

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

---

**Кафедра основ радиотехники и защиты информации  
В.Е. Емельянов**

**АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ  
СИСТЕМ**

Утверждено Редакционно-  
издательским советом МГТУ ГА в  
качестве учебного пособия

**Москва-2015**

УДК 629.39 (075.8)

ББК 0561.5

Е 60

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Московского государственного технического университета ГА

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. Э.А. Лутин (МГТУ ГА);  
д-р техн. наук Д. В. Колядов (Департамент  
систем радиосвязи)

Емельянов В.Е.

Е 60      Аппаратные средства телекоммуникационных систем: учебное посо-  
бие. - М.: МГТУ ГА, 2015. - 156 с., 49 ил., 11 табл., лит.: 17 наим.

ISBN 978-5-86311-972-4

В пособии с позиции системного анализа и логической стройной последо-  
вательности изложены принципы построения микропроцессорных систем,  
ПЛИС, используемых в ТКС, наряду с радиолокационными, радионавигацион-  
ными системами и системами электросвязи, являющимися основными инфор-  
мационными датчиками.

Данное учебное пособие издается в соответствии с рабочей программой  
учебной дисциплины «Аппаратные средства телекоммуникационных систем»  
по учебному плану для студентов очного обучения специальностей 090302 и  
10.05.02.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 20.11.14 г. и методиче-  
ского совета 24.12.14 г.

ББК 0561.5

Св. тем. план 2015 г.

поз. 48

ЕМЕЛЬЯНОВ Владимир Евгеньевич

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Редактор Г.В. Токарева

Подписано в печать 05.03.15 г.

Печать офсетная  
9,07 усл.печ.л.

Формат 60x84/16  
Заказ № 1947/

8,52 уч.-изд. л.  
Тираж 100 экз.

*Московский государственный технический университет ГА*

125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

*Редакционно-издательский отдел*

125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

ISBN 978-5-86311-972-4

© Московский государственный  
технический университет ГА, 2015

## ВВЕДЕНИЕ

Телекоммуникационные системы (ТКС) являются основным средством обеспечения руководства и взаимодействия деятельностью сложных иерархических систем. К последним в полной степени относятся деятельность гражданской авиации и управления воздушным движением. Правильная организация ТКС является одним из доминантных условий обеспечения безопасности и регулярности полетов, пропускной способности зон УВД, а также производственной деятельности отраслевых предприятий и организаций.

Телекоммуникационные системы представляют совокупность сложных видов разнообразнейшего оборудования, аппаратных средств, конечных устройств, структурированных в соответствии с функциональным назначением.

ТКС ГА выполняют следующие основные функции:

- Информационный обмен при ОрВД и УВД;
- Взаимодействие центров УВД в процессе управления воздушным движением, планирования и организации полетов;
- Оперативное взаимодействие служб авиапредприятий;
- Передача административно-управленческой деятельности и коммерческой информации;
- Передача данных различных АСУ ГА.

Основные требования, предъявляемые к ТКС, можно сформулировать следующим образом:

- Своевременность установления информационного обмена;
- Надежность и бесперебойность;
- Обеспечение требуемой скорости передачи информации;
- Обеспечение требуемой достоверности информационных сообщений;
- Обеспечение необходимой защищенности и скорости при передаче информации;
- Максимальная эффективность и экономичность функционального использования;
- Высокий уровень эксплуатационной технологичности.

В значительной степени приведенные требования определяются выбором и принципами построения аппаратных средств ТКС.

# 1. МИКРОПРОЦЕССОРЫ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

## 1.1 Принципы цифровой обработки сигналов

Цифровые системы, используемые в современных ТКС, имеют высокую помехозащищенность, высокую точность и стабильность характеристик, высокую степень микроминиатюризации аппаратуры. С их помощью легко реализуются практически любые алгоритмы обработки информации.

Например, сжатие речи, изображений и видео, помехоустойчивое кодирование, алгоритм криптографирования могут быть реализованы только с помощью цифровой обработки сигналов (ЦОС).

### Основные операции ЦОС

Как правило, на вход устройства цифровой обработки (УЦО) поступают аналоговые сигналы, поэтому необходимо произвести аналого-цифровое преобразование (АЦП) и после обработки, если необходимо, обратное - цифро-аналоговое преобразование (ЦАП). На рис 1.1 показана обобщенная структурная схема устройства, в котором обработка сигналов производится цифровыми методами.

Аналого-цифровое преобразование сигнала происходит в три этапа (рис. 1.2): временная дискретизация сигнала, квантование амплитуды и преобразование выборок в многоразрядные (в частном случае - одноразрядные) двоичные коды.

Фильтр нижних частот необходим ввиду того, что реальные сигналы имеют бесконечный спектр. Во избежание наложения спектров при дискретизации входной сигнал ограничивают по полосе.

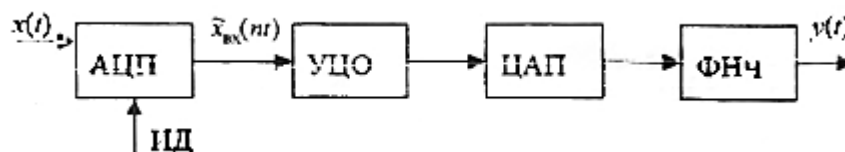


Рис. 1.1. Структурная схема устройства с ЦОС:

ИД - импульсы дискретизации; АЦП - аналого-цифровой преобразователь; УЦО - устройство цифровой обработки сигналов; ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь; ФНЧ - фильтр нижних частот, выделяющий спектр сигнала.

Согласно теореме о выборках, сигнал с ограниченной полосой, не имеющий спектральных компонент с частотами выше  $f_b$ , однозначно определяется отсчетами, следующими через равные промежутки времени:

$$T_d \leq \frac{1}{2f_b} = \frac{\pi}{\omega_b}. \quad (1.1)$$

Таким образом,  $f_d = 1/T_d$  - частота дискретизации.

Увеличение частоты дискретизации упрощает реализацию входных и выходных фильтров.

Вид спектра аналогового и соответствующего ему дискретного сигналов показан на рис. 1.3,а,б. Спектр дискретного сигнала периодический, он повторяется в точках, кратных  $f_d$ .

Если условие (1.1) не выполняется, то спектры перекрываются и возникают искажения сигнала рис 1.3,в. Полностью восстановить аналоговый сигнал можно, используя ряд В.А. Котельникова [1].

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(nT_d) \frac{\sin \pi \left[ \frac{t - nT_d}{T_d} \right]}{\pi \left[ \frac{t - nT_d}{T_d} \right]} \quad (1.2)$$

где  $T_d$  - период дискретизации.

Операция квантования заключается в замене всех возможных значений сигнала набором разрешенных значений - уровней квантования. Операция квантования, в отличие от дискретизации, приводит к появлению искажений.



Рис. 1.2. Аналого-цифровое преобразование

Процесс квантования можно представить как прохождение сигнала через устройство со ступенчатой амплитудной характеристикой (рис. 1.4), в результате к сигналу добавляется шум квантования. Шкалы квантования могут быть равномерные и неравномерные, отличаться по положению относительно начала координат. На рисунке  $\Delta$  - шаг квантования,  $U_{\text{вых}}$  - выходной цифровой сигнал.

Кодирование - закон, устанавливающий соответствие между номером уровня квантования и структурой кодовой группы. Наиболее простым методом кодирования является импульсно-кодовая модуляция - каждый уровень кодируется двоичным кодом (подробнее о форматах представления чисел см. разд. 1.2.)

## Преобразования Фурье, Лапласа, Z-преобразование

Преобразование Фурье - непрерывного сигнала:

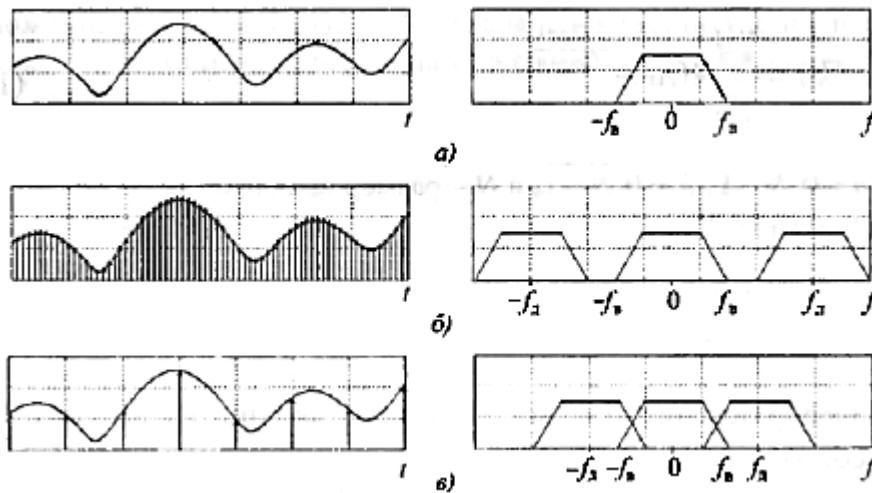


Рис. 1.3. Процесс дискретизации  
 На рисунках, расположенных слева, сигналы представлены во временной области, справа - в частотной

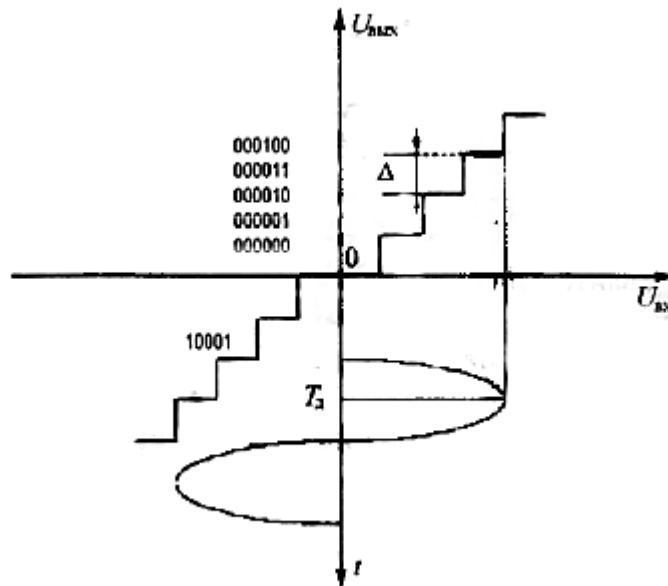


Рис. 1.4. Амплитудная характеристика АЦП

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad (1.3)$$

Дискретное преобразование Фурье периодического сигнала:

$$S(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nt)e^{-i\frac{2\pi nk}{N}}, \quad (1.4)$$

где  $n = \overline{0, N - 1}$ ,  $k = \overline{0, N - 1}$ , а  $N$  - размер выборки.

Обратное ДПФ:

$$S(nt) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} S(nk) e^{j \frac{2\pi nk}{N}}. \quad (1.5)$$

Преобразование Лапласа получаем, заменив  $j\omega$  на  $S = a + j\omega$  ( $a - \text{const}$ )

$$X(s) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-st} dt, \quad (1.6)$$

где  $x(t)$  - оригинал,  $X(s)$  - изображение.

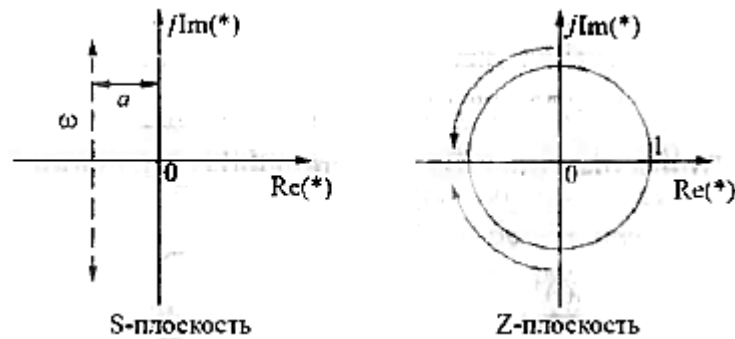


Рис. 1.5. S- и Z-плоскости

Для дискретных систем используется дискретное Z-преобразование

$$X(z) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} x(n) Z^{-n} \quad (1.7)$$

где  $Z = e^{sT}$ ,  $Z^{-1} = e^{-sT}$  - единичная задержка.

При преобразовании Лапласа  $x(t)$  проектируется на S плоскость, а при Z-преобразовании - на Z-плоскость.

Линейная дискретная система обладает всеми свойствами линейной системы, основные из них проиллюстрированы на рис. 1.6. Умножение отсчетов входного сигнала на константу определяет умножение выходных отсчетов на ту же константу. Отклик линейной системы на сумму входных сигналов равен сумме откликов на каждый входной сигнал. Задержка входного сигнала на  $pT$  вызывает ту же самую задержку выходного сигнала.

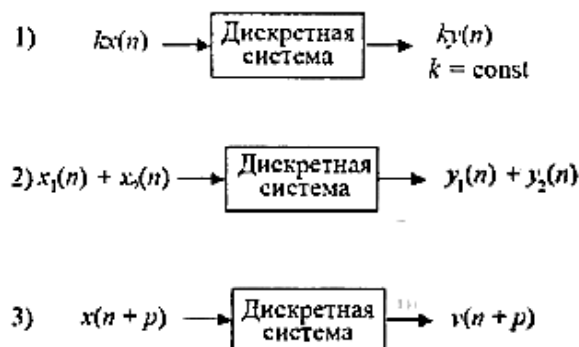
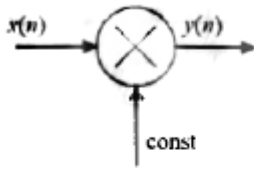
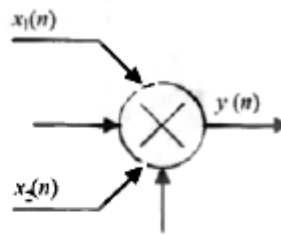


Рис. 1.6 Свойства линейной системы

## Примеры линейных и нелинейных операций



Линейная операция



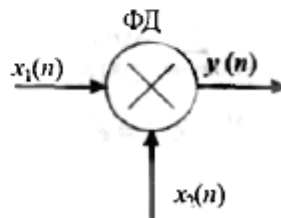
Нелинейная операция

Пример

$$x_1(nT) = A(t) \cos \omega_0 nT$$

$$x_2(nT) = B(t) \cos \omega_0 nT$$

ФД – фазовый детектор



$$x_1(t)x_2(t) = \frac{1}{2}A(t)B(t) + \frac{1}{2}A(t)B(t) \cos 2\omega_0 t.$$

Первое слагаемое является полезной составляющей, содержащей информацию, а второе, нелинейная составляющая, относится к помехам и далее фильтруется (ФНЧ).

Для непрерывной системы импульсная характеристика является откликом на  $\delta$ -функцию. Импульсной характеристикой линейной дискретной системы является отклик на единичный импульс (рис. 1.7).

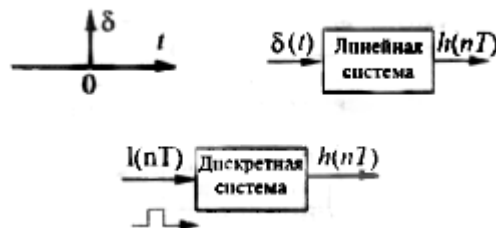


Рис. 1.7. Импульсная характеристика дискретной системы

## Форматы представления данных при обработке

При обработке операндов в ЦСП могут использоваться различные представления чисел: беззнаковые и со знаком, целые и дробные. Также имеется два формата представления данных: с фиксированной точкой и с плавающей.

Для процессоров сигналов использующих формат с фиксированной точкой старший разряд - знаковый. Если в старшем разряде 0, то число положительное,



если 1 - отрицательное. Далее следуют разряды целой части числа и за ними после точки - дробной.

Например,  $11010.10\ 0 \rightarrow -10,5$ . В частном случае данные могут быть целочисленными, тогда формат будет 16.0. Если процессор 16 разрядный, то диапазон знаковых 16 битных значений составляет -32768 до 32767. Например,  $4 + 12 = 16$ ,  $20000 - 30000 = -10000$ ,  $20000 + 30000 = 50000$ . В последнем случае появляется переполнение, процессор должен произвести операцию ограничения результата.

В процессорах удобно чисто дробное представление чисел 1,15 - один разряд знаковый, затем точка и 15 разрядов мантисса (значение чисел  $\pm 1$ ).

Такое представление удобно для уменьшения вероятности переполнения при вычислениях. Смещение разрядов при вычислениях устраняется операцией сдвига. Вычисления со знаковыми операндами проводятся в виде дополнения до 2-х (в дополнительном коде).

В формате с плавающей точкой двоичное число  $X$  представляется в виде произведения двух чисел со знаком - мантиссы и экспоненты  $X = M2^n$ ,

где  $M$  - мантисса (дробная часть);  $n$  - порядок; 2 - основание двоичной системы.

Мантисса не должна превышать 1. Экспонента определяет диапазон, а мантисса точность чисел. Отрицательные числа имеют мантиссу со знаком (старший разряд). Числа представляются в нормализованном виде, например. 60 как  $0,6 \times 10^2$ ,  $0,0015 - 0,15 \times 10^{-2}$ . В памяти данных хранятся мантисса со знаком и порядок со знаком. При 32-разрядном процессоре число занимает 4 байта. Старший разряд определяет знак мантиссы, 23 следующих разряда занимает мантисса и 8 младших разрядов содержат знак экспоненты и показатель (7 разрядов). Числа имеют диапазон от  $-2 * N^{127}$  до  $+(2^{23-1}) * N^{127}$ , а дроби  $+1 * N^{127}$  где  $N = 2$ .

При перемножении

$$C = A * B = M_1 * M_2 * 2^{n_1+n_2}.$$

При сложении, если  $A > B$ , то

$$C = A+B = (M_1+M_2 * 2^{n_1-n_2}) * 2^{n_1},$$

если же  $B > A$ , то

$$C = A + B = (M_1 * 2^{n_2-n_1} + M_2) * 2^{n_2}$$

При обработке сигналов реализация многих алгоритмов заключается в умножении-накоплении (типовая операция MAC - перемножить и сложить с предыдущим результатом).

## 1.2 Основные понятия, виды архитектур, типы микропроцессоров

Поначалу процессоры имели системы команд, сформированные их разработчиками на основе анализа задач той проблемной ориентации, для решения которых создавался компьютер. Критерием оптимизации предлагаемой системы команд была минимизация длины программ для решения требуемых задач. При этом вводились команды, которые использовали в качестве операндов регистры и ячейки памяти, сложные схемы формирования адресов с использованием индексных регистров для выполнения в одной команде как обработки операндов, так и модификации адресов для выполнения следующей команды. Анализ кода программ, генерируемого компиляторами языков высокого уровня, показал, что практически используется только ограниченный набор простых команд форматов "регистр <- регистр, регистр", "память <— регистр" и "регистр память". Компиляторы не в состоянии эффективно использовать сложные команды. Это наблюдение способствовало формированию концепции процессоров с сокращенным набором команд, так называемых RISC-процессоров [4].

Другим обстоятельством, фактически приведшим к появлению RISC-процессоров, было развитие архитектуры конвейерных процессоров типа Cray [6]. В этих процессорах используются отдельные наборы команд для работы с памятью и отдельные наборы команд для преобразования информации в регистрах процессора. Каждая такая команда единообразно разбивается на небольшое количество этапов с одинаковым временем исполнения (выборка команды, дешифрация команды, исполнение, запись результата), что позволяет построить эффективный конвейер процессора, способный каждый такт выдавать результат исполнения очередной команды.

Однако конвейерность исполнения команд породила проблемы, связанные с зависимостями по данным и управлению между последовательно запускаемыми в конвейер командами. Например, если очередная команда использует результат предыдущей, то ее исполнение невозможно в течение нескольких тактов, необходимых для получения этого результата. Похожие проблемы возникают при исполнении команд перехода по условию, когда данные, по которым производится переход, к моменту дешифрации команды условного перехода еще не готовы.

Эти проблемы решаются либо компилятором, устанавливающим очередность запуска команд в конвейере и вставляющим команды "нет операции" при невозможности запуска очередной команды, либо специальной аппаратурой процессора, отслеживающей зависимости между командами и устраняющей конфликты.

Процессоры могут быть разбиты на два класса: RISC-процессоры компьютеров с сокращенным набором команд (Reduced Instruction Set Computer) и CISC-процессоры со сложным набором команд (Complex Instruction Set Computer).

Процессоры первого класса имеют команды обработки типа "регистр  $\leftarrow$  регистр, регистр" и команды сохранения (store) и загрузки (load) типа "память  $\leftarrow$  регистр" и "регистр  $\leftarrow$  память" соответственно. Функциональные преобразования могут выполняться только над содержимым регистров, а результат помещается также в регистр.

Как правило, в CISC-процессорах команды имеют много разных форматов и требуют для своего представления различного числа ячеек памяти. Это обуславливает определение типа команды в ходе ее дешифрации при исполнении, что усложняет устройство управления процессора и препятствует повышению тактовой частоты до уровня, достижимого в RISC-процессорах на той же элементной базе.

Очевидно, что RISC-процессоры эффективны в тех областях применения, в которых можно продуктивно использовать структурные способы уменьшения времени доступа к оперативной памяти. Если программа генерирует произвольные последовательности адресов обращения к памяти и каждая единица данных используется только для выполнения одной команды, то фактически производительность процессора определяется временем обращения к основной памяти. В этом случае использование сокращенного набора команд только ухудшает эффективность, т. к. требует пересылки операндов между памятью и регистром вместо выполнения команд типа "память  $\leftarrow$  память, память". Программист должен учитывать необходимость локального размещения обрабатываемых данных, чтобы при пересылках между уровнями памяти по возможности все данные пересылаемых блоков данных принимали участие в обработке. Если программа будет написана так, что данные будут размещены хаотично и из каждого пересылаемого блока данных будет использоваться только небольшая их часть, то скорость обработки замедлится в несколько раз, до скорости работы основной памяти. В качестве примера приведем в табл. 1.1 результаты замеров производительности микропроцессора Alpha 21066 233 МГц при реализации преобразования Адамара при  $n=8-20$ .

Таблица 1.1

Производительность микропроцессора Alpha 21066  
при выполнении преобразования Адамара

n	Производительность в условных алгоритмических операциях, млн оп/с
8	150
10	133
11	73
>12	20

Приведенный пример показывает, что, пока данные размещаются во внутрикристалльной кэш-памяти, производительность высока. Как только объем данных превышает размер кэш-памяти и обращения в память идут в "равно-

мерно" распределенные по объему адреса, производительность падает более чем в 7 раз.

Развитие микропроцессоров происходит при постоянном стремлении сохранения преемственности программного обеспечения (ПО) и повышения производительности за счет совершенствования архитектуры и увеличения тактовой частоты. Сохранение преемственности ПО и повышение производительности, вообще говоря, противоречат друг другу. Так, например, процессоры с системой команд x86, относящиеся к классу CISC-процессоров вплоть до Pentium Pro, имели более низкие тактовые частоты по сравнению с микропроцессорами ведущих компаний — производителей RISC-процессоров, изготавливаемых по одним и тем же технологическим нормам. Для этих процессоров существовали приложения, на которых производительность x86 микропроцессоров была значительно ниже, чем у RISC- процессоров, реализованных на той же элементной базе. Однако возможность использования совместимого ПО для различных поколений x86 процессоров обеспечивала им устойчивое доминирующее положение на рынке.

Повышение производительности микропроцессоров достигается за счет увеличения тактовой частоты, совершенствования параллельной и конвейерной обработки данных, а также уменьшения времени доступа к памяти. В настоящее время возможно проектирование микропроцессоров с несколькими сотнями миллионов транзисторов на кристалле. Уверенно просматривается перспектива увеличения количества транзисторов до миллиарда [9]. Возросший объем транзисторов может быть использован для построения функциональных устройств микропроцессора или для увеличения объема внутри кристалльной кэш-памяти или для того и другого. Возможно также создание новых классов кристаллов — однокристалльных параллельных систем.

