 8 Вт. Коэффициент нелинейных искажений передатчика – не более 5 %. Максимальная девиация частоты передатчика: на несущей 27Б1 – не более 2,5 кГц, на несущих 27Б3, 27Е – не более 1,8 кГц, на несущих 27Б3, 27Е и в диапазоне 40 и 160 МГц – не более 5 кГц. Чувствительность модуляционного входа передатчика: на контакте 2 разъема «ДУ» – в пределах 400–600 мВ, на микрофонном входе – не более 4 мВ. Уровень побочных излучений передатчика – не более 2,5 мкВт. Отклонение частоты передатчика от номинального значения не более в диапазонах частот: 27 МГц – ( $\pm 20 \cdot 10^{-6}$ ), 40 МГц – ( $\pm 20 \cdot 10^{-6}$ ), 160 МГц – ( $\pm 10 \cdot 10^{-6}$ ).

### *3.2.3. Основные характеристики приемника*

Чувствительность приемника при отношении сигнал/шум – 12 дБ (СИНАД), 1/2 ЭДС, при разносе частот между каналами: 25 кГц – не более

0,5 мкВ; 12,5 кГц – 1,0 мкВ; 10 кГц – 1,5 мкВ. Изменение чувствительности приемника при отклонении частоты сигнала на  $\pm 10 \cdot 10^{-6}$  – не более 3 дБ. Выходное напряжение приемника на головке динамической или ее эквивалентной нагрузке  $R_s = (8 \pm 0,8)$  Ом – не менее 1,4 В; а на телефоне или его эквивалентной нагрузке  $R_s = (300 \pm 30)$  Ом – в пределах 0,6–0,8 В. Коэффициент нелинейных искажений приемника – не более 5 %. Избирательность приемника по соседнему каналу при разносе частот между каналами: 25 кГц – не менее 80 дБ; 10, 12,5 кГц – не менее 60 дБ. Избирательность приемника по побочным каналам приема при разносе частот между каналами: 25 кГц – не менее 80 дБ, 10, 12,5 кГц – 60 дБ. Интермодуляционная избирательность приемника при разносе частот между каналами: 25 кГц – не менее 70 дБ; 10, 12,5 кГц – 55 дБ.

### **3.3. Устройство и работа радиостанции**

#### *3.3.1. Конструкция радиостанции*

Конструктивно радиостанции выполнены в виде отдельных функционально законченных блоков. Основным блоком радиостанций является приемопередатчик. Все блоки соединяются между собой кабелями. Структурная электрическая схема радиостанции Роса-АС приведена на рис. 3.1. Приемопередатчик состоит из следующих блоков и устройств: А1 – приемник, А2 – синтезатор частоты, А3 – усилитель мощности, А4 – генератор, управляемый напряжением, который входит в состав синтезатора частоты, А5 – контроллер, А6 – подмодулятор, А7 – фильтр питания.

К приемопередатчику подключаются следующие внешние устройства: блок питания сетевой через кабель ЯЕ6.644.478 и разъем Х12 «13,2 В», стационарная антенна – через кабель ЯЕ6.645.078 и разъем Х1 «А», пульт управления – через разъем «МКТФ».

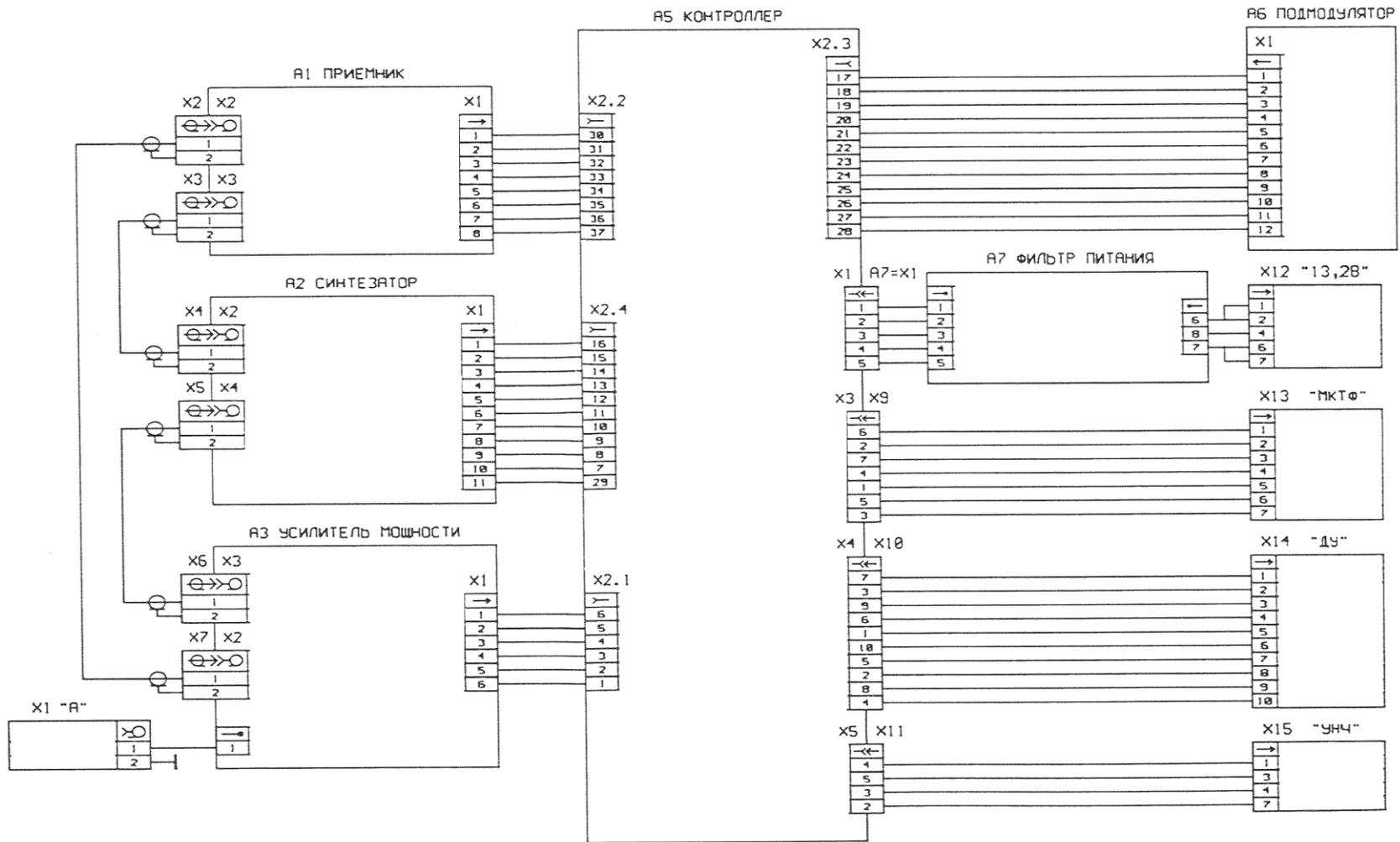


Рис. 3.1. Структурная электрическая схема радиостанции «Роса-АС»

Схема приемопередатчика радиостанций всех типов одинакова и построена по блочно-функциональному методу. Приемопередатчик включается в режим приема после включения радиостанции. При этом с контроллера А5 (Х2.4:16) на синтезатор А2 (Х1:1) подается команда установки частоты приемника (ПРМ) ГУН, сигнал которого является гетеродинным напряжением приемника А1.

Это напряжение подается на гетеродинный вход приемника А1 (Х3:1). ВЧ-сигнал с антенны через антенный коммутатор усилителя мощности А3 подается на вход усилителя радиочастоты (УРЧ) приемника А1 (Х2:1).

Питающие напряжения на приемник А1 (Х1:3 и Х1:5) поступают от стабилизатора напряжения, расположенного в блоке подмодулятора А6, через контроллер А5. Выходное напряжение звуковой частоты с приемника А1 (Х1:4) поступает на контроллер А5. Выходной сигнал подавителя шумов с приемника А1 (Х1:1) поступает на контроллер А5.

*Приемник (А1) радиостанции Роса-А построен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты. Величина первой промежуточной частоты составляет 10,7 МГц, а второй – 465 кГц. Электрическая принципиальная схема приемника диапазона 40 МГц приведена на рис. 3.2. Усилитель радиочастоты выполнен на транзисторе VT1 по схеме с общим эмиттером. Избирательность по побочным каналам приема обеспечивается двумя парами связанных контуров. Первый смеситель выполнен на транзисторе VT2. Источником гетеродинного напряжения для смесителя является синтезатор частоты. В смесителе происходит смешивание частоты принятого сигнала с частотой гетеродина. Напряжение разностной частоты 10,7 МГц выделяется кварцевым фильтром Z1. Кварцевый фильтр обеспечивает избирательность по соседнему каналу. Контур L6, C27 согласует выход смесителя с фильтром.*

Преобразователь частоты состоит из вторых гетеродина и смесителя, выполненных на микросхеме DA1. Разностная частота 465 кГц выделяется контуром L8, C38. Частота второго гетеродина 10,235 МГц. Усилитель про-

межуточной частоты (УПЧ) состоит из резонансного каскада на транзисторе VT3. Микросхема DA2 выполняет функции усилителя, ограничителя, частотного детектора и предварительного усилителя звуковой частоты (УЗЧ). Подстройка частотного детектора по максимальному выходному напряжению звуковой частоты производится сердечником катушки L10.

С выхода микросхемы (вывод 13) сигнал поступает на УЗЧ. Усилитель звуковой частоты выполнен на двух операционных усилителях микросхемы DA3. Для формирования АЧХ УЗЧ с посплекоррекцией  $-6$  дБ/октава операционный усилитель на микросхеме DA3.1 охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью, которую образуют элементы C47, R47. Регулировка выходного уровня УЗЧ производится подстроечным резистором R43. Оконечный каскад УЗЧ собран по двухтактной схеме на комплементарных транзисторах VT5, VT6.

Шумоподавитель выполнен на микросхеме DA4, состоящей из четырех операционных усилителей. Операционный усилитель DA4.1 охвачен частотно-зависимой отрицательной обратной связью (элементы C69, C72, C73, R58, R59), имеет максимальный коэффициент усиления на частоте 7 кГц. Операционный усилитель DA4.2 – компаратор напряжений, сравнивает уровень шума на выводе 2 с постоянным напряжением на выводе 1. Диод VD10 детектирует шумовую составляющую сигнала. Постоянная составляющая шума производит переключение триггера Шмитта, выполненного на операционном усилителе DA4.3. Выходное напряжение триггера является управляющим для контроллера.

Резистором R42 устанавливается порог срабатывания шумоподавителя постоянного напряжения, обеспечивающего режим по постоянному току операционных усилителей DA4.1–DA4.3.

*Синтезатор частоты* (A2) выполнен по схеме однопетлевого цифрового синтезатора частот, синтез частот в котором осуществляется с помощью петли цифровой ФАПЧ. Схема электрическая принципиальная приведена на рис. 3.3.

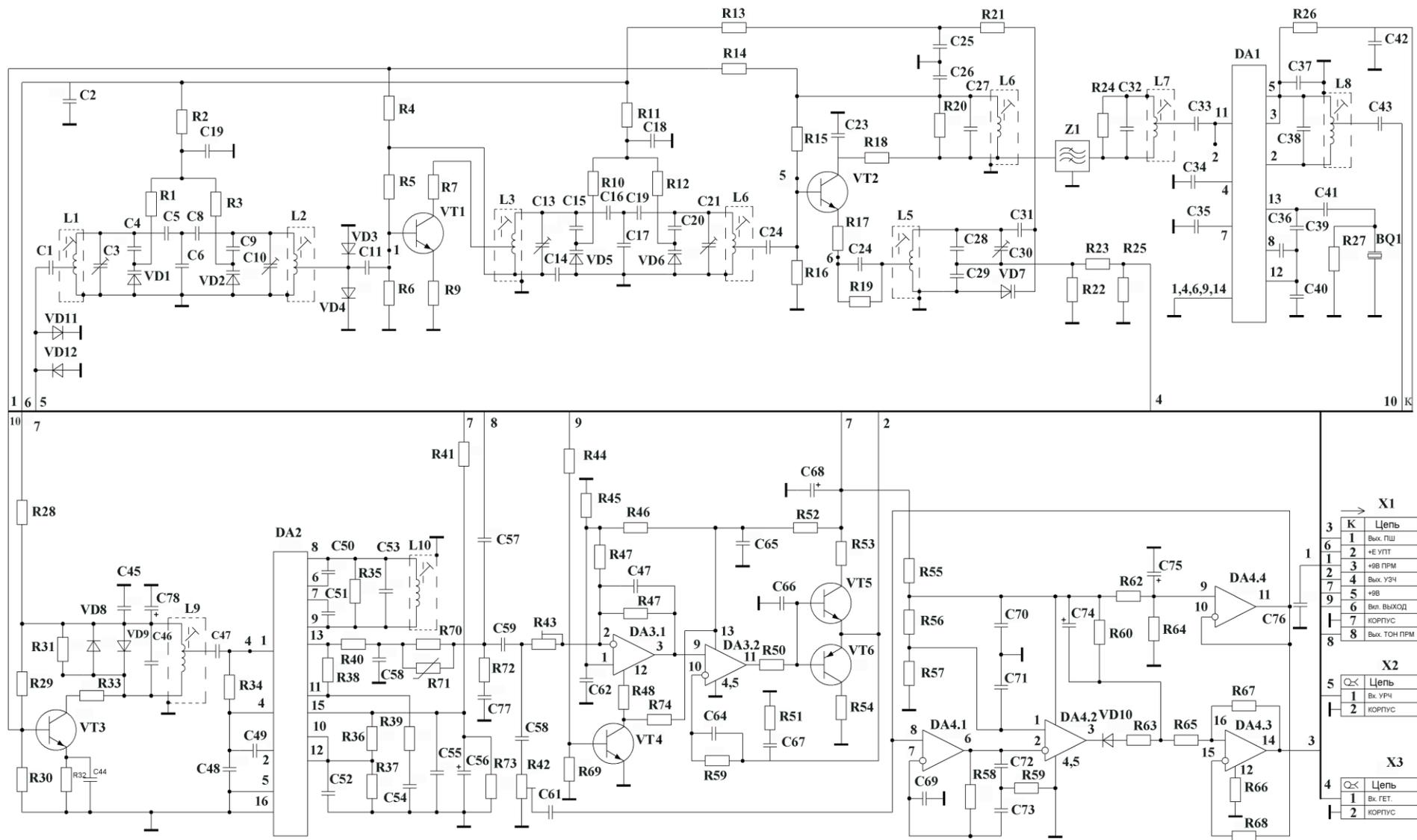


Рис. 3.2. Принципиальная схема приемника

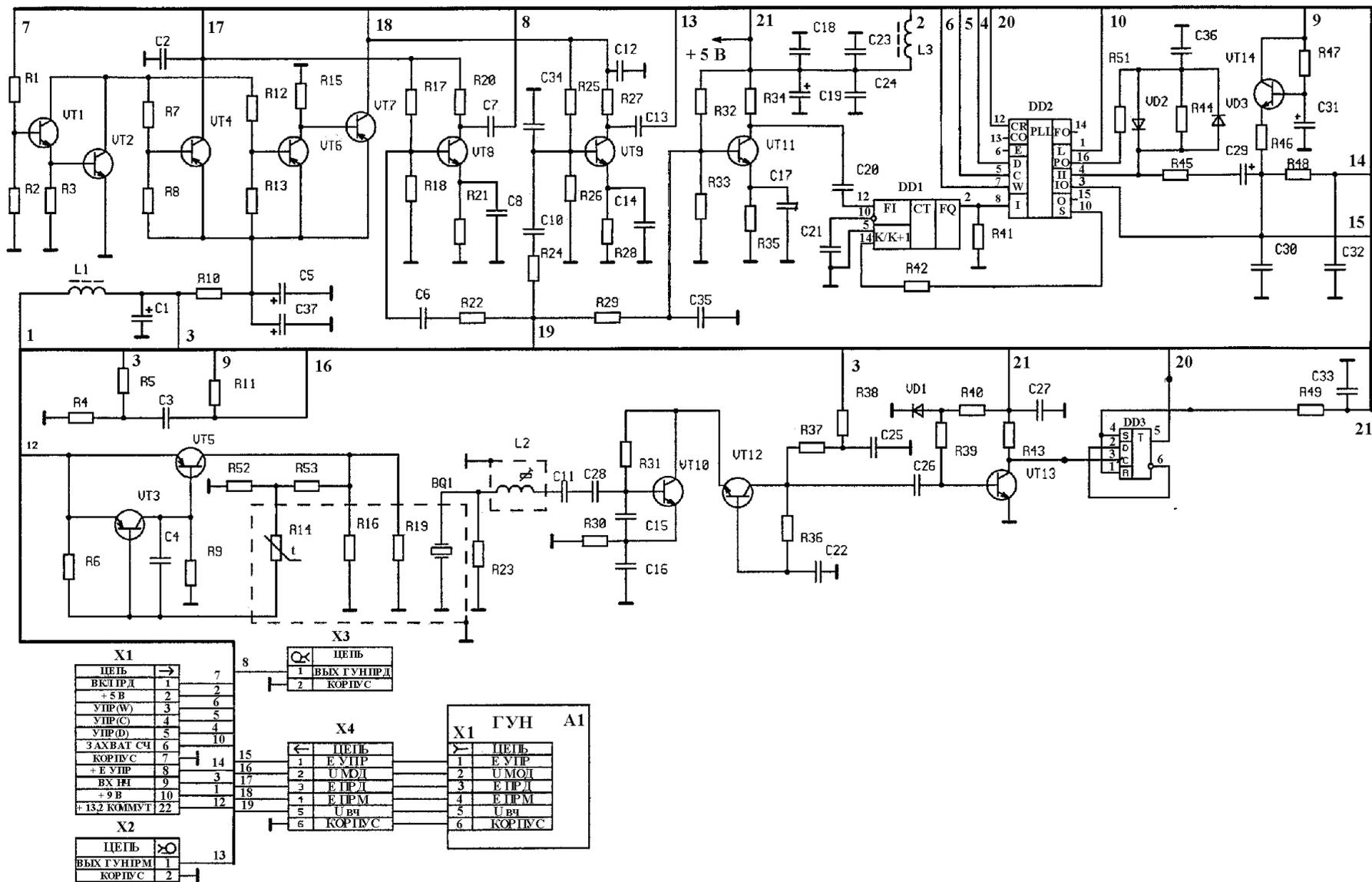


Рис. 3.3. Принципиальная электрическая схема синтезатора

Петля цифровой ФАПЧ состоит из генератора, управляемого напряжением (ГУН), делителя частоты (ДЧ) с двумя фиксированными коэффициентами деления 64/65, делителя частоты с переменным коэффициентом деления (ДПКД), поглощающего счетчика (ПС), частотно-фазового детектора (ЧФД), ФНЧ. Транзисторы VT1, VT2, VT4, VT6, VT7 служат для осуществления переключения режима работы синтезатора с приема на передачу.

ВЧ-сигнал гетеродина снимается с усилителя на транзисторе VT9, сигнал возбуждителя снимается с усилителя на транзисторе VT8. ВЧ-сигнал с усилителя на транзисторе VT11 подается на вывод 12 микросхемы DD1. Опорный генератор частотой 112,8 МГц собран на транзисторах VT10, VT12, VT13. Для обеспечения необходимой стабильности частоты опорного генератора кварцевый резонатор BQ1 размещен на термостате с автоматическим регулированием температуры. Термостат собран на транзисторах VT3, VT5.

Точная подстройка частоты опорного генератора осуществляется катушкой L2. Микросхема DD3 делит на 2 частоту опорного генератора. ФНЧ выполнен на элементах R51, R44, R45, C36, C29, C30.

Активный фильтр питания выполнен на транзисторе VT14. Делитель с фиксированными коэффициентами деления 64/65 собран на микросхеме DD1. На вывод 14 DD1 с вывода 10 микросхемы DD2 поступает сигнал переключения коэффициентов деления 64/65. На вывод 8 микросхемы DD2 поступает сигнал ВЧ, поделенный на 64/65 с вывода 2 микросхемы DD1. Делитель опорной частоты, ДПКД, поглощающий счетчик, ЧФД выполнены на микросхеме DD2.

На выводы 5, 6, 7 микросхемы DD2 с контроллера A5 поступают код частоты, сигнал установки, сигнал синхронизации. На вывод 12 микросхемы DD2 поступает сигнал опорной частоты. С вывода 1 микросхемы DD2 на разъем X1-6 выходит сигнал захвата частоты. С выводов 3, 4 снимается управляющее напряжение.

Схема электрическая принципиальная ГУН диапазона 40 МГц приведена на рис. 3.4.

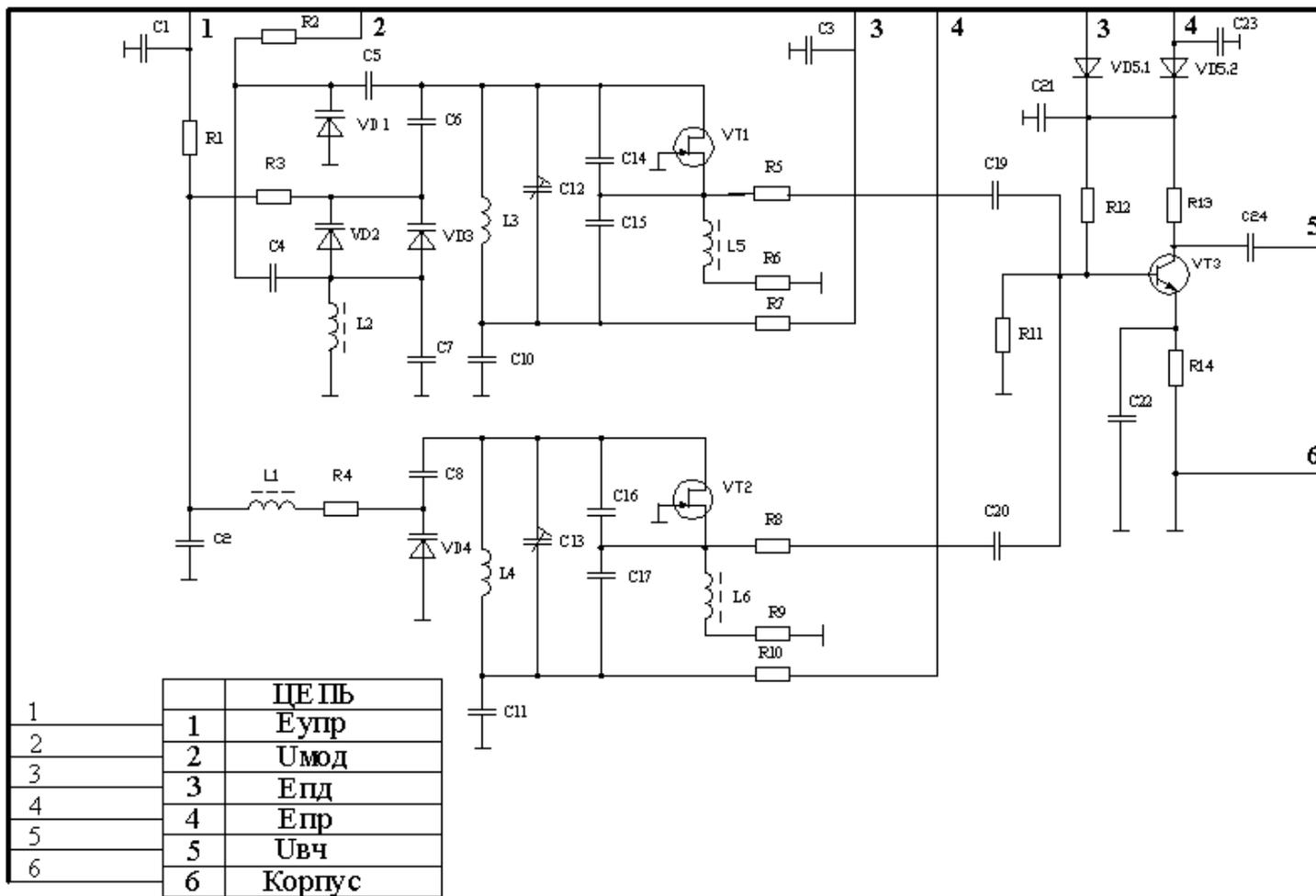


Рис. 3.4. Принципиальная схема ГУН

В зависимости от диапазона частот радиостанции синтезатор комплектуется одним из двух вариантов ГУН. ГУН диапазона 40 МГц состоит из двух автогенераторов, выполненных по схеме емкостной трехточки на транзисторах VT1 и VT2. На VT1 собран возбуждатель передатчика, на VT2 – гетеродин приемника.

Частота задающего контура гетеродина L4, C13 изменяется посредством управляющего напряжения на варикапе VD4, включенном в контур. ВЧ-сигнал усиливается транзистором VT3.

Частота задающего контура гетеродина L3, C12 возбуждателя изменяется посредством управляющего напряжения на варикапах VD2, VD3, включенных в контур. Модулирующий сигнал управляет частотой возбуждателя через варикап VD1.

*Передатчик* состоит из двух независимых функциональных устройств: АЗ – усилитель мощности, А6 – подмодулятор. Усилитель мощности состоит из четырехкаскадного усилителя радиочастоты на транзисторах VT1–VT3, VT6, фильтра гармоник (Z1), схемы коммутации антенны (VD3, VD5, L16–L18, C42, C49, C52, R20, R29, R31), схемы автоматической регулировки мощности (АРМ) на транзисторах VT4, VT5, VT7, VT8 (с датчиками перенапряжения VD4, C47, C48, R27, R28) и перегрузки по току (VD6, VT8, C51, R32). Схема электрическая принципиальная усилителя мощности приведена на рис. 3.5. Схема УРЧ построена на основе использования П-образных звеньев фильтров нижних частот в качестве согласующих межкаскадных входной и выходной цепей.

Выходной и предоконечный каскады работают с отсечкой, остальные – без отсечки коллекторного тока. Питание каскадов усилителя осуществляется через LCR-фильтры (C3, C5, C6, L2, R2, C12, C16, C17, L5, R10, C21, C25, C26, L9, R13, C33, C36, C37, C38, L13, R17). При этом на выходной каскад подается непосредственно напряжение питания +13,2 В, а на каскады на транзисторах VT2, VT3 – напряжение через схему автоматической регулировки мощности (АРМ).