Прирост объема кэш-памяти дает эффект лишь до определенного объема, пока удастся локализовать блоки исполняемого кода и блоки данных. Если, например, имеется большой объем данных, превышающий возможный размер кэш-памяти, и адреса обрабатываемых данных вырабатываются в ходе вычислений, то кэш память будет только постоянно обновлять запрошенные строки, что приведет к потере производительности.

Память представляет собой ресурс, не производящий непосредственно вычислений, поэтому привлекательным выглядит использование ресурса транзисторов кристалла для построения совокупности функциональных устройств. Основное препятствие на пути повышения производительности за счет увеличения количества функциональных устройств — это загрузка устройств полезной работой.

### **Суперскалярные процессоры и процессоры с длинным командным словом**

Современные микропроцессоры содержат десять и более обрабатывающих устройств, каждое из которых представляет собой конвейер. В случае эффек-

тивной загрузки параллельно функционирующих устройств возможно получение в одном такте нескольких результатов операций, представленных скалярами: целочисленными операндами или операндами с плавающей точкой.

Эффективная загрузка параллельно функционирующих конвейеров обеспечивается либо аппаратурой процессора, либо компилятором, на вход которого поступают программы на традиционном последовательном языке программирования либо совместно аппаратурой и компилятором.

В компиляторах используется изоцированная техника извлечения параллелизма из последовательных программ. Аппаратура микропроцессоров ориентирована на выделение более простых форм параллелизма, в том числе естественного.

Есть два крайних подхода, при возможных промежуточных, к отображению присущего микропроцессору внутреннего параллелизма обработки данных на архитектурном уровне в системе команд. Первый подход более консервативен и состоит в том, что никакого указания на параллельную обработку внутри процессора система команд не содержит. Такие процессоры относятся к классу *суперскалярных*. Такое название, с одной стороны, отличает эти процессоры от векторных процессоров, с другой стороны, подчеркивает присущий этим процессорам внутренний параллелизм, обеспечивающий получение в одном такте нескольких скалярных результатов.

Второй подход, напротив, полностью открывает пользователю все возможности параллельной обработки. В специально отведенных полях команды каждому из параллельно работающих обрабатывающих устройств предписывается действие, которое устройство должно совершить. Такие процессоры называются *процессорами с длинным командным словом (VLIW)*. Предполагается, что существуют компиляторы с языков высокого уровня, которые готовят программы для загрузки их в микропроцессоры.

Суперскалярные и VLIW-процессоры принадлежат классу архитектур, которые используют параллелизм уровня команд (ILP).

С целью достижения большей эффективности современные процессоры пытаются выполнять несколько команд одновременно и, в некоторых случаях, в порядке, отличном от их исходной последовательности в программе. Это переупорядочение может быть выполнено в трансляторе и (или) в аппаратных средствах во время выполнения.

ILP-процессоры и компиляторы обычно преобразуют полностью упорядоченное множество команд исходной программы в частично упорядоченное множество, структурированное зависимостями по данным и управлению. Зависимости по управлению (которые проявляются как переходы по условию) представляют главное препятствие высокопараллельному выполнению потому, что эти зависимости должны быть установлены прежде, чем будут выполнены все последующие команды.

Текст последовательной программы, представленной на языке высокого уровня, компилируется в машинный код, отражающий статическую структуру программы, т.е. упорядоченное множество команд (инструкций) в памяти

компьютера. Процесс выполнения программы с конкретными наборами входных данных может быть представлен динамической структурой программы, т. е. множеством последовательностей команд в порядке их исполнения.

Повысить степень параллелизма программы можно, изменяя соответствующим образом ее статическую или динамическую структуру. Поскольку статическая структура программы однозначно соответствует ее исходному тексту (в предположении неизменности компилятора), то изменение статической структуры сводится к изменению исходного кода, что, в общем случае, не всегда возможно. Динамическая же структура программы может быть изменена при неизменной статической структуре. И главной целью такого изменения должно быть повышение степени параллельного исполнения команд.

Допустимые границы преобразования динамической структуры программы задают существующие на множестве инструкций отношения: зависимость по управлению и зависимость по данным. При описании архитектур суперскалярных процессоров используется модель окна исполнения. При исполнении программы микропроцессор как бы продвигает по статической структуре программы окно исполнения, тем самым ограничивая совокупность команд, которые рассматриваются на предмет наличия между ними зависимостей по данным и управлению. Команды в окне могут исполняться параллельно, если между ними нет зависимости.

Для устранения зависимостей, вызванных командами переходов, используется метод предсказания, позволяющий извлекать и условно исполнять команды предсказанного перехода. Если позднее обнаруживается, что предсказание было сделано верно, результаты условно исполненных команд принимаются. Если предсказание было ошибочным, состояние процессора восстанавливается на момент принятия решения о выполнении перехода.

Команды, помещенные в окно исполнения, могут быть зависимы по данным. Эти зависимости обусловлены использованием одних и тех же ресурсов памяти (регистров, ячеек памяти) в разных командах. Поэтому для правильного исполнения программы необходимо использование этих ресурсов в предписываемом программой порядке.

Все виды зависимостей по данным могут быть классифицированы по типу ассоциаций: RAR — "чтение после чтения", WAR — "запись после чтения" и WAW — "запись после записи", RAW — "чтение после записи".

Пример различных зависимостей команд по данным показан на рис. 1.8.

Некоторые из зависимостей по данным могут быть устранены. RAR, по сути дела, соответствует отсутствию зависимостей, поскольку в данном случае порядок выполнения команд не имеет значения. Действительной зависимостью является только "чтение после записи" (RAW), т.к. необходимо прочитать предварительно записанные новые данные, а не старые.

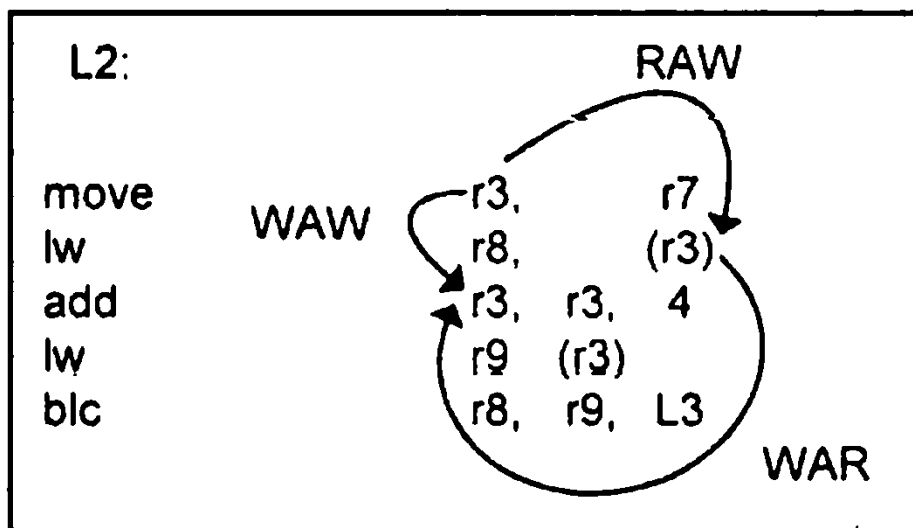


Рис. 1.8. Зависимости команд по данным

Лишние зависимости по данным появляются в результате "записи после чтения" (WAR) и "записи после записи" (WAW). Зависимость WAR состоит в том, что команда должна записать новое значение в ячейку памяти или регистр, из которых должно быть произведено чтение. Лишние зависимости появляются по нескольким причинам: неоптимизированный программный код, ограничение количества регистров, стремление к экономии памяти, наличие программных циклов. Важно отметить, что запись может быть произведена в любой свободный ресурс, а не только тот, который указан в программе.

После удаления лишних зависимостей по управлению и данным команды могут исполняться параллельно. Формирование расписания параллельного выполнения команд возлагается на аппаратные средства микропроцессора. Это расписание учитывает существующие зависимости между командами и имеющиеся функциональные модули процессора.

В современных микропроцессорах широко используется принцип конвейерного выполнения отдельных элементарных операций. Конвейеризация внутренних процессов позволяет получать результат в каждом процессорном такте.

Стремление использовать присущий большинству программ естественный параллелизм вычисления целочисленных адресных выражений и собственно обработки данных в формате с плавающей точкой привело к появлению разнесенных архитектур (decoupled architecture) [11].

В первом приближении микропроцессор с разнесенной архитектурой, как показано на рис. 1.9, состоит из двух связанных подпроцессоров, каждый из которых управляется собственным потоком команд.

Условно эти подпроцессоры называются адресным А-процессором и исполнительным Е-процессором. А- и Е-процессоры имеют собственные наборы регистров  $A_0, A_1, \dots$  и  $X_0, X_1, \dots$  соответственно и наборы команд. А-процессор выполняет все адресные вычисления и формирует обращения к памяти по чтению и записи, он является обыкновенным целочисленным

процессором, поэтому способен осуществлять произвольные целочисленные преобразования, не связанные с вычислением адресов. Е-процессор реализует вычисления с плавающей точкой.

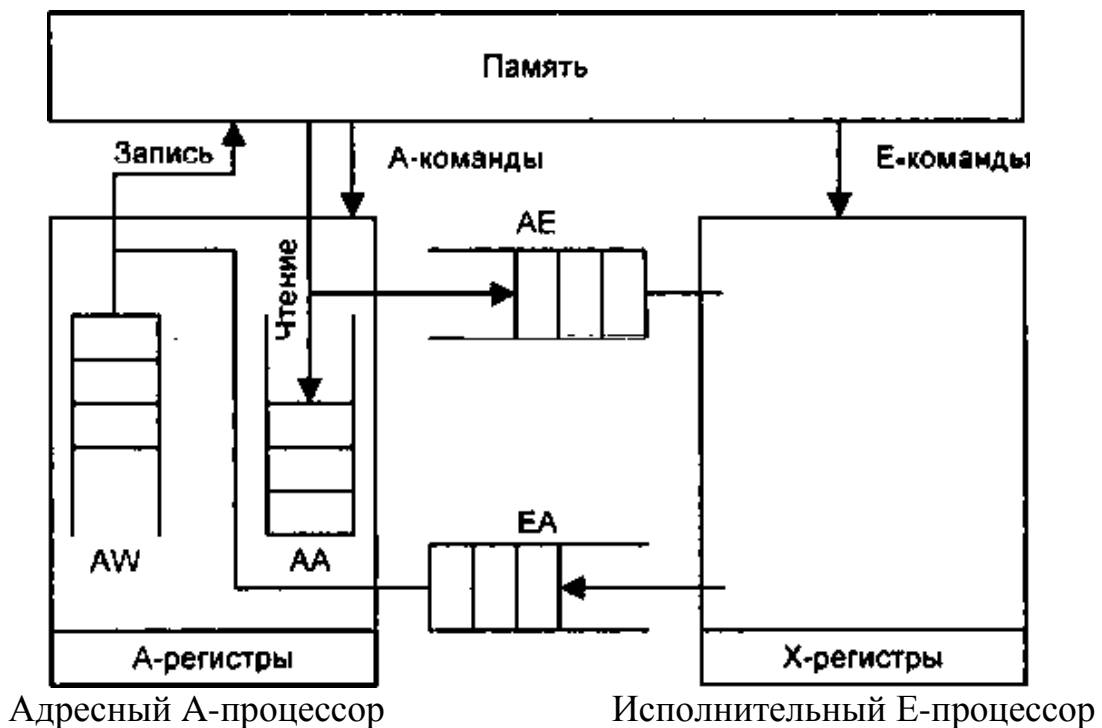


Рис. 1.9. Микропроцессор с разнесенной архитектурой

Данные, извлекаемые из памяти, используются либо в А-процессоре, будучи помещенными в FIFO-очередь АА, либо помещаются в FIFO-очередь, называемую АЕ-очередью, для отсылки в Е-процессор. Когда Е-процессору требуются данные из памяти, он берет их из очереди АЕ. Если очередь пуста, Е-процессор задерживается до поступления данных, что решает вопросы синхронизации работы А- и Е-процессоров. Если Е-процессор выработал данные, которые должны быть отправлены в память, то он помещает их в FIFO-очередь ЕА.

При записи данных в память после вычисления адреса А-процессор сразу отправляет адрес в FIFO-очередь АВ адресов записи в память, не дожидаясь, пока данные поступят в очередь ЕА. А-процессор группирует пары, выбирая первые элементы очередей ЕА и АВ и отправляя эти пары в память. Естественно, если одна из очередей или обе пусты, то отсылка в память приостанавливается.

При чтении данных А-процессор отправляет адреса в память с указанием очередей АА или АЕ, в которые должны быть считаны данные из памяти.

Разнесенная архитектура позволяет достигать при скалярной обработке производительности, характерной для векторных процессоров, за счет



предвыборки данных из памяти и автоматической развертки нескольких последовательных витков цикла в А-процессоре. Проблемы расщепления программы на программы для А- и Е-процессоров решаются на уровне компилятора или специальным блоком-расщепителем.

Основная идея, определяющая развитие суперскалярных микропроцессоров [12], состоит в построении микропроцессоров с как можно большим количеством функциональных устройств при сохранении традиционных последовательных программ. Это означает, что компиляторы и аппаратура микропроцессора сами, без вмешательства программиста, обеспечивают загрузку параллельно работающих функциональных устройств микропроцессора.

Типовая архитектура суперскалярного микропроцессора представлена на рис. 1.10.

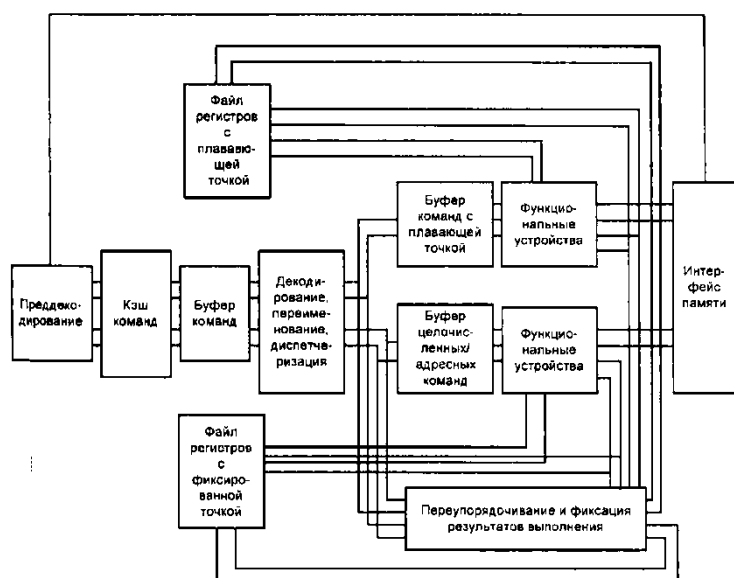


Рис. 1.10. Архитектура суперскалярного микропроцессора

В число основных блоков суперскалярного микропроцессора входят: блок выборки команд и предсказания переходов, блок декодирования команд, анализа зависимостей между командами, переименования и диспетчеризации, блоки регистров и обрабатывающих устройств с плавающей и фиксированной точками, блок управления памятью, а также блок упорядочения выполненных команд.

Поскольку при суперскалярной обработке необходимо извлекать из памяти несколько команд за один такт для загрузки параллельно работающих функциональных модулей, повышенные требования предъявляются к пропускной способности интерфейса микропроцессор—память. В современных микропроцессорах применяются многоуровневые отдельные типы кэш-памяти данных и команд.

Серьезную проблему для эффективной загрузки функциональных устройств представляют команды ветвления. Если требуется осуществить смену значения счетчика команд, то необходимо, по крайней мере, один такт для распознавания команды ветвления, модификации счетчика команд и выборки команды по заданному значению счетчика команд. Эти задержки вызывают пустые такты в конвейерах процессора.

Для предотвращения появления пустых тактов возможно использование "отложенных переходов", когда одна или несколько команд после команды ветвления выполняются безусловно.

Более сложные решения используют:

- предсказание переходов;
- выполнение с изменением порядка следования команд;
- условное (предикативное) исполнение.

При предсказании переходов, не дожидаясь определения команды, на которую должен быть сделан переход, начинается выборка и исполнение команд по предсказанному направлению перехода или условное исполнение команд.

В случае ошибки предсказания необходимо уничтожить все результаты работы неверно выбранных команд. Количество потерянных при этом тактов процессора зависит от глубины конвейеров функциональных устройств и их числа. В современных микропроцессорах число теряемых в результате неверного предсказания тактов может быть несколько сотен. Кроме того, объем аппаратных средств, используемых для устранения последствий неправильных предсказаний, достаточно велик и может негативно влиять на повышение тактовой частоты микропроцессора.

Изменение порядка следования команд имеет целью загрузить работой простаивающие функциональные устройства при выхватывании из потока тех команд, для которых имеются готовые операнды и свободные устройства для их исполнения. Однако при этом должны исследоваться зависимости между командами по регистровым и другим используемым ресурсам. Определение отсутствия зависимости должно делаться быстро, т.к. иначе теряется смысл изменения порядка выполнения команд.

Для оптимизации исполняемого программного кода может быть применена кэш-память трасс [13]. Эта память отображает команды, выбираемые из кэш-памяти команд микропроцессора, в физически непрерывную область памяти команд. Поток команд, заполняющих кэш-память трасс, подвергается оптимизации с целью повышения эффективности исполнения уже выполненной трассы команд при повторных ее выборках. Трасса оптимизируется на фоне исполнения ее команд процессором.

Для уменьшения потерь процессорных тактов, связанных с промахами при обращении к кэш-памяти в случае выполнения команд ветвления, в состав системы кэширования вводятся средства предсказания переходов, основное назначение которых — повысить вероятность наличия в кэш-памяти требуемой

команды.

Исполнение условных переходов состоит из следующих этапов:

- распознавание команды условного перехода;
- проверка выполнения условия перехода;
- вычисление адреса перехода;
- передача управления в случае перехода.

На каждом этапе используются специальные приемы повышения производительности.

Этап 1. Для быстрого декодирования используются либо дополнительные биты в поле команды, либо преддекодирование команд при выборе из кэш-памяти команд.

Этап 2. Часто, когда команда уже выбрана из кэш-памяти, условие перехода еще не вычислено. Чтобы не задерживать поток команд, в данном случае используется предсказание перехода по одной из нескольких возможных схем. Некоторые предсказатели используют статическую информацию из двоичного кода программы или специально выработанную компилятором. Например, определенные коды операций чаще вырабатывают ветвление, чем другие коды, или ветвление более вероятно (при организации циклов), или компилятор может устанавливать флаг, указывающий направления перехода. Может также использоваться статистическая информация, полученная при трассировке программы.

Другие предсказатели используют динамически формируемую информацию в процессе исполнения программы. Обычно это информация, касающаяся истории выполнения данного ветвления, сохраняемая в таблице ветвлений или в таблице предсказаний ветвлений. Таблица предсказания ветвлений организуется по ассоциативному принципу, подобно кэш-памяти, ее элементы доступны по адресу команды, ветвление которой предсказывается. В некоторых реализациях элемент таблицы предсказания ветвления является счетчиком, значение которого увеличивается при правильном предсказании и уменьшается при неправильном. При этом значение счетчика определяет преобладающее направление ветвлений.

В момент определения действительного значения условия ветвления вносится изменение в историю ветвления. Если предсказание было неверным, то должна инициироваться выборка правильных команд. Результаты команд, которые были условно выполнены, должны быть аннулированы.

Этап 3. Для определения адреса ветвления обычно требуется выполнить целочисленное сложение, прибавляющее к текущему значению счетчика команд смещение, заданное в поле команды ветвления. И хотя это не требует дополнительных тактов для обращения к регистрам, ускорение вычисления адреса может быть достигнуто благодаря использованию буфера, содержащего ранее использованные адреса переходов.

Альтернатива суперскалярной обработке — длинное командное слово (VLIW-Very Long Instruction Word). Использование этого метода предполагает

задание в командном слове совокупности параллельно выполняемых команд. Подготовкой таких программ занимается компилятор.

В рамках архитектуры IA-64 [5], разрабатываемой Intel и HP, организация длинных команд базируется на связках (bundle) команд, формируемых из трех команд и специального поля шаблона (template).

Возможные варианты связки из трех команд:

- $i1 \parallel i2 \parallel i3$  — все команды  $i1, i2, i3$  исполняются параллельно;
- $i1 \& i2 \parallel i3$  — сначала команда  $i1$ , затем исполняются параллельно  $i2$  и  $i3$ ;
- $i1 \parallel i2 \& i3$  — параллельно исполняются  $i1$  и  $i2$ , после них команда  $i3$ ;
- $i1 \& i2 \& i3$  — последовательно исполняются команды  $i1, i2, i3$ .

Поле шаблона используется для управления исполнением команд связки и организации суперсвязок, формируемых из нескольких соседних связок. Шаблон указывает, какие команды связки или соседних связок могут исполняться параллельно на разных функциональных устройствах. Например, на рис. 1.11 представлена суперсвязка из восьми целочисленных команд.

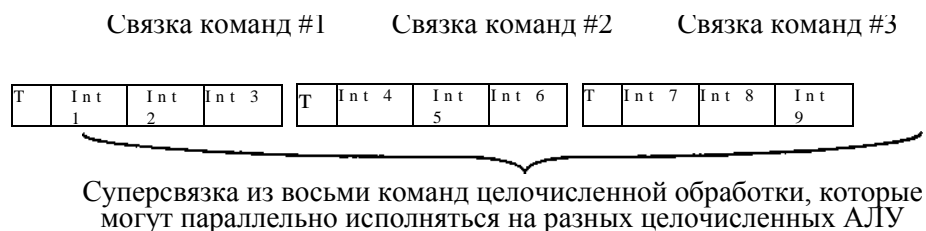


Рис. 1.11. Суперсвязка команд

Шаблон связки создается при компиляции программы, и в него помещается вся информация по управлению параллельным выполнением команд. При этом в зависимости от числа требуемых функциональных устройств все восемь команд могут исполниться либо за один такт параллельно, либо за два такта по четыре команды за такт, либо как-то иначе.

Формат команды IA-64 включает: код команды, три 7-разрядных поля операндов, 1 приемник и 2 источника (операндами могут быть только регистры), особое поле для арифметических операций с плавающей и фиксированной точками, а также специальное 6-разрядное предикатное поле.

Эффективность загрузки функциональных устройств в процессорах с длинным или очень длинным командным словом (LIW/VLIW — long/very long instruction word) достигается за счет механизма условного (предикативного) исполнения команд и предвыборки команд.

Механизм условного исполнения команд базируется на введении в команды специального предикатного поля. Условное выполнение команд исключает необходимость использования команд условных переходов. Вместо команды перехода и двух альтернативных ветвей, одна из которых выполняется в зависимости от значения предиката команды перехода, отдельной специальной командой вычисляется тот же предикат, что и в команде перехода, и его

значение сохраняется в специальном предикатном регистре. Команды одной альтернативной ветви используют значение  $U$  вычисленного предиката, а команды другой альтернативной ветви используют предикат со значением "не  $U$ ". Команды обеих ветвей запускаются на исполнение, но результативное исполнение будет только у команд со значением предиката "истина". Подобные действия по замене команд перехода на команды условного выполнения носят название "преобразование if" и выполняются компилятором. В листинге 1.1 слева приведен фрагмент программы с использованием команд перехода, а справа соответствующий ему преобразованный фрагмент программы с применением условных команд и команд вычисления предикатов.

### Листинг 1.1

if (a <- 10)	pred_lt p1(-U), a, 10
c = c+1	add c, c, 1 (p2)
else if (b > 20)	pred_gt p3(-U), b, 20
d = d+1	add d, d, 1 (p4)
else e = e+1	add e, e, 1 (p3)

Соответствующая граф-схема фрагмента программы представлена на рис. 1.12.

Использование условных команд упрощает загрузку функциональных устройств микропроцессора, перенося проблемы формирования условных команд на стадию компиляции программ. Однако эффективная поддержка условного выполнения команд требует обеспечения следующих механизмов:

- введения специального поля команды для указания предикатного операнда;
- введения предикатного регистрового файла;
- исключения результатов команд со значением предикатного операнда "ложь";
- выделения множества условных команд.
-

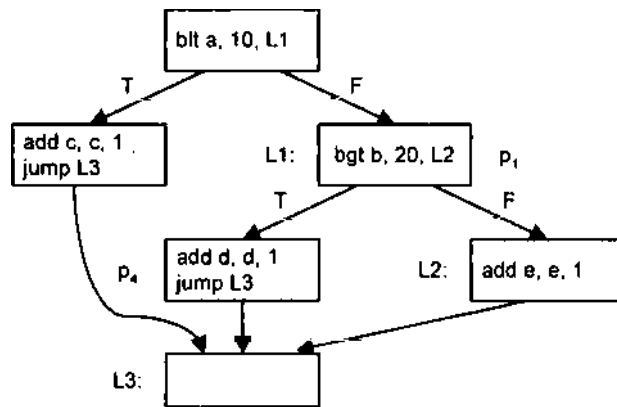


Рис. 1.12. Граф-схема фрагмента программы, приведенного в листинге 1.1

Одним из приемов борьбы с удлинением командного слова служит ограничение типов команд, допускающих условное исполнение только теми командами, форматы которых имеют поля для размещения предиката. Например, допускается условное исполнение только команд пересылки MOV. Для этого вводится специальный формат CMOV условной пересылки.

В разной степени условные команды используются в таких микропроцессорах, как Alpha, Advanced RISC Machines ARM, Philips TriMedia, MIPS R4000, Sun SPARC, TMS 320 C6xx и в архитектуре x86. Intel ввела команду CMOV в свои микропроцессоры Pentium Pro и Pentium II в 1995 году. Эти команды появились в микропроцессорах Sun SPARC, DEC Alpha, R 4000 в 1991, 1992, 1995 годах соответственно.

Современные процессоры используют условные команды с различными ограничениями. Так, одни ограничиваются только условными пересылками. Другой подход реализован в микропроцессоре ARM: все команды условные и могут использовать 16 предикатов, однако не допускается вложенных предикатов условных команд.

В качестве предикатных регистров могут использоваться как специально выделенные для этого регистры, так и регистры общего назначения. В последнем случае, вообще говоря, может возникнуть проблема недостатка регистров. Кроме того, значения предикатных регистров должны считываться наряду с другими операндами программы, что ведет к увеличению числа портов регистрового файла. Поэтому введение отдельного предикатного файла вполне оправдано.

Конечно, предпочтительным использованием условных команд служит распараллеливание коротких альтернативных ветвей.

При выполнении циклов, организованных с применением команды перехода с заранее известной передачей управления на начальную команду, с заданным большим числом повторений (например, порядка тысячи) команд, тела цикла могут без потери эффективности использоваться традиционные команды перехода. Кроме того, команды перехода необходимы для выполнения

редко используемых блоков программного кода, связанных, например, с обработкой исключительных ситуаций.

Введение условных команд требует оборудования для задания предикатов и работы с ними. Но в условиях относительного избытка обрабатываемых устройств, которые все равно нет возможности загрузить непосредственно вычислениями, использование этих устройств для вычисления предикатов служит общему повышению производительности микропроцессора.

Использование условных команд вводит в микропроцессоры элементы ассоциативной обработки данных, что, вообще говоря, при развитии логики работы с предикатами может существенно повлиять на стиль разработки и исполнения программ.

В рамках архитектуры NArch, разработанной в Московском центре "СПАРК-технологий", предлагается [7] использовать условные команды и аппаратную поддержку их исполнения. Предусматриваются специальный файл предикатных регистров и специальное функциональное устройство, позволяющее в одном такте вычислять до трех предикатов. В совокупности с предикатами, вычисляемыми в арифметических устройствах процессора, общее число вычисляемых за один такт предикатов может достигать шести.

Предикаты бывают первичные и вторичные, вычисляемые с использованием первичных предикатов. Примеры первичных предикатов [7] приведены в листинге 1.2.

### Листинг 1.2

```
int  a,  b;
    float c, d;
    if (a==b)           0: cmp_eq %r1, %r2, %p1
    if (c<=d)           n: fcmp_le %r3, %r4, %p2
```

Переменные a, b, c, d размещены изначально в регистрах %r1, %r2, %r3, %r4 соответственно. Значения предикатов записываются в регистры %p1 и %p2 предикатного файла.

Возможности вычисления сложных предикатов с получением за такт трех значений предикатов демонстрируются в листинге 1.3.

### Листинг 1.3

```
    if (a==b && c<d ||
    a !=b && c<=d)           0: cmp_eq %r1, %r2, %p1
                                cmpl %r3, %r4, %p2
                                cmp_le %r3, %r4, %p3
    1:land %p1,%p2, %p4
                                land !%p1/%p2, %p5
                                land !%p4,!%p5, %p6
```

В листинге 1.3. символ ! обозначает логическое "не", а операция логическое "или" реализуется как операция логического "и" (**land**) над инвертированными операндами в специальном функциональном устройстве. Таким образом, сложный предикат вычисляется за два такта.

Характер компилируемого в архитектуре NArch кода демонстрируется в листинге 1.4.

#### Листинг 1.4

```
int a, b, c, d, x;
if (a==b && c==d)      0:      cm   %   %   %
x++;                  cm   %   %   %
                      1:      lan  %   %   %
                      2:      no
                      3:      add  %   ,   ?
```

Символ ? предшествует предикату условно выполняемой команды.

В [18] утверждается, что за счет полной аппаратной поддержки условных команд при реализации архитектуры NArch на шести тестах из SPEC-92, характеризуемых множеством коротких линейных участков кода и команд перехода с короткими альтернативными ветвями, удается достичь повышения производительности в среднем на 23%.

Независимо от того, выбраны команды на исполнение в суперскалярном микропроцессоре или микропроцессоре с длинным командным словом, далее происходит их декодирование и подготовка ресурсов для их исполнения. На этой фазе определяются существенные зависимости (RAW) по данным между командами и преодолеваются несущественные (WAW, WAR), производится распределение команд по буферам команд функциональных устройств.

При декодировании команды создается одна или несколько упорядоченных троек, каждая из которых включает:

- исполняемую операцию;
- указатели на операнды;
- указатель на место помещения результата.

Для преодоления лишних WAR- и WAW-зависимостей, возникающих в результате ограниченности логических ресурсов (ячеек памяти, регистров), используется механизм динамического отображения определяемых текстом программы логических ресурсов на физические ресурсы микропроцессора. При данном подходе с одним логическим ресурсом может быть связано несколько значений в различных физических ресурсах, каждое из которых соответствует значению логической величины в один из моментов времени последовательного выполнения программы.

Когда команда создает новое значение для логического регистра, физический ресурс, в который помещается это значение, получает имя. Последующие команды, использующие это значение, снабжаются именем физического ресурса. Данная процедура называется "переименованием регистров".



Используются два основных способа переименования.

В первом физический файл регистров больше логического. При необходимости переименования из списка свободных физических регистров берется один, и ему сопоставляется соответствующее логическое имя. Если список свободных регистров пуст, диспетчеризация команд приостанавливается до момента появления свободных физических регистров.

Рассмотрим пример реализации данного способа переименования. Пусть требуется выполнить команду `sub r3, r3, 5` (из значения регистра `r3` вычесть константу `5` и поместить результат в регистр `r3`). Логические имена регистров начинаются со строчной буквы, а физические — с прописной. Пусть также в момент исполнения команды в таблице регистру `r3` соответствует `R1`. Первым регистром в списке свободных пусть является `R2`. Поэтому в поле результата команды `sub r3, r3, 5` регистр `r3` заменяется на `R2`. Исполнимая команда приобретает вид `sub R2, R1, 5`. Любая следующая за `sub` команда, использующая ее результат, должна использовать в качестве операнда `R2`.

Остается вопрос о возвращении физических регистров в список свободных после того, как из них считаны данные в последний раз. Один из способов связывает счетчик с каждым физическим регистром. Счетчик увеличивается при каждом переименовании операнда в командах, использующих этот физический регистр. Соответственно, при использовании операнда значение счетчика уменьшается на 1. При достижении счетчиком нуля физический ресурс должен быть переведен в список свободных.

Второй способ переименования использует одинаковое число логических и физических регистров и поддерживает их однозначное соответствие. В дополнение имеется буфер с одним входением для каждой инициированной на исполнение команды. Этот буфер называется "переупорядочивающим", т. к. он используется также для установления порядка команд при прерываниях. Данный буфер можно рассматривать как FIFO-очередь, выполненную в виде кольцевого буфера с указателями "начало" и "конец".

Команды помещаются в конец буфера. По завершении команды ее результат заносится в заранее предписанный ей элемент очереди, независимо от места в очереди, занимаемого этим элементом. К моменту достижения командой начала буфера, если она была исполнена, ее результат помещается в регистровый файл, а сама команда удаляется. Команда, находящаяся в буфере и не исполненная в виду отсутствия значения операнда, остается в нем вплоть до получения этого значения. Одновременно может выбираться из очереди или помещать в нее несколько команд, однако, всегда соблюдается дисциплина FIFO.

Значение логического регистра может быть размещено либо в физическом регистре, либо в переупорядочивающем буфере. В момент декодирования команды значению ее результата сопоставляется соответствующая результату позиция упорядоченной тройки команды в элементе переупорядочивающего буфера, в котором размещается рассматриваемая декодированная команда, и

делается отметка в таблице соответствия значений, которая указывает, что значение результата может быть найдено в соответствующем элементе буфера. Поля источников и результата команды используются для доступа к полям таблицы. Таблица показывает, что соответствующий регистр содержит требуемую величину, либо она может быть найдена в переупорядочивающем буфере. Когда переупорядочивающий буфер полон, диспетчеризация команд приостанавливается.

Рассмотрим выполнение переименования на примере команды `sub r3, r3, 5`. Пусть значение `r3` находится или будет находиться в переупорядочивающем буфере в элементе 6. Регистр `r3` как источник заменяется на соответствующее поле результата элемента 6 буфера. Команда помещается в конец переупорядочивающего буфера, например в элемент 7. Этот номер затем записывается в таблицу для использования командами — потребителями результата. Следует заметить, что переупорядочивающий буфер фактически вводит потоковую модель вычислений по готовности операндов.

Независимо от способа переименования в суперскалярном процессоре устраняются лишние зависимости по данным.

Проблемы конфликтов при доступе к разделяемому ресурсу — ячейкам памяти, по сути, те же, что и при доступе к регистрам.

Для вычисления адреса памяти, как правило, требуется, по крайней мере, одно сложение. После вычисления адреса может понадобиться его преобразование в физический адрес, осуществляемое буфером истории трансляции адресов (TLB).

#### Исполнение команд

После формирования для каждой команды упорядоченных троек, состоящих из кода операции, физических операндов-источников и физического операнда-результата, а также размещения их в буферах, наступает фаза динамической проверки готовности значений операндов для исполнения команды.

В идеале команда готова к исполнению, как только готовы ее входные операнды. Однако есть ряд ограничений, связанных с доступностью физических ресурсов, таких как исполнительные устройства, коммутаторы и порты регистровых файлов (или переупорядочивающего буфера). Для организации окна исполнения используются различные методы: одной очереди, многих очередей или метод резервирующей станции.

Если имеется одна очередь, то переименование регистров не требуется, т. к. доступность значений операндов может отмечаться битом резервирования, сопоставленным каждому регистру. Регистр резервируется, когда модифицирующая его команда назначается на исполнение. И регистр освобождается, когда закапчивается исполнение команды. Если для команды ресурсы не были зарезервированы, то она приостанавливает свое исполнение.

В методе многих очередей каждая очередь организуется для команд одного типа. Например, очередь команд с плавающей точкой или очередь команд работы с памятью.

Третий метод предполагает использование резервирующей станции, состоящей из совокупности элементов, каждый из которых содержит позиции для размещения кода операции, наименования первого операнда, самого первого операнда, признака доступности первого операнда, наименования второго операнда, самого второго операнда, признака доступности второго операнда и наименования регистра результата. Когда команда завершает исполнение и вырабатывает результат, то наименование результата сравнивается с наименованиями операндов в резервирующей станции.

Если в резервирующей станции обнаруживается команда, ждущая этого результата, то данные записываются в соответствующую позицию и устанавливается признак их доступности. Когда у команды доступны все операнды, инициируется ее исполнение. Резервирующая станция следит за доступностью операндов. Когда команда при диспетчеризации попадает в резервирующую станцию, все готовые операнды из регистрационного файла переписываются в поля этой команды. Когда все операнды готовы, команда исполняется. Иногда резервирующая станция содержит не сами операнды, а указатели на них в регистрационном файле или в переупорядочивающем буфере.

### **1.3 Способы оценки производительности процессоров**

#### **Пиковая производительность процессоров**

Пиковое быстродействие достигается при обработке бесконечной последовательности не связанных между собой и не конфликтующих при доступе в память команд (т. е. когда результат любой операции не зависит от действий, выполненных другими командами). При этом в современных компьютерах предполагается, что все операнды выбираются из внутрикристальной кэш-памяти данных, а команды — из кэш-памяти команд. Разумеется, подобная ситуация чисто гипотетическая, и на практике ни один компьютер не в состоянии работать сколько-нибудь длительное время с пиковой производительностью, хотя и может приближаться к этой величине.

Речь идет о тактовой частоте процессора, которая для подавляющего большинства современных компьютеров определяет темп формирования результатов на выходе арифметического конвейера, о числе арифметических конвейеров процессора. Чтобы определить пиковую производительность процессора, надо умножить тактовую частоту на количество параллельно выполняемых операций. При этом надо учитывать архитектурные возможности по совмещению операций, выполняемых в одном такте.

Например, арифметическое устройство Pentium каждый такт может формировать один результат 64-битной операции с плавающей точкой или два 32-разрядных результата целочисленных операций. Следовательно, для Pentium/90 (с тактовой частотой 90 МГц) пиковая производительность равна 90 Mflops (1Mflops =  $10^6$  flops) при выполнении вычислений с плавающей точкой и 180 MIPS (Millions Instructions per Second — миллион команд в секунду) при

целочисленной 32-разрядной обработке.

Другим примером может служить определение пиковой производительности процессоров Intel Itanium и IBM Power 4. Эти процессоры могут в двух устройствах для обработки с плавающей точкой в одном такте одновременно выполнять команду накопления:  $a + b * c$ . Поэтому применительно к ним говорят, что пиковая производительность с плавающей точкой равна учетверенной тактовой частоте. Однако это верно только для случая, если надо выполнять одинаковое количество умножений и сложений, что характерно для многих алгоритмов научно-технических задач, например, при численном решении дифференциальных уравнений. В случае, если надо выполнять только одни сложения или умножения, пиковую производительность этих процессоров следует считать равной удвоенной тактовой частоте.

Современные процессоры, такие как Intel Itanium и IBM Power 4, совмещают выполнение операций с фиксированной и плавающей точкой, поэтому для них производительность в операциях с плавающей точкой соответствует производительности в результатах.

### **Реальная производительность**

При оценке производительности микропроцессоров, как правило, оцениваются не сами микропроцессоры, а компьютеры, построенные на базе этих микропроцессоров. Это обусловлено, в первую очередь, пользовательским подходом к оценке, при котором пользователя интересуют не собственно характеристики процессора, а производительность, которую можно получить при решении задач.

При выполнении реальных прикладных программ эффективная (реальная) производительность компьютера может весьма существенно (до нескольких раз) быть меньше пиковой. Это объясняется тем, что современные высокопроизводительные микропроцессоры имеют сложную архитектуру (конвейерная и суперскалярная обработка, многоуровневая память и т. д.). Характеристики их функционирования на уровне внутренних устройств существенно зависят от программы и обрабатываемых данных. Поэтому невозможно с необходимой точностью оценить производительность только на основании тактовой частоты их работы, числа затрачиваемых на выполнение одной команды тактов процессора и числа устройств обработки. Кроме того, производительность зависит от используемых операционной системы, компиляторов, библиотек и другого программного обеспечения. Например, для одной и той же программы при трансляции разными компиляторами может быть получена существенно разная производительность.

Поэтому для оценки производительности различных вычислительных средств в мировой практике наибольшее распространение получило использование фрагментов реальных задач, характерных для той или иной области применения вычислительной техники. Время выполнения каждой из задач

набора составляет основу для расчета индекса производительности исследуемой вычислительной установки. Индекс производительности является относительной оценкой, несущей информацию о том, во сколько раз быстрее или медленнее исследуемая вычислительная установка выполняет подобные задачи по сравнению с некоторой широко распространенной ЭВМ (последнюю часто называют базовой или эталонной).

Если каким-либо образом определить абсолютную производительность эталонной ЭВМ, выражаемую числом выполняемых в секунду вычислительных операций, то не составит труда перейти от индексов производительности к абсолютным значениям оценок производительности исследуемых вычислительных средств.

### **Способы измерения реальной производительности**

При оценке производительности на тестах приходится решать три проблемы, связанные с анализом результатов контрольного тестирования производительности [9]:

- отделение показателей, которым можно доверять безоговорочно, от тех, которые должны восприниматься с известной долей настороженности (проблема достоверности оценок);
- выбор контрольно-оценочных тестов, наиболее точно характеризующих производительность при обработке типовых задач пользователя (проблема адекватности оценок);
- правильное истолкование результатов тестирования производительности, особенно если они выражены в довольно экзотических единицах типа MWIPS (Mega Whetstone Instructions Per Second) [48], Dhrystones/s и т. д. (проблема интерпретации).

Существующие тестовые наборы можно разбить на три группы. Первую группу тестов измерения производительности составляют тесты производителей, разрабатываемые компаниями — изготовителями компьютеров для "внутреннего" применения — оценивания качества собственных продуктов. Главная особенность данных тестов заключается в том, что они ориентированы на сравнение ограниченного множества однотипных компьютеров, часто относящихся к одному семейству. Эти тесты позволяют разработчикам компьютеров оптимизировать структурно-технические решения. Например, для оценки производительности микропроцессоров с архитектурой x86 компания Intel в 1992 году предложила индекс производительности iCOMP (Intel Comparative Microprocessor Performance). В качестве эталонного процессора принят 486 SX-25, значение индекса для которого равно 100. Индекс iCOMP определяется при выполнении синтетического теста, формирующего смесь операций, состоящую из 67% операций над 16-разрядными целыми, 3% операций над 16-разрядными числами с плавающей точкой, 25% над 32-разрядными целыми и 5% над 32-разрядными числами с плавающей точкой. К

примеру, индексы iCOMP для микропроцессоров 486 SX2-50, Pentium-100 и Pentium-166 равны 180, 815 и 1308 соответственно. Следует отметить, что индекс iCOMP оценивает производительность микропроцессора как такового, а не вычислительной установки, включающей еще оперативную память и внешние устройства.

В IBM имеются специализированные тестовые пакеты для измерения производительности компьютеров с архитектурой мэйнфреймов семейства System/370 и System/390, а также тесты для компьютеров с архитектурой AS/400.

Тесты производителей являются почти идеальным средством оценивания быстродействия и технико-экономических показателей процессоров и вычислительных систем с одной и той же архитектурой, но разными средствами ее реализации, однако, они не могут быть в чистом виде использованы для других компьютеров — сказывается слишком явная ориентация тестов на конкретную "фирменную" архитектуру. Эти тесты используются создателями систем оценки различных вариантов реализации.

Вторую группу составляют стандартные тесты. Стандартные тесты, разработанные для сравнения широкого спектра компьютеров, часто претендуют на роль полностью универсальных средств измерения производительности. В основе подобных амбиций лежит то, что разработчиками тестов этой категории являются либо независимые аналитики, например, Джек Донгарра, предложивший совместно с группой других исследователей тестовый пакет Linpack), либо группы, объединяющие крупнейших производителей компьютеров SPEC (Standard Performance Evaluation Corporation) [50]. Коллективный характер разработки практически исключает возможность ориентации стандартного теста на конкретного поставщика компьютеров.

Третья группа тестов состоит из пользовательских тестов, учитывающих специфику конкретного применения компьютера или вычислительной системы. Пользовательские тесты создаются крупными компаниями, специализирующимися на внедрении компьютерных технологий, или совместными усилиями группы пользователей, объединенных сходством решаемых задач.

Пользовательские тесты предназначены специально для выбора компьютеров и программного обеспечения, наиболее подходящих под определенные прикладные задачи. В принципе такой подход позволяет получить наиболее точные оценки производительности для конкретного класса приложений, хотя и сопряжен со значительными усилиями пользователей по созданию тестовых программ и проведению испытаний компьютеров.

### **Тесты для оценки пропускной способности памяти и производительности процессора**

Существует ряд достаточно простых и небольших по объему тестов, позволяющих оценить производительность процессора и характеристики его работы

с памятью при выполнении арифметических операций с плавающей точкой. Приведем некоторые из них [2].

Stream — синтетический тест, измеряющий пропускную способность оперативной памяти в Мбайт/с при циклическом многократном повторения четырех арифметических операций с плавающей точкой. С помощью теста Stream можно получить оценки пропускной способности, а также максимальное, минимальное и среднее время обмена с оперативной памятью при выполнении каждой из этих четырех операций.

Cru-rate [2] — тест, созданный для оценки производительности процессора и оперативной памяти на задачах с плавающей точкой. В отличие от Stream, Cru-rate распределяет обрабатываемые векторы динамически для получения информации о влиянии скорости работы оперативной памяти при циклически повторяющихся арифметических операциях. Измерения могут проводиться как для статически, так и для динамически распределяемой памяти, что объясняет более объективную, чем в Stream, оценку быстродействия процессора и памяти при операциях с плавающей точкой для чисел различных форматов. В качестве результата Cru-rate выдает быстродействие процессора/памяти, измеренное количеством операций с плавающей точкой в секунду.

### Тест Linpack

Тест Linpack широко используется для определения производительности компьютеров и систем с различной архитектурой. Результаты замеров производительности периодически публикуются в докладах "Performance of Various Computers Using Standard Linear Equations Software" об оценке производительности различных компьютеров при решении задач с использованием стандартного программного обеспечения для решения линейных уравнений, составляемых Джеком Донгаррой (Jack Dongarra) из университета Теннесси.

Содержательно тест Linpack представляет собой решение системы линейных уравнений с  $n$  неизвестными с плотной матрицей коэффициентов над полем действительных чисел. Для каждого  $n$  известно, сколько операций с плавающей точкой нужно выполнить, чтобы решить систему линейных уравнений методом исключения Гаусса. Это число операций с плавающей точкой оценивается  $\frac{2}{3}n^3 + 2n^2$ . В тесте Linpack, каким бы методом и какой бы программой не решалась система линейных уравнений с  $n$  неизвестными, количество операций принимается равным количеству результатов, а именно:  $\frac{2}{3}n^3 + 2n^2$ . Следует отметить, что эта оценка предполагает равную длительность операций сложения и умножения с плавающей точкой, что является известным допущением, т. к. умножение может требовать больше тактов, чем сложение. Более того, когда разница в длительности операций сложения и умножения была существенна, в Linpack было запрещено использовать алгоритм

Шрассена, ускоряющий вычисления за счет замены части операций умножения на операции сложения.