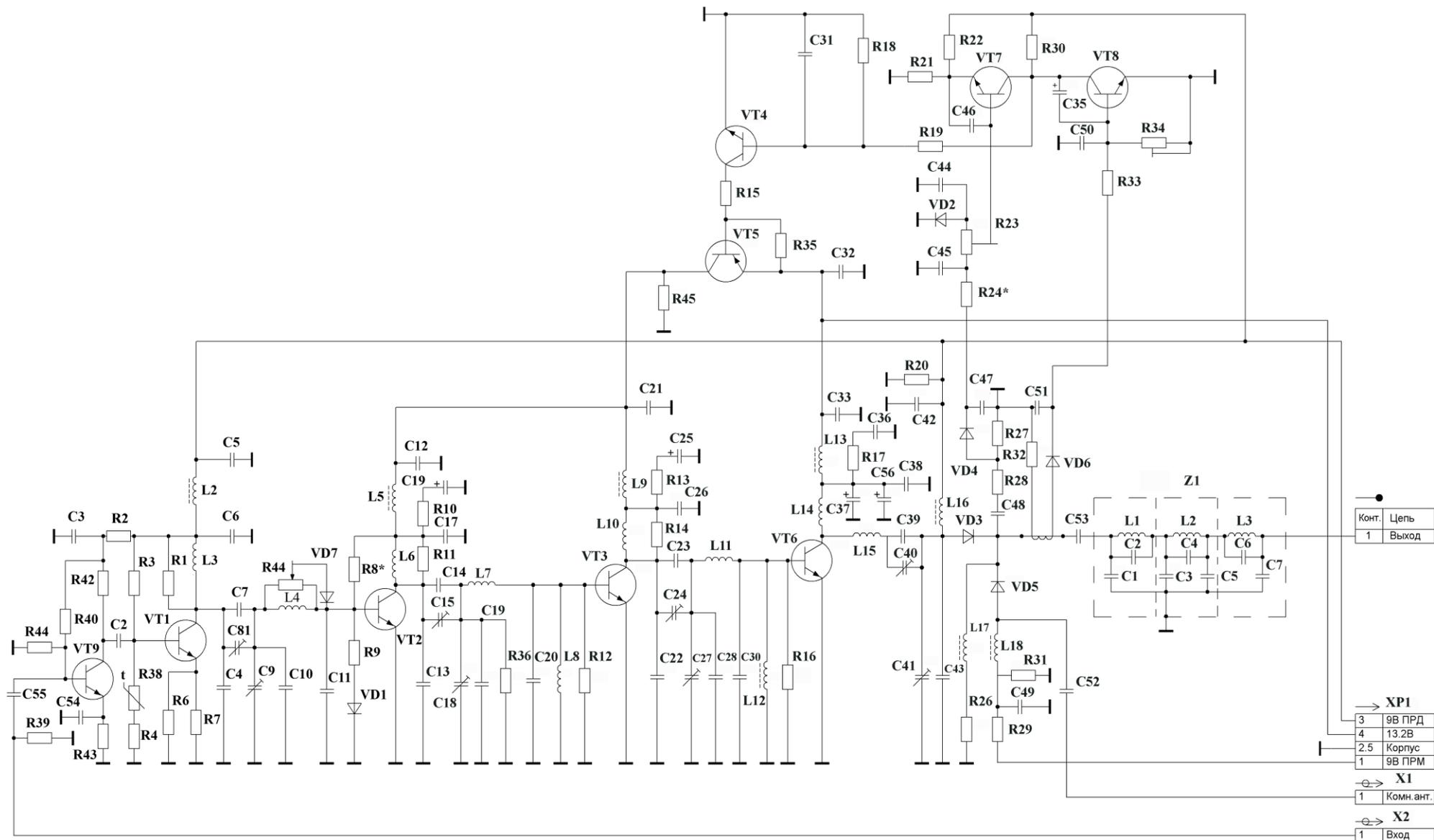


Рис. 3.5. Принципиальная схема передатчика

Питание каскада на транзисторе VT1 осуществляется напряжением +9 В. Сигнал с частотой рабочего канала, усиленный усилителем радиочастоты, поступает на схему коммутации антенны (коммутатор), которая подключает фильтр гармоник (Z1), либо на выход УРЧ к соединителю X2:1 в соответствии с режимом работы приемопередатчика «ПРД» или «ПРМ». Управление работой коммутатора осуществляется путем подачи напряжения +9 В в ПРМ на аноды соответствующего диода – VD3 или VD5. С выхода коммутатора сигнал в режиме ПРД поступает на фильтр гармоник Z1 и далее на антенный соединитель.

Фильтр гармоник выполнен на основе эллиптического фильтра нижних частот 7-го порядка и обеспечивает необходимое ослабление побочных излучений передатчика.

Схема автоматической регулировки мощности предназначена для стабилизации выходной мощности УМ, защиты транзистора выходного каскада УМ от перенапряжения и перегрузки по току, а также для регулировки выходной мощности в процессе выпуска и технического обслуживания радиостанции. Схема АРМ регулирует коэффициент усиления каскадов на транзисторах VT2, VT3 по сигналам датчиков перенапряжения и перегрузки по току так, что выходная мощность УМ остается постоянной. Регулировка выходной мощности УМ производится с помощью переменных резисторов R23, R34.

Подмодулятор (А6) состоит из усилителя звуковой частоты (ЗЧ) с АРУ на микросхемах DA1–DA3, стабилизаторов напряжений (DA4, DA5, VT4, VT10) и коммутаторов режимов радиостанции (VT2, VT3, VT5, VT6, VT7, VT8, VT9). Схема электрическая принципиальная подмодулятора приведена на рис. 3.6.

Усилитель ЗЧ обеспечивает усиление модулирующего сигнала, формирование АЧХ и других модуляционных параметров передатчика.

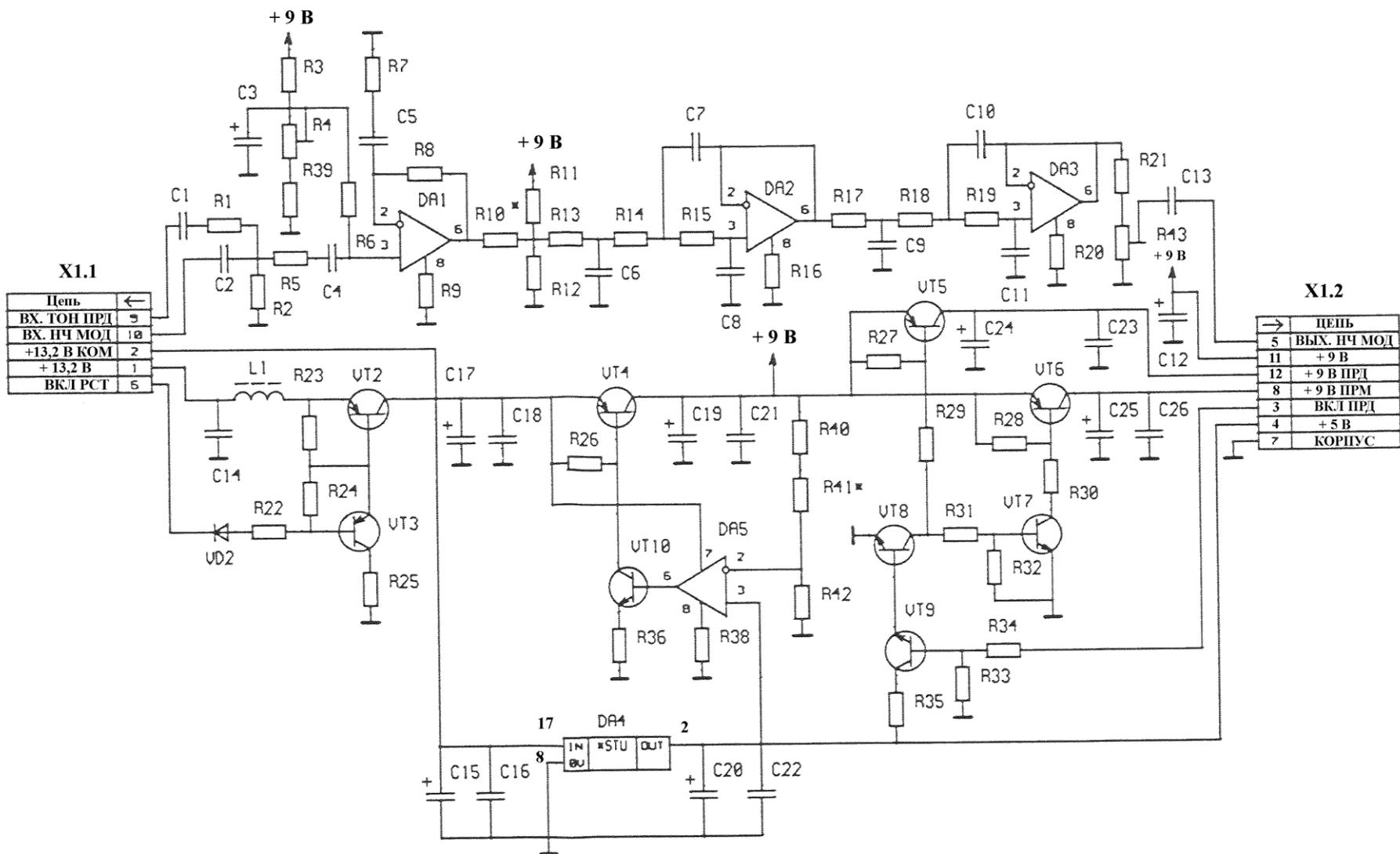


Рис. 3.6. Принципиальная схема подмодулятора передатчика

Усилитель ЗЧ состоит из предварительного усилителя на микросхеме DA1, оконечного усилителя на микросхеме DA2, выполняющего функцию активного фильтра нижних частот, и схемы пороговой АРУ на микросхеме DA3. АЧХ усилителя ЗЧ формируется цепочкой R2, C2. Активный фильтр нижних частот обеспечивает ослабление частотных составляющих ЗЧ выше 4 кГц. Пороговая АРУ построена на основе использования компаратора (микросхема DA3), детектора (не показан на схеме) и управляющего делителя напряжения (R3, R4).

Сигнал тональной посылки подается на вход подмодулятора через соединитель X1-1. Стабилизаторы напряжения предназначены для питания приемопередатчика стабилизированными напряжениями +5 и +9 В. Стабилизатор напряжения +5 В выполнен на микросхеме DA4, стабилизатор +9 В – на микросхеме DA5 и транзисторах VT4, VT10. Коммутаторы режимов радиостанции обеспечивают включение радиостанции и ее переключение из режима ПРМ в режим ПРД. Коммутатор включения радиостанции выполнен на транзисторах VT2, VT3, коммутатор переключения из режима ПРМ в режим ПРД – на транзисторах VT5, VT6, VT7, VT8, VT9.

*Контроллер* (A5) управляет работой всех блоков приемопередатчика. Схема электрическая принципиальная контроллера приведена на рис. 3.7 (лист 1-3).

Контроллер осуществляет коммутацию речевых сигналов, включение усилителя мощности и передачу, обслуживание сигналов от приемника, синтезатора и устройств, подключенных к внешним разъемам приемопередатчика. Основным из них является микротелефон. С ним контроллер осуществляет обмен данными и командами управления. Кроме того, плата контроллера выполняет роль коммутационной платы, соединяя между собой все блоки приемопередатчика.

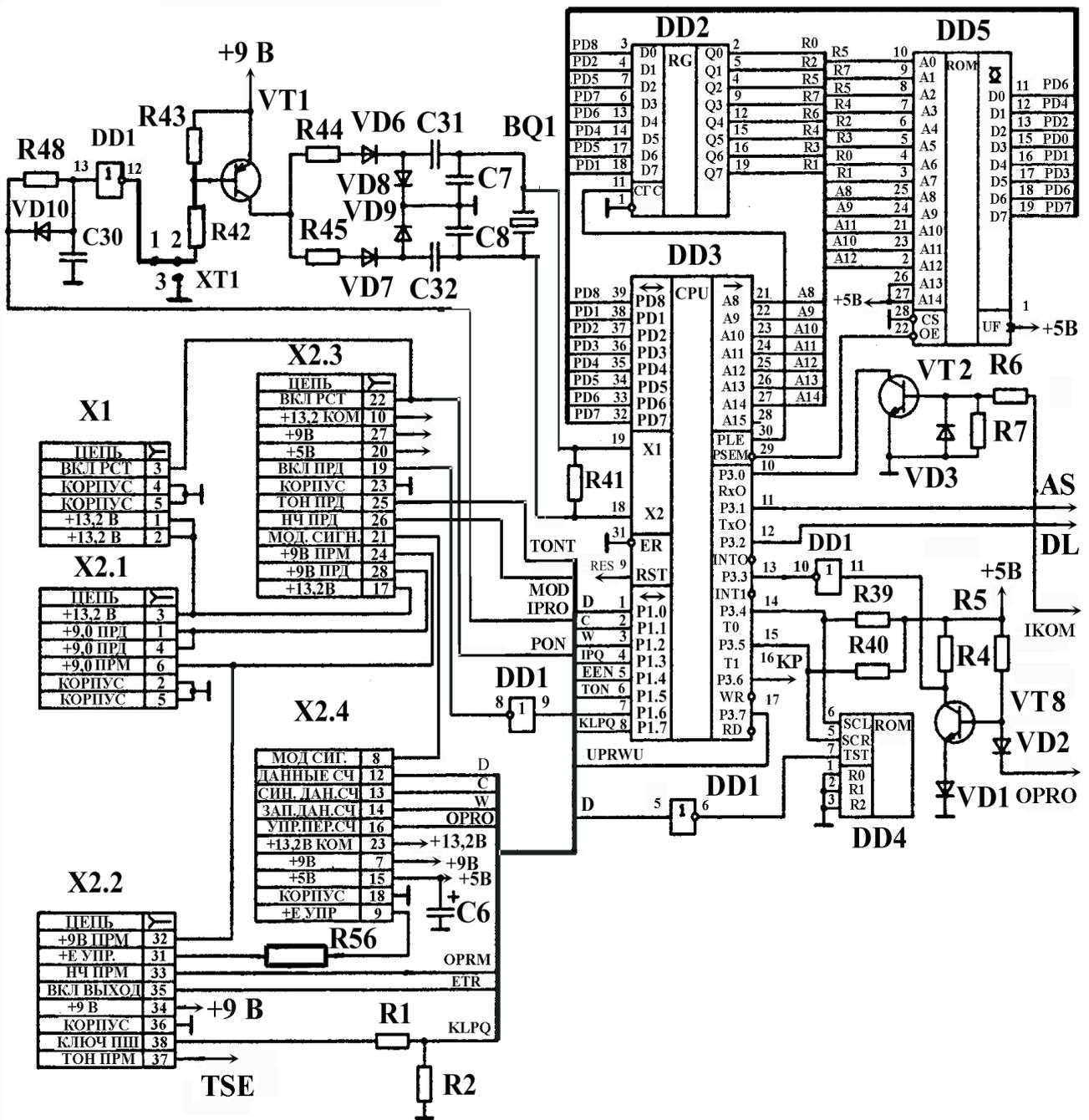


Рис. 3.7. Принципиальная электрическая схема контроллера

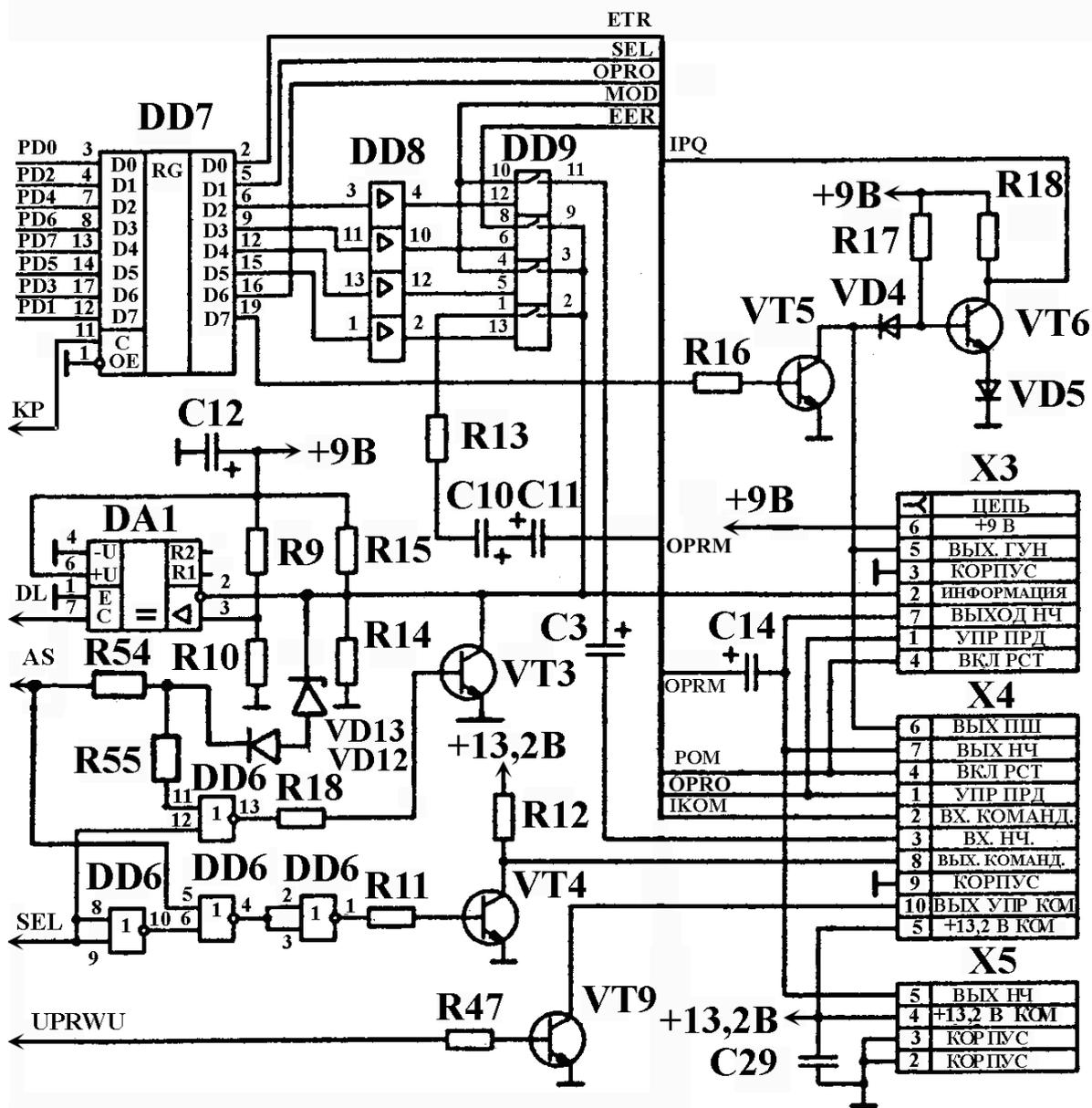
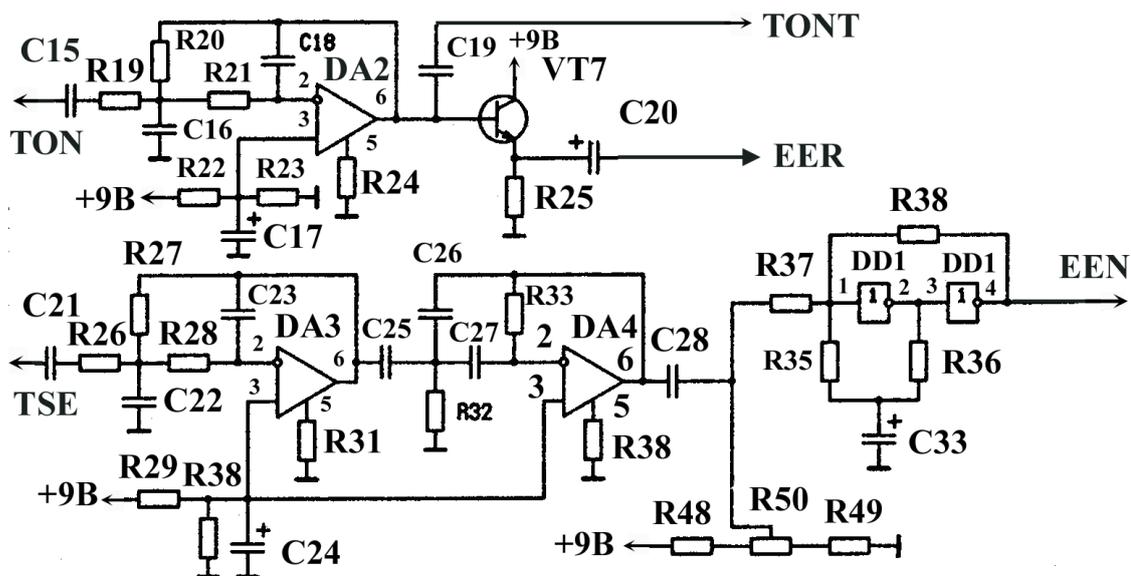


Рис. 3.7, лист 2

Контроллер состоит из следующих узлов: микропроцессорной системы (DD2, DD3, DD5, DD7); энергозависимого оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) (DD4); коммутатора аналоговых сигналов (DD8, DD9); компаратора команд управления (DA1); ФНЧ по сигналу тональных посылок (DA2); полосового фильтра (ПФ) по принимаемым тональным посылкам (DA3, DA4).

Микропроцессорная система реализована на микросхеме однокристалльного микроконтроллера KP1830BE31 (DD3), являющегося аналогом прибора 8031 из семейства однокристалльных микроконтроллеров iMCS-51 фирмы Intel. Регистр DD2 служит для фиксации адреса по сигналу, который формируется в микросхеме DD3 (контакт 30). Постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) (DD5) содержит программу работы контроллера. Встроенный в схему задающий генератор работает с кварцевым резонатором (BQ1) на частоте 12 МГц и подключается к выводам X1, X2.

Сигнал RES (цепи его формирования не показаны на рис. 3.7) подается на контакт 9 микросхемы DD3 и осуществляет сброс микроконтроллера.

Первые три разряда порта P1 микроконтроллера выдают сигналы управления синтезатором частот: данные в последовательном коде (ДАННЫЕ СЧ X2:12); синхронизации данных (СИН ДАН СЧ X2:13); записи данных (ЗАП. ДАН. СЧ X2:14).

На разряд P1.3 порта микроконтроллера через формирователь на транзисторе VT6 поступает сигнал выключения шумоподавителя (ВЫХ ПШ X3:5 и X4:6) (см. рис. 3.7).

Этот сигнал в данном случае предназначен для выключения шумоподавителя сигналом с внешних устройств, например, с манипулятора при его использовании вместо микротелефона.

На разряд P1.4 поступает сигнал с приемника (ТОН ПРМ X2:37) через полосовой фильтр, состоящий из одного звена ФНЧ (DA3) и одного звена ФНЧ Чебышева 2-го порядка (DA4) с частотами среза, равными 2450 и 670 Гц соответственно.

После полосового фильтра синусоидальный сигнал проходит через формирователь на триггере Шмидта DD1 (1-2, 3-4), превращаясь в сигнал, имеющий форму меандра. С разряда P1.5 выдается сигнал тонального вызова и поступает на вход ФНЧ Чебышева 2-го порядка (DA2), с выхода которого поступает на подмодулятор (ТОН ПРД X2:25). С этого же разряда может выдаваться сигнал звуковых эффектов, который с выхода ФНЧ через эмиттерный повторитель VT7 поступает на аналоговый коммутатор DD9, и через открытый ключ DD9 (8-9) поступает на микротелефонную трубку (ИНФОРМАЦИЯ X3:2), а также через открытый ключ DD9 (2-1), резистор R13, конденсаторы C10, C11, C14 поступает на разъемы (ВЫХ НЧ X3:7, X4:7). С конденсатора C11 сигнал поступает еще и на выход приемника (НЧ ПРМ X2:33), но выход приемника в это время отключен. С разряда P1.6 через инвертор DD1 (9-8) выдается сигнал включения усилителя мощности (ВКЛ ПРД X2:19). На разряд P1.7 для согласования уровней поступает сигнал сбавывания шумоподавителя приемника (КЛЮЧ ПШ X2:38) через резистивный делитель, состоящий из сопротивлений R1, R2. На вход P3.0 (контакт 10) микроконтроллера через формирователь на транзисторе VT2 поступают данные с внешнего устройства (ВХ КОМАНД X4:2). С выхода P3.1 (контакт 11) микроконтроллера через коммутатор DD6 и транзистор VT3 поступают команды на микротелефон (ИНФОРМАЦИЯ X3:2) либо через транзистор VT4 – данные на внешний разъем (ВЫХ КОМАНД X4:8).

Переключение коммутатора осуществляется сигналом SEL, поступающим с выхода внешнего порта (DD7:5). На вход P3.2 (INT0) микроконтроллера поступают сигналы команд, выделенные компаратором DA1 из информационного сигнала, поступающего с микрофона (ИНФОРМАЦИЯ X3:2). На вход P3.3 микроконтроллера поступает сигнал внешнего запроса на передачу (УПР ПРД X3:1 и X4:1) через формирователь на транзисторе VT8 и инвертор DD1 (10-11). С разряда P3.5 выдается сигнал, с помощью которого осуществляется обмен данными с энергозависимыми ОЗУ (DD4:6). С выхода С микро-

схемы DD7 (контакт 11) снимается сигнал записи данных во внешний порт. На разряд P3.7 поступает сигнал управления (ВЫХ УПР КОМАНД X4:10).

Внешний порт DD7 микроконтроллера работает на вывод и управляет коммутатором аналоговых сигналов DD9 через преобразователь уровня DD8, а также формирует сигналы: переключение синтезатора частоты (СЧ) на передачу (УПР ПЕР СЧ X2:16), включение выхода приемника (ВКЛ ВЫХОД X2:35), выходов шумоподавителя ВЫХ ГУН (X3:5) и ВЫХ ПШ (X4:6), управления коммутатором команд DD6.

Сигнал выхода шумоподавителя усиливается транзистором VT5. В режиме ПРИЕМ и сработавшем шумоподавители ключ DD9 (1-2) замкнут, а ключи DD9 (10-11, 3-4, 8-9) разомкнуты. Сигнал с приемника (СЧ ПРМ X2:33) через разделительные конденсаторы C10, C11 и токоограничительный резистор R13 поступает через ключ DD9 (1-2) в сигнал ИНФОРМАЦИЯ, а через конденсатор C14 на разъемы X3:7, X4:7, X5:5.

Делитель, состоящий из сопротивлений R14 и R15, задает смещение, необходимое для предотвращения попадания отрицательных волн на вход компаратора команд DA1.

В режиме ПЕРЕДАЧА, заданном сигналом УПР ПРД (X3:1 или X4:1), ключ DD9 (10-11) замкнут, а ключи DD9 (3-4, 8-9, 1-2) разомкнуты.

Речевой сигнал с цепи ВХ НЧ (X4:3) поступает через замкнутый ключ DD9 (10-11) на модулятор (НЧ ПРД X2:26).

При передаче команд все ключи размыкаются, напряжение логической единицы в цепи ИНФОРМАЦИЯ задается делителем, состоящим из сопротивлений R14 и R15, и составляет около 6 В. Логический ноль в цепи ИНФОРМАЦИЯ задается сигналом команд через ключ на транзисторе VT3. При приеме команд независимо от состояния ключей логический ноль в цепи ИНФОРМАЦИЯ через компаратор DA1 поступает на вход P3.2 (INTO) микроконтроллера и фиксируется в нем. После этого микроконтроллер размыкает все ключи и речевой сигнал не мешает приему команд. Выход шумоподавителя (ВЫХ ПШ X3:5 и X4:6) кроме своего основного назначения может

использоваться для выключения шумоподавителя. При подаче логического нуля на указанные контакты разъемов, например с манипулятора, подключенного вместо микротелефона, транзистор VT6 закроется и контроллер с появлением сигнала на разряде P1.3, включит выход приемника и откроет соответствующие ключи.

### *3.3.2. Микротелефон*

Микротелефон собран на двух платах: плата контроллера микротелефона (рис. 3.8) и плата индикации и клавиатуры. В зависимости от вида исполнения радиостанции к контролеру микротелефона может подключаться один из трех вариантов исполнения платы индикации и двух-, шести-, или восемнадцатикнопочная клавиатура. При шестикнопочном варианте исполнения платы индикации и клавиатуры на ней расположены три сегментных светодиодных индикатора и матрица клавиатуры на восемь кнопок. Специальные диоды VD2, VD3 микротелефона и VD5, VD6 контроллера микротелефона предотвращают замыкание катодов индикаторов при одновременном срабатывании нескольких кнопок.

Катоды индикаторов коммутируются на ноль специальными сигналами, которые поступают через микросхему DD3 контроллера микротелефона.

Непосредственно на плате индикации и клавиатуры расположены следующие шесть кнопок из восьми: ДЧС – включение и выключение режима дежурного приема; УСТ – установка канала или цифр номера абонента; ВЫБ – выбор устанавливаемой цифры номера абонента; К/А – переключение набора канала или номера абонента; ПШ – включение/выключение подавителя шумов; ВЫЗ – вызов абонента.

На плате контроллера микротелефона расположены еще две кнопки из восьми: SB1 – тангента для переключения радиостанции в режим ПЕРЕДАЧА; SA1 – геркон, который срабатывает при установке микротелефона в держатель, что переводит станцию в режим ДЕЖУРНЫЙ ПРИЕМ.

### 3.3.3. Контроллер микротелефона

Контроллер микротелефона предназначен для обмена командами между приемопередатчиком и микротелефоном, коммутации речевых сигналов, обслуживания клавиатуры и индикаторов микротелефона.

Контроллер микротелефона (рис. 3.8) состоит из следующих основных узлов:

- микропроцессорная система DD1, DD2, DD3 (микросхемы DD2, DD3 не показаны на рис. 3.10);
- микрофонный усилитель DA1 (выводы 1–3);
- усилитель с АРУ DA1 (выводы 6–10);
- коммутатор DD4;
- усилитель мощности DA1 (выводы 12–14), VT2, VT3;
- телефонный усилитель VT4;
- формирование токов сегментов АК1–АК7;
- стабилизатор напряжения +5 В DA2.