Оценка производительности в flops — количестве операций (результатов) с плавающей точкой в секунду — получается путем деления числа операций

$\frac{2}{3}n^3 + 2n^2$  на время выполнения теста в секунду. Тестирование выполняется по трем методикам, определяющим время решения при различных значениях  $n$  и задаваемых ограничениях:

- $n = 100$ ; 100 x 100 ("Unpack Benchmark") — оригинальный вариант теста написан на языке Fortran с использованием библиотеки для решения задач линейной алгебры с плотными матрицами Level 1 BLAS ( $y = y + a * x$ ), где  $y$ ,  $a$ ,  $x$  — скаляры; не допускаются никакие модификации программы теста на языке Fortran; существуют переложения на C; в тесте выполняются 2 операции на каждые 3 обращения к памяти, т. к. для основных вычислений используется подпрограмма DAXPY из библиотеки Level I BLAS.

- $n = 1000$ ; 1000 x 1000 ("TPP", best effort) — без ограничений на преобразование программы и использование ассемблера с целью достижения наивысшей производительности; может использоваться блочная обработка, например, с применением подпрограммы DGEMM из библиотеки Level 3 BLAS ( $C = C + A * B$ ), где  $C$ ,  $A$ ,  $B$  — матрицы, что повышает локализуемость обрабатываемых данных (количество вычислительных операций, приходящихся на одно обращение в память);

- $n = N_{max}$  ("A Look at Parallel Processing") — без ограничений на преобразование программы и использование ассемблера с целью достижения наивысшей производительности за счет выбора размера  $N_{max}$  матрицы, при котором достигается наивысшая производительность  $R_{max}$ .

При "A Look at Parallel Processing" выбирается (путем подбора значения  $N$ , при котором матрица размещается в оперативной памяти вычислительной системы (ВС), т.к. обращения к диску существенно снижают производительность)  $n = N_{max}$ , при котором достигается наивысшая производительность  $L_{max}$ . Далее определяется  $N_{1/2}$ , при котором достигается производительность вдвое меньшая, чем  $R_{max}$ . Для 500 ВС, превосходящих другие по значению  $R_{max}$ , именно эти величины публикуются в списке TOP 500, наряду с теоретической пиковой производительностью  $R_{max}$ , количеством процессоров и их тактовой частотой. Список TOP 500 начинается сведениями о ВС с самым большим значением  $R_{max}$  и содержит сведения о пятистах ВС, упорядоченных по убыванию их показателя  $R_{max}$ .

Таким образом, набор тестов Linpack представляет собой совокупность программ решения задач линейной алгебры. В качестве параметров используются: порядок матрицы (например, 100 x 100, 1000 x 1000), формат значений элементов матриц (одинарная или двойная точность представления элементов матриц), способ компиляции (с оптимизацией или без оптимизации), а также возможность применения оптимизированной библиотеки стандартных функций.



При измерении производительности современных микропроцессоров программа и данные теста Linpack 100 x 100 ("Linpack Benchmark") могут размещаться в кэш-памяти, что позволяет оценить практически пиковую производительность в результатах в секунду.

Корпорация SPEC развивает тестовые пакеты для оценки производительности компьютеров в различных режимах их использования. Корпорация ставит целью объективное сопоставление параметров так, чтобы ни сами тесты, ни режимы их компиляции не могли быть ориентированы на какого-либо производителя. Исторически корпорация SPEC создала следующие тестовые пакеты для оценки производительности процессоров: SPEC CPU 89, SPEC CPU 92, SPEC CPU 95, SPEC CPU 2000. Смена тестовых пакетов в основном обусловлена развитием микропроцессоров и прогрессом в понимании методики тестирования. История развития тестовых пакетов SPEC CPU будет способствовать пониманию сложности проблемы оценки производительности.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы основные операции ЦОС?
2. Поясните выбор частоты дискретизации при АЦП?
3. Особенности и области применения преобразований Лапласа и Фурье.
4. В чем смысл z-преобразования?
5. Дайте определение импульсной характеристики линейной и цифровой системы.
6. Перечислите свойства дискретных импульсных систем.
7. Поясните разницу нерекурсивной и рекурсивной фильтрации, разностные уравнения.
8. Форматы данных с фиксированной точкой. Дополнение до двух. Правила умножения.
9. Представление чисел с плавающей точкой.
10. Правила умножения и сложения чисел с плавающей точкой.
11. Назовите основные особенности разнесенной архитектуры.
12. Приведите основные направления стандартизации архитектур процессоров.
13. Что такая пиковая производительность?
14. Приведите основные виды тестов измерения производительности.
15. Что такое тесты SPEC xx?
16. Объясните различие между мультитредовой архитектурой и архитектурой с длинным командным словом.
17. Приведите известные вам способы переименования ресурсов.
18. Укажите приемы уменьшения потерь производительности, связанные с разрешением зависимостей между командами по уравнению.

## 2. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ

### 2.1 . Цифровая обработка сигналов в микропроцессорах

В работе [2] показано, что цифровая обработка сигналов (ЦОС) представляет собой арифметическую обработку в реальном масштабе времени последовательности значений амплитуды сигнала, взятых через равные временные интервалы. Примерами цифровой обработки являются:

- Свертка двух сигналов (смещение сигналов);
- Фильтрация сигналов;
- Прямое и обратное преобразования Фурье сигналов;
- Вычисление значений корреляционной (ковариационной) функции двух сигналов.

Аналоговая обработка сигнала, традиционно используемая во многих радиотехнических устройствах, является в большинстве случаев более дешевым способом достижения требуемого результата, однако тогда, когда требуется высокая точность обработки, миниатюрность устройства, стабильность его характеристик в различных температурных условиях функционирования, цифровая обработка оказывается единственно приемлемым решением.

Пример аналоговой фильтрации сигнала приведен на рис. 2.1. Используемый в фильтре операционный усилитель позволяет расширить динамический диапазон обрабатываемых сигналов. Форма амплитудно-частотной характеристики фильтра определяется значениями величин  $R_f$ ,  $C_f$ . Для аналогового фильтра сложно обеспечить высокое значение добротности, характеристики фильтра сильно зависят от температурного режима. Компоненты фильтра вносят дополнительный шум в результирующий сигнал. Аналоговые фильтры трудно перестраивать в широком диапазоне частот.

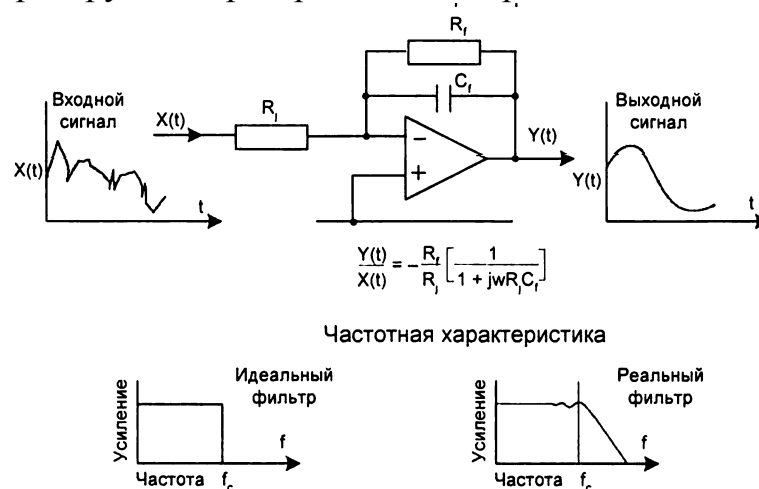


Рис. 2.1. Аналоговая обработка сигналов

Аналогичные результаты обработки сигнала могут быть получены с помощью цифровой схемы, показанной на рис. 2.2. Компонентами схемы являются фильтры низкой частоты (ФНЧ), выполняющие предварительное и последующее удаление из частотного спектра дополнительных гармоник сигнала, аналого-цифровой (АЦП) и цифроаналоговый (ЦАП) преобразователи сигнала и собственно цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой. Амплитудно-частотная характеристика фильтра определяется значениями коэффициентов фильтра  $C(k)$ . Изменяя количество коэффициентов (длину фильтра) и их значения, можно получить фильтр с любой требуемой амплитудно-частотной характеристикой. Вносимый шум (шумы квантования) зависит от частоты и разрядности АЦП и ЦАП, а также от точности вычислений.

Схема преобразования, выполняемого над последовательностью отсчетов сигнала, задаваемая математической формулой, может быть также представлена графически, в виде структурной схемы цифрового фильтра.

Существует классификация фильтров по виду импульсной характеристики: фильтры с конечной импульсной характеристикой (КИХ) и фильтры с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ). Структуры цифровых фильтров типа КИХ и БИХ приведены на рис. 2.3. и 2.4 соответственно.

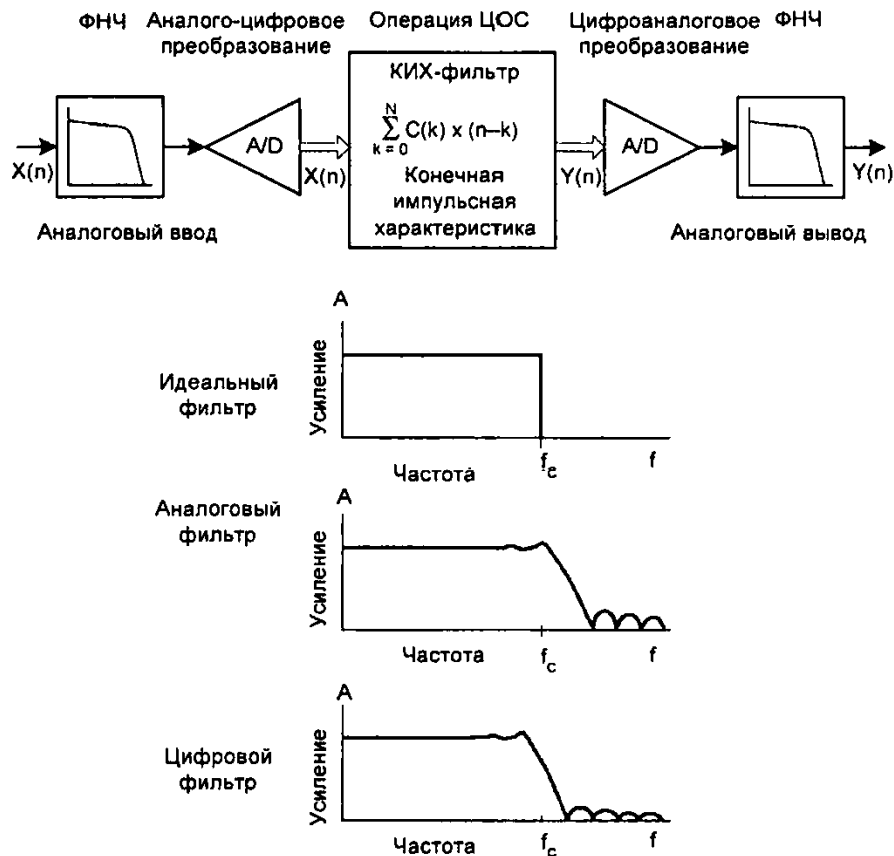


Рис 2.2. Цифровая обработка сигнала

Приняты обозначения:

- T — блок задержки на 1 такт;
- \* — блок умножения;
- + — блок сложения.

Для эффективной реализации алгоритмов цифровой фильтрации необходима аппаратная поддержка базовых операций ЦОС: умножения с накоплением (MAC — Multiplication Accumulation), модульной адресной арифметики, нормировки результатов арифметических операций.

Другим часто выполняемым преобразованием сигнала является дискретное преобразование Фурье (прямое и обратное) [10].

Любой сигнал может быть представлен как во временной области (совокупность графиков в координатах "время-амплитуда"), так и в частотной области (последовательность графиков в координатах "частота-амплитуда").

В зависимости от используемых алгоритмов обработки может быть выбрано либо частотное, либо временное представление сигнала. Преобразование Фурье позволяет осуществлять перенос сигнала из одной формы представления в другую.

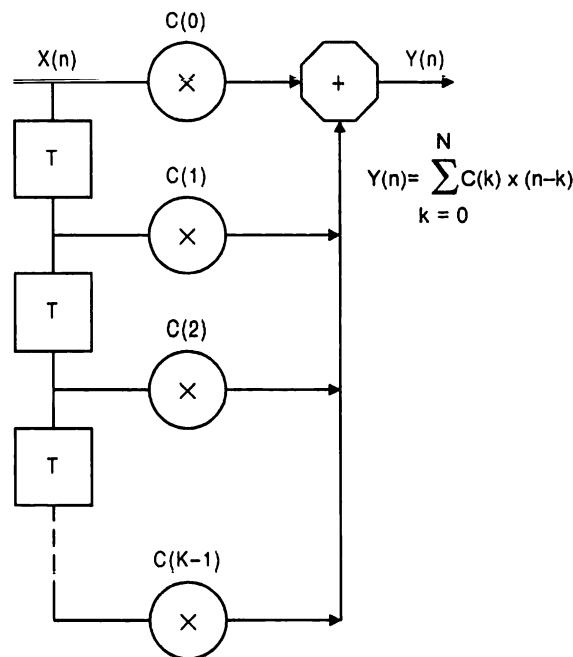


Рис. 2.3. Структура каскада КИХ-фильтра

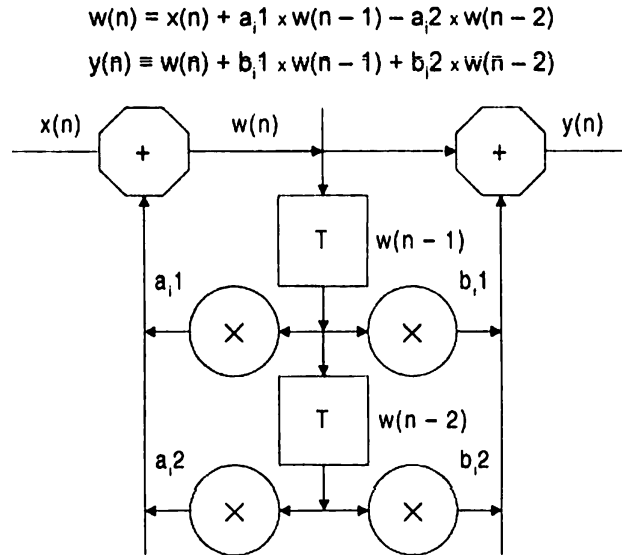


Рис. 2.4. Структура каскада БИХ-фильтра

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) в аналитическом виде задается формулой:

$$X(f) = \tilde{X}(f) = T \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \chi(nT) e^{-j2\pi f nT},$$

где  $\chi(nT)$  — последовательность отсчетов сигнала.

Существует большое разнообразие реализаций дискретного преобразования Фурье. В ряде алгоритмов используются приемы, позволяющие сократить объем требуемых вычислений. Эти алгоритмы известны под общим названием "быстрое преобразование Фурье" (БПФ).

На практике интервал суммирования ограничен некоторым числом временных отсчетов —  $N$ , зависящим от требуемой точности преобразования. В этом случае формула принимает вид:

$$X(f) = \tilde{X}(f) = T \sum_{n=0}^{N-1} \chi(nT) e^{-j2\pi f nT},$$

где  $N$  — число точек преобразования.

Для уменьшения числа операций умножения при выполнении ДПФ используется метод, получивший название "прореживание по времени". Сущность данного метода заключается в том, что преобразование Фурье по последовательности из  $N$  точек может быть выражено через преобразования, выполненные по подпоследовательностям этой последовательности, каждая из которых имеет длину  $N/2$  точек. Так как число умножений пропорционально

числу точек преобразования, то процедура двукратного преобразования по  $N/2$  точкам с последующим объединением результатов выполняется за меньшее время. Применяв к последовательности отсчетов процедуру прореживания рекурсивно, получим схему вычислений, изображенную на рис. 2.5.

На рис. 2.5  $k/N$  обозначает умножение на коэффициент  $e^{-jk\frac{2\pi}{N}}$ .

При реализации данной схемы преобразования наряду с операциями умножения и сложения используются битовые операции. Результирующие отсчеты расположены в бит-реверсивном порядке (рис. 2.5), т. е. таком, когда позиция элемента определяется реверсией двоичного представления индекса элемента. Для их переупорядочения требуется выполнить либо перестановку элементов массива, либо операцию битовой реверсии индекса при обращении к элементу массива. Второй подход имеет преимущество по времени выполнения, однако требует возможности манипулирования адресами данных.

Аппаратная поддержка базовых операций алгоритмов цифровой обработки сигналов является характерной особенностью сигнальных процессоров.

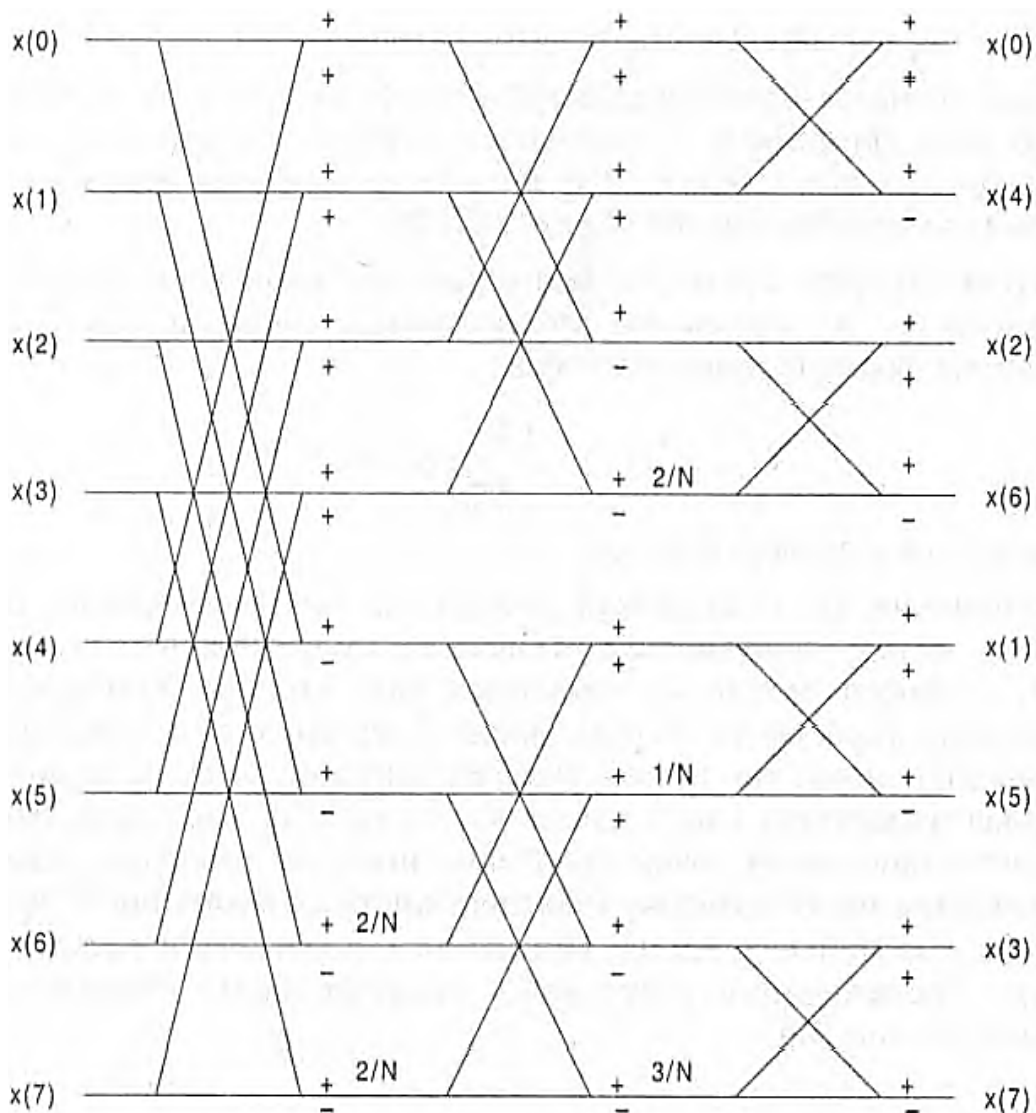


Рис. 2.5. Схема БПФ по 8 точкам

## 2.2 . Сигнальные микропроцессоры

Рассмотрим основные семейства сигнальных микропроцессоров.

Для построения систем ЦОС используются специализированные микропроцессоры – цифровые сигнальные микропроцессоры. Невозможность или неэффективность применения для решения задач ЦОС универсальных микропроцессоров связана, с одной стороны, с их низкой производительностью на указанных задачах, а с другой стороны — с их чрезмерной избыточностью для данных задач.

Для цифровой обработки сигналов используются так называемые сигнальные микропроцессоры. К их особенностям относятся малоразрядная (40 и менее разрядов) обработка чисел с плавающей точкой, преимущественное использование чисел с фиксированной точкой разрядности 32 и менее, а также ориентация на несложную обработку больших массивов данных.

Отличительной особенностью задач цифровой обработки сигналов является поточный характер обработки больших объемов данных в реальном режиме времени, требующий высокой производительности процессора и обеспечения возможности интенсивного обмена с внешними устройствами. Соответствие данным требованиям достигается в настоящее время благодаря специфической архитектуре сигнальных процессоров и проблемно-ориентированной системе команд.

Сигнальные процессоры обладают высокой степенью специализации. В них широко используются методы сокращения длительности командного такта, характерные и для универсальных RISC-процессоров, такие, как конвейеризация на уровне отдельных микрокоманд и команд, размещение операндов большинства команд в регистрах, использование теневых регистров для сохранения состояния вычислений при переключении контекста, разделение памяти команд и данных (гарвардская архитектура). В то же время для сигнальных процессоров характерным является наличие аппаратного умножителя, позволяющего выполнять умножение двух чисел за один такт. В универсальных процессорах умножение обычно реализуется за несколько тактов, как последовательность операций сдвига и сложения. Другой особенностью сигнальных процессоров является включение в систему команд таких операций, как умножение с накоплением  $C := A * B + C$ , инверсия бит адреса, операции над битами. В сигнальных процессорах реализуется аппаратная поддержка программных циклов, кольцевых буферов, обработки прерываний.

Реализация однитактного умножения, а также команд, использующих в качестве операндов содержимое ячеек памяти, обуславливает сравнительно низкие тактовые частоты работы этих процессоров.

Сигнальные процессоры различных компаний-производителей образуют два класса, существенно отличающихся по цене: более дешевые микропроцессоры обработки данных в формате с фиксированной точкой и более дорогие

микропроцессоры, аппаратно поддерживающие операции над данными в формате с плавающей точкой.

Использование в сигнальной обработке данных в формате с плавающей точкой обусловлено несколькими причинами. Для многих задач, связанных с выполнением интегральных и дифференциальных преобразований, особую значимость имеет точность вычислений, обеспечить которую позволяет экспоненциальный формат представления данных. Алгоритмы компрессии, декомпрессии, адаптивной фильтрации в цифровой обработке сигналов связаны с определением логарифмических зависимостей и весьма чувствительны к точности представления данных в широком динамическом диапазоне значений. Работа с данными в формате с плавающей точкой существенно упрощает обработку, поскольку не требует выполнения операций округления и нормализации данных, отслеживания ситуаций потери точности и переполнения.

Платой за "комфорт" является высокая сложность функциональных устройств, выполняющих обработку данных в формате с плавающей точкой, необходимость использования более сложных технологий производства микросхем и, как следствие, дороговизна микропроцессоров.

В настоящее время стал популярен и другой подход к получению высокой производительности. Большое количество транзисторов на кристалле может быть использовано для создания симметричной мультипроцессорной системы с более простыми процессорами, обрабатывающими целочисленные операнды. Примерами таких так называемых медийных процессоров служат Mediaprocessor компании MicroUnity, Trimedia компании Philips, Mipact Media Engine компании Chromatic Research, NV1 компании Nvidia, MediaGx компании Cyrix.

Эти процессоры создавались исходя из потребности обработки в реальном времени видео- и аудиоинформации в мультимедийных ПК, игровых приставках, бытовых радиоэлектронных приборах. Ввиду более простой схемотехники по сравнению с универсальными сигнальными процессорами, стоимость медийных процессоров достаточно низкая (порядка \$100), а значение показателя производительность/стоимость на 2—3 порядка больше. Пиковое значение производительности медийных процессоров составляет несколько миллиардов целочисленных операций в секунду.