Микропроцессорная система реализована на микросхеме DD1 однокристалльной микроЭВМ КР1820ВЕ1. Регистр DD2 служит для фиксации адреса. ПЗУ DD3 содержит программу работы контроллера. Порт G микроЭВМ (выводы PA0–PA3) настроен на вывод и управляет коммутатором аналоговых сигналов через DD5. Порт IN работает на ввод, на разряды IN0–IN2 поступают сигналы с клавиатуры, а на разряд IN3 – сигналы команд, выделяемые из информационного сигнала. Диод VD3 защищает вход IN3 от перенапряжения. Порт D работает на вывод и управляет переключением катодов индикатора и столбцов матрицы клавиатуры. Порт L настроен на вывод и с помощью ключей АК переключает сегменты индикаторов.

В режиме ПЕРЕДАЧА ключ DD4 (8-9, 11-10) разомкнут, а ключи DD4 (1-2, 4-3) замкнуты. Сигнал с микрофона BM1 через микрофонный усилитель DA1 (выводы 1-3) поступает на усилитель с АРУ DA1 (выводы 6-11). С него на усилитель мощности DA1 (выводы 12-14), VT2, VT3 и через ключ DD4 (1-2, 4-3) попадает в линию ИНФОРМАЦИЯ. Делитель, состоящий из сопротивлений R20 и R25, задает смещение речевым сигналам, необходимое для предотвращения попадания отрицательных полуволн на вход команд IN3.

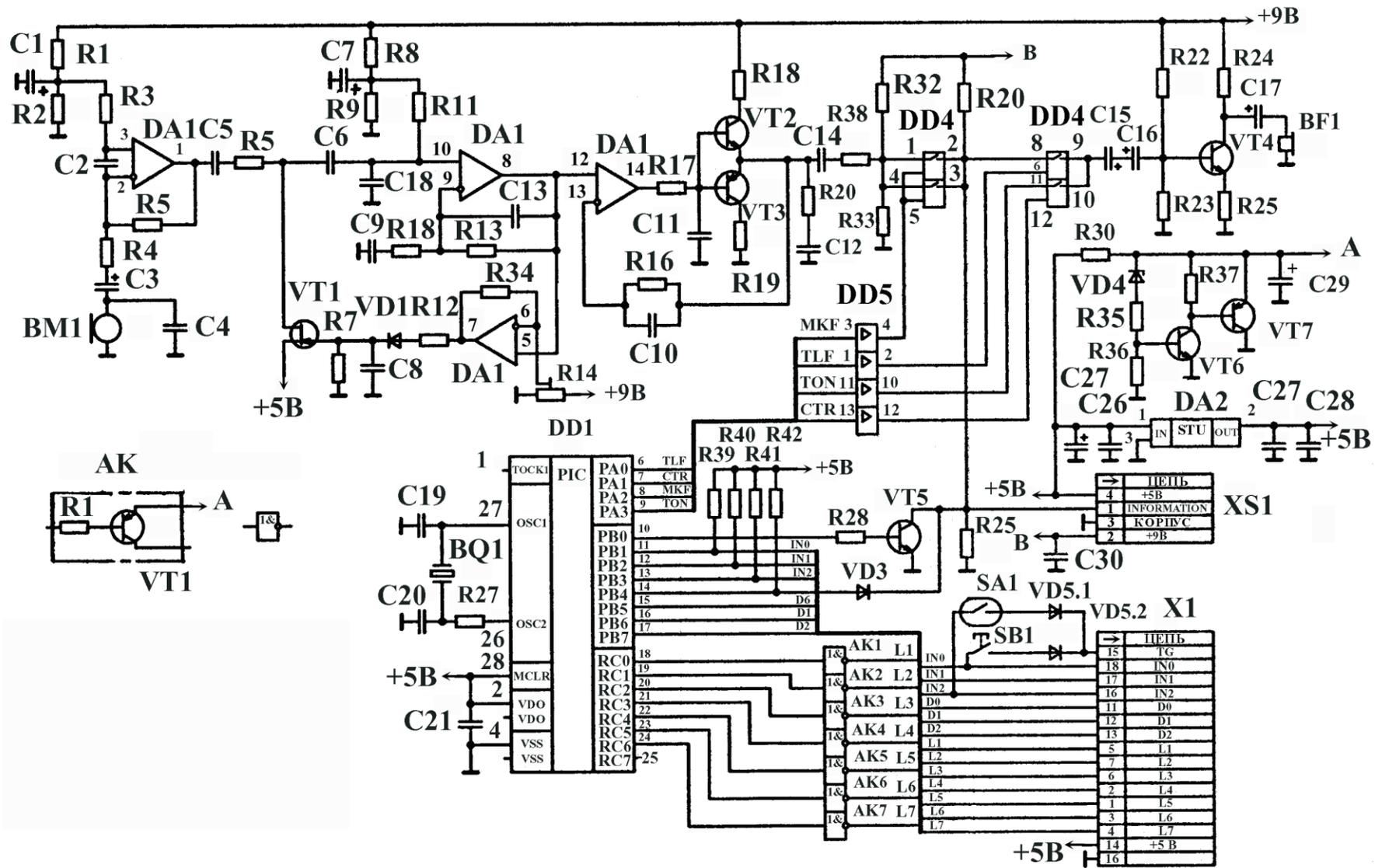


Рис. 3.8. Принципиальная электрическая схема контроллера микрофона

При срабатывании шумоподавителя в режиме ПРИЕМ ключ DD4 (8-9) замкнут, а ключи DD4 (1-2, 3-4, 11-10) разомкнуты. Речевые сигналы с цепи ИНФОРМАЦИЯ поступают на телефонный усилитель VT4, а с него на телефон BF1.

При передаче команд все ключи размыкаются, поэтому напряжение логической единицы в цепи ИНФОРМАЦИЯ задается делителем, состоящим из сопротивлений R20 и R25, и составляет около 6 В. Логический ноль в цепи ИНФОРМАЦИЯ задается сигналом через ключ VT5.

При приеме команды независимо от состояния ключей логический ноль в цепи ИНФОРМАЦИЯ через диод VD3 поступает на вход микроЭВМ и фиксируется на ней. После того как микроЭВМ обнаружит сигнал на этом входе, она закрывает все ключи и речевые сигналы не мешают приему команд.

При нажатии любой кнопки на клавиатуре ключи DD4 (1-2, 4-3, 8-9) размыкаются на время 20–50 мс, а ключ DD4 (11-10) замыкается, и через него на телефонный усилитель с выхода микроЭВМ подаются импульсы для звуковой индикации нажатия кнопки.

Обмен информацией между микротелефонной трубкой и приемопередатчиком организован следующим образом:

- после подключения питания приемопередатчик посылает сигнал сброса для трубки (логический ноль длительностью около 1 с);
- обнаружив сигнал сброса и дождавшись его окончания, трубка передает свой тип, после чего приемопередатчик посылает данные для вывода на индикацию;
- при нажатии любой кнопки трубка посылает сигнал запроса по линии ИНФОРМАЦИЯ (логический ноль длительностью 10–50 мс) и ожидает прихода сигнала подтверждения от приемопередатчика. В случае его отсутствия в течение 0,5 с запрос повторяется. Приемопередатчик, обнаружив запрос, выдает сигнал подтверждения длительностью 400 мкс, получив который, трубка передает код нажатой кнопки. Приемопередатчик посылает трубке данные для вывода на индикацию, не предваряя их запросом. Трубка, обнаружив стартовый

бит, закрывает ключи управления микрофоном и телефоном и принимает данные. В случае отсутствия сигнала сброса после включения питания трубка переходит в тестовый режим, сначала проходит тест индикации, далее свечение в течение 1 с всех разрядов на всех индикаторах. После этого происходит поочередное включение индикаторов и поочередный перебор сегментов на всех индикаторах. По окончании теста индикации трубка переходит к тесту клавиатуры. При этом, обнаружив нажатие кнопки, трубка выдает звуковой сигнал и передает код кнопки, не предваряя его запросом и не ожидая подтверждения.

### 3.4. Порядок выполнения работы

1. Тумблер Вкл на блоке питания радиостанции поставить в верхнее положение. Проверить засветку светодиода индикации питания. Проверить подключение радиостанции через нагрузку 50 Ом к разъему X2 осциллографа D57102V. Нажать кнопку питания осциллографа D57102V, которая расположена в верхней части корпуса.

2. На табло микротелефонной трубки проверить засветку (слева направо): 1-й разряд –  $\Gamma$  – включен шумоподавитель, 2-й разряд – пустой, 3-й разряд – «С», 4-й разряд – «h», 5-й разряд – 4; 6-й разряд – 0. Цифры 4 и 0 формируют номер канала: 40.

3. Нажать кнопку F два раза. Записать значение установленной частоты (например, 27150 – значение частоты в килогерцах).

4. Проверить работу радиопередающего тракта. Снять микротелефонную трубку с держателя. Нажать тангенту (слева на корпусе), измерить частоту, напряжение и мощность ( $P = U^2/R$ ) на нагрузке  $R = 50$  Ом.

5. Перестроить частоту, нажав кнопку – , установить значение частоты 27125, при этом записать номер установленного канала.

6. Нажать кнопку ПШ – включение шумоподавителя. Отметить начало работы шумоподавителя по воспроизводимому через громкоговоритель звуковому сигналу.

7. Проверить работу радиоприемного тракта. Подключить кабель, присоединенный к держателю микрофонной трубки, ко входу X2 осциллографа D57102V. Подключить кабель, присоединенный к нагрузке 50 Ом, к выходу генератора Г4-116. Нажать кнопку 16-34 (выбор диапазона), кнопку ГВЧ, ЧМ-Внутрен. Установить девиацию  $\Delta f_k$  равной 1,8 кГц. Включить кнопку Вкл-Сеть на панели генератора Г4-116. Установить уровень 10  $\mu V$  (по верхней шкале указателя уровня). Плавно перестраивая частоту генератора Г4-116 в пределах 26–28 МГц (27,125 МГц), добиться появления гармонического сигнала на экране осциллографа D57102V.

8. Произвести измерение чувствительности приемника. Уменьшить выходной уровень сигнала на генераторе Г4-116 до величины приблизительно 0,7  $\mu V$ . Кабель, подключенный к микрофонной трубке, подключить ко входу милливольтметра В3-38. Измерить амплитуду полезного сигнала  $U_c$ . Снять выходной сигнал с генератора Г4-116, отжав кнопку ЧМ-Внутрен. Снова измерить уровень, но уже шумового  $U_{ш}$  сигнала на вольтметре В3-38. Определить величину отношения  $U_c/U_{ш}$  и перевести это значение в децибелах.

9. Выполнить измерение девиации частоты. Подключить разъем АНТ радиостанции через нагрузку и регулируемый аттенюатор ко входу прибора СКЗ-46, разъем  $\sim 2,5 V_{max}$ . Выход прибора СКЗ-46, разъем НЧ выход  $\ominus \rightarrow$  подключить ко входу X2 осциллографа D57102V. Подать питание  $\sim 220$  В на прибор СКЗ-46. Для этого тумблер, расположенный на корпусе прибора слева, поставить в нижнее положение. Подать с генератора Г3-109 сигнал частотой 1 кГц и напряжение  $\sim 0,9$  В на разъем, расположенный на микрофонной трубке. На приборе СКЗ-46 установить режим измерения параметров частотной модуляции. Для этого нажать кнопку АМ/ЧМ – должна загореться индикация кНз. Выбрать полосу измерения. Нажать кнопку полоса и обеспечить засветку индикатора 30 кНз. Нажать тангенту на микрофонной трубке. Записать значение девиации частоты с табло прибора СКЗ-46. Построить и исследовать модуляционную зависимость девиации частоты от напряжения, которое подается от генератора Г3-109, в диапазоне значений

от 0 до 1,2 В. Полученную зависимость представить в отчете по лабораторной работе, сделать выводы.

10. Выключить питание радиостанции и приборов D57102V, ВЗ-38, Г4-116, СКЗ-46. Для отключения прибора СКЗ-46 тумблер питания поставить в верхнее положение.

### **3.5. Содержание отчета**

1. Общая структурная схема радиостанции.
2. Назначение и условия эксплуатации.
3. Результаты измерений и расчетов.
4. Выводы по проделанной работе.

### **3.6. Контрольные вопросы**

1. Назовите основные технические характеристики и параметры радиостанции Роса-А.
2. Назовите основные технические характеристики и параметры передатчика.
3. Назовите основные технические характеристики и параметры приемника.
4. Опишите особенности функционирования приемника.
5. Опишите особенности функционирования синтезатора частоты.
6. Опишите особенности работы передатчика.
7. Опишите работу подмодулятора передатчика.
8. Объясните назначение и особенности функционирования микроконтроллера радиостанции.
9. Объясните назначение и особенности работы контроллера микрофона.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ МИКРОБАЗОВОЙ СТАНЦИИ ALKATEL A9110-E

Цель работы: изучить назначение, состав и технические характеристики микробазовой станции Alkatel A9110-E; изучить структурную схему и принцип действия оборудования микробазовой станции Alkatel A9110-E, особенности контроля и диагностики оборудования.

### 4.1. Особенности функционирования сети сотовой связи стандарта GSM при использовании технологии GPRS

Обобщенная структурная схема сотовой системы мобильной связи стандарта GSM при использовании технологии GPRS представлена на рис. 4.1 [1, 4, 9].

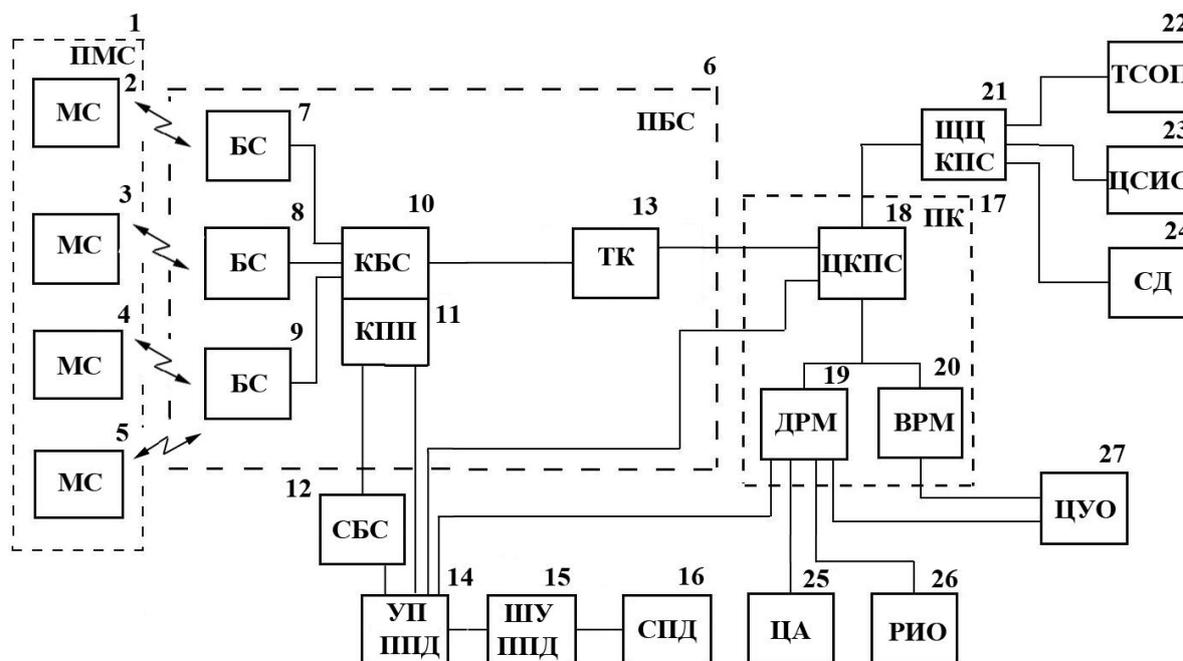


Рис. 4.1. Структурная схема сети GSM с использованием технологии GPRS

Обозначения на рис. 4.1:

1 – ПМС (MSS) – подсистема мобильных станций

2–5 – МС (MS) – мобильная станция

6 – ПБС (BSS) – подсистема базовых станций

7–9 – БС (BTS) – базовая станция

10 – КБС (BSC) – контроллер базовых станций

11 – КПП (PCU) – устройство контроля пакетной передачи данных

12 – СБС (MFS) – сервер GPRS, предназначенный для поддержки существующих базовых станций Evolium BSS

13 – ТК (TC) – транскодер

14 – УП ППД (SGSN) – узел поддержки пакетной передачи данных

15 – ШУ ППД (GGSN) – шлюзовой узел пакетной передачи данных, осуществляющий связь между сотовой сетью и внешними информационными магистралями

16 – СПД – сеть передачи данных

17 – ПК (SSS) – подсистема коммутаций

18 – ЦКПС (MSC) – центр коммутации мобильной связи

19 – ДРМ (HLR) – домашний регистр местоположения

20 – ВРМ (VLR) – визитный регистр местоположения

21 – ШЦ КПС (GMSC) – шлюз центра коммутации подвижной связи

22 – ТСОП (PSTN) – телефонная сеть общего пользования

23 – ЦСИС (ISDN) – цифровая сеть с интеграцией служб

24 – СД (PTN) – сеть передачи данных

25 – ЦА (AUC) – центр аутентификации

26 – РИО (EIR) – регистр идентификации оборудования

27 – ЦУО (OMC) – центр управления и обслуживания

БС представляет собой автоматическое приемопередающее оборудование, обеспечивающее связь с мобильными абонентами, т. е. доступ к радиointерфейсу. КБС обеспечивает соединение нескольких базовых станций с ЦКПС, контроль прохождения сообщения и другие функции.

ЦКПС представляет собой автоматическую цифровую телефонную станцию (доработанная АХЕ-10, DX-220) и обслуживает группу сот, обеспечивая все виды соединений, в которых нуждается мобильная станция:

- 1) выход мобильной станции на телефон общего пользования;
- 2) выход на телефон внутри сети одного оператора;
- 3) звонок на телефон этого стандарта другого оператора;
- 4) звонок на сеть другого стандарта.

При этом ЦКПС выполняет функции коммутации каналов – создание канала передачи информации между абонентами на все время сеанса связи (обычно речевой трафик, т. е. передача речевой информации). Функция коммутации пакетов реализуется при технологии GPRS (General Packet Radio Serves), когда формируются пакеты переменной или постоянной длины. В общем случае можно организовать независимую коммутацию каналов и независимую коммутацию пакетов. ЦКПС выполняет функции эстафетной передачи и роуминга. Эстафетная передача (Hand Over):

1) может осуществляться в пределах одной ячейки при значительных помехах на какой-то частоте, выполняется перевод мобильных станций на другие частоты, не подверженные глубоким замираниям;

2) при перемещении мобильных станций между сотами осуществляется передача абонента из одной ячейки в другую, эти соты контролирует один контроллер базовой станции;

3) осуществляется при перемещении между ячейками соты, которые контролируют разные контроллеры базовых станций;

4) выполняется при значительных перемещениях с переходом под управление другого центра коммутации мобильной связи. Во всех вариантах процедуры эстафетной передачи измеряется уровень нескольких базовых станций и осуществляется переключение на ту базовую станцию, где уровень сигнала выше.

Роуминг заключается в предоставлении услуг мобильной связи клиентам других сетей данного стандарта. Регистры ВРМ и ДРМ представляют со-

бой базы данных. ДРМ содержит сведения о постоянно приписанных к данному ЦКПС абонентах, а также об услугах, которые могут быть им оказаны. Каждый абонент получает уникальный международный идентификатор мобильного оборудования IMEI, а также стандартный сменный модуль подлинности абонента – SIM-карту, в которой содержится: а) международный идентификационный номер IMSI; б) персональный идентификационный номер PIN; в) персональный номер разблокировки PUK. IMEI и IMSI не связаны друг с другом. Это дает возможность использовать разные SIM-карты в разных сетях или использовать одну SIM-карту в различных терминалах мобильных телефонов.

В ДРМ содержатся номера, адреса, параметры подлинности абонентов, состав услуг связи и другие параметры, помогающие выполнять маршрутизацию. ВРМ и ДРМ содержат до 20 наименований постоянно и временно хранящихся данных. Доступ к данным в ДРМ имеют все остальные центры коммутации. Если в сети несколько ДРМ, то запись об этом абоненте содержится только в одном, а все остальные имеют удаленный доступ, который осуществляется по номеру IMSI.

ВРМ обеспечивает контроль за перемещением мобильных станций и служит для эффективного управления установленными соединениями, при этом заносится информация о его месте расположения. Также содержит информацию об абонентах, временно находящихся в зоне обслуживания данного центра коммутации мобильной связи.

ЦА обеспечивает возможность проведения процедуры аутентификации абонентов и шифрование передаваемых сообщений.

РИО содержит сведения об эксплуатируемых мобильных станциях на предмет исправности и санкционированного использования. Цель внедрения этих процедур – обеспечение защиты абонентов от попыток обмана, несанкционированных действий, попыток захвата. Идентификация оборудования – это процедура отождествления мобильной станции, претендующей на услуги связи с одной из множества зарегистрированных станций в центре коммута-

ции мобильной связи. Процедура идентификации позволяет сети узнать статус этой мобильной станции, т. е. перечень предоставляемых услуг, уровень приоритета в получении доступа и т. п. В системе стандарта GSM в регистре идентификации имеется три списка: белый, серый, черный. Серый список – это телефоны, у которых не урегулированы вопросы с сетью, есть задолженность по оплате. Черный список – это телефоны украденные, незаконно размноженные.

В сети содержится ЦУО – центр управления и обслуживания. Кроме того, имеется ЦУС – центр управления сетью, который позволяет обеспечить иерархическое управление всей сетью GSM, диспетчерское управление, контроль трафика, предотвращение аварийных ситуаций при перегрузке, контроль региональных проблем, контроль маршрутов сигнализации.

Ядро системы GPRS – ЯС ППД состоит из двух основных блоков – УП ППД (SGSN – Serving GPRS Support Node) – узел поддержки GPRS и ШУ ППД (GGPRS – Gateway GPRS Support Node) – шлюзовой узел GPRS. УП ППД (SGSN) является основным узлом рассматриваемой системы [1, 9]. В некотором роде УП ППД (SGSN) можно назвать аналогом ЦКПС (MSC) – коммутатора сети GSM. УП ППД (SGSN) контролирует доставку пакетов данных пользователям, взаимодействует с реестром собственных абонентов сети ДРМ (HLR), проверяя, разрешены ли запрашиваемые пользователями услуги, ведет мониторинг пользователей, организует регистрацию абонентов вновь «проявившихся» в зоне действия сети и т. п. Так же как и ЦКПС (MSC), УП ППД (SGSN) в системе может быть не один – в этом случае каждый узел отвечает за свой участок сети.

Предназначение ШУ ППД (GGSN) можно понять из его названия – это шлюз между УП ППД (SGSN) и внешними сетями (Интернетом, корпоративными сетями, другими GPRS-сетями и т. д.). Основной задачей ШУ ППД (GGSN), таким образом, является маршрутизация данных, идущих от или к абоненту через УП ППД (SGSN). Вторичными функциями ШУ ППД (GGSN) является адресация данных, динамическая выдача IP-адресов, а также отсле-

живание информации о внешних сетях и собственных абонентах (в том числе тарификация услуг).

В GPRS-систему заложена хорошая масштабируемость – при появлении новых абонентов оператор может увеличивать число УП ППД (SGSN), а при увеличении суммарного трафика – добавлять в систему новые УП ППД (GGSN). Внутри ядра GPRS-системы (между УП ППД (SGSN) и ШУ ППД (GGSN)) данные передаются с помощью специального туннельного протокола GTP (GPRS Tunneling Protocol).

Еще одной составной частью системы GPRS является узел PCU (Packet Control Unit) – устройство контроля пакетной передачи. PCU стыкуется с контроллером базовых станций (BSC) и отвечает за направление трафика данных непосредственно от BSC к УП ППД (SGSN).

Возможна модернизация сети при использовании специального сервера СБС (MFS) – сервер GPRS, предназначенный для поддержки существующих базовых станций. Обычно сервер располагается на площадке MSC или отдельном рабочем месте, и поэтому его инсталляция требует только удаленной загрузки небольшого программного обеспечения без прерывания работы сети.

Прежде чем приступить к работе с GPRS, мобильная станция так же, как и в обычном случае передачи голоса, должна зарегистрироваться в системе. Как уже было сказано, регистрацией («прикреплением» (attachment) к сети) пользователей занимается УП ППД (SGSN). В случае успешного прохождения всех процедур (проверки доступности запрашиваемой услуги и копирования необходимых данных о пользователе из ДРМ (HLR) в УП ППД (SGSN) абоненту выдается P-TMSI (Packet Temporary Mobile Subscriber Identity) – временный номер мобильного абонента для пакетной передачи данных, аналогичный TMSI, который назначается мобильному телефону для передачи голоса (если абонентский терминал относится к классу А, то ему при регистрации выделяется как TMSI, так и P-TMSI).

## 4.2. Архитектура радиointерфейса и особенности временного мультиплексирования в стандарте GSM

Исходный стандарт GSM предусматривает работу в двух диапазонах частот – 890–915 МГц для передатчиков MS и 935–960 МГц для передатчиков БС. Впоследствии была организована работа в диапазонах 1800 и 1900 МГц. В стандарте используется узкополосный (ширина полосы канала связи 200 кГц) многостанционный доступ, сочетающий частотное (FDMA) и временное (TDMA) разделение каналов. В рамках частотного разделения стандарт с учетом защитных полос в диапазоне 900 МГц содержит 124 дуплексных канала с разносом частот приема и передачи в 45 МГц. Центральная частота канала (в мегагерцах) связана с его номером соотношениями:

- обратный канал (uplink) –  $f_0 = 890,200 + 0,200 \cdot i, 1 < i < 124$  ;
- прямой канал (downlink) –  $f_0 = 935,200 + 0,200 \cdot i, 1 < i < 124$ .

В рамках временного разделения передача информации по каналу связи осуществляется в течение одного из восьми временных интервалов (слотов) длительностью 577 мкс на каждой из 124 несущих.

Организационно восемь слотов объединяются в кадры длительностью 4,615 мс, которые в свою очередь последовательно группируются в мультикадры, суперкадры и гиперкадры. Длительность последнего определяет период последовательности кадров во временной структуре стандарта GSM. Номер кадра в пределах гиперкадра используется как входной параметр при криптографической защите передаваемых данных. Каждые 4,615 мс (т. е. для каждого кадра) несущая частота меняется по псевдослучайному закону (с сохранением дуплексного разноса 45 МГц). Всем активным абонентам, находящимся в одной соте, в процессе установления канала назначается единая частотно-временная матрица. Ортогональность последовательностей переключения частот для активных абонентов соты, работающих в одном временном слоте, обеспечивается различным начальным частотным сдвигом. В смежных сотах используются различные формирующие последовательности.

Цифровой информационный поток представляет собой последовательность пакетов, размещаемых в соответствующих временных интервалах (слотах). Пакеты формируются немного короче, чем слоты, их длительность составляет 0,546 мс, что необходимо для надежного приема сообщения при наличии дисперсии в канале. Информационное сообщение передается по радиоканалу со скоростью 270,833 кбит/с (слот содержит 156,25 бит, длительность одного бита 3,69 мкс).

По каналу связи передается либо информация сигнализации, либо кодированная речь или данные, поэтому в физическом канале могут быть реализованы либо логические каналы трафика, либо каналы управления, причем каждый из них может существовать в нескольких вариантах.

Однако МС следует дать время для обработки принятых сообщений и выполнения полученных команд управления. Поэтому временные циклы прямого и обратного каналов сдвинуты на три интервала. Комбинация, посланная БС во 2-м интервале, будет принята МС в 7-м, а пакет, переданный МС во 2-м дискрете, принят БС в 5-м.

Рассмотрим более подробно структуру кадров (слотов) передачи данных. По структуре и информационному содержанию можно выделить пять типов слотов:

- *Normal Burst* (NB) – нормальный временной интервал;
- *Frequency Correction Burst* (FB) – интервал подстройки частоты;
- *Synchronization Burst* (SB) – интервал временной синхронизации;
- *Dummy Burst* (DB) – установочный интервал;
- *Access Burst* (AB) – интервал доступа.

Сокращения, использованные при обозначении полей слотов, имеют следующее содержание:

- TB (*Tail Bits*) – запретный бланк (хвостовые биты);
- ED (*Encrypted Data*) – закодированная информация;
- SF (*Stealing Flag*) – скрытый флажок;
- TS (*Training Sequence*) – обучающая последовательность;

- GP (*Guard Period*) – защитный интервал;
- ETS (*Extended Training Sequence*) – расширенная обучающая последовательность;

- ET (*Extended Tail*) – расширенный защитный бланк.

Слоты типа NB используются для передачи информации по каналам трафика и управления (за исключением канала доступа R (RACH)).

На данном временном интервале содержится 114 бит зашифрованного сообщения, разбитого на два подблока по 57 бит, обучающая последовательность в 26 бит, разделяющая указанные информационные подблоки, два защитных бланка по 3 бита, защитный интервал в 8,25 бит и два скрытых флажка по 1 биту, которые служат признаком передаваемой информации – трафика или сигнализации.

Обучающая последовательность используется для решения следующих задач:

- оценка качества связи на основе сравнения принятой и эталонной последовательностей (определение частоты появления ошибок в двоичных рядах – «битовых ошибок»);

- оценка импульсной характеристики радиоканала и настройка адаптивного эквалайзера для последующей коррекции тракта приема сигнала;

- определение задержки распространения сигнала между БС и МС для оценки дальности радиосвязи.

Слоты FB предназначены для синхронизации по частоте подвижной станции. В этом временном интервале 142 бита являются нулевыми, что соответствует передаче немодулированной несущей со сдвигом, и образуют канал установки частоты FSSN.

Слоты типа SB используются для кадровой синхронизации, т. е. для синхронизации во времени базовой и подвижной станций. Каждый из них содержит 64 бита расширенной синхропоследовательности, а также информацию о номере кадра и идентификационный номер БС. Слоты SB всегда передаются в паре с FB и образуют канал синхронизации (SCH).

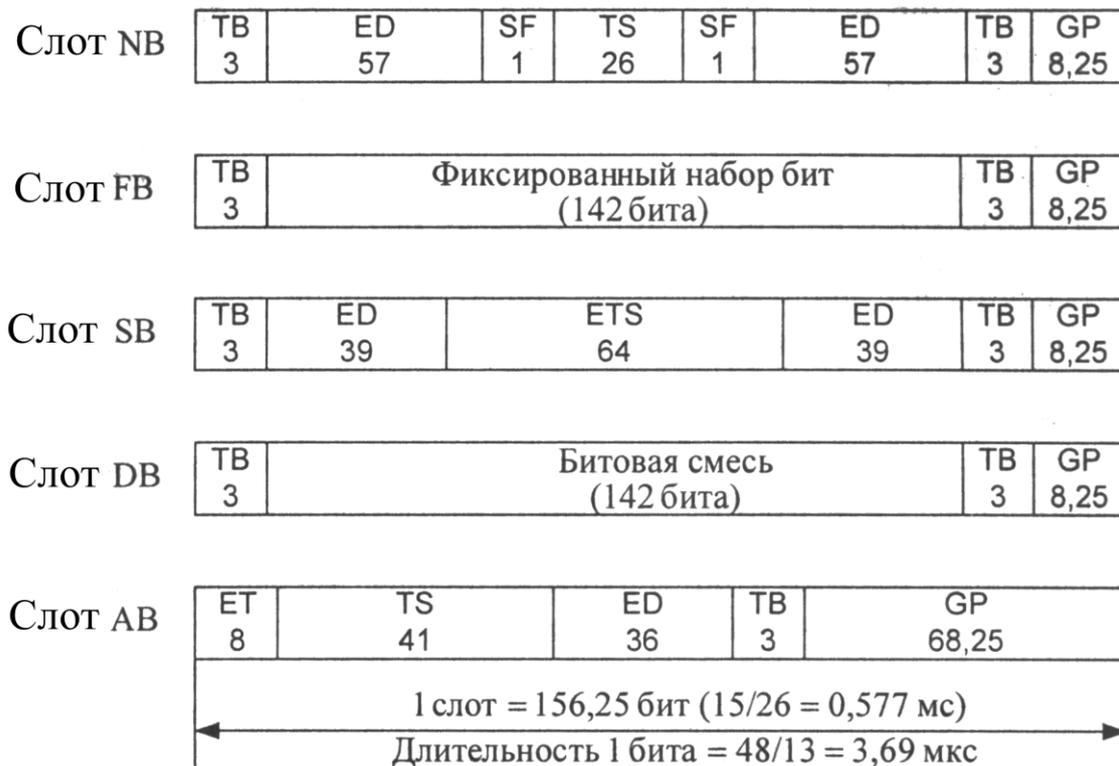


Рис. 4.2. Структура слотов стандарта GSM

Слоты DB обеспечивают установление и тестирование канала связи. По своей структуре DB совпадает с NB и содержит установочную последовательность длиной 26 бит. Контрольные биты отсутствуют, и не передается никакой информации, а только устанавливается факт работы передатчика. Слоты AB предназначены для организации доступа подвижной станции к новой БС. Структура этих слотов значительно отличается от ранее рассмотренной. Специфичность ее объясняется тем, что слоты AB определяют интервал, на котором подвижная станция впервые пытается установить связь с базовой. Поскольку время прохождения сигнала неизвестно, первая позиция слота отводится полю, являющемуся концевым у остальных типов. Расширенный защитный интервал в 68,25 бит, равный двойному значению наибольшей возможной задержки сигнала в соте, обеспечивает достаточное разнесение от сигналов других подвижных станций.

Обучающая последовательность (41 бит) позволяет БС правильно принять последующие 36 бит информации от МС.

### 4.3. Особенности передачи информации в сети GSM/GPRS.

#### Физические и логические каналы GPRS

Для передачи пакетов данных пользователей и пакетов сигнальной информации через радиointерфейс в сети GSM/GPRS организуются логические каналы, отличные от каналов сети GSM. Для передачи информации они используют физические каналы, выделенные из общего частотно-временного ресурса GSM. Эти физические каналы предназначены для передачи пакетного IP-трафика между AT и BTS и называются каналами PDCH (Packet Channel). Каналы PDCH могут быть сконфигурированы в действующих приемопередатчиках TRX в двух случаях:

- при их совместном использовании с обычными каналами трафика GSM;
- в выделенном режиме, когда для подсистемы GPRS закрепляются каналы трафика (при установлении новых блоков TRX и выделении отдельных рабочих частот).

Структурно каналы подсистемы GPRS надстраиваются над каналами сети GSM (используют ту же структуру тайм-слотов: 114 информационных бит, служебная информация и обучающая последовательность). Особенностью пакетных каналов PDCH является то, что их основу составляют радиоблоки емкостью  $4 \cdot 114 = 456$  бит, которые последовательно передаются в одноименных тайм-слотах четырех кадров.

Логические каналы подсистемы GPRS можно разделить на две группы: каналы сигнализации и каналы передачи данных пользователей. По каналам сигнализации осуществляется инициализация, управление и завершение GPRS-сессий, а также синхронизация, управление мощностью передачи и т. д.

Каналы PDCH, по которым передаются данные пользователя, называются каналами трафика пакетных данных PDTCH (Packet Data Traffic Channels). Они подразделяются на каналы PDTCH/U и PDTCH/D, используемые абонентским терминалом соответственно для передачи и для приема.

Каналы PDCH, по которым передаются данные сигнализации, подразделяются на широковещательные пакетные каналы управления PBCCH (Packet Broadcast Control Channels), общие пакетные каналы управления PCCCH (Packet Common Control Channels) и выделенные пакетные каналы управления PDCC (Packet Dedicated Control Channels). Широковещательные пакетные каналы управления PBCCH используются только в линии «вниз» для передачи от базовой станции служебной информации, необходимой пользователям подсистемы GPRS.

К общим пакетным каналам управления PCCCH относятся:

– PRACH (Packet Random Access Channel) – пакетный канал случайного доступа только в линии «вверх», по которому абонентский терминал запрашивает доступ в сеть GSM/GPRS (просит выделить один или несколько каналов PDTCH);

– PAGCH (Packet Access Grant Channel) – пакетный канал предоставления доступа только в линии «вниз», по которому осуществляется информирование абонентского терминала о выделении ему согласно приоритету одного или нескольких каналов передачи данных PDTCH;

– PPCCH (Packet Paging Control Channel) – пакетный канал управления вызовами только в линии «вниз», по которому осуществляется поиск и определение местоположения абонентского терминала перед началом организации соединения;

– PNCH (Packet Notification Channel) – пакетный канал уведомлений только в линии «вниз», по которому передается служебная информация (например, приоритеты абонентских терминалов) при организации соединений типа «точка – многоточка».

Выделенные пакетные каналы управления PDCC содержат:

– PACCH (Packet Associated Control Channel) – пакетный ассоциированный канал управления, по которому передаются команды управления базовыми станциями (например, содержащие параметры регулирования выход-

ной мощности абонентского терминала, сообщения подтверждения); канал RACH совмещен с каналами трафика пакетных данных PDTCH;

– PTCCCH (Packet Time Advance Control Channel) – пакетный канал управления временной задержкой передачи пакетов данных, по которому передается временная задержка TA (Time Advance) для обеспечения много-станционного доступа в режиме TDMA.

Подсистема GPRS обеспечивает следующие режимы передачи:

- PTP (Point – To – Point Services) – «точка – точка»;
- PTM (Point – To – Multipoint Services) – «точка – многоточка»;
- PTP-CLNS (Point – To – Point Connectionless Networks) – «точка – точка» без установления соединения;
- PTP-CONS (Point – To – Point Connection Oriented Network Service; «точка – точка» с установлением соединения.

На базе режима «точка – многоточка» возможны три типа соединений в подсистеме GPRS:

- PTM – Multicast – передача пакетов данных всем абонентам, запросившим эти услуги, в заданной географической области;
- PTM – Group Call – передача пакетов данных определенной группе абонентов в заданной географической области;
- IP – Multicast – передача пакетов данных как «внутренним» абонентам сети мобильной связи, так и абонентам фиксированных IP-сетей (IP-группа).

Профиль абонента, хранимый в базе данных регистра HLR, содержит новые параметры качества услуг связи, согласованные между абонентом и оператором. К числу таких параметров относятся производительность, надежность, задержка и приоритетность.

Разработанная для повышения скорости передачи данных в подсистеме GPRS технология EDGE предусматривает новые виды модуляции и помехоустойчивого кодирования. В ней используются существующие протоколы радиointерфейса стандарта GSM, и для ее внедрения не требуется создания новых сетевых элементов (она совместима с GSM/GPRS). Особенности тех-

нологии EDGE заключаются в использовании модуляции с большей спектральной эффективностью и алгоритмов адаптации каналов связи в зависимости от требований абонента и помеховой обстановки. Основные характеристики технологии приведены в табл. 4.1.

Рекомендованная технологией EDGE модуляция 8PSK (ОФМ-8) увеличивает скорость передачи данных в три раза, и, следовательно, повышает эффективность использования спектральной эффективности. Поскольку каждый символ 8PSK соответствует 3 битам информации, то в одном канальном интервале может быть передано 342 информационных бита.

Для повышения эффективности каналов связи технология EDGE предлагает адаптивный выбор вида модуляции и схемы кодирования. Анализ табл. 4.1 подтверждает, что технология EDGE позволяет повышать скорость передачи данных (минимальная скорость 22,4 кбит/с при схеме кодирования MCS-5 больше максимальной скорости 17,6 кбит/с для подсистемы GPRS в режиме MCS-4).

Таблица 4.1

Адаптивный выбор вида модуляции и схемы кодирования для технологии EDGE

Схема кодирования	Вид модуляции	Скорость кодирования	Максимальная скорость передачи данных, кбит/с	Серия
MCS-9	8PSK	1,0	59,2	A
MCS-8	8PSK	0,92	54,4	A
MCS-7	8PSK	0,76	44,8	B
MCS-6	8PSK	0,49	29,6	A
MCS-5	8PSK	0,37	22,4	B
MCS-4	GMSK	1,0	17,6	C
MCS-3	GMSK	0,8	14,8	A
MCS-2	GMSK	0,66	11,2	B
MCS-1	GMSK	0,53	8,8	C

#### **4.4. Назначение и технические характеристики микробазовой станции**

##### **Alkatel A9110-E**

Как видно из общей структурной сети стандарта GSM, показанной на рис. 4.1, важное место при передаче информации занимают базовые станции, которые обеспечивают непосредственный обмен информацией с мобильными станциями (сотовыми телефонами). Внешний вид микробазовой станции Alkatel A9110-E показан на рис. 4.2. БС, как уже отмечалось, представляет собой дуплексный приемопередатчик, работающий в автоматическом режиме, который формирует зону обслуживания данной станции и поддерживает работу в следующих частотных диапазонах: GSM 850 (линия вверх, т. е. диапазон работы передатчиков МС или диапазон работы приемников БС – от 824 до 849 МГц; линия вниз, т. е. диапазон работы приемников МС или диапазон работы передатчиков БС – от 869 до 894 МГц); расширенный E-GSM 900 (линия вверх – от 880 до 915 МГц; линия вниз – от 925 до 896 МГц); GSM 1800 (линия вверх – от 1710 до 1785 МГц; линия вниз – от 1805 до 1880 МГц); GSM 1900 (линия вверх – от 1850 до 1910 МГц; линия вниз – от 1930 до 1990 МГц).

Возможна организация одновременной работы в двух частотных диапазонах. Возможными вариантами организации работы в двух диапазонах являются диапазоны GSM 850 / GSM 1800; GSM 850 / GSM 1900; GSM 900 / GSM 1800; GSM 900 / GSM 1900. При кодировании речевой информации возможно использование кодеков с полной скоростью (FS); с половинной скоростью (HS); с улучшенной полной скоростью (EFS); с адаптивной величиной скорости (AMR). Поддерживается несколько алгоритмов шифрования A5/0; A5/1; A5/2.



Рис. 4.2. Внешний вид микробазовой станции Alkatel A9110-E

При реализации технологии GPRS с модуляцией GMSK на выходе речевого кодека обеспечиваются четыре варианта цифровых потоков: от 9,05 кбит/с (схема кодирования CS1) до 21,4 кбит/с (схема кодирования CS4). При реализации технологии расширенной E-GPRS с модуляциями GMSK ОФМ-8 (8PSK) на выходе речевого кодека обеспечиваются девять вариантов цифровых потоков: от 8,08 (схема кодирования MCS1) до 59,2 кбит/с (схема кодирования MCS9). Причем модуляция GMSK используется для схем кодирования MCS1–MCS4, а для модуляции ОФМ-8 (8PSK) – для схем кодирования MCS5–MCS9. Выходная мощность передатчиков находится в диапазоне от 2,7 (или 34,45 дБм) до 7 Вт (38,5 дБм) при использовании модуляции GMSK, и в диапазоне от 1,3 (32,95 дБм) до 5 Вт (37,0 дБм) при использовании модуляции ОФМ-8.

Величина предельной чувствительности приемного оборудования составляет величину  $-104$  дБм. Структурная схема оборудования базовой станции БС при использовании двух приемопередатчиков показана на рис. 4.3.

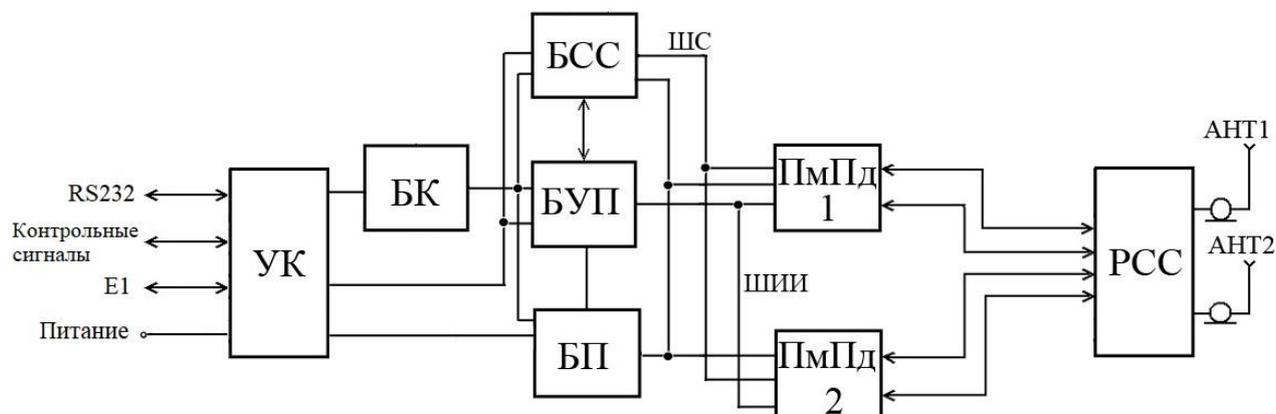


Рис. 4.3. Структурная схема оборудования BTS

Основными блоками базовой станции являются: блок управления и передачи (БУП), блок синхронизации станции (БСС), блок контроля (БК), узел коммутации (УК), приемопередатчики (ПмПд), блок питания (БП), блок разделения и сложения сигналов (РСС), антенны АНТ1 и АНТ2 вместе с соответствующими антенно-фидерными трактами.

БУП является основным блоком БС. Его основные функции – синхронизация вместе с БСС остальных блоков и узлов БС, осуществление передачи информации между УК и ПмПд с использованием шины информационного обмена ШИИ, организация работы Abis-интерфейса, управление работой всей базовой станции и другие функции.

Основной функцией БСС является прием синхросигнала, его обработка и управление синхронизацией всей БС, и, в частности, через шину синхронизации ШС – приемопередатчиков ПмПд. Обычно синхросигнал выделяется из потока E1 принимаемой информации или формируется собственным встроенным генератором. Однако возможно формирование синхросигнала из сигнала, который принимается специальным приемником системы спутниковой навигации GPS, подключаемой к БСС через УК.

Блок питания представляет собой блок, обеспечивающий по желанию эксплуатирующей организации два варианта электропитания блоков и узлов БС. Первый вариант связан с преобразованием внешнего переменного напряжения в постоянное напряжение питания. Второй вариант связан с преобразованием внешнего напряжения постоянного напряжения в постоянное напряжение питания внутренних блоков и узлов БС.

Оборудование БС имеет модульную структуру, что облегчает ремонт и обслуживание. Для организации работы передается информация управления и конфигурирования, а также информация о состоянии блоков и аварийной сигнализации. Со стороны  $U_m$ -интерфейса в направлении «вверх» (up-link) принимается радиосигнал от мобильной станции (через антенну и блок РСС), затем производится его демодуляция, разделение на речевую и сигнальную информацию и передача ее дальше в направлении контролера базовой станции. В прямом направлении, т. е. в направлении «вниз» (down-link), речь и сигнальная информация после обработки в БУП в виде единого сигнала передается далее на РСС и через антенну на мобильную станцию.

Блок РСС обеспечивает связь двух блоков ПмПд с двумя антеннами (АНТ1 и АНТ2), осуществляет операции объединения и фильтрации сигнала при передаче, а также фильтрацию, усиление и распределение сигнала при приеме. Кроме этого, он обеспечивает питание встроенного в него усилителя постоянным напряжением питания.

БС обычно содержит несколько секторных антенн, хотя возможна установка одной антенны с круговой диаграммой направленности. Антенно-фидерный тракт (АФТ) обычно состоит из коаксиального кабеля, ряда переходных устройств, устройств защиты от ударов молний, мачтового усилителя (tower top amplifier), который устанавливается при необходимости. Основная функция всех перечисленных устройств – передача и прием модулированных радиосигналов между РСС и АНТ1 и АНТ2, выдача аварийной сигнализации и т. д. Антенна характеризуется коэффициентом усиления (способность по излучению в определенном направлении), направленностью (описывает

направление излучения), поляризацией (описывает плоскость колебаний электромагнитной волны). Для снижения потерь при передаче сигнала используются коаксиальные кабели с низким значением коэффициента затухания. Чтобы предотвратить влияние грозового атмосферного разряда на аппаратуру, используют защитные разрядники и предохранители.

Приемопередатчик (ПмПд) осуществляет прием и передачу сигналов на частотах, выделенных оператору в диапазоне GSM. В приемопередатчике (ПмПд) осуществляется модуляция несущей частоты в диапазоне прямого канала (от БС к МС) методом гауссовской частотной манипуляции с минимальным частотным сдвигом или ОФМ-8. При работе с медленными скачками по частоте значение несущей частоты передатчика (Пд) и приемника (Пм) меняется по квазислучайному закону. Скачки по частоте являются мерой борьбы с многолучевостью на радиолинии БС-МС.

Приемопередатчик проектируемой базовой станции (рис. 4.4) состоит из двух основных частей: цифровой и аналоговой, которые синхронизируются от блока синхронизации БСС.

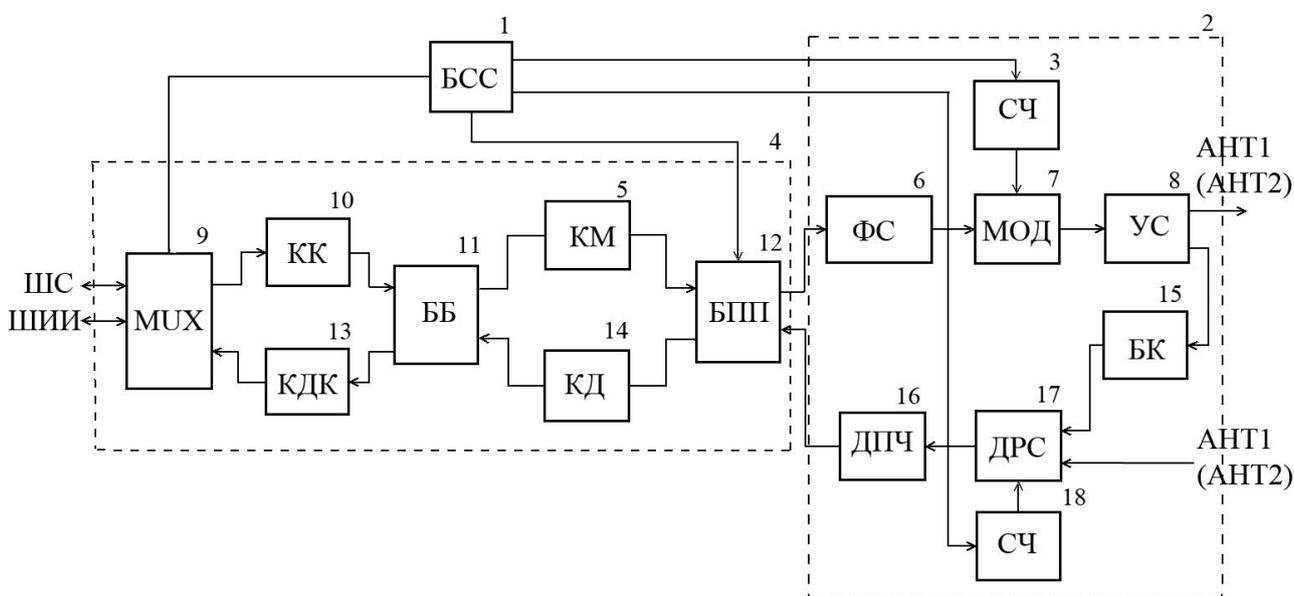


Рис. 4.4. Структурная схема оборудования базовой станции

В состав цифровой части 4 приемопередатчика входят следующие блоки: мультиплексор MUX 9, каналные кодер КК 10 и декодер КДК 13, базовый блок ББ 11, каналные демодулятор КД 14 и модулятор КМ 5, блок передачи и преобразований сигналов БПП 12.

Аналоговая часть приемопередатчика состоит из синтезаторов частот (СЧ) 3 и 18 для передающей и принимаемой частот, формирователя сигнала ФС 6, модулятора МОД 7, мощного усилителя УС 8, блока контроля БК 15, демодулятора ДРС 17, демодулятора по промежуточной полосе частот ДПЧ 16.

Мультиплексор MUX 9 осуществляет взаимодействие с шинами синхронизации ШС и ШИИ и передачу сигнала в линию с соответствующим маршрутом. Блок синхронизации БСС 1 выполняет синхронизацию всех блоков и устройств. Канальный кодер КК 10 выполняет кодирование сигнала в тракте передачи. Канальный демодулятор КД 14 выполняет предварительную обработку данных, демодуляцию сигнала и другие операции. Базовый блок ББ 11 осуществляет шифрование и дешифрование сигналов в трактах передачи и приема. В тракте приема располагается каналный декодер КДК 13, который выполняет декодирование сигналов. Блок БПП 12 служит для передачи и преобразований сигналов из цифровой части приемопередатчика 4 в его аналоговую часть 2 и обратно.

Для защиты от ошибок в радиоканалах подвижной связи GSM используются сверточное и блочное кодирование с перемежением. Перемежение обеспечивает преобразование пакетов ошибок в одиночные. Сверточное кодирование является мощным средством борьбы с одиночными ошибками. Блочное кодирование, главным образом, используется для обнаружения нескорректированных ошибок.

Наибольший выигрыш СК обеспечивает только при одиночных (случайных) ошибках в канале. В каналах с замираниями, что имеет место в GSM, необходимо использовать СК совместно с перемежением.

Демодулятор по промежуточной полосе частот ДПЧ 16 производит демодуляцию и осуществление выборки основной полосы частот для дальнейшей его передачи в цифровую часть приемопередатчика.

Блок контроля БК 15 необходим для контроля работы и преобразования частоты приемопередатчика. Функция контроля по радиочастоте между трактами передачи и приема дает возможность протестировать блок путем генерации тестовых сигналов и направления их по петле для измерения вероятности битовых ошибок.

В стандарте GSM используется особый вариант модуляции – *гауссовская* МЧМ (минимальная частотная манипуляция или MSK – Minimal Shift Keying) или (GMSK – Gaussian MSK), при которой закон изменения фазы в течение посылки повторяет ход гауссовской интегральной функции распределения, чем обеспечивается плавность изменения фазы и частоты, а значит, высокая степень компактности спектра. Технически гауссовская (как и обычная) МЧМ может быть реализована разными средствами, однако для объяснения смысла ее параметров согласно спецификации GSM разумно считать, что исходный поток битовых прямоугольных посылок длительностью  $T_b$  пропускается через низкочастотный фильтр с гауссовской амплитудно-частотной характеристикой и полосой  $B$  (на уровне  $-3$  дБ), после чего сглаженный сигнал модулирует частоту задающего генератора.

Отсутствие разрывов фазы обеспечивает спектру МЧМ значительно большую степень компактности по сравнению со стандартной квадратурной относительной фазовой манипуляцией – ОФМ-4. Спектр мощности МЧМ-сигнала убывает примерно пропорционально  $1/f^4$ , где  $f$  – частота сигнала. Резервы сжатия спектра модулированного сигнала кроются в устранении разрывов не только самой фазы, но и ее производных.

Специфика систем беспроводной мобильной телефонии состоит в исключительной важности эффективного энергосбережения, продлевающего срок автономной (без подзарядки или смены батарей) работы портативного терминала и способствующего коммерческой привлекательности его массога-

баритных характеристик. Энергопотребление передатчика в значительной мере зависит от режима оконечного усилителя мощности или, иначе говоря, от пик-фактора сигнала, равного отношению его пиковой и средней мощностей.

Наиболее благоприятным считается режим класса С, когда активный элемент усилителя постоянно находится вблизи точки насыщения, выполняя, по существу, функции ключа, и требования к его линейному динамическому диапазону минимальны. Для приближения к подобному режиму передаваемый сигнал должен быть свободен от глубокой амплитудной модуляции, т. е. иметь пик-фактор, близкий к единице. Данное условие, в свою очередь, означает, что скачки мгновенной фазы, сопровождающие переход от данной посылки к последующей, должны быть по возможности минимизированы. По этим причинам многократная (с числом фаз 16 и более) ОФМ наряду с АФМ и КАМ не рассматриваются как приемлемые альтернативы для организации радиointерфейсов сетей мобильной связи, хотя восьмиуровневая ОФМ (8PSK) избрана как инструмент увеличения скорости передачи в системах второго поколения в рамках спецификации EDGE.

#### **4.5. Порядок выполнения работы**

1. Обеспечить подачу напряжения питания 220 В на лабораторную установку. Для этого поставить тумблер включения питания, расположенный внутри стойки, где расположена микробазовая станция (МБС) типа Alcatel A9110-E, в нижнее положение.