К наиболее крупным производителям сигнальных микропроцессоров относятся компании Motorola, Texas Instruments, Analog Devices, Lucent Technologies. Каждая из указанных компаний выпускает целый спектр устройств, ориентированных на решение широкого круга задач. При выборе микропроцессора ЦОС для реализации конкретного проекта необходим учет многих параметров. Использование продукции той или иной компании во многом определяется предпочтениями разработчиков, однако, следует учитывать определенные преимущества каждого микропроцессорного семейства.



## Сигнальные микропроцессоры компании Texas Instruments

Сигнальные процессоры компании Texas Instruments [11] разделяются на два класса: процессоры для обработки чисел с фиксированной точкой и процессоры для обработки чисел с плавающей точкой (рис. 2.6). Первый класс представлен тремя семействами процессоров, базовыми моделями которых являются соответственно TMS320C10, TMS320C20, TMS320C50. Второй класс включает процессоры TMS320C30, TMS320C40. TMS320C80 также поддерживает операции с плавающей точкой и представляет собой мультипроцессорную систему, выполненную в одном кристалле, а семейство TMS320C6x включает процессоры как с фиксированной, так и с плавающей точкой.

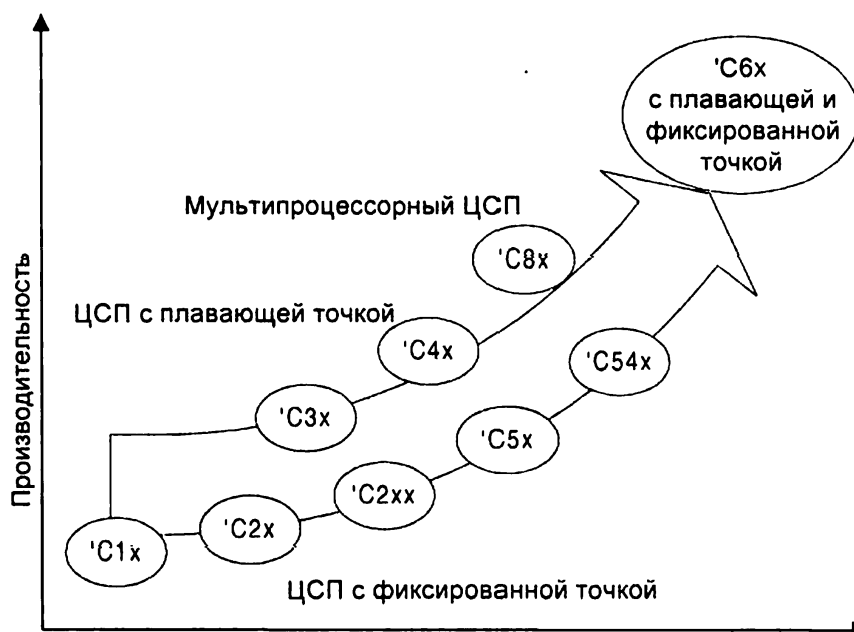


Рис. 2.6. Семейства микропроцессоров компании TI

Процессоры старших поколений одного семейства наследуют основные архитектурные особенности предшествующих поколений и совместимы "снизу вверх" по системе команд (чего нельзя сказать о процессорах, входящих в разные семейства).

Микропроцессоры семейства TMS320C1X

Первый процессор семейства — TMS320C10 — был выпущен в 1982 году и, благодаря ряду удачных технических решений, получил широкое распространение. Структура типичного представителя семейства — микропроцессора TMS320C15 — приведена на рис. 2.7.

В основу микропроцессора положена модифицированная гарвардская архитектура, отличием которой от традиционной гарвардской архитектуры является возможность обмена данными между памятью программ и памятью данных, что повышает гибкость устройства.

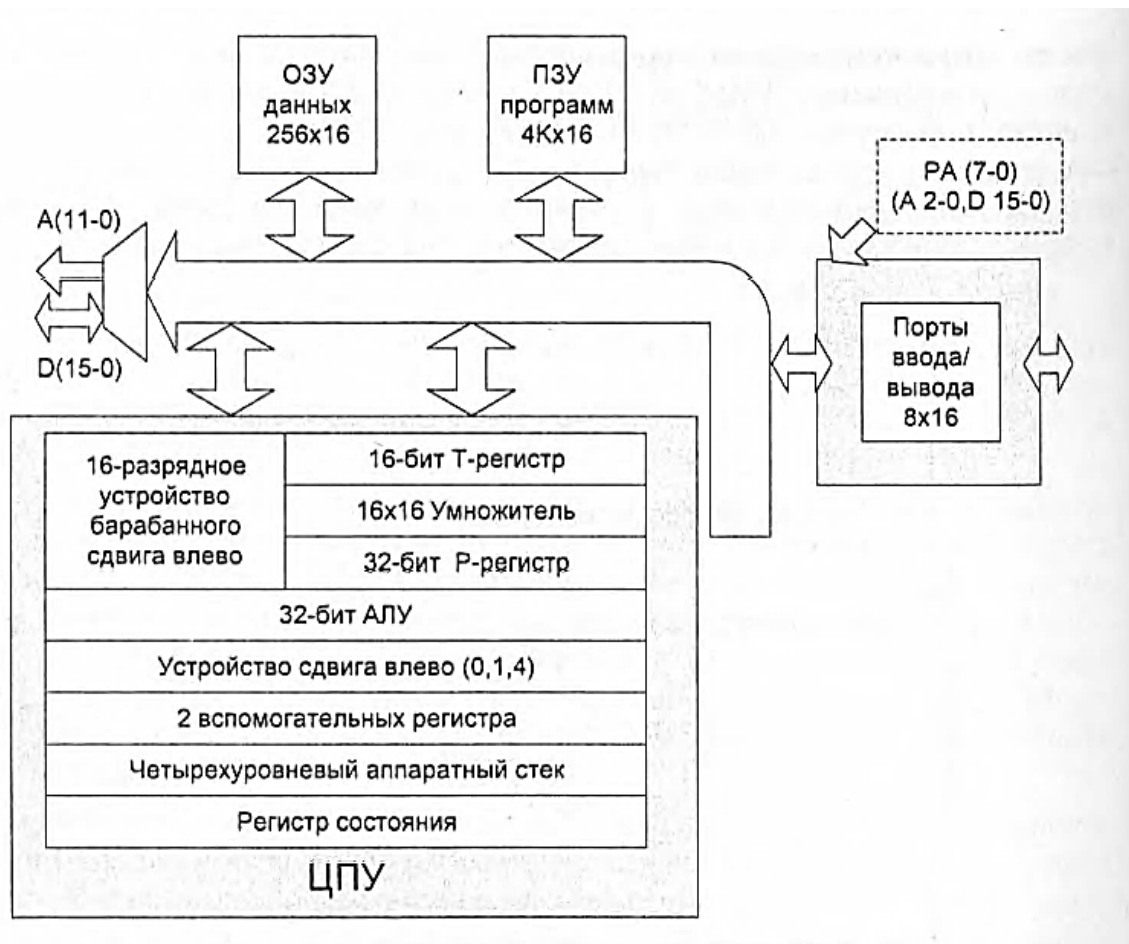


Рис.2.7. Структура микропроцессоров семейства TMS320C1x

TMS320C10 является 16-разрядным процессором. Его адресное пространство составляет 4 Кслов памяти программ и 144 слова памяти данных. Все слова имеют разрядность 16. Длительность командного такта процессора составляет 160-200 нс.

Арифметические функции в процессоре реализованы аппаратно. Он имеет аппаратные умножитель (MULT), устройство сдвига (SHIFTER), аппаратную поддержку автоинкремента/декремента адресных регистров данных (AR0, AR1).

С внешними устройствами процессор взаимодействует через 8 портов ввода/вывода. Каждый порт имеет разрядность 16. Предусмотрена возможность обработки внешних прерываний.

Другие микропроцессоры данного семейства (C14-C17) имеют аналогичную архитектуру и отличаются длительностью командного такта, конфигурацией памяти, наличием (или отсутствием) дополнительных периферийных устройств (например, в C17 реализованы кодек данных по  $\mu$ -/A-закону, преобразователь логарифмической импульсно-кодированной модуляции (ИКМ) в линейную ИКМ).

## Микропроцессоры семейства TMS320C2xx

Архитектура TMS320C2xx базируется на архитектуре семейства TMS320C5x. Основные свойства микропроцессоров TMS320C2xx:

- совместимость по программному коду с семействами 'C1x, 'C2x;
- расширенная система команд для ускорения алгоритмов ЦОС и поддержки конструкций языков высокого уровня;
- высокая производительность (до 40 MIPS);
- низкое потребление энергии благодаря наличию энергосберегающего режима.

Модифицированная гарвардская архитектура, предусматривающая отдельные шины команд и данных, позволяет одновременно выбирать команды и операнды. Возможность обмена между памятью программ и данных увеличивает гибкость микропроцессора. Так, коэффициенты, расположенные в памяти программ, могут быть переданы в память данных, что приводит к экономии памяти, выделяемой для коэффициентов.

Процессор имеет увеличенный, по сравнению с предыдущими семействами, объем внутрикристалльной памяти и перепрограммируемую энергонезависимую flash-память.

Наличие 4-этапного конвейера позволяет TMS320C2xx выполнять в среднем одну команду за такт. 'C2xx содержит средства управления прерываниями, повторного выполнения операций, вызова подпрограмм и функций.

Типовая структура микропроцессора 'C2xx приведена на рис 2.10.

Все микропроцессоры семейства имеют одинаковое процессорное ядро и отличаются различными конфигурациями памяти и внутрикристалльной периферией. Все устройства, кроме TMS320C209, имеют по 1 синхронному и 1 асинхронному последовательному порту.

Синхронный порт предназначен для обмена с другим процессором, кодеком и внешними периферийными устройствами. Порт имеет два буфера памяти емкостью по 4 слова с дисциплиной доступа FIFO и механизмом генерации прерываний. Максимальная скорость обмена через синхронный порт равна половине тактовой частоты процессора (для 40 МГц — скорость обмена 20 Мбит/с).

Асинхронный последовательный порт предназначен для обмена данными с другими устройствами. При обмене используется 8-битное представление данных с 1 стартовым и 1 или 2 стоповыми битами. Скорость обмена может достигать 250 тыс. 10-битных знаков в секунду.

Благодаря лучшему соотношению производительность/стоимость среди всех микропроцессорных семейств (\$0,12 за MIPS), микропроцессоры TMS320C2xx получили самое широкое распространение и используются в связных системах, мультимедиа-устройствах, средствах промышленной автоматизации, военной технике.



Рис. 2.9. TMS320C2xx

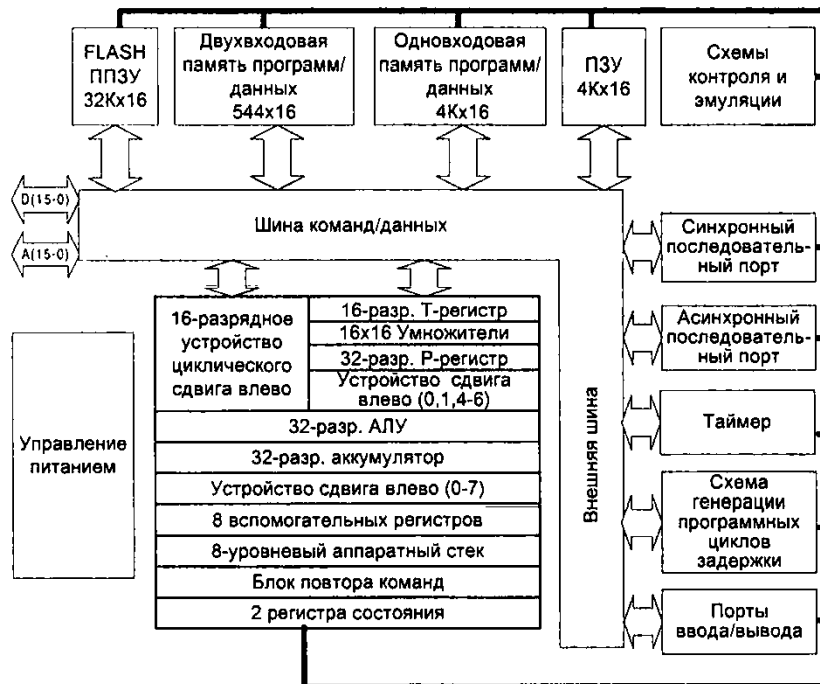


Рис. 2.10. TMS320C54x

## Микропроцессоры семейства TMS320C54x

Процессоры TMS320C54x отличает комбинирование модифицированной гарвардской архитектуры с тремя внутренними шинами данных и одной шиной команд. Такая внутренняя организация процессора позволяет обеспечить высокую степень параллельности выполнения команд. Этому семейству свойственна высокоспециализированная система команд, наличие на кристалле дополнительных периферийных устройств и увеличенный объем внутренней памяти. Все это позволяет добиться высокой гибкости и производительности.

Три шины данных используются для чтения операндов и записи результата операции одновременно с выборкой инструкции в одном процессорном цикле.

Общий объем адресуемой процессором памяти составляет 192 слова. Разрядность слов — 16. Память разбита на 3 специализированных сегмента: команд, данных и ввода/вывода, каждый из которых может иметь размер до 64 Кслов. В некоторых моделях внутри процессора может быть размещена ROM объемом до 48 слов и до 10 Кслов двухвходовой RAM. В процессоре предусмотрена опция защиты данных во внутренней памяти от сканирования. При установке режима защиты ни одна из команд не сможет получить доступ к содержимому внутрикристалльной памяти.

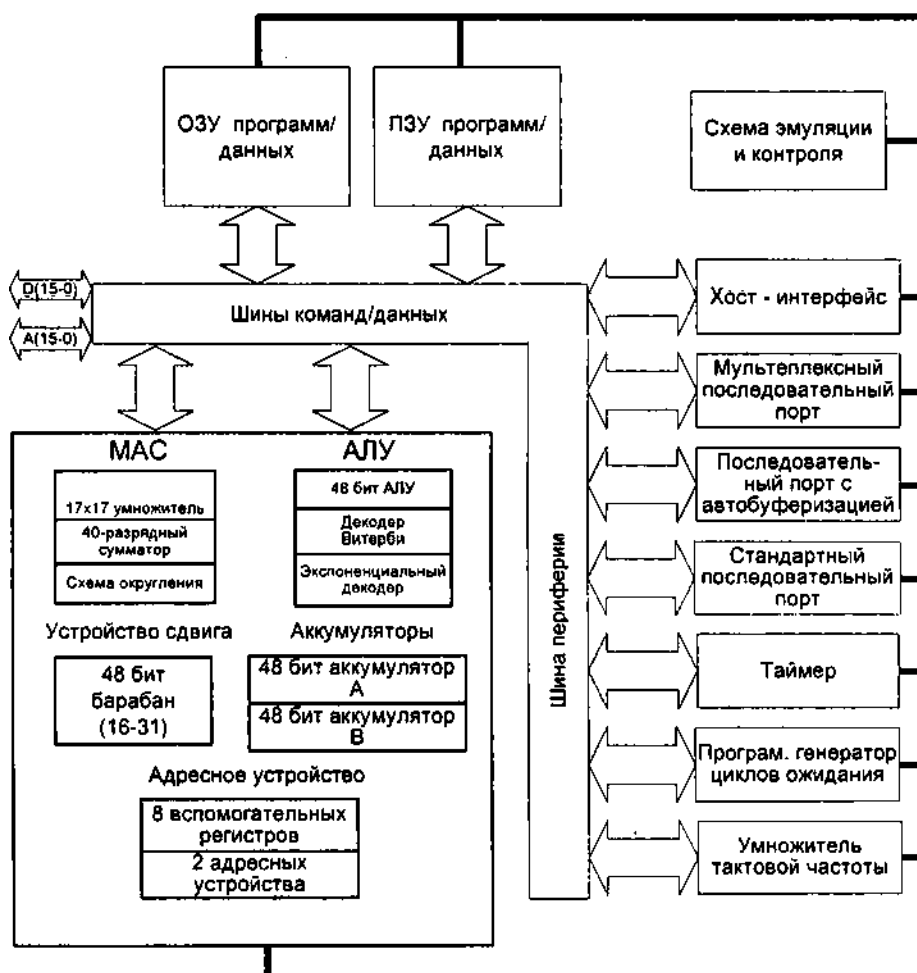


Рис. 2.11. Структура микропроцессора TMS320C54x

Для ускорения выполнения типовых операций сигнальной обработки, помимо "стандартных" для процессоров ЦОС блоков барабанного сдвига и адресной арифметики, процессор содержит ряд дополнительных функциональных модулей, повышающих его гибкость и производительность. Блок умножения с накоплением (МАС) выполняет над 17-битными операндами операции вида  $S := S + a * b$  за один процессорный такт. Подобные операции характерны для алгоритмов фильтрации, свертки, вычисления корреляционной функции.

Для быстрого вычисления значений  $y = \exp(x)$  микропроцессор содержит блок вычисления экспоненциальной функции. Этот блок, используя значение аккумулятора как значение аргумента функции  $x$ , позволяет вычислять соответствующее значение  $y = \exp(x)$  за один такт. Для эффективной реализации оператора Витерби служит блок CMPS Operation, выполняющий за один цикл операцию сравнения/выбора с накоплением (Add/Compare Selection).

АЛУ микропроцессора способно выполнять арифметические или булевы операции над комплексными числами (используя два регистра- аккумулятора — АССА и АССВ) или может функционировать как два 16-разрядных АЛУ, выполняющих одновременно две 16-разрядные операции. АЛУ и МАС могут реализовывать операции в цикле одновременно.

Устройство барабанного сдвига осуществляет сдвиг данных на 0—31 разрядов влево или 0—16 разрядов вправо за один такт, а также совместно с блоком вычисления экспоненциальной функции позволяет выполнять нормализацию содержимого аккумулятора за один такт. Дополнительные возможности сдвига позволяют процессору осуществлять масштабирование данных, выделять разряды числа, предотвращать возникновение переполнения и потерю точности.

Все микропроцессоры семейства TMS320C54x имеют одинаковую структуру (рис. 3.11), однако отличаются друг от друга расположенной на кристалле периферией. В состав периферии входят:

- программно-управляемый генератор тактов ожидания;
- программный переключатель банков памяти;
- параллельные порты ввода/вывода;
- аппаратный таймер и генератор тактовых импульсов.

Генератор тактов ожидания позволяет увеличить число тактов внешней шины для работы с медленной внешней памятью и внешними устройствами.

Переключатель банков памяти позволяет автоматически добавлять один такт при пересечении границ банка памяти внутри программного адресного пространства или при переходе от пространства адресов команд к пространству адресов данных. Этот дополнительный такт позволяет устройству памяти освободить шину раньше, чем другое устройство получит доступ к ней, избегая тем самым конфликтной ситуации при обращении к памяти.

Микропроцессоры семейства имеют 64 Кпорта ввода/вывода. Эти порты предназначены для связи с внешними устройствами с использованием минимума дополнительных внешних декодирующих схем. Интерфейс главного

порта (HPI — Host Port Interface) — 8-разрядный параллельный порт, предназначенный для связи сигнального процессора и хост-процессора системы. Мы будем использовать термин "хост-процессор", т.к. представляется, что его замена на "главный процессор" или "управляющий процессор" не в полной мере адекватна. Обмен данными между хост-процессором и сигнальным процессором осуществляется через внутрикристалльную HPI-память объемом 2 Кслов, разрядности 16, которая может также использоваться как память команд или данных. Скорость обмена по HPI составляет до 160 Мбайт/с.

Микропроцессоры семейства содержат высокоскоростные дуплексные последовательные порты, позволяющие связываться с другими микропроцессорами, кодеками и другими устройствами. В микропроцессоре реализованы следующие разновидности последовательных портов:

- универсальный порт;
- мультиплексный с временным уплотнением;
- порт с автобуферизацией.

Универсальный последовательный порт использует два отображаемых в память регистра: регистр передачи данных и регистр приема данных. Передача и прием данных сопровождаются генерацией маскируемого прерывания, которое может быть обработано программно. Порт с разделением времени может обслуживать до семи устройств. Буферизированный последовательный порт позволяет осуществлять непосредственный обмен между устройством и памятью, не используя при передаче ресурсов процессора. Максимальная скорость обмена по последовательному порту может составлять до 40 Мбайт/с.

Как и в семействах TMS320C5x, TMS320C2xx, в процессоре реализована эффективная трехуровневая система управления энергопотреблением.

Высокая производительность (до 66 MIPS) и расширенные функциональные возможности при невысокой цене обеспечивают процессору обширные области применения: сотовые и радиотелефоны, персональные системы радиовызова, карманные персональные компьютеры (PDA — Personal Digital Assistant), устройства беспроводной передачи данных (радиосети) и т. д.

### **Микропроцессоры семейства TMS320C3X**

Первым представителем класса процессоров с плавающей точкой стал TMS320C30 [12]. На момент выпуска процессора — в конце 1980 годов — TMS320C30 значительно превосходил по производительности процессоры других компаний — производителей сигнальных процессоров. Процессор имеет гибкую систему команд, хорошую аппаратную поддержку операций с плавающей точкой, мощную систему адресации, расширенное адресное пространство, обеспечивает поддержку выполнения конструкций языка высокого уровня — C на аппаратном уровне.

Процессор производился по 0,7 мкм КМОП-технологии с тремя уровнями

металлизации. Все операции в процессоре выполняются за один такт. При длительности такта 60 нс процессор TMS320C30 имеет быстродействие около 33 Mflops. Высокая производительность процессора на алгоритмах ЦОС обеспечивается аппаратному выполнению ряда специфических функций, которые в других процессорах реализуются программно или микропрограммно. Процессор имеет конвейерную регистро-ориентированную архитектуру и может параллельно выполнять в одном такте умножение и арифметико-логические операции с числами в формате с фиксированной или плавающей точкой. Структура процессора приведена на рис. 3.12.