2. Включить два компьютера, один из которых позволяет управлять и контролировать работу МБС, а второй предназначен для управления и просмотра результатов измерений с помощью прибора Tektronix RSA 507A (далее анализатор спектра). Дождаться загрузки операционных систем двух компьютеров. На первом компьютере проверить подключение специального информационного кабеля между USB-портом компьютера и разъемом, расположенным на плате блока коммутации МБС. Подключить разъем RF In

анализатора спектра с помощью кабеля со встроенным аттенуатором на 10 дБ к разъему согласованной нагрузки, включенной в антенно-фидерный тракт МБС. Использование данного анализатора позволит выполнить исследование спектра выходного радиочастотного сигнала МБС. Включить анализатор спектра. Для этого подключить шнур питания к сети ~220 В. Подключить разъем USB 3.0, расположенный на передней панели анализатора спектра, с помощью соединительного кабеля к разъему USB 3.0 компьютера, который будет управлять работой анализатора спектра.

3. На первом компьютере открыть специальную программу, которая позволяет управлять и контролировать работу МБС. Для этого двойным нажатием левой кнопки компьютерной мыши запустить программу BTSSW.exe. Открывается окно BTS Terminal.

4. В окне User Login в поле User/Group name набрать имя UPGRAD, в поле Password – SUMSUP – и далее клавишу Logon. Выбрать опцию Select, далее BTS Terminal (Evolium BTS).

5. В поле File нажать опцию Connect/Disconnect. Наблюдать появление двух служебных окон: Log-on Terminal и C:\ALCATEL\ALCATE~\BTSSW\_B9\UPGRA LOG. Последнее окно является вспомогательным и предназначено для анализа и записи в память компьютера сообщений и команд, которые появляются при работе с данной МБС. Каждое сообщение, которое появляется в поле Message, может быть просмотрено и проанализировано в нижней части окна C:\ALCATEL\ALCATE~\BTSSW\_B9\UPGRA LOG. В поле Log-on Terminal в правой половине, под клавишей CLOSE располагается специальный символ, частью которого является условное обозначение красного флажка. Вертикальное расположение этого флажка сигнализирует о нормальном прохождении процессов инициализации МБС и дает разрешение на выполнение дальнейших операций.

6. В опции Commissioning нажать Dowload, далее выбрать BTS-SW. Появляется запрос об изменении Qmux-адреса. Нажать клавишу No (нет). В

окне BTS Software Download нажать клавишу Download (загрузить). Наблюдать в течение нескольких минут процесс загрузки программного обеспечения по засветке надписи – BTS SW download in progress. Далее проходит загрузка нескольких служебных процедур – Initialisation in Progress, Receiving Data и др. Дождаться завершения этих процедур и появления окна Edit Frequencies (редактирование – установка частот). В окне Frequency Band выбрать диапазон DCS1800, т. е. диапазон 1800 ГГц. В окне Selected ARFNs установить значения номеров каналов – 0600, 0610. Могут быть установлены и удалены другие номера каналов из представленного слева списка с помощью клавиш Add (добавить) и Remove (удалить). Продолжить работу с каналами 0600 и 0610, нажав клавишу Submit. Появилось окно Sector mapping MicroBTS, которое позволяет контролировать загрузку секторов антенны, входящей в состав данной МБС. Оставить предложенную загрузку по умолчанию, т. е. установленные значения 1 в линии Master A и Master B. Нажать клавишу Save (сохранить). Наблюдать прохождение ряда информационных окон, связанных с контролем и проверкой ряда цепей – Update flase, Cable Detection in progress и др.

В опции Commissioning нажать кнопку Initialization, далее выбрать опцию All sectors. Наблюдать прохождение ряда информационных окон, связанных с данной операцией. После завершения загрузки появляется окно HW Configuration Check, которое содержит информацию о частотном диапазоне, загрузке секторов и ряде других параметров оборудования данной МБС. В опции Commissioning нажать кнопку Output Power Test (контроль выходной мощности), далее выбрать вид модуляции – GMSK – гауссовская частотная манипуляция с минимальным сдвигом. Открывается окно Output Power Test (GMSK). В поле TRE Number выбрать для контроля первый из двух передатчиков данной МБС – UT\_TRE 18. Нажать кнопку Start.

Для просмотра результатов измерений с помощью анализатора спектра запустить на втором компьютере, который управляет работой этого прибора, специальную программу Tektronics Signal Vu-PC, дважды нажав кнопкой

компьютерной мыши на изображении этой программы на экране компьютера. Установить значение частоты исследуемого канала с номером 600. Для этого в окне Frequency, которое расположено в левой нижней части экрана, установить значение частоты равным 1822,8 МГц и нажать кнопку Ввод на компьютере. В специальном окне Function установить режим измерения Max Normal. В специальном окне Span (разрешение) установить значение частоты равным 1,0 МГц. Контролировать появление изображения спектра выходного сигнала на экране анализатора спектра. Для его центрирования нажать кнопку To Center на нижней панели управления и при необходимости – кнопку Autoscale. В специальном окне Function установить режим измерения MAX HOLD. Получить удобное изображение спектра сигнала и затем зарисовать его в отчете. Выполнить исследование и измерение основных характеристик полученного спектра выходного радиосигнала МБС: центральной частоты сигнала, уровня выходной мощности на этой частоте, ширины полосы по уровню –3 дБ относительно основного уровня на центральной частоте канала и другие параметры. Для удобства измерения частоты использовать прием совмещения участка просматриваемого спектра с одной из трех измерительных меток – MR, M1, M2, изображения которых нанесены на кривую изображения спектра и могут перемещаться по кривой с помощью курсора компьютера при совмещении курсора с изображением соответствующей метки. На экране в левом и правом углах выводятся данные о параметрах сигнала, где в настоящий момент расположены метки. Вначале установить метку MR в точку на кривой спектра, где значение частоты равно 1822,8 МГц. Занести в отчет по лабораторной работе параметры сигнала в этой точке, используя измерительный экран в левом или правом углу экрана. Затем установить измерительные метки M1 и M2 в такое положение на кривой спектра, соответственно слева и справа от метки MR, чтобы величина уровня в этих точках была на 3 дБ меньше уровня сигнала в точке, где располагается метка MR. Значение разницы показателей частот сигнала, которые характеризуют положение меток MR и M1 (или M2), можно также контролировать по окну Fre-

quency, которое расположено внизу в правой половине панели управления программой. Записать в отчет полученные числовые данные, сделать выводы.

Исследовать воздействие окна Output Power Test в программе первого компьютера, которое позволяет управлять работой секторов TS0-TS7, устанавливая и удаляя специальный знак в линии On/Off. В специальном окне Function установить режим измерения Max Normal. Поочередно снимая этот специальный знак, наблюдать за изменением формы спектра выходного сигнала. После отключения последнего сектора TS7 наблюдать отключение передатчика и исчезновение выходного спектра на экране анализатора. Повторно включить все секторы TS0–TS7, наблюдая за переходными процессами при установке уровня выходного сигнала.

7. В окне Output Power Test (GMSK) нажать кнопку Stop, выключить передатчик UT\_TRE 18. В окне TRE Number выбрать второй передатчик UT\_TRE 19, нажать кнопку Start. Через некоторый интервал времени аппаратура автоматически подключает второй передатчик UT\_TRE 19. Завершение процесса подключения будет сопровождаться появлением надписи UT\_TRE 19 is sending. По методике, описанной в п. 6, исследовать выходной спектр и особенности работы второго передатчика UT\_TRE 19 данной МБС. При этом необходимо учесть, что данный передатчик настроен на другую частоту, другой номер канала – 610. Поэтому для получения изображения спектра необходимо в поле Channel установить номер канала 610. На втором компьютере, который управляет работой анализатора спектра, получить изображение этого сигнала. Для этого используя методику, описанную в п. 6, установить значение частоты равным 1824,8 МГц. Зарисовать изображение спектра сигнала, записать в отчет полученные числовые данные: центральную частоту сигнала, уровень выходной мощности, ширину полосы по уровню –3 дБ относительно основного уровня на центральной частоте канала, сделать выводы. Выключить передатчик UT\_TRE 19, нажав клавишу Stop. Выйти из окна Output Power Test.

8. Аналогично пп. 6 и 7 провести исследование работы двух передатчиков при другом виде модуляции 8PSK (ОФМ-8). В опции Commissioning нажать Output Power Test (контроль выходной мощности), далее выбрать вид модуляции – 8PSK (ОФМ-8). Открывается окно Output Power Test (8PSK). Дальше производятся действия, аналогичные тем, что выполнялись в пп. 6 и 7. Зарисовать форму спектра сигналов, записать в отчет полученные числовые данные: центральные частоты сигналов, их уровни выходной мощности, ширину полосы по уровню  $-3$  дБ, относительно основного уровня на центральной частоте канала, сделать выводы. Сравнить полученные данные по спектральным характеристикам с данными, полученными в пп. 6 и 7 при использовании модуляции GMSK.

9. Исследовать диапазон перестройки приемопередатчиков данной МБС. Для этого в поле Commissioning выбрать опцию Initialization, далее – опцию Change ARFNs. С помощью клавиши Remove удалить каналы 0600 и 0610. С помощью клавиши Add установить крайние значения номеров каналов 0512 и 0885 для диапазона DCS 1800. Войти в опцию Commissioning, далее выбрать опцию Initialization, опцию All Sectors. Дождаться завершения всех служебных процедур. Войти в поле Commissioning, выбрать опцию Output Power Test. Далее измерения выполнить аналогично методике, описанной в пп. 6 и 7, но с другими значениями номеров каналов – 0512 (частота 1805,2 МГц) и 0885 (частота 1879,8 МГц). Записать значения центральных частот сигналов, наблюдаемых с помощью анализатора спектра. Сравнить эти данные со значениями частот диапазона DCS 1800. Сделать выводы.

10. Выполнить проверку состояния модулей МБС. Для этого в поле Monitor выбрать опцию BTS Modules. Открывается окно SBL Module States. При исправном состоянии оборудования убедиться, что все модули BTS1, CLLK1, OMU1, EACB находятся в состоянии IT в поле State, а модули TR CLK и TRE – в состоянии OP. Записать эти данные в отчет, а также значения температур модулей TRE в столбце Temp.

11. В окне Show открыть поле Log-on Parameter. Записать в отчет служебную информацию, которая касается данной МБС: версия OMU Version; семейство и тип исследуемой МБС – HW Family; A911XX Family и др.

12. После выполнения измерений закрыть все используемые программы. Выйти из программ, нажав в опции File кнопку Close. Выключить анализатор спектра, отключив кабель питания из сети ~220 В.

13. Выключить компьютеры. Выключить исследуемую МБС. Для этого тумблер подачи питания, расположенный внутри стойки, где размещена микробазовая станция, установить в верхнее положение.

#### **4.6. Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Основные характеристики и параметры исследуемой микробазовой станции.
3. Экспериментальные данные.
4. Выводы по проделанной работе.

#### **4.7. Контрольные вопросы**

1. Опишите особенности функционирования сети GSM/GPRS и назначение отдельных подсистем и устройств.
2. Назовите основные характеристики и параметры исследуемой микробазовой станции Alcatel 9110-E.
3. Опишите конструкцию и состав оборудования микробазовой станции Alcatel 9110-E.
4. Опишите конструкцию, состав, особенности работы приемопередатчика микробазовой станции Alcatel 9110-E.

5. Опишите особенности построения и архитектуру радиointерфейса стандарта GSM

6. Каковы основные особенности временного мультиплексирования информации в стандарте GSM?

7. Назовите основные характеристики технологии EDGE.

8. Опишите особенности передачи информации в сети GSM/GPRS.

9. Назовите характеристики и назначение физических и логических каналов технологии GPRS.

10. Опишите особенности модуляции радиосигнала в стандарте GSM.

## **ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОВЕРКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ В СОСТАВЕ ТЕЛЕМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМОБИЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА FM4200**

Цель работы: изучить назначение, состав и технические характеристики автомобильного контроллера FM4200; изучить структурную схему и принцип действия оборудования автомобильного контроллера FM4200, особенности контроля и диагностики работы оборудования.

### **5.1. Развитие телекоммуникационных и информационных систем для автомобильной техники**

Автомобильная информационная система является составной частью современного автомобиля и предназначена для сбора, обработки, хранения и отображения информации о режиме движения и техническом состоянии автомобиля, а также окружающих его внешних факторах. Современные информационные системы водителя с их широкими возможностями сейчас все чаще называют телематическими (образовано от слов телекоммуникации и информатика). Телематические системы – это устройства обмена информацией между системами автомобиля, водителем и окружающим миром: бортовой компьютер, навигационная система, средства связи и т. д. Различают системы внутреннего информационного обмена, или иначе, внутренней телематики, и системы, связанные с получением и обработкой внешней информации, т. е. системы внешней телематики. Важное значение в настоящее время приобретают системы внешней телематики, без которых невозможно представить эксплуатацию автомобильной техники. К таким системам относят системы подвижной связи – сотовые, транкинговые, спутниковые, пейджерные системы и системы спутниковой навигации. Наиболее распростра-

ненными системами спутниковой навигации являются системы GPS (США) и ГЛОНАСС (Россия). Развиваются проекты, направленные на увеличение безопасности, эффективности, пропускной способности, уменьшение загрязнения окружающей среды на крупных автомагистралях. Иногда в этой связи говорят о концепции интеллектуальной транспортной системы. В США и Японии такие проекты называются ITS (intelligent transportation system – ITS), в Европе – Telematic.

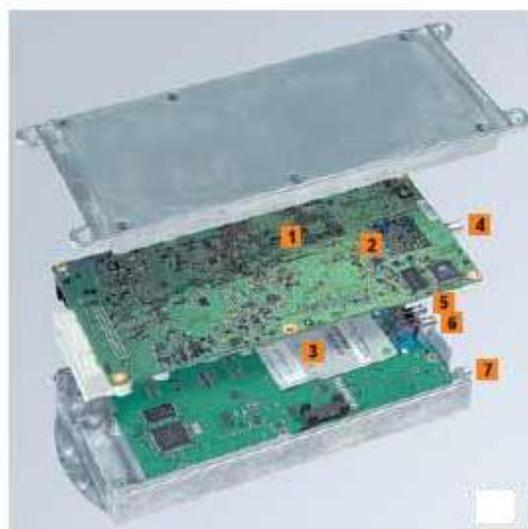
Особенности функционирования информационной системы водителя для конкретного автомобиля могут быть разными. В информационную систему может входить несколько подсистем, включая навигационную систему GPS или ГЛОНАСС, дистанционное управление дверными замками, систему радиосвязи (сотовой, например, GSM, или ведомственной, транкинговой) для передачи сообщений в системе «автомобиль – дорога», цифровой аудио- и видеокomплекс, системы передачи информации по радио и т. д. Особенности организации информационных телематических систем в коммуникациях «автомобиль – инфраструктура» и «автомобиль – автомобиль» представлены на рис. 5.1. Развитие телематических систем объединяет в себе многие современные технологии: сотовые телефоны 3G и 4G, технологии Bluetooth, Wi-Fi, цифрового видео и радио Digital Video Broadcast (DVB-H), сетевой технологии Mesh Networks и короткодиапазонных радиокommunikаций Dedicated Short-Range Communications (DSRC). Один из вариантов практической реализации телематических модулей показан на рис. 5.1, б.

Наблюдается интеграция внешних и внутренних телематических автомобильных систем в едином информационном пространстве. Внутренние телематические автомобильные системы строятся в современных условиях с использованием автомобильных контроллеров, которые используются для построения электронных блоков управления (ЭБУ) важнейших систем и агрегатов автомобиля – двигателя, трансмиссии и т. д. ЭБУ получают информацию с датчиков и выполняют управление соответствующими исполнительными устройствами автомобиля с использованием различных шинных

технологий, среди которых выделяется технология CAN/LIN. Внешние телематические системы развиваются с использованием спутниковых навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Навигационная информация принимается приемником GPS или ГЛОНАСС, установленным на автомобиле, с искусственных спутников Земли, расположенных на высоте 19000–20200 км над поверхностью.



а



б

Рис. 5.1. Телематические концепции:

а – развитие коммуникаций «автомобиль – инфраструктура»;

б – основные слои телематического модуля (компоненты аппаратной части):

1 – главный процессор; 2 – модуль GPS; 3 – модуль GSM; 4 – разъем для подключения антенны GPS; 5 – разъем для подключения главной антенны;

6 – разъем антенны для экстренных случаев; 7 – Bluetooth-антенна

Для связи с удаленными диспетчерскими или контрольными пунктами используются системы сотовой связи, например, наиболее распространенной системы стандарта GSM, когда обмен информацией производится через базовые станции и другие подсистемы коммутации сети сотовой связи.

С использованием телематических систем разработаны системы оперативного мониторинга автотранспорта. Особенности построения одной из таких систем, получившей название ORF Monitor, представлены на рис. 5.2. Создается универсальный сервис мониторинга автотранспорта, не привязанный к какому-либо конкретному типу бортового оборудования. Простой, экономный и гибкий протокол позволяет подключать практически любые виды бортовых терминалов, работающих по каналам связи GPRS, CDMA, SMS, GSM, радиоканалам. Для использования всех возможностей сервиса бортовое оборудование машины должно иметь приемник GPS или ГЛОНАСС, датчик расхода топлива, датчик уровня топлива, датчик оборотов двигателя и др. Сервис оперативного мониторинга автотранспорта имеет три уровня управления: машина – группа машин – автопарк.

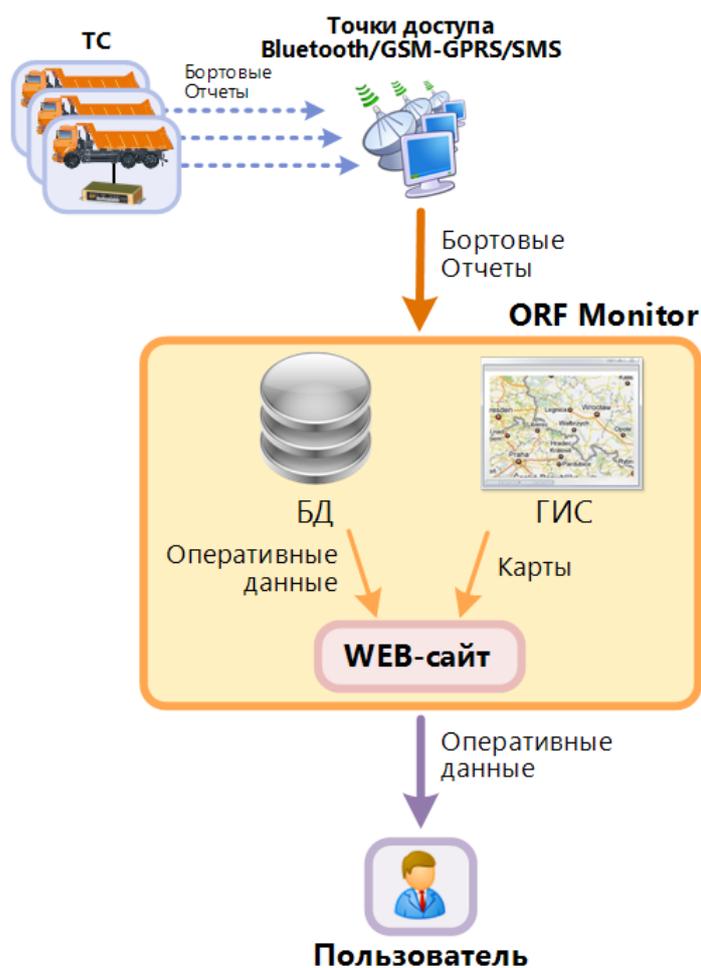


Рис. 5.2. Особенности сервиса оперативного мониторинга автотранспорта

По этим уровням организован доступ пользователей к просмотру реалтаймов информации и отчетов. Учетная организационная единица на сервисе – автопарк. Для каждого автопарка может быть создан один пользователь с расширенными правами – администратор автопарка и неограниченное количество пользователей с обычным набором прав – менеджеров автопарка. Кроме этого, администратор автопарка может: регистрировать автопарк; регистрировать/редактировать/удалять ТС; создавать/редактировать/удалять менеджеров автопарка; устанавливать права доступа менеджеров к ТС и т. д. Для обработки данных, полученных от ТС, на сервере GPS-мониторинга автотранспорта реализована возможность выполнения аналитических отчетов. Отчет позволяет систематизировать данные от ТС за определенный период времени, представить данные как в табличной, так и в графической (графики, диаграммы) форме, показать полные данные по значениям параметров и счетчикам ТС. В ORF Monitor реализованы следующие аналитические отчеты: отчет по движению; отчет по топливу; маршрутный проигрыватель; отчет о посещении геозон; отчет о работе группы ТС.

Аналитические отчеты дают возможность проведения полного и многогранного анализа работы автотранспорта за определенный период. Состав отчетов основан на многолетнем опыте разработки и внедрения систем мониторинга автотранспорта на предприятиях различных отраслей. Отчеты о работе машин просты и интуитивно понятны для пользователя. Он самостоятельно может задавать анализируемый период, а также выбирать параметры для отображения графиков и диаграмм. Отчеты предоставляют достаточно данных для формирования полного представления о работе машины. Для работы с сервисом мониторинга автотранспорта пользователю не нужно устанавливать сложные и дорогие серверы, клиентские программы, покупать электронные карты. Достаточно иметь доступ в Интернет – и из любой точки мира сотрудник автопарка сможет узнать, где и как работает автотранспорт предприятия.

## 5.2. Назначение и технические характеристики автомобильного контроллера FM4200

Автомобильный контроллер FM4200 представляет собой прибор с GPS- и GSM-устройствами, который способен распознавать свои координаты (месторасположение) и передавать их, используя ресурсы GSM-сетей. Этот прибор необходим для приложений, где требуется получить месторасположение движущегося объекта. Прибор имеет входные и выходные параметры, которые позволяют следить и управлять другими приборами объекта. Встроенный интерфейс для 1-Wire® цепей (Dallas цифровой термометр или I-Button идентификатор) и CAN-интерфейса (FMS-интерфейс сбора данных). Прибор также имеет порт RS232 для NMEA (также он может служить для соединения периферийных устройств при наличии специальной версии программного обеспечения).

Внешний вид автомобильного контроллера Teltronika 4200 со стороны расположения светодиодных индикаторов представлен на рис. 5.3.

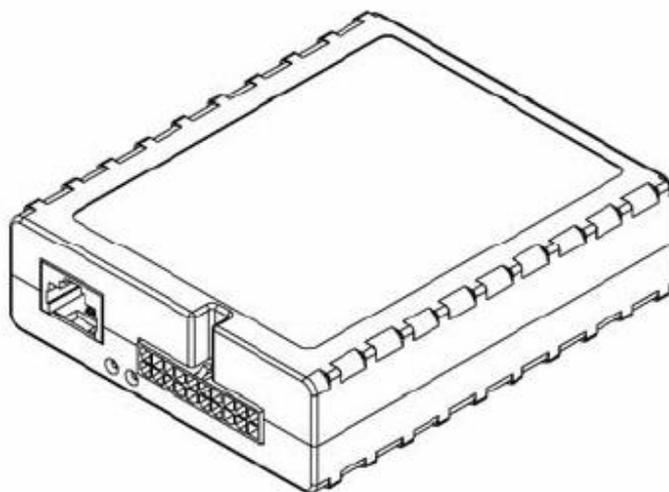


Рис. 5.3. Внешний вид автомобильного контроллера Teltronika 4200 со стороны расположения светодиодных индикаторов

Основные GSM/GPRS-характеристики: GSM-модуль Teltronika TM2 (диапазоны работы 850, 900, 1800, 1900 МГц); GPRS-класса 10; посылка SMS (текст, данные); голосовая связь. Основные GPS-характеристики: каналный приемник типа SirfStarIII 20; поддержка протоколов NMEA, GGA, GGL, GSA, GSV, RMC, WGS-84; чувствительность приемника составляет величину –159 дБм.

Процессорная система имеет следующие характеристики: ARM7 TDMI процессор; 1 МБ внутренней флэш-памяти (можно увеличить до 4 МБ по специальному заказу); встроенная поддержка CAN-BUS (SAE J1939 / FMS-протокола); встроенный акселерометр; внутренняя резервная батарея. Характеристики внешнего интерфейса: источник питания: 10–30V; порт RS232; аудиопорт; 4 цифровых входа; 4 аналоговых входа; 4 цифровых выхода; входы для импульсных датчиков; 1Wire® термосенсор; 1Wire® iButton идентификатор; вывод для внешней батареи; 2 диода статуса LED.

Специальные характеристики автомобильного контроллера включают: фиксацию событий от любого элемента (внешний сенсор, вход, скорость, температура и т. д.); переключение между профилями (по коду GSM-оператора или по событию элемента I/O); настраиваемые процессы сбора и передачи данных; 20 геозон; режим ожидания; слежение за объектами; список авторизованных номеров; обновление прошивки через GPRS или через порт RS232; обновление настроек через GPRS, SMS или через порт RS232; поддержку протоколов TCP/IP или UDP/IP; хранение 7500 записей (можно увеличить до 30 000 по спецзаказу); крепкий алюминиевый корпус размером 100 × 85,7 × 36,9 мм; сертификаты CE и E-mark.

### **5.3. Структурная схема автомобильного контроллера**

Автомобильный контроллер сочетает в себе элементы системы навигации, такие как GPS-приемник, антенна GPS, элементы сети сотовой подвиж-

ной радиосвязи и др. Структурная схема устройства имеет вид, показанный на рис. 5.4.

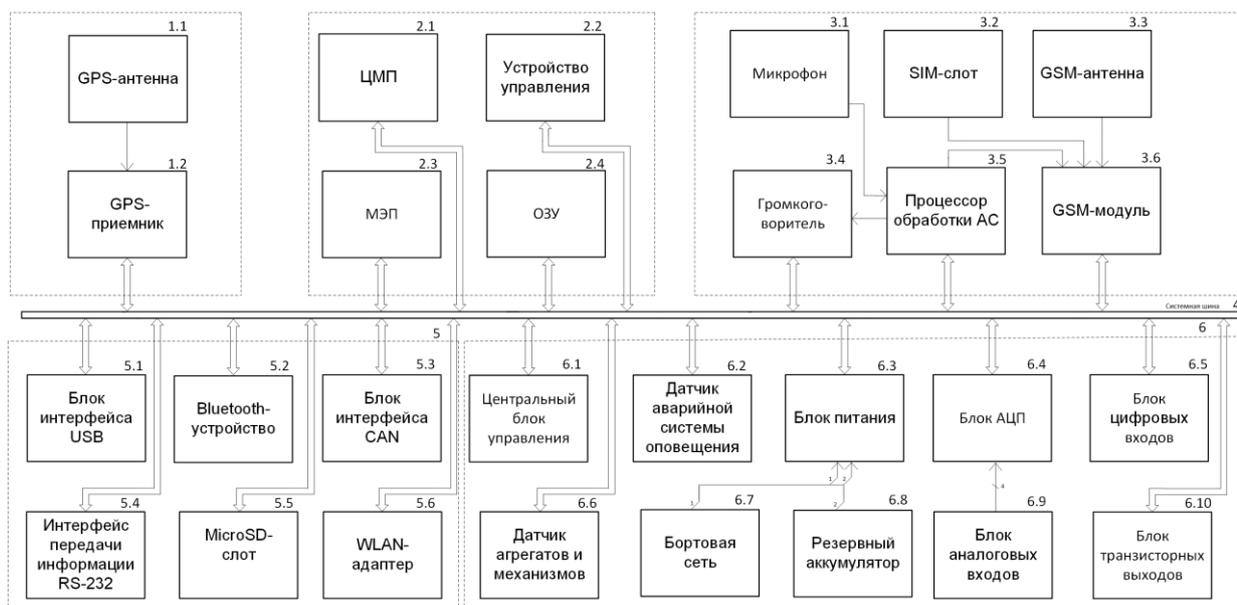


Рис. 5.4. Структурная схема автомобильного контроллера

Представленная схема состоит из следующих основных блоков: GPS-модуль; GSM-модуль; центральный процессор; модуль энергонезависимой флэш-памяти; модуль оперативной памяти; подсистема питания; блоки аналоговых и цифровых входов; блок транзисторных выходов; порт USB; RS 232 (COM-порт); Bluetooth-устройство; датчик аварийной системы оповещения (ДСО); CAN-интерфейс для подключения к CAN-шине.

Главным звеном в данном устройстве является центральный микропроцессор (ЦМП). При срабатывании какого-либо устройства вся информация поступает в ЦМП по совмещенной системной шине и обрабатывается в соответствии с исполнительной программой, заложенной в его памяти. Центральный микропроцессор – это ядро контроллера, связывающее все компоненты системы воедино и обеспечивающее их взаимодействие, согласно заложенной в него программе. В качестве процессора выступает быстродействующая однокристалльная микроЭВМ, обеспечивающая скорость и точность вычислений, достаточную для решения различных навигационных и

сервисных задач. Программа процессора (прошивка, или *firmware*) – это набор алгоритмов. Благодаря этой программе, центральный процессор обеспечивает прием данных, поступающих от различных блоков системы, их логическую и математическую обработку и, как результат, принятие решений, на основании которых вырабатываются управляющие команды для блоков контроллера в зависимости от конкретной ситуации.