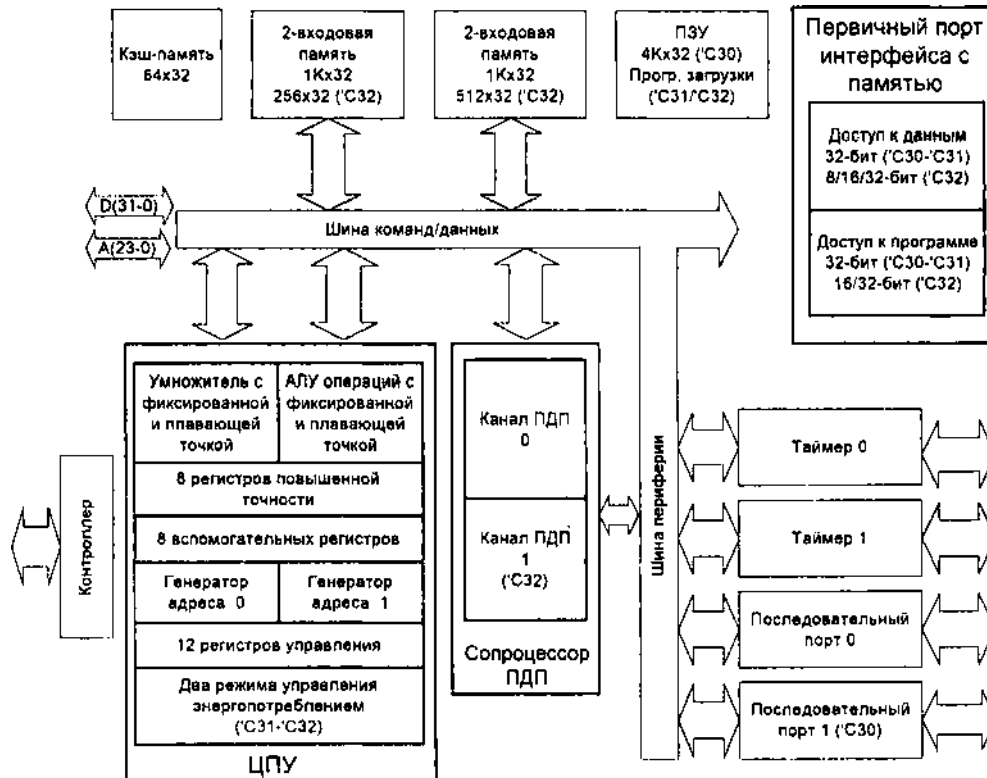


Рис 2.12. Структура микропроцессора TMS320C30

Процессор имеет 32-разрядную шину команд и данных и 24-разрядную шину адреса. Содержит 2 блока ОЗУ по одному 32-разрядному Кслову, 32-разрядный умножитель с плавающей точкой, кэш-память команд объемом 64 слова (32-разрядных), 8 регистров для операций с повышенной точностью, 2 генератора адреса и регистровый файл. В процессоре реализованы разнообразные методы адресации. 40-разрядное АЛУ процессора работает как с целыми числами, так и с числами в формате с плавающей точкой. Встроенный контроллер ПДП позволяет совмещать во времени вычисления и выполнение обменов данными с памятью. Наличие у TMS320C30 мультипроцессорного интерфейса, двух внешних интерфейсных портов, двух последовательных портов, расширенной системы прерываний упрощает конструирование систем на его основе. Благодаря своей высокой производительности и простоте



использования в вычислительных системах TMS320C30 может применяться как в качестве хост-процессора, так и в качестве специализированного сопроцессора.

Процессоры 'C3x отличаются, в основном, количеством последовательных портов ('C31 и 'C32 — 1, 'C30 — 2) и каналов ПДП ('C30, 'C32, — 2, 'C31 — 1).

Представители этого семейства получили большую популярность у разработчиков. Учитывая значительный объем программных наработок для микропроцессоров TMS320C3x, Texas Instruments в последствии повторно выпустила это семейство, но уже по новой технологии 0,18 мкм, с увеличенной внутренней памятью (34 Кслов), повышенной тактовой частотой и меньшим энергопотреблением. Производительность обновленного микропроцессора составила 150 Mflops.

Основными областями применения микропроцессоров семейства 'C3x являются: цифровое аудио, 3D-графика, видеоконференцсвязь, промышленные роботы, копировально-множительная техника, телекоммуникационные системы.

### **Микропроцессоры семейства TMS320C4X**

Следующими представителями сигнальных процессоров с плавающей точкой явились процессоры семейства TMS320C4X [13].

Благодаря своей уникальной архитектуре микропроцессоры TMS320C4x получили широкое распространение в мультипроцессорных системах и практически вытеснили ранее господствующее в этой технологической нише семейства транспьютеров компании Inmos.

Процессоры TMS320C4x совместимы по системе команд с TMS320C3x, однако обладают большей производительностью и лучшими коммуникационными возможностями.

В семейство TMS320C4x входят процессоры TMS320C40, TMS320C44, TMS320LC40.

TMS320C40 — имеет производительность 30 MIPS/60 Mflops и максимальную пропускную способность подсистемы ввода/вывода 384 Мбайт/с. 'C40 содержит на кристалле 6 высокоскоростных (20 Мбайт/с) коммуникационных портов и 6 каналов ПДП, 2 Кслов памяти, 128 слов кэш-памяти программ и начальный загрузчик. Две внешних шины обеспечивают работу с 4 Гслов объединенного адресного пространства.

Процессор TMS320C44 — более дешевый вариант, имеющий 4 коммуникационных порта и адресуемое пространство 32 Мелов. Однако значения показателей производительности и пропускной способности процессора те же, что и у 'C40.

TMS320LC40 — архитектурный аналог TMS320C40, отличающийся низким энергопотреблением, повышенной производительностью (40 MIPS/80 Mflops) и большей пропускной способностью (488 Мбайт/с).

Структура микропроцессора TMS320C40 приведена на рис. 3.13.

Центральный процессор TMS320C4x имеет конвейерную регистро-ориентированную архитектуру. Компонентами ЦП являются:

- умножитель;
- арифметико-логический модуль;
- 32-разрядное барабанное устройство сдвига;
- внутренние шины;
- дополнительные модули регистровой арифметики;
- регистровый файл.

Умножитель выполняет операции над 32-разрядными данными в формате с фиксированной точкой и 40-разрядными данными в формате с плавающей точкой, причем умножение производится за один такт (25 нс) для данных любого типа и параллельно с обработкой данных в других функциональных блоках микропроцессора (например, АЛУ).

АЛУ выполняет за один такт операции над 32-разрядными целыми и логическими данными и 40-разрядными числами в формате с плавающей точкой, в том числе и операции преобразования форматов представления данных. Микропроцессор аппаратно поддерживает операции деления и извлечения квадратного корня. Устройство барабанного сдвига позволяет за один такт выполнить сдвиг данных влево или вправо на число позиций от 1 до 32.

Два дополнительных модуля регистровой арифметики (генераторы адреса) функционируют параллельно с умножителем и АЛУ и могут генерировать два адреса в одном такте. В процессоре поддерживается относительная базовая, базово-индексная, циклическая и бит-реверсивная адресации.

Первичный регистровый файл центрального процессорного устройства (ЦПУ) представляет собой многовходовый файл из 32 регистров. Все регистры первичного регистрового файла могут использоваться умножителем, АЛУ и в качестве регистров общего назначения. Регистры имеют некоторые специальные функции. Например, 12 регистров повышенной точности могут использоваться для размещения результатов операций с плавающей точкой, 8 дополнительных регистров — для некоторых косвенных способов адресации, а также как целочисленные и логические регистры общего назначения. Остальные регистры обеспечивают функции системы такие, как адресация, управление стеком, прерывания, отображение статуса процессора, повторы блоков команд.

Регистры повышенной точности предназначены для хранения и обработки 32-разрядных целых чисел и 40-разрядных чисел с плавающей точкой. Дополнительные регистры доступны как для АЛУ, так и для двух модулей адресной арифметики. Основная функция этих регистров — генерация 32-разрядных адресов. Они также могут использоваться как счетчики циклов или как регистры общего назначения.

Адресуемое микропроцессором пространство составляет 4 Гслов 32-разрядных. На кристалле расположены два двухвходовых блока оперативной памяти

RAM0 и RAM1 размером 4 Кбайт каждый, а также двухвходовый блок ROM, содержащий программу начальной загрузки.

Кэш-память команд процессора емкостью 128 слов (32-разрядных) содержит наиболее часто используемые участки кода, что позволяет сократить среднее время выборки команд. Высокая производительность TMS320C4X достигается благодаря внутреннему параллелизму процессов и многошинной организации процессора. Раздельные шины позволяют одновременно выполнять выборку команды, данных и прямой доступ в память.

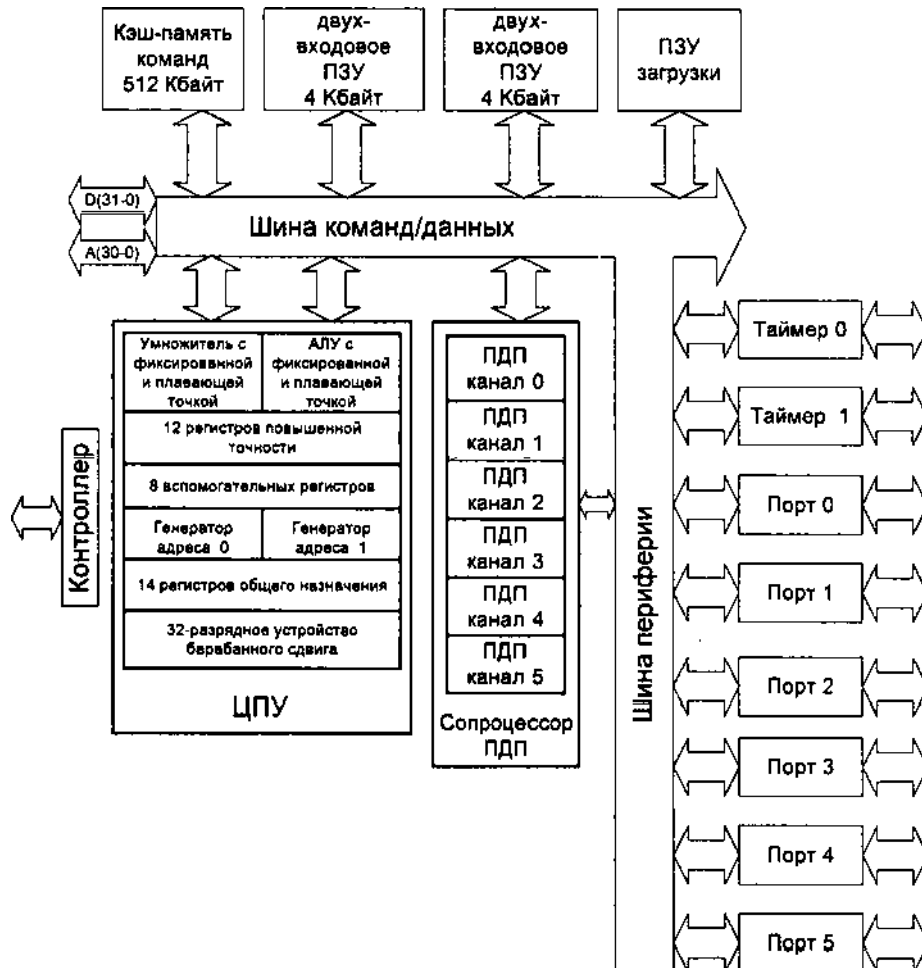


Рис. 2.13. Структура микропроцессора TMS320C40

Шесть ('C44 четыре) высокоскоростных (160 Мбит/с) коммуникационных портов обеспечивают эффективный обмен данными между процессорами. В ходе передачи осуществляется буферизация передаваемых и принимаемых данных и автоматический контроль за синхронизацией всех обменных операций между каналами, центральным процессором и сопроцессором ПДП. Шесть каналов сопроцессора ПДП содержат собственные генераторы адресов, счетчики, входные и выходные регистры и обеспечивают возможность

одновременного бесконфликтного обращения к памяти, обмена данными с медленными модулями памяти и внешними устройствами, без снижения производительности процессора. Особенностью сопроцессора ПДП является способность автоматической инициализации каналов после выполнения обмена.

Линк  $L_y$ ,  $y = 0, \dots, 5$  состоит из 8-разрядной двунаправленной линии данных  $D_y$  (7—0) и двунаправленных одnorазрядных управляющих линий для передачи сигналов:

- $REQ_y$  — запрос коммуникационным портом маркера, разрешающего передачу по линку;
- $ACK_y$  — подтверждение предоставления линка для передачи данных;
- $STI_y$  — строб коммуникационного порта, сопровождающий выдачу данных на линии данных;
- $CRDY_y$  — сигнал готовности коммутационного порта к приему, выдаваемый принимающим  $S4x$  по завершении приема предыдущей порции данных.

Линии данных и управляющие линии реализованы как двунаправленные, что приводит к необходимости согласования состояний портов линков, соединяющих два микропроцессора: один порт обязательно передающий, другой — принимающий, либо оба порта находятся в третьем состоянии, исключающем передачу электрических сигналов между ними. При начальной установке обязательно выполнение этого требования, которое дальше поддерживается протоколом функционирования линка. Передающий порт отмечается маркером, который передается другому порту при смене направления передачи по линку. Передача маркера происходит за 4 такта.

### **Очереди портов**

Каждый порт имеет входную и выходную FIFO-очереди. Процессор или канал ПДП пересылают данные в конец выходной FIFO-очереди порта для передачи их по линку. Выборка принятых данных выполняется из начала входной FIFO-очереди. Обе очереди имеют по 8 элементов, каждый из которых предназначен для хранения 32-битного слова. При соединении двух  $S4x$  в каждом линке образуется очередь в 16 элементов: 8 элементов на одном конце линка и 8 элементов на другом конце линка.

### **Интерфейс линков**

Программное управление передачами данных по линкам выполняется путем записи соответствующих кодов в регистры состояния и управления линков. Для каждого линка в  $S4x$  выделена часть адресного пространства размером 16 слов:

- первое слово содержит управляющий регистр порта;
- второе слово является элементом 0 входной FIFO-очереди;
- третье слово служит элементом 7 выходной FIFO-очереди;
- остальные слова резервные.

Поля и отдельные биты управляющего регистра определяют:

- направление передачи порта: входной или выходной;
- прекращение функционирования порта как входного и переключение на функционирование как выходного;
- прекращение функционирования порта как выходного и готовность переключиться в режим входного порта;
- указатель заполненности выходной очереди;
- указатель заполненности входной очереди.

### **Функционирование линков**

Когда функционирование порта как входного прекращено, он не дает сигнала готовности к приему после получения первого байта. Передача данных останавливается до момента переключения порта в режим входного порта или до поступления сигнала сброса. При этом передача данных после возобновления идет без потери байтов.

Коммуникационный порт не выдает подтверждения на запрос маркера в следующих случаях:

- его функционирование как входного порта прекращено;
- порт имеет заполненную входную FIFO-очередь.

При этом порт, сохранив маркер, может функционировать как выходной.

Если коммуникационный порт прекращает функционировать в качестве входного порта в момент приема запроса маркера, то подтверждение на запрос маркера выдается до остановки.

Прекращение функционирования порта как выходного приводит к следующим последствиям:

- если выходной порт не имеет маркера и его функционирование как выходного порта прекращено, то запрос на маркер не высылается;
- если выходной порт имеет маркер и идет передача, то после выдачи передаваемого слова следующее слово не передается;
- если выходной порт имеет маркер и его функционирование как входного порта не прекращено, а функционирование как выходного порта прекращено, то при запросе маркера он должен быть передан;
- при установке функционирования порта как выходного при наличии маркера передача возобновляется; при отсутствии маркера она должна быть запрошена в обычном порядке.

Основной механизм синхронизации базируется на сигналах "готов/не готов". Если канал прямого доступа в память или центральный процессор пытаются прочитать из пустой входной очереди или записать в полную выходную очередь, выдается сигнал "не готов" и каналы ПДП или ЦП продолжают чтение или запись после получения сигнала "готов".

Сигналом готовности для выходного канала является OCRDY (Output Channel Ready), который также является сигналом прерывания. Сигналом готовности для входного канала является ICRDY (Input Channel Ready), который также является сигналом прерывания.

Каждый порт способен генерировать четыре различных сигнала прерывания:

- входная очередь полна (input channel full);
- входной канал готов (input channel ready);
- выходной канал готов (output channel ready);
- выходная очередь пуста (output channel empty).

ЦП может обрабатывать все 4 сигнала, а канал ПДП только сигналы готовности.

Два 32-разрядных таймера могут работать как с внутренней, так и с внешней синхронизацией, осуществлять подсчет временных интервалов и внешних событий, выдавая сигналы процессору или во внешнюю среду.

### **Микропроцессоры семейства TMS320C8X**

Микропроцессор TMS320C8x представляет собой новый подход к повышению производительности и функциональности цифровых сигнальных процессоров: в одной микросхеме объединено четыре усовершенствованных цифровых процессора обработки сигналов (ADSP — Advanced Digital Signal Processor), каждый из которых выполняет за такт несколько RISC-операций, и пятый процессор, называемый главным процессором (Master Processor — MP), — 32-разрядный процессор с высокопроизводительным устройством обработки чисел в формате с плавающей точкой.

В дополнение к процессорному ядру на кристалле размещены:

- контролер обмена (TC — Transfer Controller) — интеллектуальный контроллер ПДП, поддерживающий интерфейс с DRAM и SRAM;
- видеоконтроллер (VC — Video Controller);
- порт тестирования и отладки — JTAG;
- 50 Кбайт SRAM.

Выпускается также упрощенный вариант микропроцессора TMS320C82, который отличается меньшим объемом памяти, количеством сигнальных процессоров ADSP (2), отсутствием видеоконтроллера и соответственно меньшей стоимостью.

Структура процессора изображена на рис. 3.14.

Суммарная производительность TMS320C80 на регистровых операциях достигает 2 млрд RISC-подобных команд в секунду. Благодаря столь высокой производительности TMS320C80 может заменить при реализации ряда приложений более 10 высокопроизводительных сигнальных микропроцессоров или универсальных микропроцессоров, выпускавшихся до его появления.

Приведем технические характеристики TMS320C80:

- тактовая частота 40 или 50 МГц;
- производительность свыше 2 млрд. операций в секунду;
- 64-разрядный контроллер обмена с динамическим конфигурированием шины на обмен 64-, 32-, 16- и 8-разрядными словами;
- режим ПДП к SRAM, DRAM;

- пропускная способность шины памяти — 2,4 Гбайт/с при передаче данных и 1,8 Гбайт/с при передаче команд;
- объем адресного пространства — 4 Гбайт;
- поддержка до 4 внешних прерываний;
- напряжение питания 3,3 В;
- около 4 млн. транзисторов на кристалле;
- технология производства КМОП 0,5 мкм.

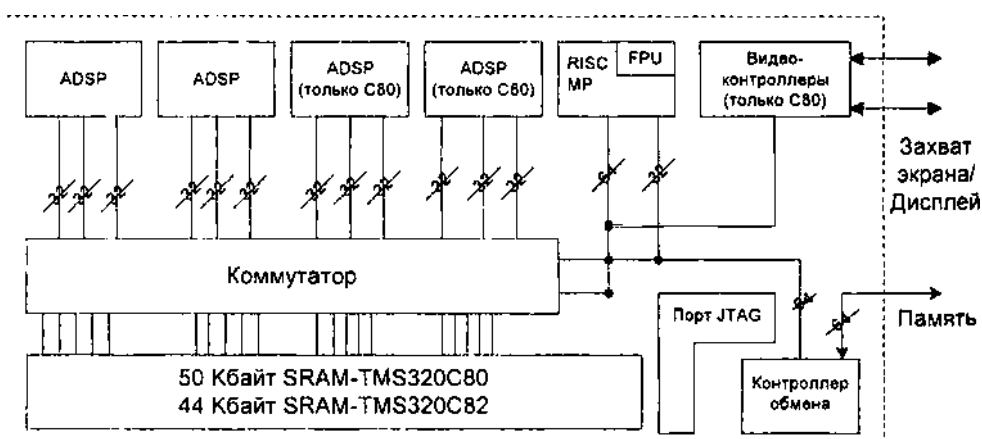


Рис. 2.14. Структура микропроцессора TMS320C8X

### Архитектура микропроцессора TMS320C80

Архитектура процессора TMS320C80 относится к классу MIMD — множественный поток данных, множественный поток команд. Входящие в состав TMS320C80 процессоры программируются независимо один от другого и могут выполнять как разные, так и одну общую задачу. Обмен данными между процессорами осуществляется через общую внутрикристальную память, доступ к которой обеспечивает матричный коммутатор (Crossbar), выполняющий также функции монитора при одновременном обращении к одному сегменту памяти нескольких процессоров.

Рассмотрим подробнее архитектуру процессоров, входящих в состав TMS320C80.

#### Архитектура главного процессора

Главный процессор — это вычислительное устройство с RISC-архитектурой и встроенным сопроцессором для выполнения операций с плавающей точкой. Подобно другим процессорам с RISC-архитектурой, MP использует команды загрузки/сохранения для доступа к данным в памяти, а также выполняет большинство целочисленных, битовых и логических команд над операндами в регистрах в течение одного такта.

Вычислитель с плавающей точкой (FPU — Floating Point Unit) конвейеризован и позволяет выполнять операции над данными как с одинарной, так и с

двойной точностью, совмещая в конвейере операции умножения, сложения с накоплением, загрузки и сохранения результата. FPU использует тот же регистровый файл, что и устройство целочисленной и логической обработки. Производительность устройства составляет около 100 Mflops.

Специальный механизм отметок (Scoreboard) фиксирует занятость регистров и обеспечивает их бесконфликтное использование.

На рис. 2.15 приведена структура главного процессора.

Основными компонентами МР являются:

- регистровый файл, состоящий из 31 регистра (32-разрядного);
- барабанное устройство сдвига (Barrel Rotator);
- генератор маски;

О таймер;

- целочисленное АЛУ;

П управляющий регистр;

- 4 аккумулятора с плавающей точкой двойной точности;
- умножитель с плавающей точкой;
- сумматор с плавающей точкой;
- контролер кэш-памяти.

Объем каждого из внутрикристалльных кэшей МР для команд и данных равен 4 Кбайта. Управление кэш-памятью осуществляет входящий в состав МР контроллер.

МР может обслуживать до четырех внешних прерываний. Запрос на обслуживание трех из них должен иметь форму импульса, а для одного — передача управления процедуре обработки осуществляется по изменению уровня напряжения.

Для различных схем распараллеливания обработки в рамках микропроцессора МР может использоваться как управляющий или как универсальный арифметико-логический и графический процессор.

Набор инструкций МР включает в себя:

- арифметические операции;
- логические операции;
- операции сравнения;
- операции с плавающей точкой;
- арифметические преобразования;
- векторные арифметические операции;
- векторные операции умножения/накопления;
- векторные операции преобразования;
- векторные операции умножения/накопления с удвоенной точностью;
- операции ветвления и переключения контекста;
- команды управления;
- команды чтения/записи ОЗУ;
- команды сдвига.





Рис. 2.15. Структура главного процессора

### Архитектура ADSP-процессоров

Архитектура ADSP-процессоров TMS320C80 оптимизирована для приложений, связанных с обработкой 2- и 3-мерной графики, видеоизображений и звука. ADSP может выполнять за один такт одновременно операцию умножения, арифметико-логическую операцию (например, сдвиг-суммирование) и два обращения к памяти. Внутренний параллелизм ADSP позволяет обеспечить на некоторых алгоритмах быстродействие свыше 500 млн операций в секунду.

ADSP манипулирует 32-разрядными словами, а разрядность команд составляет 64 бита. Процессор использует прямую, непосредственную и 12 видов косвенной адресации.

Архитектура ADSP характеризуется следующими параметрами:

- 3-этапный конвейер;

- 44 доступных пользователю регистра (10 адресных, 6 индекса, 8 данных, 20 — прочих);
- 32-разрядное 3-входовое АЛУ;
- репликатор битов;
- два адресных устройства;
- 32-разрядное устройство барабанного сдвига;
- генератор масок;
- блок условных операций (для сокращения времени выполнения переходов). Структура ADSP-процессора показана на рис. 3.16.

На рисунке обозначены:

- A/S — блок выравнивания/расширения знакового разряда;
- Repl — репликатор.