GPS-модуль с помощью внешней активной GPS-антенны принимает кодовые сигналы со спутников системы GPS (NAVSTAR) и с помощью внутреннего вычислителя определяет географические координаты местоположения приемника, а также точное время, скорость и направление движения. Полученные данные по протоколу NMEA поступают с выхода GPS-модуля в блок центрального микропроцессора с периодичностью 1 раз в секунду.

GSM-модуль служит для доступа контроллера в сеть сотовой связи GSM. Прием и передача GSM сигнала осуществляется через внешнюю GSM-антенну. Идентификация контроллера в сети GSM, а также доступ к услугам и сервисам, предоставляемым оператором сотовой связи осуществляется с помощью SIM-карты, устанавливаемой в контроллер. GSM-модуль выполняет несколько функций: обеспечивает доступ и идентификацию устройства в сети сотовой связи стандарта GSM с помощью SIM-карты; обеспечивает обмен данными (в том числе и передачу точек трека) между контроллером и сервером по протоколу TCP/IP через сеть Интернет с помощью услуги пакетной передачи данных GPRS; обеспечивает обмен информационными и управляющими SMS-сообщениями и USSD-запросами (например, для контроля состояния лицевого счета); осуществляет отправку исходящих и прием входящих звонков, обеспечивая услугу голосовой связи между водителем, диспетчером и другими абонентами; содержит блок голосового интерфейса с пользователем (вход/выход звука на гарнитуре: «свободные руки» или «громкая связь»).

Модуль энергонезависимой памяти ПЗУ служит в качестве устройства хранения накопленных данных. Модуль ПЗУ должен обеспечить хранение

данных в течение длительного времени (до 10 лет) даже в случае отключения питания устройства. Подсистема питания с цепями защиты формирует все необходимые напряжения питания составных частей контроллера. Основным входом питания позволяет работать в бортовой сети с напряжением питания от 12 до 24 В, что делает возможным использование контроллера совместно с подавляющим большинством транспортных средств без применения каких-либо дополнительных согласующих цепей. Кроме того, драйвер питания обеспечивает защиту контроллера от переплюсовки, перенапряжения, помех и т. д., а также в цепь питания на печатной плате прибора установлен самовосстанавливающийся предохранитель. Вход внешней аккумуляторной батареи (АКБ) обеспечивает резервное питание контроллера в случае пропадания напряжения в цепи основного питания. Встроенная в драйвер питания цепь управления и заряда внешней АКБ позволяет своевременно осуществлять переход на резервное питание и обеспечивать поддержание уровня заряда АКБ, а также дает команду центральному процессору на передачу SMS-сообщения о достижении АКБ критического уровня разряда.

Блоки входов/выходов служат для контроля состояния и измерения параметров внешних устройств и механизмов, а также для управления различными исполнительными устройствами и устройствами оповещения. Блок входов/выходов состоит из таких устройств, как цифровые входы, аналоговые входы и т. д.

Аналоговые входы служат для измерения значения параметров, величина которых пропорциональна уровню напряжения на аналоговом входе. Этот режим используется, например, для измерения уровня топлива в баке с помощью датчиков уровня топлива с аналоговым выходом (различные виды штатных датчиков, ДУТ-Е, LLS, «Стрела»), для измерения температуры, давления, уровня жидкостей и других параметров, измеряемых с помощью различных датчиков с аналоговым выходом. Настройки прибора позволяют изменять период опроса аналоговых входов, а также различные параметры усреднения измеряемой величины и предоставляют возможность адаптивной

записи (при изменении значения уровня напряжения на заданную величину). Контроллер может быть оснащен двумя аналоговыми входами с 10-разрядным АЦП. Первый аналоговый вход имеет диапазон измеряемого напряжения от 0 до 10 В, который делится на 1024 ступени (от 0 до 1023). Второй аналоговый вход имеет диапазон измеряемого напряжения от 0 до 24 В (но не более напряжения питания контроллера), который делится на 1024 ступени (от 0 до 1023). Кроме того, контроллер имеет возможность использования аналоговых входов в качестве дискретных. В режиме работы входа в качестве дискретного вход считается замкнутым при величине уровня напряжения на входе менее 6 В (т. е. фактически используется режим работы «по массе»).

Транзисторные выходы служат для управления различными внешними исполнительными устройствами, а также для включения устройств оповещения. Контроллер оснащен блоком транзисторных выходов с открытым коллектором. Управление дискретными выходами (изменения состояния) производится с помощью управляющих SMS-сообщений. Существует возможность как изменения состояния выхода с фиксацией (до следующего управляющего SMS-сообщения), так и подачи на выход импульса определенной длительности (от 1 до 10 с). Кроме того, возможно использование одного транзисторного выхода для индикации входящего звонка, с помощью различных свето- и звукооповещательных устройств, подключенных к этому выходу.

Порт USB служит для программирования контроллера и для работы с контроллером в режиме GPS-мышь. В этом режиме контроллер, подключенный к порту USB ПК или КПК с помощью кабеля, через драйверы последовательного виртуального порта (COM-порта) передает текущее местоположение по протоколу NMEA в формате RMC с периодичностью 1 раз в секунду. Это позволяет позиционировать положение объекта, оснащенного контроллером, в таких программах, как OziExplorer, Google Earth Plus/Pro (Google Планета Земля Плюс/Про), ДубльГИС для ПК 3.0 и др.

RS232 – интерфейс передачи информации между двумя устройствами на расстоянии до 15 м. Информация передается по проводам цифровым сигналом с двумя уровнями напряжения. Логическому нулю соответствует положительное напряжение (от +5 до +15 В для передатчика), а логической единице отрицательное (от –5 до –15 В для передатчика). Асинхронная передача данных осуществляется с фиксированной скоростью при самосинхронизации фронтом стартового бита. Интерфейс RS232C предназначен для подключения стандартных внешних устройств.

Для управления и организации взаимодействия внешних устройств с микроконтроллером в современном автомобиле может применяться CAN (Controlled Area Network) – специальная магистраль, обеспечивающая независимое и одновременное управление через общую шину. Полевая шина CAN характеризуется высокой скоростью передачи данных и помехоустойчивостью, а также способностью обнаруживать любые возникающие ошибки. Благодаря этому CAN сегодня широко используется в таких областях, как автомобильный и железнодорожный транспорт, промышленная автоматика, авиация, системы доступа и контроля.

Одной из функций данного устройства является периодический сбор информации и передача ее на сервер, обслуживающий данную систему. Сбор информации осуществляется с привязкой к координатам точки, в которой происходил сбор информации. Фиксацию координат производит приемник спутниковой системы, который в непрерывном режиме осуществляет прием сигналов со спутника, вычисляет в своем процессоре координаты и по требованию центрального процессора импортирует их в сообщение от контрольных датчиков. Затем эта информация передается с помощью GSM-модуля по радиосети на оборудование центрального сервера по сбору информации. В зависимости от функциональных возможностей модуля GSM передача информации может осуществляться при помощи таких технологий, как GSM-, SMS-сервис или GPRS.

Одной из часто используемых функций является инициализация передачи данных при срабатывании одного из датчиков. Данная функция применяется как правило в случае срабатывания датчиков в аварийном режиме. Например, нам не нужно знать уровень масла в автомобиле, но при уменьшении значения его уровня до критического на центральный процессор поступит сигнал, который активирует передачу данных по GSM-каналу. Для этого в автомобиле предусмотрены импульсные датчики, которые подключены к импульсному входу центрального процессора. Также данный вход может использоваться в качестве счетчика событий. В таком случае центральный процессор считывает количество импульсов, приходящих на данный импульсный вход. Такой режим работы применяется, например, для считывания оборотов коленчатого вала двигателя автомобиля.

Датчик аварийной системы оповещения предназначен для активации процедуры генерирования специального сигнала оповещения в случае возникновения аварийной ситуации. Активировать данную функцию можно вручную при незначительных авариях при помощи специальной тревожной кнопки. В автоматическом режиме данная функция срабатывает при значительных повреждениях, нарушении целостности кузова автомобиля либо при срабатывании датчика подушек безопасности.

#### **5.4. Назначение и технические характеристики датчика нагрузки на ось GNOM DP**

Датчик нагрузки на ось GNOM DP состоит из измерительной головки 1, с находящимся внутри преобразователем углового перемещения поворотного рычага 2, монтажного кронштейна 3, разъема электрического подключения 4 (рис. 5.5). Принцип работы GNOM DP основан на преобразовании угла поворота рычага датчика в выходное напряжение. В качестве преобразователя используется магниторезистивный чувствительный элемент. На выходе датчик формирует стабилизированный аналоговый сигнал напряжения, который соответствует угловому положению поворотного рычага, изменяющемуся в зависимости от нагрузки на ось ТС.

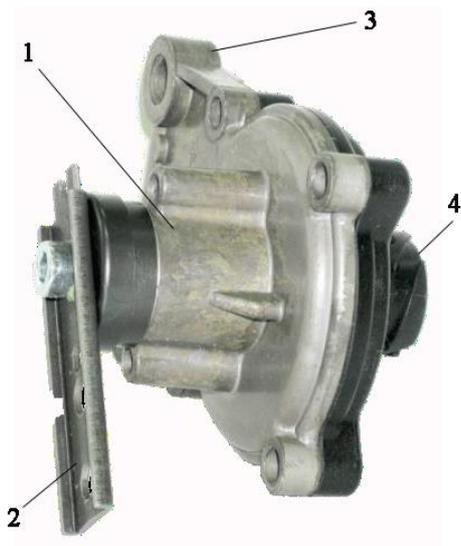


Рис. 5.5. Внешний вид датчика нагрузки на ось автомобиля GNOM DP

Датчик GNOM DP предназначен для определения нагрузки на ось и массы груза в транспортных средствах (далее – ТС), оборудованных рессорной подвеской. Разработан также датчик GNOM DDE, который предназначен для определения нагрузки на ось и массы груза в транспортных средствах, оборудованных пневматической подвеской. Область применения – системы GPS/ГЛОНАСС мониторинга транспорта (рис. 5.6).

Принцип работы датчиков нагрузки на оси в составе системы мониторинга транспорта заключается в следующем: датчик GNOM DP устанавливают на раму ТС и с помощью системы рычагов соединяют с его задней осью. Датчик измеряет меняющееся в зависимости от массы груза расстояние от рамы до оси. Датчики формируют выходной аналоговый сигнал напряжения для передачи на терминал мониторинга транспорта. Терминал осуществляет сбор, регистрацию, хранение и передачу полученных сигналов на сервер телематических услуг. Установленное на сервере программное обеспечение производит обработку и анализ полученных данных и формирует аналитические отчеты за выбранный период времени. Отчеты предоставляются пользователю в виде параметров, счетчиков, графиков и содержат информацию о нагрузке на ось ТС.

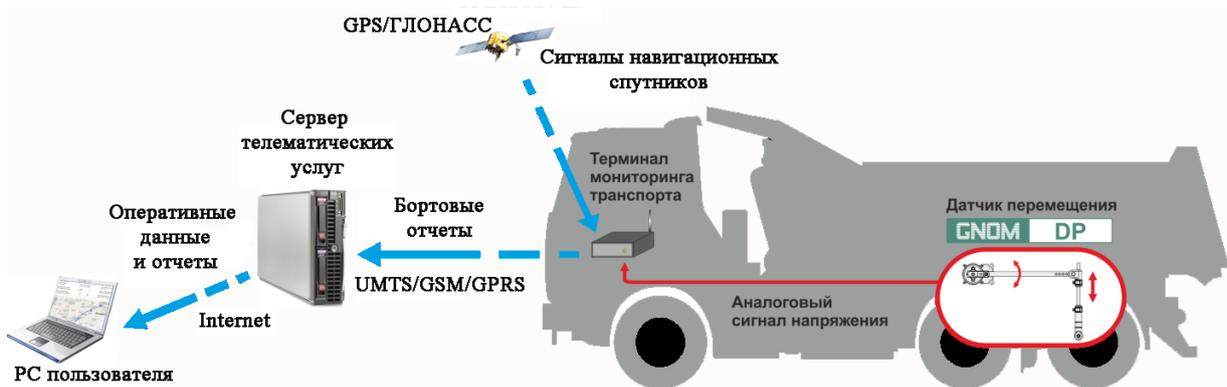


Рис. 5.6. Применение датчиков GNOM DP в системах GPS/ГЛОНАСС мониторинга транспорта

Выходные сигналы датчиков GNOM стабилизированы и не зависят от величины напряжения бортовой сети ТС. Величина напряжения выходного сигнала GNOM DP линейно зависит от угла поворота рычага датчика (рис. 5.7).

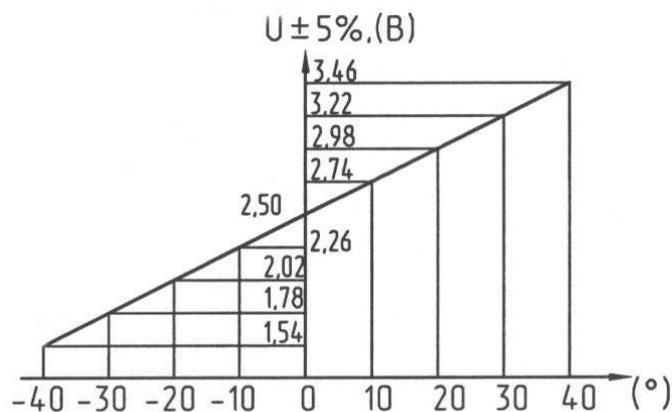
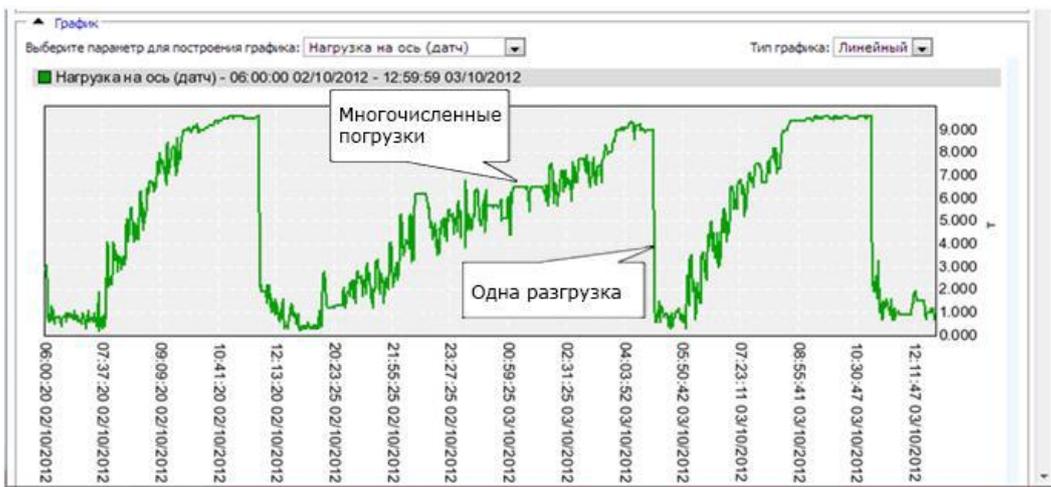


Рис. 5.7. График зависимости выходного напряжения GNOM DP от угла поворота рычага датчика

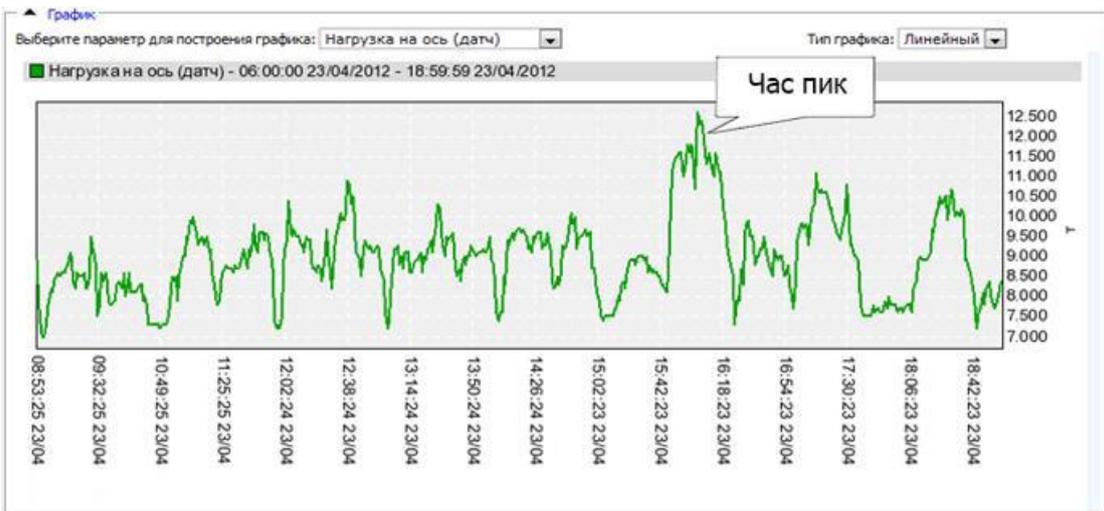
Применение датчика GNOM в составе транспортной телематической системы позволяет владельцу транспорта анализировать процесс выполняемых перевозок грузов (рис. 5.8), а также обеспечить: оптимальную загрузку автомобиля; контроль работы водителя, исключение перевозки «левых» грузов; контроль места и времени событий погрузки и разгрузки груза; онлайн-контроль массы груза; исключение штрафов за нарушение ограничений нагрузки на ось.



а



б



в

Рис. 5.8. Примеры формируемых сигналов, полученных с помощью датчиков

GNOM для различных видов ТС:

а – грузовой седельный тягач; б – мусоровоз; в – автобус

## 5.5. Назначение и технические характеристики датчика контроля топлива DUT-E

Датчик DUT-E CAN (рис. 5.9) предназначен для измерения уровня жидкого топлива и других неэлектропроводных жидкостей в баках автотракторной техники и стационарных емкостях (рис. 5.10). Применение DUT-E в составе транспортной телематической системы позволяет владельцу транспорта: получать достоверную информацию о текущем количестве топлива в баке машины; определять точный объем заправок автомобиля; выявлять факты воровства топлива из бака; контролировать расход топлива.

Датчики контроля топлива DUT-E используются как дополнительные датчики в составе систем мониторинга транспорта и контроля расхода топлива либо для замены штатных датчиков указателя уровня топлива.

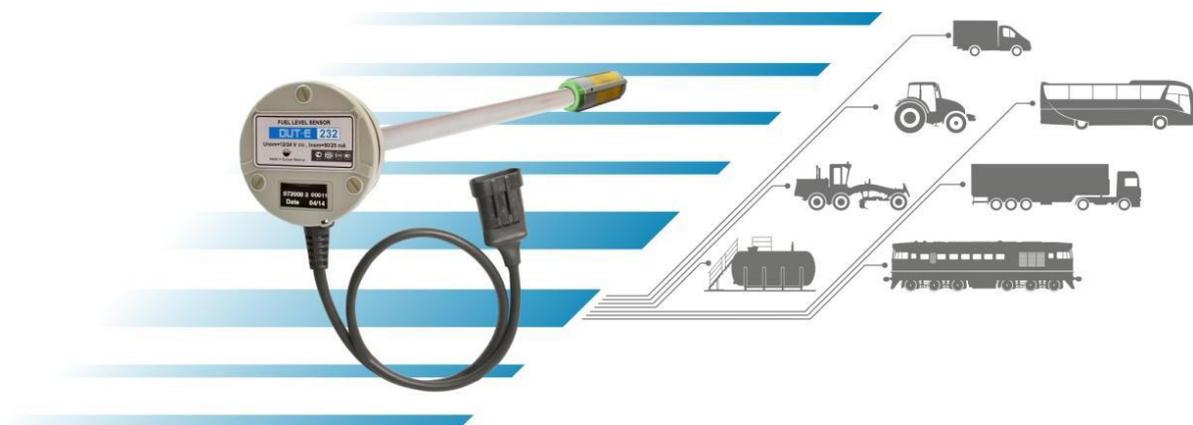


Рис. 5.9. Внешний вид датчика контроля топлива автомобиля DUT-E CAN

DUT-E устанавливают в бак транспортного средства. Датчик измеряет уровень топлива в баке и формирует выходной сигнал для передачи на терминал мониторинга транспорта.

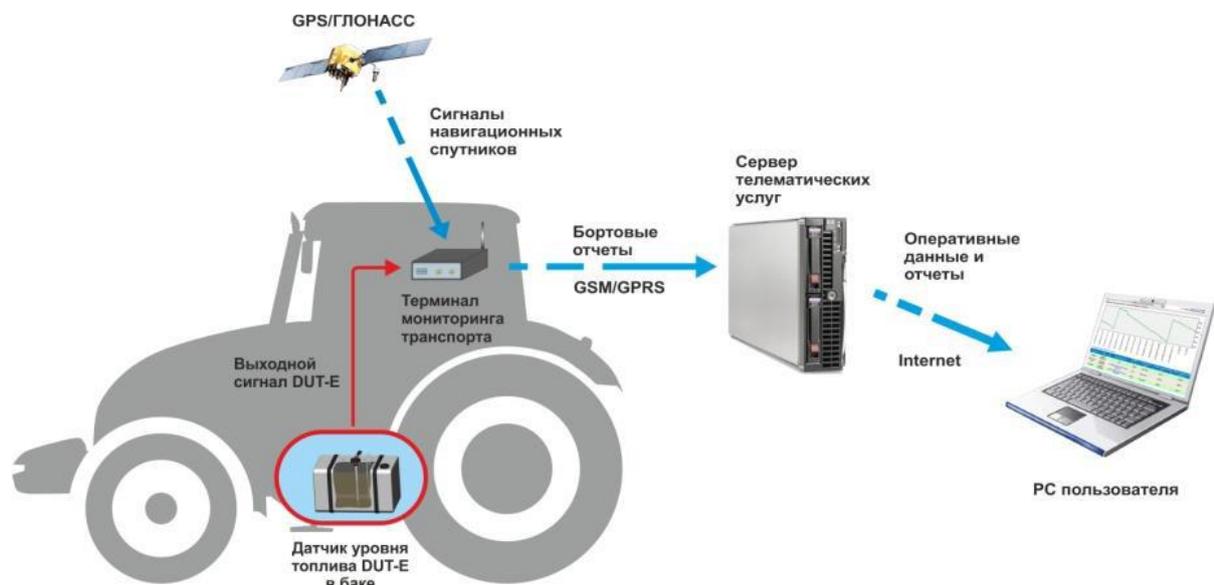


Рис. 5.10. Применение датчиков DUT-E CAN в системах GPS/ГЛОНАСС мониторинга транспорта

Терминал осуществляет сбор, регистрацию, хранение полученных сигналов и их передачу на сервер телематических услуг. Установленное на сервере программное обеспечение производит обработку и анализ полученных данных и формирует аналитические отчеты за выбранный период времени. Отчеты дают пользователю возможность анализировать данные объема топлива в баке ТС (рис. 5.11).



Рис. 5.11. Сигнал, полученный с помощью датчиков DUT-E

## 5.6. Порядок выполнения работы

1. Включить компьютер. Дождаться загрузки операционной системы.
2. Проверить подключение проводов питания автомобильного контроллера Teltronika 4200 к блоку питания ИП-2. Провод красного цвета, с одной стороны подключенный к разъему автомобильного контроллера, с другой стороны должен быть присоединен к клемме, обозначенной на корпусе прибора ИП-2 как «-» «0 – 24В/2А». Провод черного цвета аналогично должен быть присоединен к клемме, обозначенной на корпусе ИП-2 как «+» «0 – 24В / 2А». Переключатель ступенчатой регулировки напряжения, обозначенный как «Регулировка  $U_{\text{вых}}$ » «ступенчато», должен находиться в положении «12В». Переключатель «Ток нагрузки» должен находиться в положении «0,2А».
3. Поставить тумблер «Сеть» блока питания ИП-2 в верхнее положение. Проконтролировать засветку светодиодного индикатора подключения питания на передней панели прибора ИП-2. Установить и отметить в лабораторном отчете величину напряжения, которая должна быть равна 12 В по индикатору «Напряжение  $U_{\text{вых}}$ », и отметить величину тока нагрузки (приблизительно 100–120 мА) по индикатору «Ток нагрузки».
4. После подачи напряжения питания с помощью ИП-2 на автомобильном контроллере Teltronika 4200 проконтролировать засветку двух светодиодных индикаторов на панели, где расположены разъемы для подключения внешних датчиков и устройств (см. рис. 5.3). Первый индикатор, обеспечивающий отображение статуса навигации, должен гореть прерывистым зеленым свечением. Второй индикатор, обеспечивающий индикацию режима работы (статуса) прибора, также загорается прерывистым зеленым свечением, но с другой частотой мерцания. Проверить подключение GPS-антенны с помощью коаксиального кабеля к соответствующему разъему, расположенному на панели АС (см. рис. 5.4).

5. Произвести запуск программы Wialon на персональном компьютере. Для этого запустить интернет-браузер Opera. На экспресс-панели перейти на электронный адрес <http://monitoring.gurtam.com>. На рабочей панели, которая появляется после загрузки программы Wialon, в поле «Пользователь» набрать kafstk, в поле «Пароль» – 010916, в поле Language (язык) – русский. Нажать клавишу «Войти». Дождаться загрузки карты г. Минска при выбранном типе картографии Google Hybrid. Используя средства для прокрутки, увеличения или уменьшения масштаба изображения, расположенные в верхнем левом углу карты, добиться показания условного изображения автомобиля (знак (BSUIR)#1) на фоне 3-го корпуса БГУИР.

6. Подвести курсор к условному изображению автомобиля (BSUIR)#1, расположенному на фоне 3-го корпуса БГУИР (БДУИР 3 корпус). Записать в лабораторный отчет данные информационной таблицы, которые появляются на экране рабочей программы: последнее сообщение; положение; скорость; высота; захвачено спутников; широта; долгота; внешнее питание и др.

7. Обсудить с преподавателем и получить задание на проведение измерений, перемещая автомобильный контроллер Teltronika 4200 по маршруту за пределами учебной аудитории. Отключить автомобильный контроллер Teltronika 4200 от лабораторного блока питания ИП-2. При этом автомобильный контроллер переходит на работу от внутреннего встроенного аккумулятора.

8. После выполнения всех измерений по маршруту и возвращения в исходную точку – учебную лабораторию – исследовать данные измерений, полученные с помощью автомобильного контроллера Teltronika 4200. Для этого на персональном компьютере с помощью программы Wialon получить траекторию перемещения (трек) автомобильного контроллера Teltronika 4200 по маршруту с указанием данных измерения навигационных параметров: широты и долготы, температуры от температурного датчика фирмы Vernet и др.

9. Проверить функционирование температурного датчика фирмы Vernet для автомобиля Volkswagen. В процессе работы в составе лабораторного

стенда для автомобильного контроллера данный датчик должен быть подключен через соединительные провода к панели разъемов стенда. С помощью программы Wialon Hosting получить зависимость изменения температуры, измеренной этим датчиком, от времени. Полученные данные включить в отчет.

10. Исследовать особенности функционирования датчика уровня топлива автомобиля DUT-E CAN.

Проверить электрическое подключение данного датчика к лабораторному стенду. Черно-белый провод от автомобильного контроллера подключается к клемме стенда, обозначенной буквами CAN-L. Красно-белый провод пары подключается к клемме стенда, обозначенной буквой CAN-H. Исследуемый датчик встроен в первую специальную емкость цилиндрической формы, в которую вместо автомобильного топлива заливается в процессе проведения измерений обычное подсолнечное масло, которое по своей плотности и другим параметрам близко к автомобильному топливу. С помощью двух прозрачных шлангов первая емкость соединяется с заправочной второй емкостью, в которой при начальном положении располагается все используемое подсолнечное масло. Таким образом, перед проведением измерений вторая емкость заполнена полностью до верха и должна быть расположена ниже уровня размещения первой емкости, где размещается исследуемый датчик топлива. Для перелива масла из второй емкости в первую необходимо приподнять вторую емкость выше первой, надежно разместив ее на специальной площадке, расположенной на головке топливного датчика. Наблюдать процесс перелива масла между указанными емкостями (используется принцип сообщающихся сосудов). Полный интервал времени перелива масла составляет приблизительно 12 мин.

Исследовать экспериментальную зависимость изменения уровня сигнала, поступающего от датчика DUT-E, от изменения уровня жидкости в первой емкости. Измеренные значения уровня сигнала необходимо получать на экране ПК с помощью программы Wialon Hosting. Выбрать вкладку «Сооб-

щения», выбрать щелчком кнопки мыши компьютера на рабочей области слева сигнал, обозначенный can4, нажать кнопку «Выполнить». После завершения интервала времени, превышающего 30 с нажать на специальный символ, который имеет всплывающую надпись «Получить график параметров», и на экране области просмотра результатов, расположенной внизу и справа, получить графическую зависимость уровня масла, измеряемого датчиком, от времени наблюдения. Для записи в отчет конкретного значения уровня необходимо подвести курсор к крайне правому фрагменту кривой. При этом появляется всплывающее дополнительное информационное поле, где в нижней части располагается надпись can4, после которой находятся цифры, соответствующие значению уровня. Например, запись can4: 249 указывает, что условный уровень равняется 249. Записать это значение уровня в отчет, также отметив значение времени. Далее записать другие значения уровня при других значениях времени. Все полученные данные занести в таблицу отчета. Указанную характеристику после окончания перелива масла можно наблюдать на экране рабочей области программы. Сделать выводы.

11. Исследовать особенности функционирования датчика нагрузки на ось автомобиля типа GNOM DP.

Проверить электрическое подключение данного датчика к лабораторному стенду. Серый провод от автомобильного контроллера подключается к клемме стенда, обозначенной буквой N. Второй провод пары, имеющий сине-белую маркировку, подключается к клемме стенда, обозначенной буквой T. Исследовать экспериментальную зависимость напряжения выходного сигнала данного датчика от угла поворота рычага. Для этого установить рычаг поворота в начальное положение, когда угол поворота, измеренный с помощью специального измерительного сектора, вмонтированного в стенд, составляет приблизительно  $130^\circ$ . Данное положение датчика соответствует минимальной нагрузке на ось автомобиля и условному углу положения относительно горизонта, равному  $-40^\circ$  (см. рис. 5.8). Измеренные значения напряжения необходимо получать на экране ПК с помощью программы Wialon Hosting.

Выбрать вкладку «Сообщения», нажать кнопку «Выполнить», выбрав на рабочей области слева сигнал, обозначенный  $adc1$ . После завершения интервала времени, превышающего 30 с, на экране области просмотра результатов, расположенной внизу и справа, получить графическую зависимость уровня напряжения датчика от времени наблюдения, нажав специальный символ, который имеет всплывающую надпись «Получить график параметров». Для записи в отчет конкретного значения напряжения необходимо подвести курсор к крайне правому фрагменту кривой. При этом появляется всплывающее дополнительное информационное поле, где в нижней части располагается надпись  $adc1$ , после которой располагаются цифры, которые соответствуют напряжению в вольтах. Например, запись  $adc: 2.16$  указывает, что напряжение равняется 2,16 В. Записать это значение напряжения в отчет, также отметить значение угла поворота рычага датчика. Далее повторить измерение указанного напряжения и при других значениях угла поворота в диапазоне от 130 до 50° по измерительной шкале стенда с шагом 10°. Все полученные данные занести в таблицу отчета и построить указанную выше зависимость напряжения датчика от угла поворота рычага. Сравнить эту зависимость с соответствующей кривой, из представленных на рис. 5.8. Сделать выводы.

12. Обработать полученные данные. Составить отчет по проделанной работе. Выключить оборудование: автомобильный контроллер Teltronika 4200, блок питания ИП-2 и персональный компьютер.

### **5.7. Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Основные характеристики и параметры исследуемого автомобильного контроллера Teltronika 4200.
3. Экспериментальные данные.
4. Выводы по проделанной работе.

## 5.8. Контрольные вопросы

1. Объясните назначение различных видов автомобильных информационных систем.
2. Опишите особенности функционирования информационных телематических систем для автомобильного транспорта.
3. Опишите особенности организации сервиса оперативного мониторинга автотранспорта.
4. Назовите основные характеристики и параметры исследуемого автомобильного контроллера Teltronika 4200.
5. Опишите конструкцию и состав оборудования автомобильного контроллера Teltronika 4200.
6. Опишите назначение, технические характеристики и особенности использования датчика нагрузки на ось автомобиля GNOM DP.
7. Опишите структурную схему автомобильного контроллера.
8. Опишите назначение и технические характеристики датчика контроля топлива автомобиля DUT-E CAN.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ СТАНДАРТОВ GPS И ГЛОНАСС**

Цель работы: изучить устройство и особенности функционирования навигационных приемников GPSmap76 и НАВ-1; получить навыки в измерении основных навигационных параметров и характеристик.

### **6.1. Назначение и особенности работы навигационного приемника GPSmap76**

Навигационный приемник GPSmap76 (полное наименование модели, изготовленной фирмой Garmin, – GPSmap76CSx) – это полнофункциональный приемник, работающий в спутниковой навигационной системе GPS. Он предназначен для определения географических координат места расположения объекта и ряда других данных, которые используются в навигации: текущей, средней и максимальной скорости, времени восхода и захода Солнца и Луны, длительности остановок, времени в пути, высоты места над уровнем моря и др. Навигационные измерения основаны на фиксации и хранении опорных точек, на базе которых формируется маршрут или путь движения. В приемнике GPSmap76 можно хранить в памяти и обрабатывать до 500 опорных точек с именами и графическими символами. Предусмотрена автоматическая запись протокола пути с сохранением до десяти маршрутов по 50 точек на каждом. Возможно хранение данных о приливах, в частности графическое изображение высоты приливов, о положении Солнца и Луны на небосводе, фазах Луны и др.

Навигационный приемник GPSmap76 – это переносной карманный спутниковый 12-канальный приемник весом 212 г, оснащенный встроенной антенной спутникового приема. На его корпусе расположено девять кнопок,

которые обеспечивают быстрый доступ ко всем функциям приемника. Имеется большой экран размером 180×240 пикселей с четырьмя оттенками серого цвета. В памяти приемника могут содержаться предварительно загруженные карты различных стран, что облегчает процедуры навигационных измерений. Используя программы серии MapSource, можно загрузить в навигационный приемник информацию о различных географических объектах. В настоящее время доступны разработанные компанией Garmin и рядом других фирм базы данных по городам (MetroGuide), маякам (Lights), фарватерам (Waterways) и плоские карты местности (Toro). Прочный корпус навигатора, изготовленный по стандарту IPX7, защищает от влаги и обладает плавучестью. Простая система управления навигатором позволяет с легкостью ориентироваться в любой обстановке и на любой местности.

Управление приемником GPSmap76 выполняется с помощью девяти кнопок и цветного дисплея, расположенных на передней панели (рис. 6.1).

1. Кнопка IN, расположенная под надписью ZOOM, используется для уменьшения масштаба экранной карты. Если масштаб карты уменьшается, становится видимой меньшая часть карты с большими подробностями.

2. Кнопка OUT, расположенная под надписью ZOOM, используется для увеличения масштаба экранной карты. Если масштаб карты увеличивается, становится видимой большая часть карты с меньшими подробностями.

3. Кнопки NAV и MOB. Кнопка NAV запускает и останавливает процесс навигации. Если кнопку NAV нажать и удерживать, навигатор запишет свои текущие координаты как опорную ТОЧКУ (на воде эта функция называется «ЧЕЛОВЕК ЗА БОРТОМ» – MOB). Эту точку можно использовать как цель для движения.

4. Кнопка PAGE переключает последовательно пять основных экранных страниц. Кнопка отменяет выполняемую операцию и вызывает на экран одну из основных страниц.

5. Кнопка POWER (кнопка с изображением лампочки) включает или выключает прибор. Чтобы выключить навигатор, кнопку нажать и удержи-

вать. Чтобы вызвать окно настройки контрастности и подсветки экрана, при работающем навигаторе нажать и отпустить кнопку.

6. Кнопка MENU. Нажатие этой кнопки вызывает на экран страницу настроек экранной страницы, просматриваемой в данное время. Двойное нажатие кнопки MENU вызывает на экран страницу основного списка функций навигатора (меню).



Рис. 6.1. Панель управления навигатора GPSmap76

7. Кнопка QUIT переключает в обратной последовательности пять основных экранных страниц. Эта же кнопка отменяет выполняемую операцию и вызывает на экран основную страницу, из которой была запущена операция.

8. Кнопка ENTER (MARK) предназначена для запуска выполнения различных процедур, которые предусмотрены в приемнике.

9. Можно управлять положением выделенного поля на экранной странице при помощи специальной УПРАВЛЯЮЩЕЙ КНОПКИ. Она располо-

жена в центре панели управления, имеет более крупную форму по отношению к остальным восьми кнопкам и не содержит специальной надписи для обозначения.

## 6.2. Назначение и особенности работы навигационного приемника НАВ-1

Внешний вид навигационного приемника НАВ-1 (ГЛОНАСС), производства фирмы NTLab (г. Минск) показан на рис. 6.2. Устройство подключается к персональному компьютеру через USB-разъем, который позволяет подать питание и является виртуальным COM-портом. Внешняя антенна подключается к разъему X1. Для работы с НАВ-1 используется специальная программа SAS Планета.



Рис. 6.2. Внешний вид навигационного приемника НАВ-1 (ГЛОНАСС)

После запуска и настройки программы на вкладке GPS появляется специальная диаграмма, на которой в режиме реального времени происходит показ навигационных спутников, с которых принимается сигнал. На рис. 6.3 показано расположение спутников и уровни принимаемых сигналов, на рис. 6.4 – расположение метки навигационного приемника на карте г. Минска.

В составе лабораторного стенда помимо навигационного приемника НАВ-1 (ГЛОНАША) для проведения измерений используется отдельный приемный модуль производства фирмы NTLab (г. Минск), выполненный на базе микросхемы NT1020.

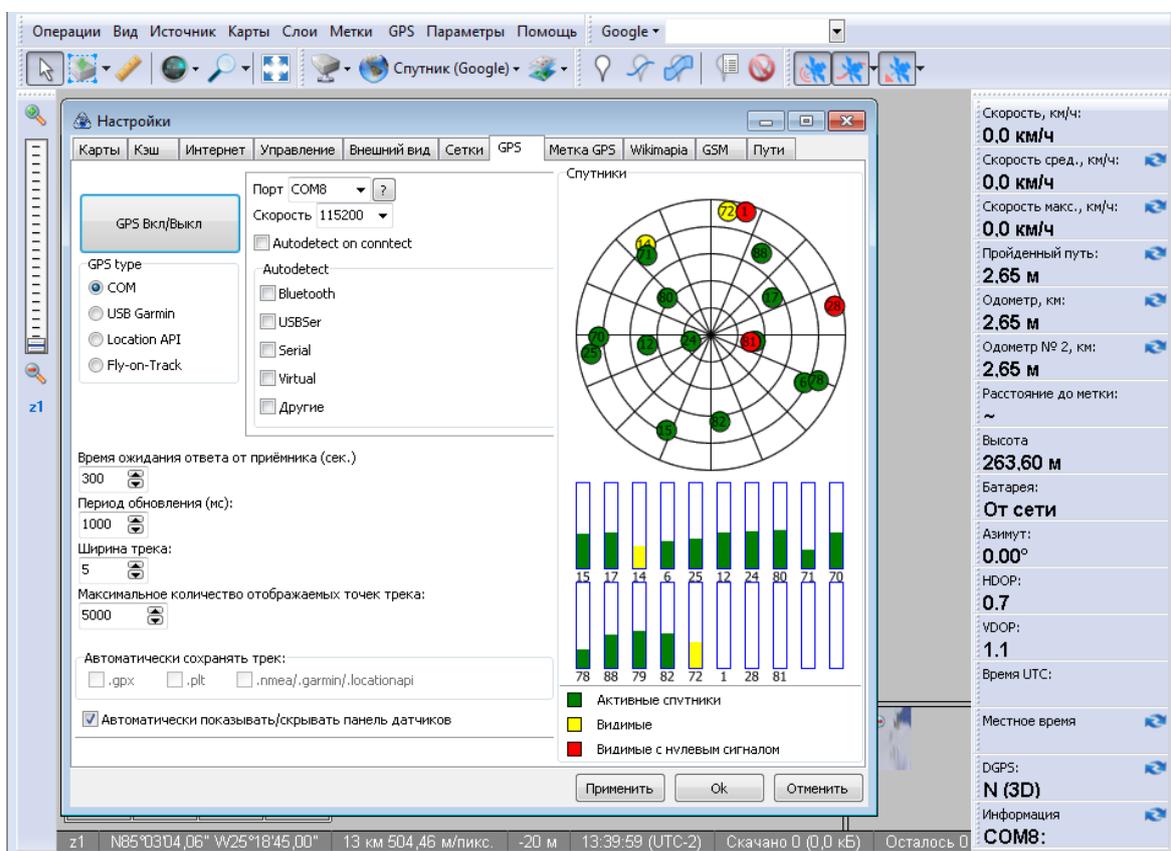


Рис. 6.3. Вид расположения спутников и уровни сигналов

Микросхема NT1020 представляет собой трехсистемное радиоприемное устройство для одновременного приема, преобразования, фильтрации и усиления сигналов навигационных систем GPS/Galileo/ГЛОНАСС в диапазоне L1.

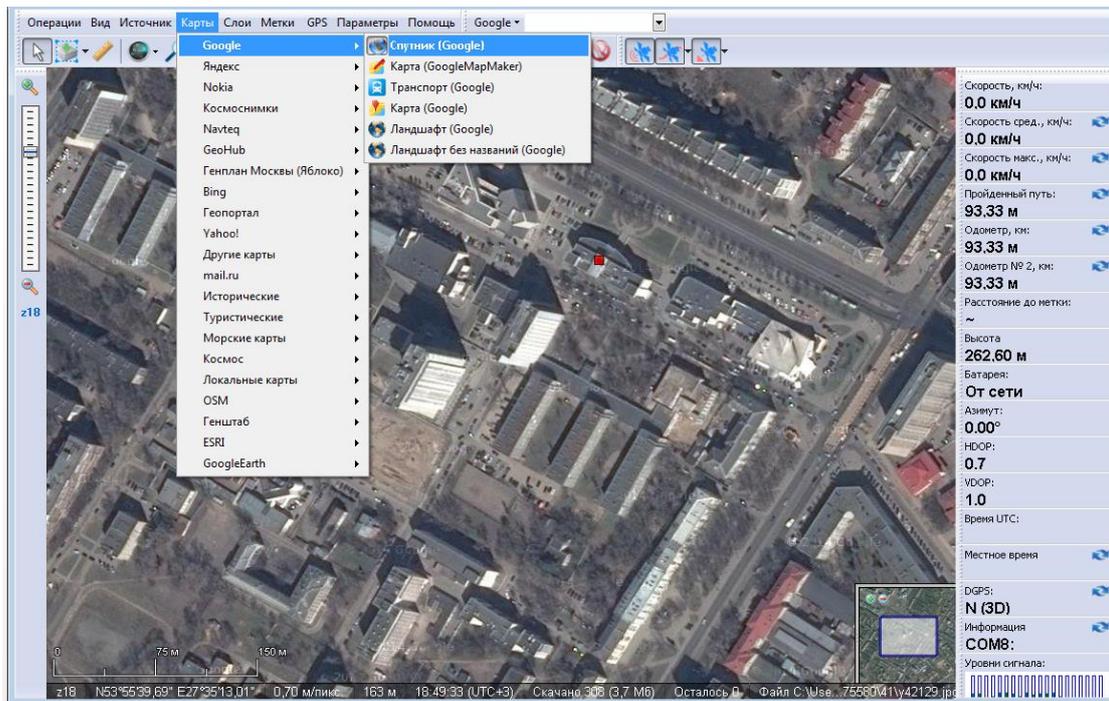


Рис. 6.4. Метка навигационного приемника на карте г. Минска

Микросхема разработана с использованием SiGe Bi-CMOS технологии TSMC с проектными нормами 0,18 мкм. Микросхема имеет следующие основные особенности:

1. Супергетеродинный приемник с одним преобразованием.
2. Детектор активной антенны.
3. Переключаемые режимы работы приемного тракта: IQ GPS/Galileo/ГЛОНАСС, IQ GPS/Galileo, ГЛОНАСС IQ, GPS/Galileo/ГЛОНАСС с подавлением зеркального канала.
4. Встроенный МШУ с согласованием на 50 Ом по выходу.
5. Встроенный предусилитель квадратурного смесителя с программируемым рабочим током.
6. Смесители с подавлением зеркального канала.
7. Интегрированные фильтры ПЧ с системой автоматической калибровки полосы пропускания.

8. Переключаемые режимы работы по выходу каналов: дифференциальные линейные выходы или цифровые КМОП-выходы со встроенным двухбитным АЦП с программируемыми порогами.

9. Полностью интегрированный синтезатор частоты с внутренним подстраиваемым фильтром ФАПЧ и формирователем тактовой частоты для коррелятора.

10. Полностью интегрированный ГУН с автоматической подстройкой рабочего поддиапазона.

11. Детектор захвата частоты синтезатором.

12. Трехпроводной интерфейс для управления режимами работы и подстройки параметров блоков.

13. Режим «Все выключено» с минимальным током потребления.

14. Малогабаритный 32-выводной корпус QFN-типа с габаритными размерами  $5 \times 5 \times 0,9$  мм и шагом по выводам 0,5 мм.

Подключение микросхемы NT1020 осуществляется через универсальный программатор NTLab DMB USB adapter v2. Для его работы на ПК устанавливается специальный драйвер для универсального программатора NTLab DMB USB adapter v2.

Основные характеристики приемного устройства и его каскадов представлены в табл. 6.1.

Структурная схема приемника NT1020 представлена на рис. 6.5.

Основными узлами приемника являются: ДАА – детектор активной антенны, ДЗ – детектор захвата, источник ОТиН – источник оперного тока и напряжения, ПФФ – полифазный фильтр, САПП ГУН – система подстройки поддиапазона генератора, управляемого напряжением, СМ – смеситель, СФБ – система фазовой балансировки, СПЧС ФНЧ – система подстройки частоты среза ФНЧ, схема НЗэсл – схема накачки заряда (эмиттерно-связанная логика), схема НЗкмоп – схема накачки заряда (КМОП-логика).

Через последовательный интерфейс осуществляется диагностика состояния СБИС РПУ, а также полное управление режимами и конфигурацией:

режимы работы отдельных блоков, управление системой АРУ, переключение выходов, адаптация под требуемый частотный диапазон и др.

Таблица 6.1

Основные характеристики приемного устройства и его каскадов

Наименование параметра	Обозначение	Условия	Значение			Единица измерения
			минимальное	типическое	максимальное	
<b>Общие параметры</b>						
Диапазон входных частот	FIN	Диапазон L1 для сигналов ГЛОНАСС	1593	–	1606	МГц
		Диапазон L1 для сигналов GPS	1571	–	1587	МГц
		Диапазон L1 для сигналов Galileo	1571	–	1587	МГц

Продолжение табл. 6.1

Наименование параметра	Обозначение	Условия	Значение			Единица измерения
			минимальное	типичное	максимальное	
Коэффициент шума	NF	Режим IQ GPS/Galileo и ГЛОНАСС, дифференциальный линейный выход	–	1,75	3,0	дБ
КСВН по входу	VSWR IN	С учетом схемы согласования на 50 Ом	–	1,45	2,0	–
Коэффициент усиления	GMAX	При нагрузке 500 Ом	–	80	–	дБ
Разбаланс фаз квадратурных каналов	$\Delta\varphi$	–	–	$\pm 0,2$	$\pm 5$	градус
Разбаланс амплитуд квадратурных каналов	$\Delta A$	–	–	$\pm 0,2$	$\pm 1$	дБ

Наименование параметра	Обозначение	Условия	Значение			Единица измерения
			минимальное	типичное	максимальное	
<b>Параметры МШУ</b>						
Коэффициент шума МШУ	NFLNA	–	–	1,4	1,7	дБ
Коэффициент усиления МШУ	GLNA	–	–	19,5	–	дБ
КСВН по входу МШУ	VSWR IN	50 Ом	–	1,4	–	–
КСВН по выходу МШУ	VSWR OUT	50 Ом	–	1,2	–	–
<b>Параметры смесителя</b>						
Коэффициент шума смесителя	NFMix	–	–	3,7	4,2	дБ
КСВН по входу смесителя	VSWR	50 Ом	–	1,1	–	–

Последовательный интерфейс обмена данными является трехпроводным: EN – вывод сигнала разрешения передачи данных; DATA – вывод данных; CLK – сигнал тактирования данных, передаваемых через вывод DATA.

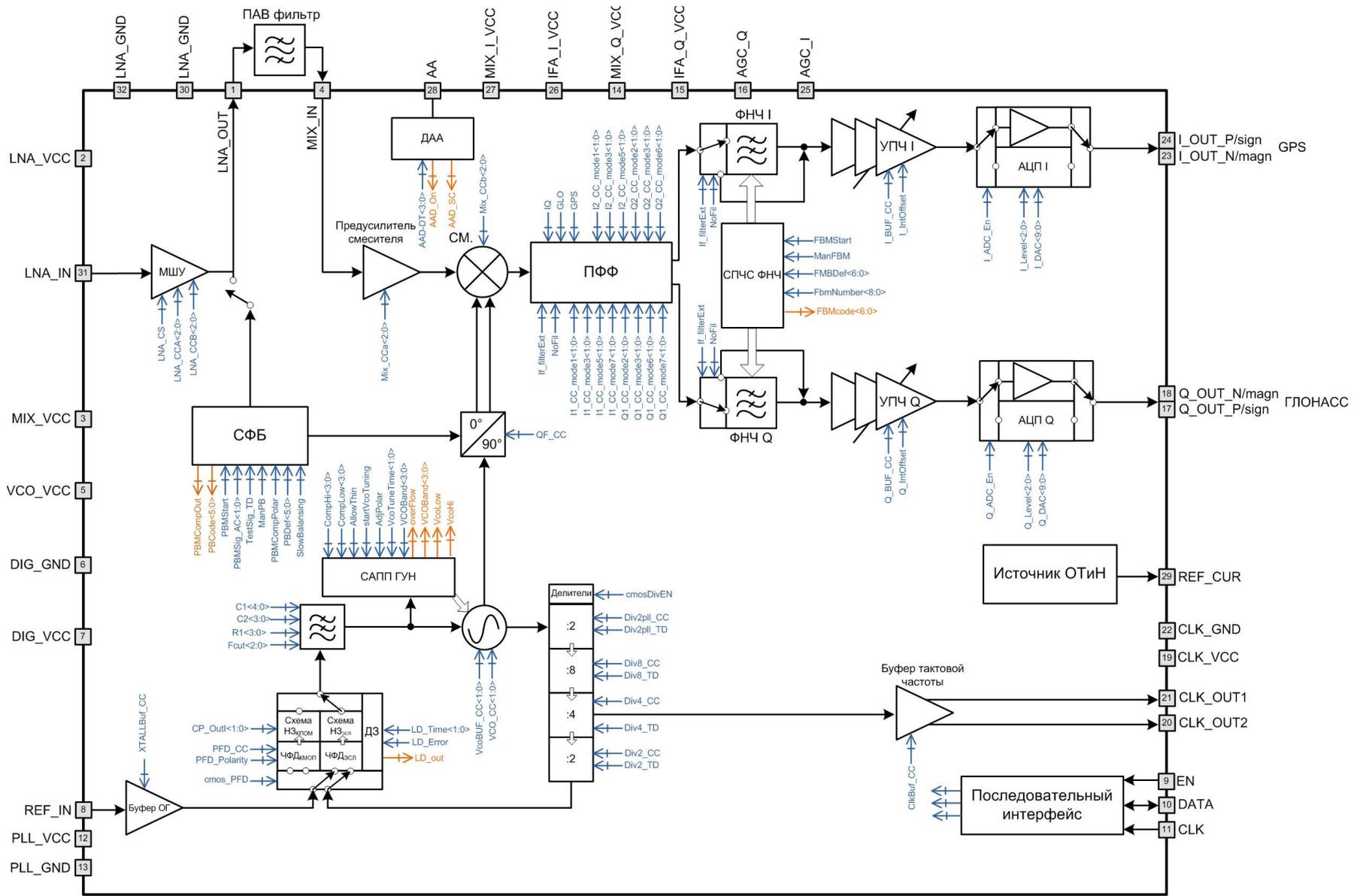


Рис. 6.5. Структурная схема приемника NT1020

Структурная схема последовательного интерфейса представлена на рис. 6.6.

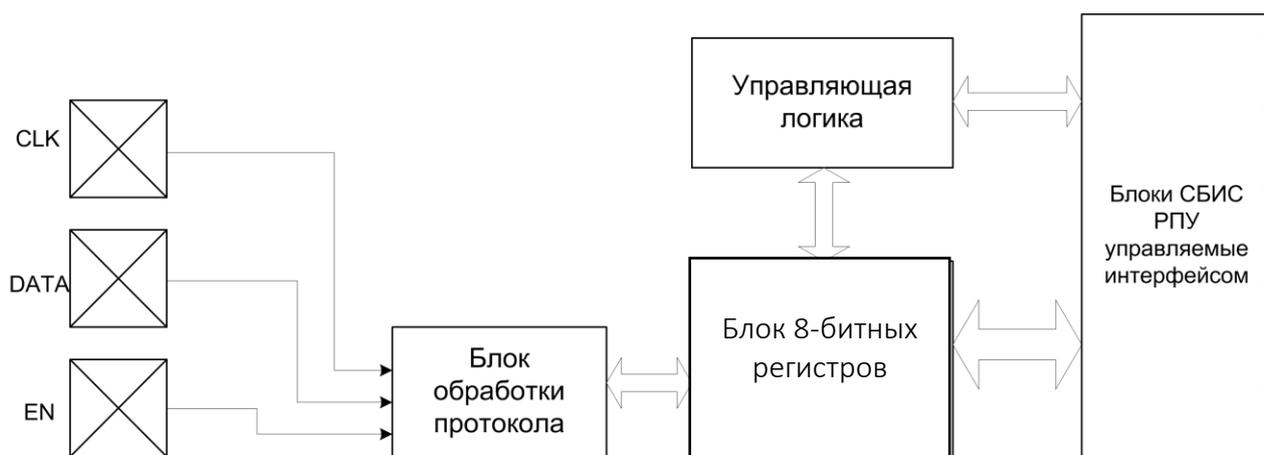


Рис. 6.6. Структура последовательного интерфейса

Блок обработки протокола – это блок, организующий обмен данными между регистрами и внешним устройством управления через трехпроводную последовательную шину. Этот блок либо считывает, либо изменяет состояние внутренних триггерных ячеек, расположенных в блоке восьмибитных регистров. Триггерные ячейки напрямую либо посредством некоторой логики осуществляют управление блоками СБИС РПУ.

Используется специальная программа управления РПУ NT1020.2. Внешний вид главного окна управляющей программы показан на рис. 6.7.

Для контроля правильности подключения адаптера и тестовой платы рекомендуется произвести чтение регистров (блок 6 – кнопка Read). В случае появления в окне контроля записи/чтения (блок 9) всех единиц или нулей либо зависания программы необходимо проверить правильность подключения плат, после чего отключить/подключить кабель USB-программатора.

Программа позволяет осуществлять следующие основные операции:

1. Запись конфигурации РПУ (установленных настроек) в регистры микросхемы (блок 6 – кнопка Write).

2. Чтение регистров РПУ (блок 6 – кнопка Read) с выводом результатов в окно контроля (блок 9) и статусных битов в соответствующие окна программы.
3. Загрузка ранее сохраненных настроек в окно программы (блок 6 – кнопка Open).
4. Сохранение установленных настроек в файл конфигурации.