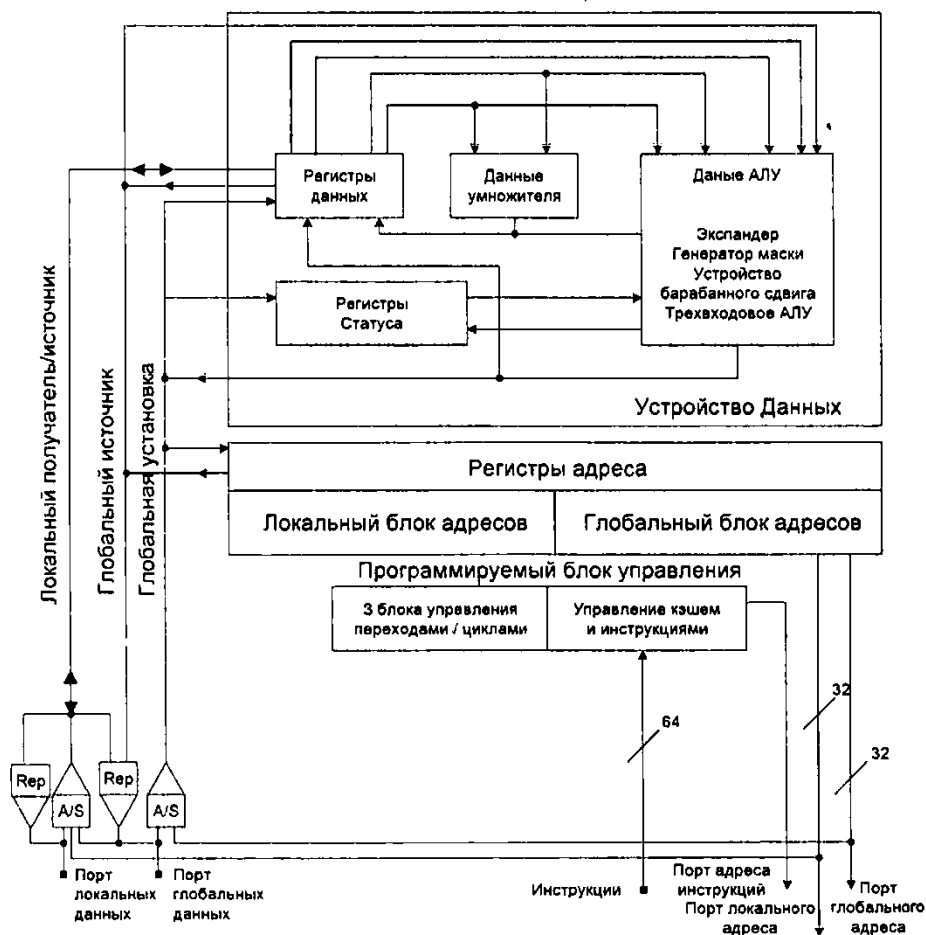


Рис.2.16. Структура ADSP-процессоров

### Контроллер обмена

Контроллер обмена управляет операциями обмена процессоров и памяти как внутри кристалла (через коммутатор), так и вне кристалла, с использованием входящих в его состав интерфейсных схем, поддерживающих все распространенные стандарты памяти (DRAM, VRAM, SRAM) и обеспечивающих возможность динамического изменения разрядности шины от

8 до 64. Используя приоритетную дисциплину обслуживания запросов к памяти в режиме ПДП, контроллер обмена позволяет выполнять обмен данными, не прерывая вычислений со скоростью до 400 Мбайт/с.

Контроллер обмена поддерживает линейную и координатную адресацию памяти для эффективного выполнения обмена при работе с 2- и 3-мерными графическими изображениями.

### **Видеоконтроллеры**

Два расположенных на кристалле микропроцессора TMS320C80 видеоконтроллера обладают возможностью захвата и отображения видеоинформации в режимах как вертикального, так и горизонтального сканирования. Режимы захвата/сканирования могут устанавливаться для каждого из контроллеров независимо.

### **Области применения микропроцессора TMS320C80**

Области применения микропроцессора гораздо шире тех, что обозначены его названием. Процессор нашел свое применение в системах: обработки мультимедийной информации, видеоконференцсвязи, обработки 2- и 3- мерной графики, моделирования виртуальной реальности, передачи данных.

## **2.3 . Коммуникационные процессоры**

Еще одна категория специализированных процессоров, достаточно близкая по архитектуре к сигнальным, но имеющая существенные отличия, — коммуникационные процессоры. С сигнальными микропроцессорами ее роднит общая область применения — системы связи, а отличия обусловлены местом использования в трактах телекоммуникационных систем и задачами, которые возложены на эти процессоры.

Если традиционные сигнальные микропроцессоры ориентированы на эффективную реализацию протоколов физического и канального уровня, то коммуникационные микропроцессоры предназначены, в основном, для обработки протоколов сетевых и транспортных уровней. Общим для сигнальных и коммуникационных микропроцессоров является характер процесса обработки: поточная обработка данных в реальном режиме времени.

### **Микропроцессор MPC8260**

Микропроцессор компании Motorola — MPC8260 PowerQUICC II™ [145] — представляет собой универсальный коммуникационный процессор, который объединяет в одном кристалле высокопроизводительное вычислительное RISC-ядро с архитектурой PowerPC, гибкое устройство системной интеграции и множество периферийных контроллеров.

На базе микропроцессора могут быть реализованы устройства для различных

коммуникационных приложений, в том числе:

- сервер удаленного доступа;
- мост LAN-WAN;
- базовая станция сотовой связи;
- маршрутизатор локальной вычислительной сети и др.

Структурная схема микропроцессора приведена на рис. 3.39.

В состав микропроцессора входят три основных функциональных блока:

- микропроцессорное ядро с устройством управления памятью и кэш-памятью команд и данных;
- устройство системного интерфейса;
- модуль коммуникационного процессора.

Микропроцессор MPC8260 имеет две шины для обеспечения коммуникационных потребностей высокопроизводительного микропроцессорного ядра и быстрых коммуникационных каналов: микропроцессорная шина 60х (64-разрядная шина данных и 32-разрядная шина адреса) и локальная шина (32-разрядная шина данных, 18-разрядная шина адреса). Ядро и модуль коммуникационного процессора подключены к шине 60х.

Как микропроцессорное ядро, так и модуль коммуникационного процессора содержат собственные делители частоты, позволяющие осуществлять независимую настройку компонентов на оптимальную частоту работы.

Ядро процессора представляет собой встроенный вариант 32-разрядного целочисленного RISC-микропроцессора PowerPC — MPC603e, работающего на тактовой частоте до 200 МГц с отдельной 4-входной множественно-ассоциативной кэш-памятью команд и данных объемом по 16 Кбайт каждая. Микропроцессор не поддерживает операции над данными в формате с плавающей точкой.

Ядро микропроцессора может быть отключено. В этом случае микропроцессор функционирует как периферийное устройство внешнего ядра.

В состав устройства системного интерфейса микропроцессора входят два контроллера памяти, совместимые с большинством существующих типов памяти (SDRAM, DRAM, EPROM, Flash и др.) и прочие периферийные устройства, превращающие данный микропроцессор в полнофункциональную систему в одном кристалле.

Устройство системного интерфейса содержит следующие компоненты:

- 64-разрядную системную шину, совместимую с шиной 60х;
- локальную шину (32 линии передачи данных, 32-разрядная внутренняя и 18-разрядная внешняя шины адреса), работающую на той же частоте, что и системная шина 60х. Эта шина используется для обменных операций коммуникационного контроллера;
- контроллер памяти, обеспечивающий работу с 12 банками памяти, которые могут быть подключены как к системной, так и к локальной шине микропроцессора;
- порт тестирования и отладки микропроцессора JTAG;

- таймеры реального времени и интервальный таймер;
- интерфейс кэш-памяти второго уровня.

Модуль коммуникационного процессора представляет собой набор схем, осуществляющих взаимодействие с периферией и обеспечивающих на аппаратном уровне разнообразные интерфейсные функции, включая поддержку коммуникационных протоколов, таких как Fast Ethernet и ATM, обработку полnodуплексных мультиплексированных каналов с временным разделением и др.

Модуль коммуникационного процессора содержит:

- коммуникационный процессор (CP — Communication Processor), представляющий собой встроенный 32-разрядный RISC-процессор. Коммуникационный процессор подключен к отдельной локальной шине, благодаря чему он не оказывает влияния на микропроцессорное ядро, подключенное к шине 60х. CP выполняет низкоуровневые задачи и инициирует обработку ПДП-запросов, освобождая тем самым микропроцессорное ядро для выполнения задач высокого уровня. Система команд CP оптимизирована для коммуникационных задач, в то же время, коммуникационный процессор может выполнять и приложения общего назначения, разгружая основной процессор;

- два независимо функционирующих последовательных ПДП-контроллера, оптимизированных для выполнения блочных пересылок по локальной шине и шине 60х;

- три полnodуплексных высокоскоростных последовательных контроллера, поддерживающих протокол ATM со скоростью передачи 155 Мбит/с (интерфейс UTOPIA) и протоколы IEEE 802.3, Fast Ethernet, HDLC (до 45 Мбайт/с). Возможна также сквозная (прозрачная) пересылка битных потоков;

Я два многоканальных контроллера, способных совместно обрабатывать до 256 HDLC потоков со скоростями до 64 Кбит/с, принимаемых по 8 интерфейсным каналам. Многоканальный контроллер может также обрабатывать суперканалы со скоростями выше 64 Кбит/с и субканалы 64-килобитного канала;

- четыре полnodуплексных последовательных коммуникационных контроллера, поддерживающих протоколы IEEE802.3/Ethernet, HDLC, Local Talk, UART, BISYNC и прозрачную пересылку данных;

- два полnodуплексных последовательных управляющих контроллера (SMC), поддерживающих протоколы GCI, UART и прозрачную пересылку данных;

- последовательный периферийный интерфейс SPI и контроллеры шин I<sup>2</sup>C;

Я устройство распределения временных интервалов (TSA — Time-slot assigner), обеспечивающее мультиплексирование потоков данных от источников: 4 полnodуплексных последовательных коммуникационных контроллера, 3 высокоскоростных последовательных контроллера, 2 последовательных управляющих контроллера.

Микропроцессор использует два напряжения питания: для внутренних схем — 2 В, для подсистем ввода/вывода — 3,3 В и потребляет около 2,5 Вт.  
Производительность MPC8260 на тактовой частоте 200 МГц составляет 280 MIPS, на тестах SPECint95 — 5,1.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение ЦОС.
2. Преимущества и недостатки ЦО аналоговых сигналов.
3. Приведите пример задачи ЦОС и реализующего ее тракта.
4. Какие функциональные, архитектурные и структурные особенности характерны для сигнальных микропроцессоров.
5. Особенности микропроцессоров семейства TMS320C1x.
6. Микропроцессоры семейства TMS3202xx.
7. Микропроцессоры семейства TMS32054x.
8. Особенности микропроцессоров семейства TMS320C3x.
9. Микропроцессоры семейства TMS320C4x.
10. Микропроцессоры семейства TMS320C8x.
11. Структура микропроцессора MPC8260.

### 3. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ

Для аппаратных средств ТКС всегда существует потребность быстрого макетирования разрабатываемой аппаратуры организации и модернизации вычислительных алгоритмов.

Для решения перечисленных задач были разработаны программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС). ПЛИС — это матричные большие интегральные схемы, позволяющие программно скомпоновать в одном корпусе электронную схему, эквивалентную схеме, включающей от нескольких десятков до нескольких сотен интегральных схем (ИС) стандартной логики. По сравнению с другими микроэлектронными технологиями, в том числе базовыми матричными кристаллами (БМК) и специализированными ИС (ASIC), технология ПЛИС обеспечивает рекордно короткий проектотехнологический цикл (от нескольких часов до нескольких дней), минимальные затраты на проектирование, максимальную гибкость при необходимости модификации аппаратуры.

Логические блоки, блоки ввода/вывода и коммутационные поля конфигурируются при загрузке в ПЛИС битовой последовательности, полученной в результате разработки схемы.

В зависимости от семейства ПЛИС, логические блоки, блоки ввода/вывода и коммутационные блоки имеют разную степень сложности и обладают разными функциональными возможностями.

В настоящее время на мировом рынке можно отметить несколько основных компаний — производителей ПЛИС — XILINX, ALTERA, LATTICE, AT&T, INTEL, выпускающих микросхемы с архитектурой EPLD — многократно программируемые и FPGA (Field Programmable Gate Array) — многократно реконфигурируемые.

В качестве памяти для хранения конфигурации в ПЛИС EPLD используется полупостоянное запоминающее устройство (ППЗУ) с ультрафиолетовым стиранием, а у ПЛИС FPGA — статическое запоминающее устройство.

Микросхема FPGA представляет собой матрицу логических ячеек, соединенных между собой логическими ключами. Содержащаяся в микросхемах FPGA статическая память, будучи заполненной определенной битовой последовательностью, воздействует на логические ячейки и соединяющие их ключи, позволяя получить требуемые электрические схемы (регистры, счетчики, логические схемы и т. д., соединенные друг с другом в требуемом порядке). Каждая микросхема FPGA имеет также вход для записи битовой последовательности, заполняющей статическую память, а также элементы "вход/выход" для связи с другими микросхемами.

Так же, как и при создании программ для универсального процессора, для программирования ПЛИС необходимы инструментальные средства (языки программирования, трансляторы, оптимизаторы и т. д.), конечным результатом

работы которых является битовая последовательность, заполняющая статическую память микросхемы FPGA. Системы автоматизированного проектирования позволяют разработчику, пользуясь стандартными элементами библиотек, создавать на рабочих станциях логические схемы, реализующие заданные алгоритмы, проводить моделирование с анализом функциональных и временных характеристик, осуществлять оптимизацию разработанных схем по оборудованию и времени выполнения задачи и транслировать разработанные схемы в битовые последовательности, определяющие логику работы процессора. Например, компания XILINX предоставляет полное математическое обеспечение для разработки и применения устройств на базе FPGA и EPLD. Для разработки используются схемотехнические редакторы и системы моделирования, входящие в состав наиболее популярных САПР: VIEWLOGIC и MENTOR GRAPHICS, функционирующих на персональных компьютерах и рабочих станциях SUN и HP соответственно. Эти системы используют для программирования ПЛИС. VHDL, Verilog служат языками разработки аппаратных средств. Имеются также попытки использования языков программирования для потоковых вычислений и традиционных языков программирования, например, С.

Существует крайняя точка зрения, что со временем ПЛИС вытеснят серийные микропроцессоры, т. к. пользователь сможет реализовать требуемую ему систему программными средствами, учитывая всю специфику своего приложения. Однако более вероятно другое направление развития СБИС, состоящее в интеграции ПЛИС и микропроцессоров. В ПЛИС встраиваются готовые блоки, разработанные фирмой-производителем, или IP-блоки, являющиеся блоками интеллектуальной собственности (Intellectual Property) других фирм. IP-блоки могут быть программными (soft), в которых не фиксирована топология, и аппаратными (hard), в которых топология фиксирована, что позволяет достигать высокой эффективности схемной реализации и большей степени защиты прав на интеллектуальную собственность.

Таким образом, на основе одной или нескольких микросхем FPGA можно создать реконфигурируемый процессор, обладающий преимуществами спецпроцессора на "жесткой" логике, способного путем изменения содержимого статической памяти решать любые задачи, подобно универсальному процессору.

Отличительной особенностью ПЛИС архитектуры FPGA семейств XILINX XC2000, XC3000, XC3100, XC4000 является наличие поля *конфигурируемых логических блоков* (КЛБ) и блоков ввода/вывода, связанных между собой посредством коммутационных блоков.

Конфигурируемый логический блок — один из базовых элементов архитектуры ПЛИС FPGA — может выполнять любую логическую функцию, реализуемую таблицей преобразования (LUT) в соответствии с заданной битовой последовательностью (рис. 1.13). Изменять выполняемую функцию



можно неограниченное количество раз путем загрузки другой битовой последовательности.

Конфигурируемые логические блоки всевозможных ПЛИС FPGA различаются количеством таблиц преобразования, числом входов этих таблиц (от 2 до 4), позволяющих реализовать функции от соответствующего числа переменных, а также количеством регистров в блоке.

Блок ввода/вывода (рис. 1.14) так же, как и логический блок, может быть настроен на выполнение любого электрического соединения реализованной внутри ПЛИС схемы с внешним миром через соответствующий контакт микросхемы.

В настоящее время компания XILINX производит микросхемы следующих типов:

- серии XC7200 и XC7300 — типа EPLD. Содержат от 18 до 144 многовходовых макроячеек, представляющих собой программируемое 1-разрядное АЛУ со встроенным триггером-защелкой. Ячейки объединяются матричным коммутатором. ИС могут быть использованы для нестандартных АЛУ, дешифраторов, счетчиков и т. п.;

- серии XC2000, XC3000 — типа FPGA. Содержат от 2000 до 9000 эквивалентных вентилях. Включают до 320 КЛБ;

- серии XC3000A, XC3100A, XC4000, XC5000 — типа FPGA. Включают от 2000 до 25 000 вентилях. Содержат до 1024 КЛБ, выполняющих логическую функцию от 5, 9 или 20 переменных со временем выполнения до 2 нс. Имеется возможность реализации до 2560 триггеров и встроенного ЗУ до 32 Кбит (серия XC4000);

- серии XC4000E — типа FPGA. Разработана на основе серии XC4000 по улучшенной 0,5 мкм технологии с тремя слоями металлизации. Обеспечивает в 1,5 раза более высокую частоту переключения триггеров, на 60% более высокую эффективность выполнения арифметических операций. Имеет более низкую относительную стоимость. Новая функция конфигурации встроенного ОЗУ позволяет реализовать синхронный/асинхронный, одно/двухпортовый режимы обмена;

- серии XC6200 — типа FPGA. Создана специально для построения сопроцессоров. Имеет встроенный 8/16/32-разрядный программируемый (FastMAP) интерфейс, предназначенный для организации непосредственного обмена с шиной основного процессора. Повышенная скорость конфигурации (в 1000 раз по сравнению с предыдущими сериями) допускает частичную реконфигурацию FPGA в процессе выполнения текущей задачи. Встроенное ОЗУ (36—256 Кбайт) доступно через FPGA- логику, через FastMAP-интерфейс либо обоими способами;

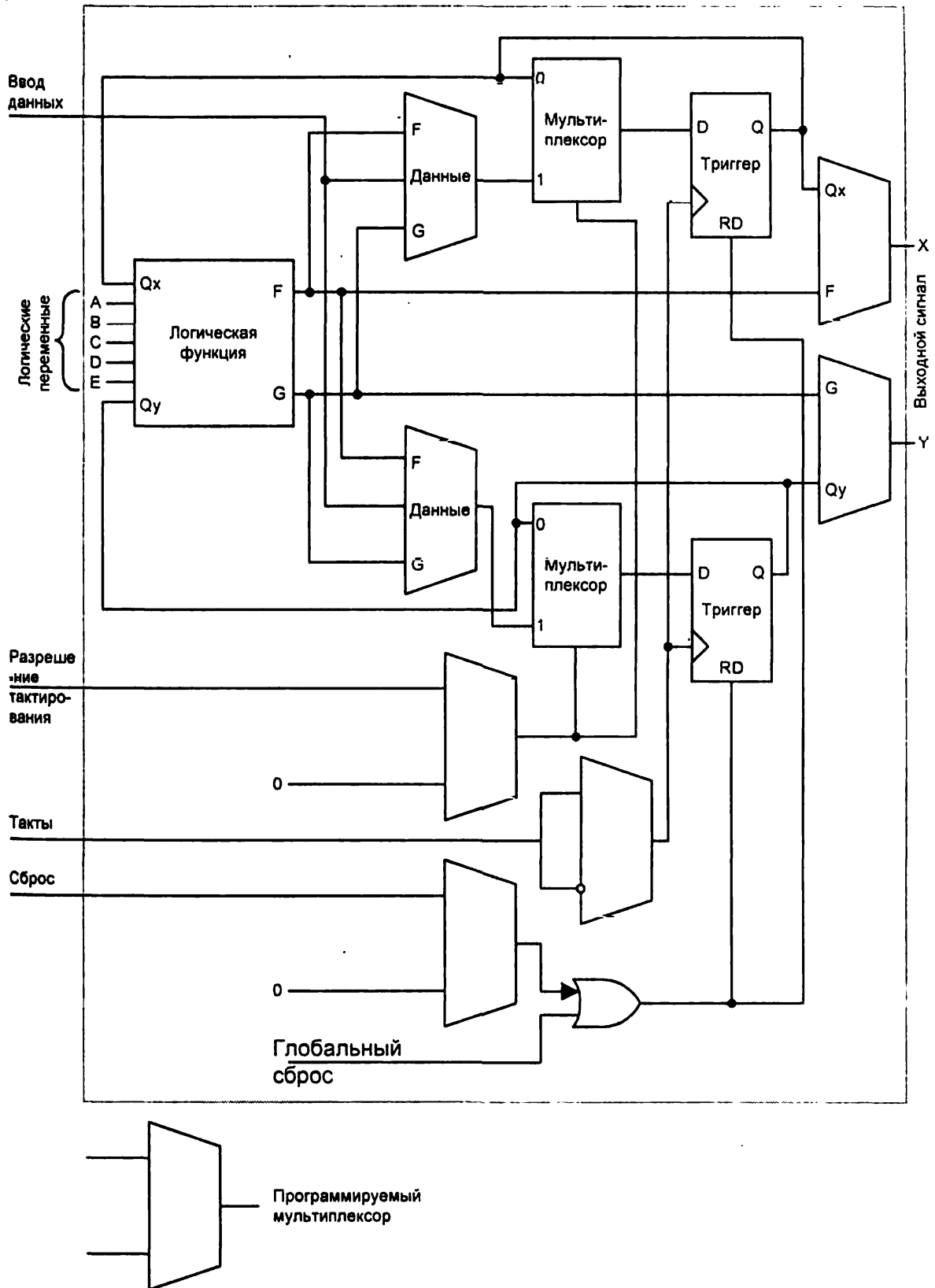


Рис. 3.1 Логический блок ПЛИС

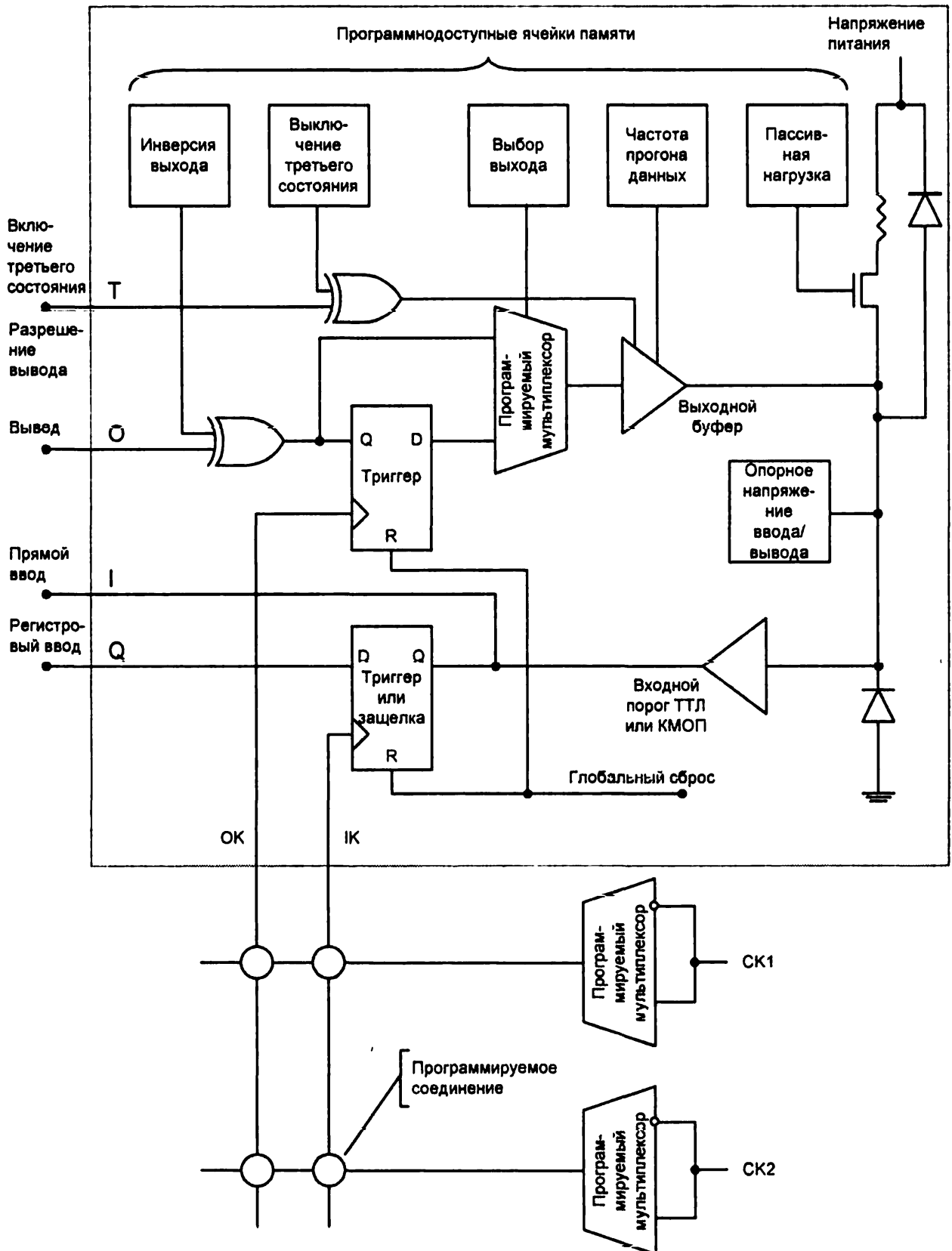


Рис. 3.2. Блок ввода/вывода ПЛИС

□ серии XC8I00 — однократно программируемые FPGA. Выполнена на основе MicroVia antifuse КМОП-технологии с тремя слоями металлизации. Технология обеспечивает более высокую плотность упаковки логических элементов и малое потребление;

□ серии XC9500 — типа CPLD. Многократно перепрограммируемые (до 10 000 раз) непосредственно на рабочем устройстве микросхемы. Содержат от 800 до 6400 рабочих ячеек или от 36 до 288 макроячеек, аналогичных серии XC7300. Рабочая частота — до 150 МГц;

□ серии XC4000XLA и XC4000XV — типа FPGA. Выполнены соответственно по КМОП-технологии 0,35 и 0,25 мкм с пятью слоями металлизации. Максимальное количество вентиляей 500 тыс.;

□ серии Virtex-E и Virtex-EM — типа FPGA. Выполнены по КМОП-технологии 0,18 мкм с шестью слоями металлизации. Количество КЛБ превышает 40 тыс. Блок ввода/вывода совместим с шиной PCI (32/64 бита, 33/66 МГц);

□ серии Viitex II — типа FPGA. Выполнены по КМОП-технологии 0,15/0,12 мкм с восьмью слоями металлизации. Количество вентиляей до 10 млн. В состав КЛБ входят 8 таблиц для задания функций, 18-разрядный быстрый умножитель. Предусмотрена возможность использования заказных блоков и IP-блоков.