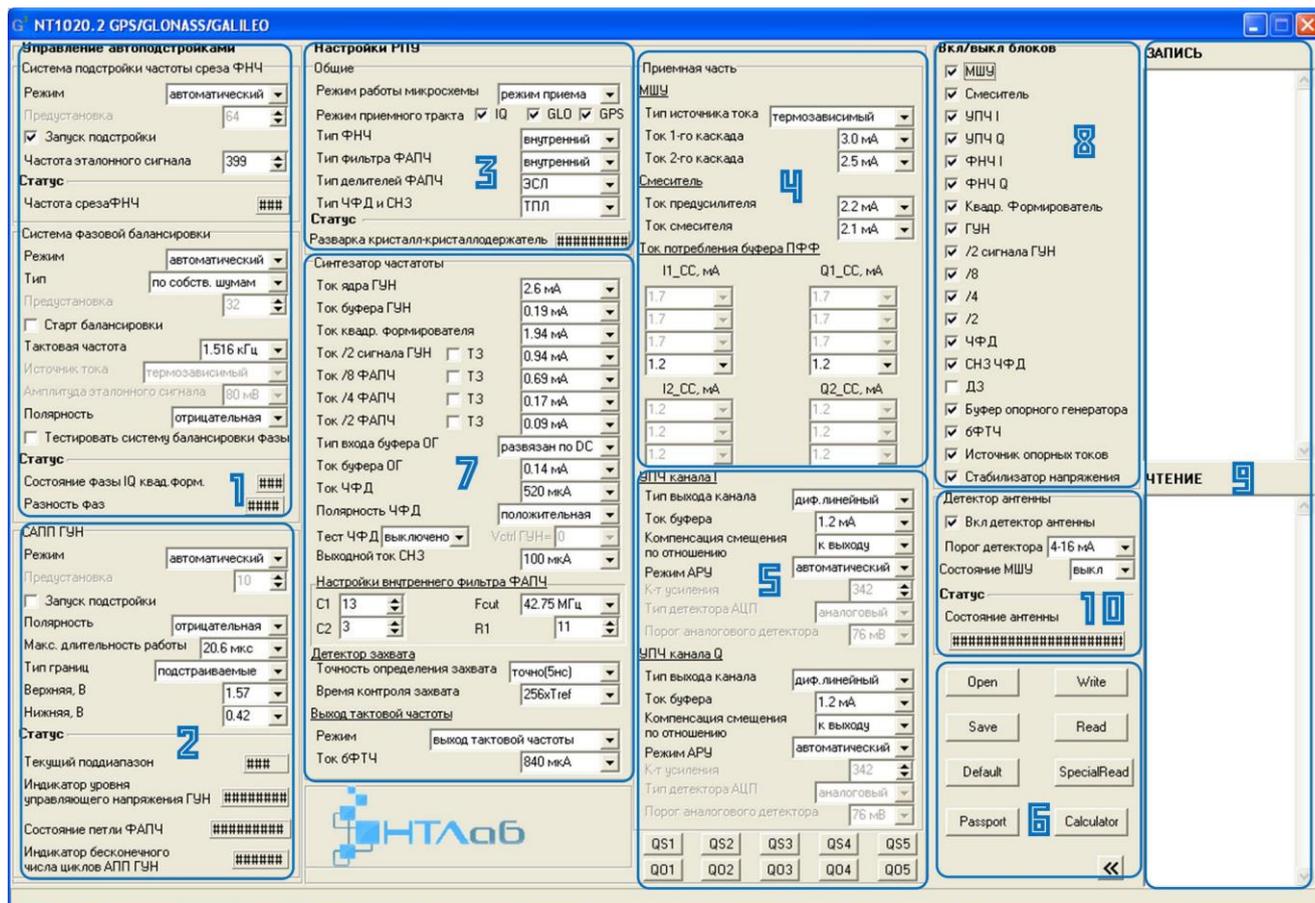


Рис. 6.7. Внешний вид главного окна управляющей программы

### 6.3. Особенности построения и функционирования спутниковых радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС

Идея использования космических аппаратов для навигации подвижных объектов в США начала развиваться после запуска в СССР в 1957 г. первого искусственного спутника Земли (ИСЗ). В то время перед лабораторией

прикладной физики университета Дж. Гопкинса была поставлена задача слежения за советским ИСЗ. Она решалась посредством приема его сигнала на наземном пункте с известными координатами, выделения доплеровского сдвига несущей частоты и дальнейшего расчета параметров движения спутника. Обратная задача расчета координат приемника на основе обработки принятого сигнала и координат ИСЗ представлялась очевидной и естественной.

На этой основе в 1964 г. была создана доплеровская спутниковая радионавигационная система (СРНС) первого поколения TRANSIT, «отцом» которой считают профессора Р. Вершнера. Координаты потребителя рассчитывались на основе приема и выделения доплеровского сдвига частоты передатчика одного из шести или семи навигационных космических спутников (НС).

С разработкой атомных часов в 1960 г. стало возможным использовать для целей навигации сеть точно синхронизированных передатчиков, передающих кодированные сигналы. Измерение приемником соответствующих временных задержек позволяло рассчитать координаты приемника. Начало реализации этого принципа было положено в 1967 г. запуском спутника ВМС США TIMATION-I. ВВС США в 1964 г. начали программу разработки и испытаний возможностей использования для целей местоопределения широкополосных сигналов, модулированных псевдослучайными шумовыми кодами. Свойство корреляционного разделения таких сигналов обусловило возможность использования несколькими передатчиками одной несущей частоты.

В 1973 г. программы ВВС и ВМС США были объединены в общую навигационную технологическую программу NAVSTAR GPS. В течение 1-го этапа программы NAVSTAR проводилась оценка общей концепции, и были разработаны НС типа BLOCK I. Второй этап полномасштабной разработки и испытаний начался в 1978 г. с запуска четырех первых НС. В 1995 г. система оказалась практически развернутой. В настоящий момент точность синхронизации возросла с  $10^{-11}$  до  $10^{-13}$  и выше. Выросла и высота орбит спутников с 925 до 20 200 км. Изменилась несущая частота передатчиков с 400 до 1227 и 1575 МГц.

Подсистема космических аппаратов системы GPS образована из 24 основных и трех резервных НС (рис. 6.8). Космические аппараты находятся на шести круговых орбитах высотой примерно 20 200 км, наклонением 55°, равномерно разнесенных по долготе через 60°. В каждой орбитальной плоскости находятся четыре НС, разнесенных по широте примерно через 90°. В системе ГЛОНАСС используется три орбитальные плоскости по восемь навигационных спутников на каждой плоскости. Навигационная аппаратура потребителей размещается, как правило, на Земле, а также на самолетах и других летательных объектах.

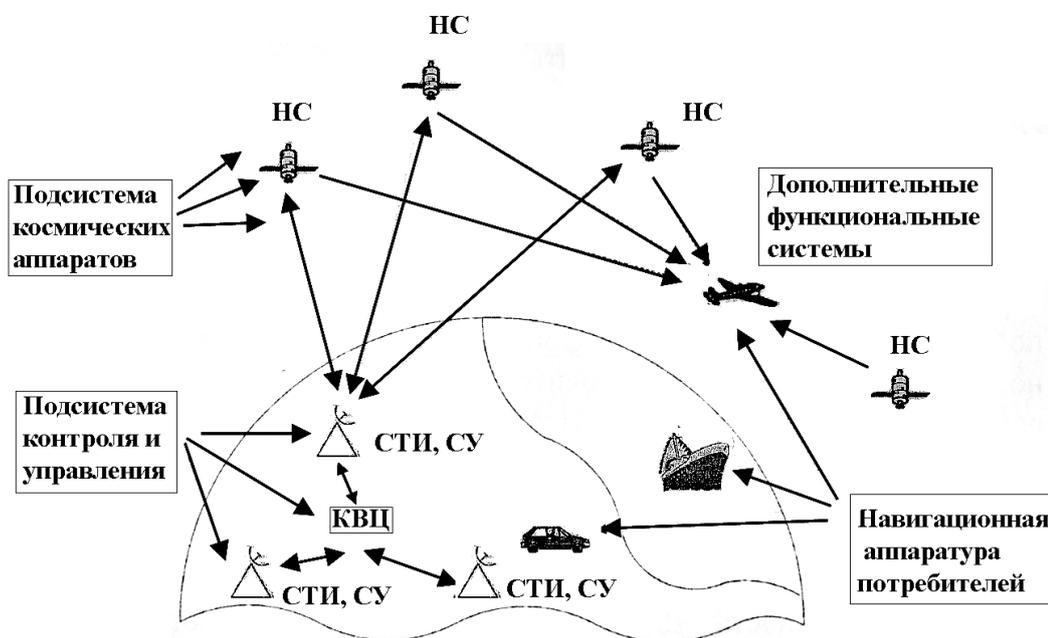


Рис. 6.8. Спутниковая радионавигационная система

Подсистема контроля и управления для системы GPS формируется из станций траекторных измерений (СТИ) и станций управления (СУ). Эти станции расположены по всему миру: на островах Кваджалейн и Гавайях в Тихом океане, на острове Вознесения, острове Диего-Гарсия в Индийском океане, а также в г. Колорадо-Спрингс.

Главная станция контроля и управления – координационно-вычислительный центр (КВЦ) находится на авиабазе Фалкон (Шривер) ВВС США в районе г. Колорадо-Спрингс, штат Колорадо. На всех станциях измерения приемники GPS используются для пассивного слежения за навигационными сигналами всех спутников. Полученная информация обрабатывается на главной управляющей станции и используется для обновления эфемерид спутников. Загрузка навигационных данных, состоящих из прогнозируемых орбит и поправок часов, производится для каждого спутника каждые 24 часа. Мониторинг состояния спутников осуществляется практически непрерывно. За сутки выполняется 70–80 контактов с созвездием спутников. Возможно взаимодействие с дополнительными функциональными системами, которые обмениваются сигналами с НС и другими объектами, расположенными на поверхности Земли, в воздушном или космическом пространстве. Аналогичная система контроля и управления функционирует и в системе ГЛОНАСС.

Передачики НС GPS излучают навигационные сигналы с правой круговой поляризацией в трех частотных диапазонах:

- 1) L5 (или E5a) 1164–1189 МГц с центральной частотой 1176,45 МГц;
- 2) L2 1215–1237 МГц с центральной частотой 1227,60 МГц;
- 3) L1 1563–1587 МГц с центральной частотой 1575,42 МГц.

В диапазоне L5 для точной навигации гражданской авиации передается F-код. Он представляет собой псевдослучайную последовательность (ПСП) длиной 4000–10 230 бит. Он, как и сигналы GPS во всех диапазонах, модулируется методом относительной фазовой манипуляции с двумя уровнями (ОФМ-2 или BPSK). Минимальный уровень этого сигнала, принимаемого на линейно поляризованную антенну с коэффициентом усиления 3 дБ при углах места не более 5°, составляет минус 154 дБВт.

В диапазоне L2 передаются три составляющие:

- 1) C/A-код (Clear (Coarse) / Acquisition), который открыт для мирового сообщества, минимальный уровень этого сигнала составляет минус 166 дБВт;

2) P(Y)-код, доступный санкционированным пользователем, минимальный уровень этого сигнала составляет минус 166 дБВт;

3) M-код, который дополнительно введен США для применения в военных целях, он передается с более высоким минимальным уровнем, который составляет минус 138 дБВт.

C/A-код (код Голда) передается с тактовой частотой 1,023 МГц, занимает полосу частот 2,046 МГц. Он представляет собой ПСП длительностью 1 мс (1023 бит). P-код представляет собой ПСП длительностью 7 суток. Закрытый P(Y)-код передается с тактовой частотой 10,23 МГц, занимает полосу 20,46 МГц. Он представляет собой ПСП длительностью 267 суток (примерно  $236 \cdot 10^{12}$  бит). В диапазоне L1 передаются те же три составляющие, но с другими минимальными уровнями: C/A-код – минус 160 дБВт, P(Y)-код – минус 163 дБВт, M-код – минус 138 дБВт. В табл. 6.2 представлены значения основных источников ошибок при определении дальности в метрах.

Таблица 6.2

Среднеквадратичные отклонения основных источников определения дальности, м

Источники ошибок	C/A-код	P-код
Ионосфера	7	2,25
Тропосфера	0,7	0,7
Многолучевость	1,2	1,2
Шумы приемника	1,5	1,45
Погрешности координатно-временного обеспечения НКА	3,6	3,6
Общая погрешность	8,1	6,5
<i>Итого</i>	22,1	15,7

Последовательность всех охарактеризованных сигналов, кроме P(Y)-кода, образуется сложением по модулю 2 двух двоичных сигналов:

псевдослучайного дальномерного кода и информационной последовательности (ИП). В составе P(Y)-кода ИП не передается.

Передается ИП с одинаковой скоростью – 50 бит/с. Суперкадр в составе C/A-кода, который содержит альманах, имеет объем 22 500 бит (7,5 мин). Суперкадр делится на 25 кадров емкостью 1500 бит (30 с). Кадр содержит 5 субкадров объемом по 300 бит. Минимальной структурной единицей ИП является слово емкостью 30 бит.

Система GPS модернизируется для дальнейшего улучшения характеристик навигации с 100 до 5 м и точнее и для временной синхронизации в интересах гражданских и военных пользователей. Первым шагом в модернизации системы стало отключение режима селективного доступа. Затем осуществлялась целая серия мероприятий, включающих с 2003 г. добавление C/A-кода на частоте L2 и M-кодов на частотах L1, L2; с 2005 г. – добавление 3-го гражданского сигнала L5, модернизацию наземной сети управления и реализацию программы GPS BLOCK III. Три спектрально разделенные гражданские частоты в комбинации с улучшенными характеристиками сигнала значительно уменьшают степень воздействия на систему GPS любых случайных помех.

В системах GPS и ГЛОНАСС формируются альманахи систем, которые содержат значение времени, параметры орбиты, номера каналов для каждого штатного навигационного космического аппарата (НКА), поправку к штатному времени системы относительно штатного времени страны и другие параметры. Альманах системы необходим в наземном навигационном приемнике для планирования сеанса навигации (выбор оптимального созвездия НКА) и для приема навигационных радиосигналов в системе (прогноз доплеровского сдвига несущей частоты). Информация об НКА позволяет рассчитать их координаты и составляющие скорости.

В настоящее время помимо системы GPS и ГЛОНАСС, известны и другие спутниковые системы навигации: GALILEO (Европейское Космическое Агентство), QZSS (Япония), COMPASS (Китай).

#### 6.4. Указания по выполнению лабораторной работы

1. Включить ПК. Включить навигационный приемник НАВ-1 (ГЛОНАША). Для этого подключить кабель от навигационного приемника НАВ-1 к USB-порту ПК. Запустить на выполнение с экрана ПК программу SAS Planet.exe. Проконтролировать засветку мерцающим зеленым цветом специального индикатора, установленного на плате НАВ-1, т. к. это свидетельствует о нормальном режиме работы НАВ-1. Выбрать вкладку GPS, далее вкладку «Настройки». На специальной диаграмме, расположенной в правой части экрана, наблюдать постепенное заполнение метками расположения спутников и уровни принимаемых от них сигналов (см. рис. 6.3). После завершения построения диаграммы, которое занимает приблизительно несколько минут, можно приступить к ее изучению и фиксации результатов измерений. Записать данные, отображаемые на этой диаграмме, в отчет по лабораторной работе, а именно: номера искусственных спутников Земли, их статус (зеленый цвет – активные приемники, желтый цвет – видимые приемники, красный цвет – видимые приемники с нулевым уровнем) и уровень принимаемого от них сигнала в виде полосок разной длины. Чем выше уровень сигнала, тем длиннее полоска для этого спутника на экране приемника. При этом необходимо учесть, что спутники системы GPS имеют номера от 1 до 32, а спутники системы ГЛОНАСС – номера от 65 до 89. Записать в отчет координаты (широта и долгота) точки, где располагается НП-1, указанные в нижней части общего экрана.

2. Включить навигационный приемник GPSmap76. Для этого нажать и удерживать кнопку POWER (рис. 6.1, кнопка с изображением лампочки). Расположить навигационный приемник GPSmap76 в месте проведения навигационных измерений. Приемник начнет поиск и прием сигналов спутников, сохраняя информацию, необходимую для дальнейшей работы. Следует помнить, что приемник автоматически начинает обрабатывать сигналы с искусственных спутников системы GPS. Поэтому его желательно расположить

вблизи окна, если измерения проводятся в помещении, или на открытом месте вне помещения, где обзор небосвода не будет закрыт. Этот процесс поиска и обработки спутниковых сигналов обычно занимает не более 5 мин.

После включения приемника на его экране появится страница ПРИВЕТСТВИЯ, которая затем автоматически сменится страницей СПУТНИКОВ (рис. 6.9).

Цифрой 1 на рис. 6.9 обозначена линия горизонта, цифрой 4 – круговая линия под углом  $45^\circ$  к линии горизонта, цифрой 2 – условный знак направления движения, а цифрой 3 – полосы, характеризующие величину сигнала, который принимают с соответствующего спутника.

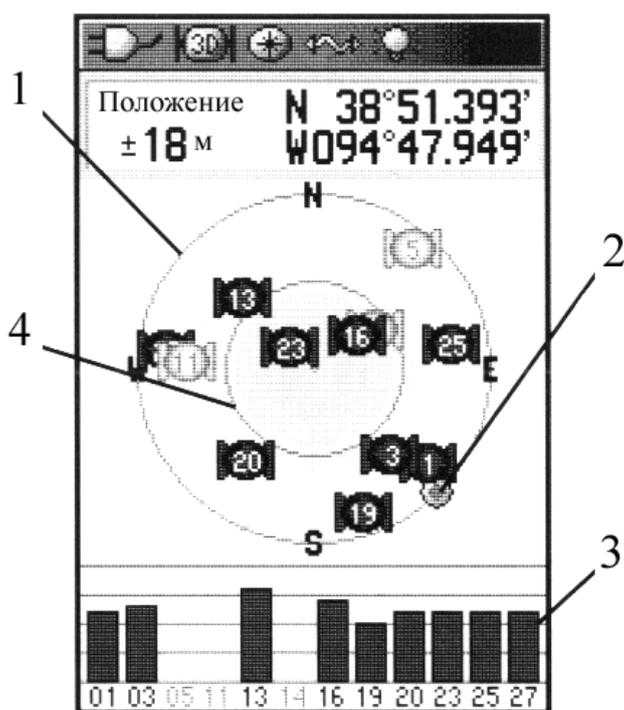


Рис. 6.9. Страница СПУТНИКИ

Записать в отчет данные, показанные на этой странице: координаты (широта и долгота) точки размещения приемника, точность определения координат, номера искусственных спутников Земли в системе GPS и уровень принимаемого от них сигнала в виде полосок разной длины.

Чем выше уровень сигнала, тем длиннее полоска для этого спутника на экране приемника. После завершения всех измерений выключить навигационные приемники GPSmap76 и НАВ-1. Для этого для GPSmap76 нажать и удерживать кнопку включения и выключения на передней панели (рис. 6.9). Закрыть программу SAS Planet на экране ПК.

3. Изучить особенности функционирования и измерить основные характеристики приемного модуля, выполненного на базе микросхемы NT1020. Включить генератор APSIN 4010, поставив тумблер питания, расположенный на задней панели, в положение ON. Включить осциллограф Tektronix TDS 1012B, поставив тумблер питания, расположенный на верхней панели, в положение ON. Присоединить выход генератора с использованием аттенюатора на 50 дБ к разъему N1, который расположен на передней прозрачной панели стенда, т. е. ко входу исследуемого навигационного приемника. Входы двух каналов осциллографа Tektronix TDS 1012B присоединить с помощью кабелей к выходам навигационного приемника, которые в свою очередь внутри стенда присоединены перемычками к разъемам N2 и N3, расположенным на передней панели стенда. Запустить программу ANAPICO GUI V 2.81 на экране ПК. В окне CW установить рабочую частоту генератора равной 1 575 420 кГц. В окне Power установить выходной уровень генератора равным минус 10 дБм. Нажать кнопку RF OFF, которая при включении генератора меняет название на RF ON и загорается зеленым цветом.

4. Включить питание микросхемы NT1020, установив тумблер питания в верхнее положение. Контролировать загорание специального светодиода ярким свечением на плате блока питания. Свернуть программу ANAPICO GUI V 2.81 на экране ПК. Запустить на ПК специальную управляющую программу N1020\_2\_J. На рабочем поле (см. рис. 6.7) поставить специальные символы: в поле включения и выключения блоков включить блок ДЗ, в поле Настройки РПУ убрать знак (выключить) в поле GLO (убираем сигналы системы ГЛОНАСС), в поле САПП ГУН поставить знак в поле «Запуск подстройки». Нажать в поле Статус кнопку READ, затем кнопку WRITE. Добить-

ся загорания индикатора статуса зеленым цветом. Выполнить подготовку осциллографа Tektronix TDS 1012B для проведения измерений. На передней панели нажать кнопку «Автоустановка», расположенную справа и вверху на передней панели прибора. На экране осциллографа Tektronix TDS 1012B наблюдать синусоидальную форму выходных сигналов промежуточной частоты для двух I- и Q-каналов. Записать в отчет измеренное значение промежуточной частоты, показанное в нижней части экрана. Исследовать АЧХ сквозного тракта НП. Перевести осциллограф Tektronix TDS 1012B в режим измерения спектра, нажав кнопку «МЕНЮ-МАТЕМАТИКА». Установить уровень сигнала генератора равным  $-10$  дБм. Суммарное затухание составит  $60$  дБм за счет наличия внешнего аттенюатора с величиной затухания в  $50$  дБм. На экране прибора наблюдать сигнал с выхода приемника на фоне шумов. Зарисовать этот сигнал в отчет. Выполнить измерение частоты и уровня этого сигнала. Используя ручки «ГОРИЗОНТ. Положение» и «СЕК/ДЕЛ», выполнить измерение частоты сигнала, совместив отметку от сигнала с меткой Trig'd, расположенной в верхней части экрана. Записать значение частоты в отчет. Нажать кнопку «Курсор» и выбрать режим измерения амплитуды. Далее нажать кнопку Type и выбрать режим Magnitude. Поставить Cursor2 на уровень шумового сигнала с помощью круглой ручки управления, расположенной слева в верхней части панели и отмеченной с помощью светодиода зеленого цвета. Установить Cursor1, нажав кнопку выбора этого курсора и используя ручку регулировки уровня, как и для Cursor2, на верхнюю точку полезного сигнала приемника. По разнице уровней двух курсоров – Cursor1 и Cursor2 – определить выходной уровень выходного сигнала приемника. Величина уровня сигнала будет показана в поле  $\Delta V$ . Выполнить измерение уровня сигнала, меняя частоту настройки генератора в полосе приблизительно  $50$  МГц с частоты  $1589,42$  до  $1544,42$  МГц с шагом  $5$  МГц. Данные измерений занести в отчет. Построить сквозную характеристику АЧХ полного тракта приемника. Сделать выводы.

5. Установить выходной уровень генератора равным  $-30$  дБм. Выполнить расчет частоты зеркального канала, зная величины промежуточной частоты и частоту настройки полезного сигнала. Установить это значение частоты на табло управления генератора на ПК. Измерить величину подавления частоты зеркального канала, используя технику работы с курсорами, описанную в п. 4. Сравнить полученную величину с типовой величиной, равной  $30$  дБ. Сделать выводы.

6. Измерить величину расхождения фаз квадратурных выходных каналов. Для этого перейти в режим работы осциллографа, нажав кнопку «Автоустановка». Добиться на экране изображения развертки двух периодов сигналов ручкой «СЕК/ДЕЛ». Нажать кнопку «Курсор» и верхнюю кнопку – Time. Курсор 1-го канала кнопкой Cursor 1, CH1 установить в положение, которое соответствует максимальному значению амплитуды сигнала 1-го канала. Аналогично, используя кнопку Cursor 2, CH2 установить в положение, которое соответствует максимальному значению амплитуды сигнала 2-го канала. Результат измерения разницы данных по двум курсорам, полученный в наносекундах, перевести в градусы и занести значение в отчет. Сравнить полученное значение с типовой величиной. Сделать выводы.

7. Выключить навигационные приемники, измерительное оборудование и ПК. Обработать полученные данные. Составить отчет по проделанной работе.

### **6.5. Содержание отчета**

1. Назначение и технические характеристики исследованных навигационных приемников.
2. Полученные навигационные и другие данные при измерениях.
3. Выводы по проделанной работе.

## 6.6. Контрольные вопросы

1. Объясните назначение и основные характеристики навигационного приемника GPSmap76.
2. Объясните назначение и основные характеристики навигационного приемника НАВ-1.
3. Объясните назначение и особенности исполнения микросхемы NT1020.
4. Объясните назначение и особенности работы навигационной системы GPS.
5. Назовите основные погрешности при измерении координат в системах спутниковой навигации.
6. Опишите структурную схему навигационного приемника, который построен на микросхеме NT1020.
7. Опишите основные характеристики приемного устройства, построенного на микросхеме NT1020.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ВРМ (VLR) – визитный регистр местоположения  
ДРМ (HLR) – домашний регистр местоположения  
РИО (EIR) – регистр идентификации оборудования  
АРУ – автоматическая регулировка уровня  
АС – абонентская станция  
АФТ – антенно-фидерный тракт  
БС – базовая станция  
БФМ – бинарная фазовая модуляция  
КФМ – квадратурная фазовая модуляция  
КБС – контроллер базовой станции  
МП – микропроцессор  
МС – мобильная станция  
МШУ – малошумящий усилитель  
РИО – регистр идентификации оборудования  
РЧПЛ – радиочастотное планирование  
ПЗУ – постоянное запоминающее устройство  
ПСП – псевдослучайная последовательность  
СВЧ – сверхвысокая частота  
ССМС – системы сотовой мобильной связи  
ОФМ – относительная фазовая манипуляция  
ТфОП – телефонная сеть общего пользования  
ЦА – центр аутентификации  
ЦКМС – центр коммутации мобильной связи  
ЦКПС – центр коммутации подвижной связи  
ЦСИС – цифровая сеть с интеграцией служб  
ЦУО – центр управления и обслуживания  
ШПС – широкополосный сигнал  
АУС – центр аутентификации

CDMA (Code Division Multiple Access) – кодовое разделение каналов

CN – базовая сеть стандарта UMTS

D-AMPS – стандарт сотовой связи 2-го поколения

DSP (Digital Signal Processor) – цифровой сигнальный процессор

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) – прямое расширение спектра

EIR – регистр идентификации оборудования

EDGE (Enhanced Data Rates For Global Evolution) – процедура высокоскоростной передачи данных

FHSS (Frequency-Hopping Spread Spectrum) – расширение спектра при скачкообразном изменении несущей частоты

GPRS (General Packet Radio Service) – процедура пакетной передачи информации

GSM – стандарт сотовой связи 2-го поколения

ISDN – цифровая сеть с интеграцией служб

LTE – стандарт сотовой связи 4-го поколения

MSC – центр коммутации мобильной связи

HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) – процедура высокоскоростной передачи данных

TDMA – временное разделение каналов

WCDMA (Wide CDMA) – широкополосная система с CDMA

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) – стандарт сотовой связи 3-го поколения

UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network) – радиointерфейс стандарта UMTS

## ЛИТЕРАТУРА

1. Весоловский, К. Системы подвижной радиосвязи / К. Весоловский. – М. : Эко-Трендз, 2006. – 536 с.
2. Системы мобильной связи : учеб. пособие / В. П. Ипатов [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2003. – 272 с.
3. Мищенко, В. Н. Изучение принципов проектирования систем подвижной радиосвязи стандарта GSM / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2008. – 42 с.
4. Мищенко В. Н. Системы спутниковой навигации : учеб.- метод. пособие / В. Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2010. – 55 с.
5. Невдяев, Л. М. Мобильная связь 3-го поколения / Л. М. Невдяев ; под ред. Ю. М. Горностаева. – М. : Связь и бизнес, 2000. – 208 с.
6. Берлин, А. Н. Цифровые сотовые системы связи / А. Н. Берлин. – М. : Эко-Трендз, 2007. – 296 с.
7. СТБ 1356-2011. Системы сотовой подвижной электросвязи. Основные технические требования. – Минск : Госстандарт Респ. Беларусь, 2011. – 38 с.
8. Ипатов, В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения / В. П. Ипатов. – М. : Мир связи, 2007. – 488 с.
9. Тихвинский, В. О. Управление и качество услуг в сетях GPRS/UMTS / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев. – М. : Эко-Трендз, 2007. – 400 с.

*Учебное издание*

**Мищенко Валерий Николаевич**

**СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ  
И РАДИООПРЕДЕЛЕНИЯ.  
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

Редактор *М. А. Зайцева*

Корректор *Е. Н. Батурчик*

Компьютерная правка, оригинал-макет *В. М. Задоя*

Подписано в печать *\*\*.\*\*.2019*. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. 9,6. Тираж 60 экз. Заказ 356.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,  
№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6