Все серии компании XILINX имеют высочайшую степень защиты от копирования.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите задачи, решаемые с помощью ПЛИС.
2. Что используется в качестве памяти для хранения конфигурации в ПЛИС EPLD?
3. Что можно создать на основе микросхем FPGA?
4. Приведите особенности микросхем, выпускаемых компанией XILINX.
5. Приведите структурную схему логического блока ПЛИС.
6. Приведите структурную схему блока ввода/вывода ПЛИС.

## 4. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УВД

К радиолокационным объектам средств радиотехнического обеспечения полетов (РТОП) относятся:

- Обзорный радиолокатор трассовый (ОРЛ-Т)
- Обзорный радиолокатор аэродромный (ОРЛ-А)
- Автономный вторичный радиолокатор (ВРЛ)
- Посадочный радиолокатор (ПРЛ)
- Радиолокационная станция обзора летного поля (РЛС ОЛП)

### 4.1. Характеристики РЛС

#### Обзорный радиолокатор трассовый ОРЛ-Т

Обзорный радиолокатор трассовый предназначен для обнаружения и измерения координат воздушных судов во внеаэродромной зоне (на воздушных трассах и вне их) с последующей выдачей информации о воздушной обстановке в центры ОВД для целей контроля и обеспечения управления воздушным движением.

ОРЛ-Т размещают таким образом, чтобы обеспечивался радиолокационный контроль за полетами ВС в секторах прохождения воздушных трасс данного района ОВД. В секторах прохождения воздушных трасс величины углов закрытия по углу места с высоты фазового центра антенны ОРЛ-Т не должны превышать  $0.5^\circ$ .

В состав ОРЛ-Т должны входить: АФС; приемо-передающая аппаратура первичного канала; приемо-передающая аппаратура встроенного вторичного канала (при его наличии); аппаратура обработки радиолокационной информации; аппаратура передачи данных; система контроля, управления и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Требования к основным характеристикам ОРЛ-Т приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Основные характеристики ОРЛ-Т

№	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Максимальная дальность действия, не менее	км	350
2	Минимальная дальность действия, не более	км	40
3	Угол обзора в горизонтальной плоскости	градус	360
4	Период обновления информации, не более	с	10 (20)

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4
5	Диапазон рабочих волн	см	23 или 10
6	Среднеквадратическая ошибка определения координат цели по выходу с АПОИ: - по дальности, не более - по азимуту, не более	м градус	300 0.25
7	Разрешающая способность: - по дальности, не более - по азимуту, не более	м градус	1000 1.3

*Примечание: Нормативы с п.п. 1, 6 установлены для вероятности обнаружения не менее 0.8 при вероятности ложной тревоги равной  $10^{-6}$  по ВС с ЭОП, равной  $15 \text{ м}^2$ , при высоте полета ВС - 10000 м.*

### Вторичный радиолокатор

Вторичный радиолокатор предназначен для обнаружения, измерения координат (азимут-дальность), запроса и приема дополнительной информации от воздушных судов, оборудованных самолетными ответчиками, с последующей выдачей информации в центры ОВД.

ВРЛ должен быть размещен таким образом, чтобы обеспечивался непрерывный радиолокационный контроль за полетами ВС, оборудованных самолетными ответчиками, в секторах ответственности зоны ОВД.

Позиция, на которой размещен ВРЛ, должна отвечать следующим требованиям:

- в секторах прохождения контролируемых трасс величины углов закрытия по углу места с высоты расположения фазового центра антенны ВРЛ не должны превышать  $0.5^\circ$ ;
- расстояние от места размещения ВРЛ до различных сооружений и местных предметов должно соответствовать требованиям эксплуатационной документации на радиолокатор.

В состав ВРЛ должны входить: АФС; приемо-передающая аппаратура; аппаратура обработки радиолокационной информации; аппаратура передачи данных; аппаратура сопряжения с потребителями радиолокационной информации или ОРЛ-Т, ОРЛ-А; система контроля, управления и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

ВРЛ должен обеспечивать работу в режимах "УВД" и "RBS" как автономно, так и совместно с ОРЛ-Т (ОРЛ-А). Основные характеристики ВРЛ должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 4.2.

Характеристики 4, 5, 6 и 7 представлены в эксплуатационной документации на трассовый радиолокатор. Все остальные характеристики определяются в процессе летной проверки РЛС при вводе ее в эксплуатацию. Этим

характеристикам удовлетворяют характеристики ряда отечественных ВРЛ, таких как "Корень – АС", "Радуга", "Лири – Т".

Таблица 4.2

## Основные характеристики ВРЛ

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив:		
			Трассовые ВРЛ	Аэродромные ВРЛ	
				Вариант Б1	Вариант Б2
1	Режимы работы	УВД и RBS	УВД и RBS	УВД и RBS	УВД и RBS
2	Максимальная дальность действия	км	400	250	150
3	Минимальная дальность действия, не более	км	2	2	1.5
4	Период обновления информации, не более	с	10	6	6
5	Рабочая частота	МГц	1030	1030	1030
6	Среднеквадратическая Определения координат (без учета ошибок АПОИ): - по дальности, не более - по азимуту, не более	м градус	300 0.25	200 0.2	200 0.2
7	Разрешающая способность координате: - по дальности, не более - по азимуту, не более	м градус	1000 4	1000 5	1000 5

Примечание: 1. Нормативы в п.п. 2-3 установлены для вероятности правильного обнаружения не менее 0.9 и вероятности ложных тревог по собственным шумам приемника, равной  $10^{-6}$  при высоте полёта ВС 10000м - для трассового ВРЛ и 6000 м - для аэродромных ВРЛ.

2. При сопряжении ВРЛ с ОРЛ-Т допускается использование периода обновления информации 20 с.

### Обзорный радиолокатор аэродромный

Обзорный радиолокатор аэродромный предназначен для обнаружения и измерения координат воздушных судов в районе аэродрома с последующей

передачей информации о воздушной обстановке в центры ОВД для целей контроля и обеспечения управления воздушным движением.

ОРЛ-А должен быть размещен таким образом, чтобы в секторах ответственности зоны ОВД величины углов закрытия по углу места с высоты фазового центра антенны ОРЛ-А составляли не более  $0.5^\circ$  при работе в автономном режиме.

В состав ОРЛ-А должны входить: АФС; приемо-передающая аппаратура первичного канала; приемо-передающая аппаратура встроенного вторичного канала; аппаратура обработки радиолокационной информации; аппаратура передачи данных; система контроля, управления и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации. Допускается отсутствие в составе ОРЛ-А вторичного канала.

Основные характеристики ОРЛ-А приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

## Основные характеристики ОРЛ-А

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив	
			Вариант Б1	Вариант Б2
1	2	3	4	5
1	Максимальная дальность действия	км	160	50-100
2	Угол обзора в горизонтальной плоскости	градус	360	360
3	Минимальная дальность действия, не более	км	2	1.5
4	Период обновления информации, не более	с	6	6
5	Диапазон рабочих волн	см	23 или 10	23 или 10
6	Среднеквадратическая ошибка определения координат цели по выходу с АПОИ: - по дальности, не более - по азимуту, не более	м	200	200
		градус	0.4	0.4

*Примечание: 1. Нормативы в п.п. 1.6 установлены для вероятности правильного обнаружения не менее 0.8, при вероятности ложной тревоги равной  $10^6$  по ВС с ЭОП, равной 15м, при высоте полета ВС - 6000 м.*

*2. При сопряжении ОРЛ-А с ВРЛ вероятность объединения координатной и дополнительной информации не менее 0.9.*

Характеристики 2,4, 5 и 6 представлены в эксплуатационной документации на аэродромный радиолокатор. Все остальные характеристики определяются в процессе летной проверки РЛС при вводе ее в эксплуатацию. Этим характеристикам удовлетворяет РЛС "Экран-85".



## Посадочный радиолокатор

Посадочный радиолокатор предназначен для обнаружения и контроля за полетом ВС на траектории захода на посадку.

ПРЛ при длине ВПП 1500 метров и более должен размещаться на одинаковом расстоянии от порогов ВПП и на расстоянии 120-200 метров в сторону от оси ВПП.

При длине ВПП менее 1500 метров ПРЛ должен быть размещен на расстоянии не менее 750 метров от порога ВПП основного направления посадки.

Зона приземления ВС должна находиться в рабочем секторе ПРЛ  $\pm 15^\circ$  или от плюс  $20^\circ$  до минус  $10^\circ$  по курсу посадки и в этом секторе не должно быть естественных и искусственных препятствий, образующих углы закрытия более  $0.5^\circ$  с высоты размещения фазового центра курсовой антенны.

В состав ПРЛ должны входить: АФС; приемо-передающая аппаратура; аппаратура обработки радиолокационной информации; аппаратура передачи данных; система контроля, управления и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Основные характеристики ПРЛ должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 4.4.

Характеристики 6, 7 и 8 представлены в эксплуатационной документации на посадочный радиолокатор. Все остальные характеристики определяются в процессе летной проверки РЛС при вводе ее в эксплуатацию. Этим характеристикам удовлетворяет РЛС РП-4Г.

Таблица 4.4

### Основные характеристики ПРЛ

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Дальность действия, не менее	Км	17
2	Углы обзора пространства, не менее а) антенна курса – по азимуту б) антенна курса – по углу места	градус градус	20 7
3	Ошибка определения расстояния от ВС до расчетной точки приземления, не более	М	30м+30% расстояния от ВС до точки приземления

Продолжение табл. 4.4

1	2	3	4
4	Ошибка определения отклонения ВС от линии курса, не более	М	От 0.6% расстояния от антенны ПРЛ до ВС плюс 10% бокового отклонения от линии курса, либо 9м
5	Ошибка определения отклонения ВС от заданной траектории снижения, не более	М	От 0.4% расстояния от антенны ПРЛ до ВС плюс 10% вертикального отклонения от линии курса, либо 9м (брать большую величину)
6	Разрешающая способность не хуже: - по дальности - по курсу - по углу места	м градус градус	120 1.2 0.6
7	Период обновления информации, не более	С	1
8	Диапазон рабочих волн	См	3

*Примечание: норматив в п. 1 установлен для вероятности правильного обнаружения не менее 0.8 при вероятности ложной тревоги равной  $10^{-6}$  по ВС с ЭОП, равной  $15\text{м}^2$ .*

### **Радиолокационная станция обзора летного поля**

Радиолокатор обзора летного поля предназначен для обнаружения и наблюдения за воздушными судами, спецавтотранспортом, техническими средствами и другими объектами, находящимися на ВПП и РД, а также для контроля и управления движением ВС на ВПП и РД во время старта, руления и посадки.

Антенная система РЛС ОЛП должна быть установлена таким образом, чтобы был обеспечен радиолокационный контроль всей необходимой

площади аэродрома с учетом возможностей РЛС ОЛП по максимальной и минимальной дальностям обнаружения.

Не допускается расположение каких-либо металлических конструкций (мачты, антенны радиостанций ОВЧ - диапазона и т.п.) выше установки антенной системы РЛС ОЛП в радиусе 50 метров от нее.

В состав РЛС ОЛП должны входить: АФС; приемо-передающая аппаратура; аппаратура обработки радиолокационной информации; аппаратура передачи данных; система контроля, управления и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Основные характеристики рлс олп должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 4.5.

Таблица 4.5

## Основные характеристики РЛС ОЛП

№ п/п	Наименование характеристики	Единица Измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Максимальная дальность действия в плоскости земли	м	5000
2	Минимальная дальность действия в плоскости земли, не более	м	90
3	Угол обзора в горизонтальной плоскости	градус	360
4	Разрешающая способность в режиме кругового обзора: - по дальности - по азимуту	м м	$15^3$ $15^3$
5	Период обновления информации	с	$1 \pm 0.1$
6	Диапазон рабочих волн	см	0.8-1.5
7	Среднеквадратическая ошибка измерения координат цели: - по дальности - по азимуту	м градус	10 0.2

*Примечание: 1. Норматив в п.1 установлен для вероятности обнаружения не менее 0.9 и вероятности ложной тревоги по собственным шумам приемника, равной  $10^{-6}$  по целям с ЭОП не менее  $2 \text{ м}^2$ . 2. Допускается секторный обзор. 3. На масштабе 2 км.*

## 4.2. Структурные схемы и особенности РЛС

Рассмотрим типовые структурные схемы и особенности типовых РЛС указанных типов.

### Обзорный радиолокатор трассовый "Ли́ра-1"

Подвижная двухкоординатная радиолокационная станция кругового обзора "Ли́ра-1" (1Л118) предназначена для использования в системах управления воздушным движением и определения координат (азимут, наклонная дальность) воздушных целей и используется в качестве источника радиолокационной информации в неавтоматизированных и автоматизированных системах управления с передачей радиолокационной информации по кабельной и модемной линиям трансляции.

Обзор пространства производится путем механического вращения антенного устройства, формирующего диаграмму направленности, состоящую из двух совпадающих в пространстве веерных лучей. Каждый веерный луч формируется трехканальным антенным устройством, на которое работает группа из трех приемо-передающих систем. Зона обнаружения РЛС при установке начального угла верхней антенны на  $+12^\circ$  приведена на рис. 4.1.

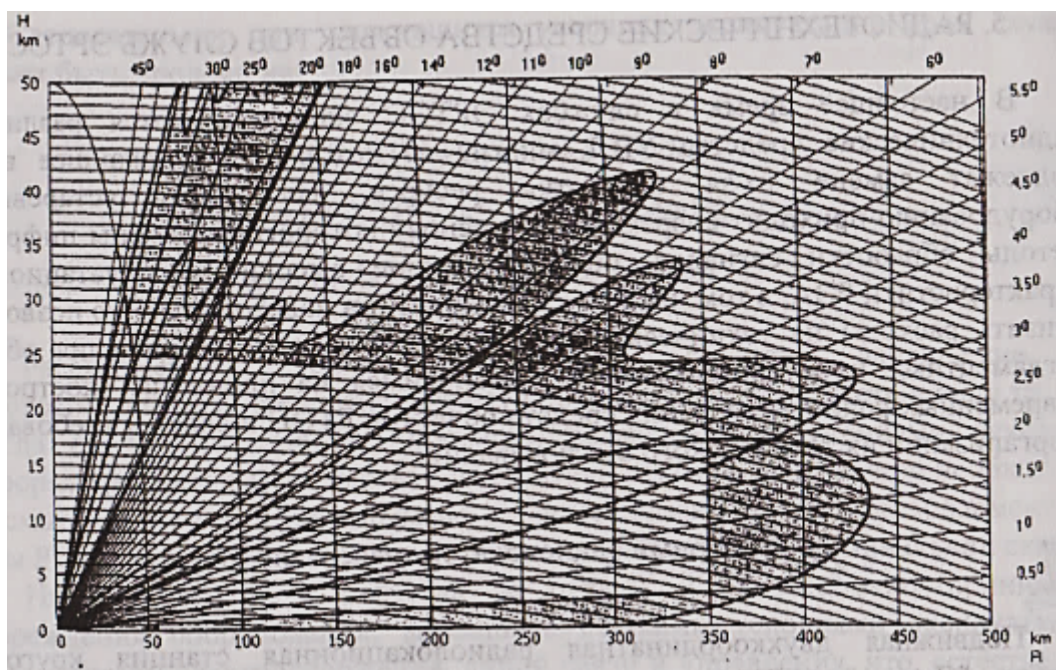


Рис. 4.1. Диаграмма направленности антенны РЛС 1Л118

Две группы приемо-передающих систем обеспечивают работу в трех режимах:

- одна из групп обеспечивает обзор пространства, а другая выключена и находится в резерве;
- одна из групп обеспечивает работу в ближней зоне с высоким качеством

СДЦ, а другая обеспечивает полную дальность обнаружения;

- обе группы обеспечивают обзор дальней зоны с целью повышения вероятности обнаружения целей.

РЛС может работать в режиме редкого или частого зондирования с зоной обнаружения соответственно до 350 км или 120 км.

В каждом передающем устройстве применены модернизированные стабилизированные магнетроны типа МИ-446, МИ-503 с улучшенным коэффициентом электронного смещения частоты, генерирующие высокочастотные зондирующие импульсы.

Приемное устройство и 8-разрядная система СДЦ обеспечивают прием и обработку эхосигналов от целей на фоне непреднамеренных помех (отражения от подстилающей поверхности, метеообразований и т.п.). Для повышения качества проводки целей на фоне помех в РЛС предусмотрена обработка эхосигналов в "скользящем окне" со стабилизацией уровня ложных тревог, межобзорной обработкой и защитой от несинхронных импульсных помех.

Имеется возможность передачи радиолокационной информации по кабельной линии на аппаратуру ВИП 118 для контроля за воздушной обстановкой, прогнозирования конфликтных ситуаций, ввода графической информации и управления воздушным движением.

Информация от РЛС выводится в цифровом или аналоговом виде. Для сопряжения с ВРЛ выдаются сигналы синхронизации и управления. Аппаратура контроля осуществляет контроль работоспособности, отказов и неисправностей РЛС. Аппаратура РЛС выполнена на элементной базе 3-го и 4-го поколений.

Структурная схема РЛС приведена на рис.4.2.

Радиолокатор имеет следующие технические характеристики:

Диапазон рабочих волн	10 см.;
Зона обнаружения (Рп.о. = 0,8; Рл.т. = $10^{-6}$ ):	
по азимуту, фад	360;
по углу места, град	0.. 28;
при установке начального угла верхней антенны на +12°	0...40°
по дальности:	
а) цели с ЭПР 10.0 м <sup>2</sup> на высоте (10000...20000 м)	350 км;
б) цели с ЭПР 0.9 м <sup>2</sup> (типа ЯК-52М)	
на малых и предельно малых высотах (50...500 м)	25...70 км;
Разрешающая способность (при съеме информации с ИКО):	
по азимуту	не хуже 1.5 град;
по дальности	не хуже 1000 м;
СКО определения координат:	
при визуальном съеме информации об обнаруженных целях с ИКО:	
по азимуту	не более 1.0 град;
по дальности	не более 1000 м;
По сопровождаемым целям с ВИП 118:	

по азимуту	не более 0.5 град;
по дальности	не более 300 м;
Темп обзора	10 или 20 сек;
Время готовности	не более 5 мин.

Антенная система состоит из двух независимых (нижнего и верхнего) антенных устройств. Нижнее антенное устройство формирует в вертикальной плоскости три взаимно пересекающиеся луча 1-го, 2-го и 3-го сантиметровых каналов, работающих в режиме ортогональной поляризации с уровнем пересечения около 2.5 дБ, образующих в совокупности вертикальный луч.

Верхнее антенное устройство формирует в вертикальной плоскости три взаимно пересекающиеся луча 4-го, 5-го и 6-го сантиметровых каналов, работающих в режиме ортогональной поляризации с уровнем пересечения около 2.5 дБ. Такое построение антенной системы позволяет сформировать две независимые трехлучевые диаграммы направленности.

Передающая аппаратура РЛС состоит из 6 однотипных передатчиков ПС-5 сантиметрового диапазона, отличающихся друг от друга частотой генерируемых сигналов. Каждый передатчик содержит импульсный модулятор, включающий в себя формирующую линию, коммутирующий тиратрон, зарядный дроссель, фиксирующий диод и импульсный трансформатор. Импульсный модулятор нагружен на генератор СВЧ, в качестве которого применен импульсный магнетрон МИ-446, МИ-503. Питание импульсного модулятора осуществляется от высоковольтного выпрямителя. Регулирование, а также стабилизация токов магнетронов передатчиков осуществляется путем шунтирования в определенный момент времени вторичных обмоток зарядных дросселей активной нагрузкой.

Приемная аппаратура состоит из приемных устройств шести каналов Г, В, Д, К, Ж, Б, отличающихся друг от друга частотами местных гетеродинов. Каждое приемное устройство имеет в своем составе входные волноводные блоки ВКП; малошумящий транзисторный усилитель высокой частоты с встроенным защитным устройством; преобразователь сигнала с твердотельным гетеродином.

Приемники выполнены по супергетеродинной схеме с однократным преобразованием частоты, автоматической подстройкой частоты местного гетеродина, с амплитудной и когерентной обработкой эхосигналов.

Аппаратура обработки и СДЦ обеспечивает:

- подавление ЭХО - сигналов от неподвижных объектов в каждом из шести каналов;
- подавление НИП в амплитудных и когерентных трактах;
- стабилизацию уровня ложных тревог (СУЛТ) по шумам в скользящем окне;
- объединение ЭХО - сигналов в зависимости от режимов работы.

Функционально аппаратура СДЦ представляет собой шесть идентичных каналов обработки (3 наклонных и 3 вертикальных), работающих параллельно, и устройства суммирования каналов.

Аппаратура первичной обработки информации (АГ10И) позволяет производить обнаружение и сопровождение воздушных целей и обеспечивает:

- обработку амплитудных эхо-сигналов по стабилизации уровня ложных тревог путем автоматически устанавливаемого порога и определения наличия цели в нескольких периодах запуска, от 1 до 6;

- формирование карты помех по пяти периодам обзора, при этом амплитудный эхо-сигнал анализируется во всей рабочей зоне в дискретах 1.4 км по дальности и 1.4° по азимуту за пять периодов обзора. Если в амплитудном дискрете имеются отражения от местных предметов или метеообразований, то на выход АПОИ вместо амплитудного эхо-сигнала подается когерентный эхо-сигнал, прошедший обработку в аппаратуре СДЦ.

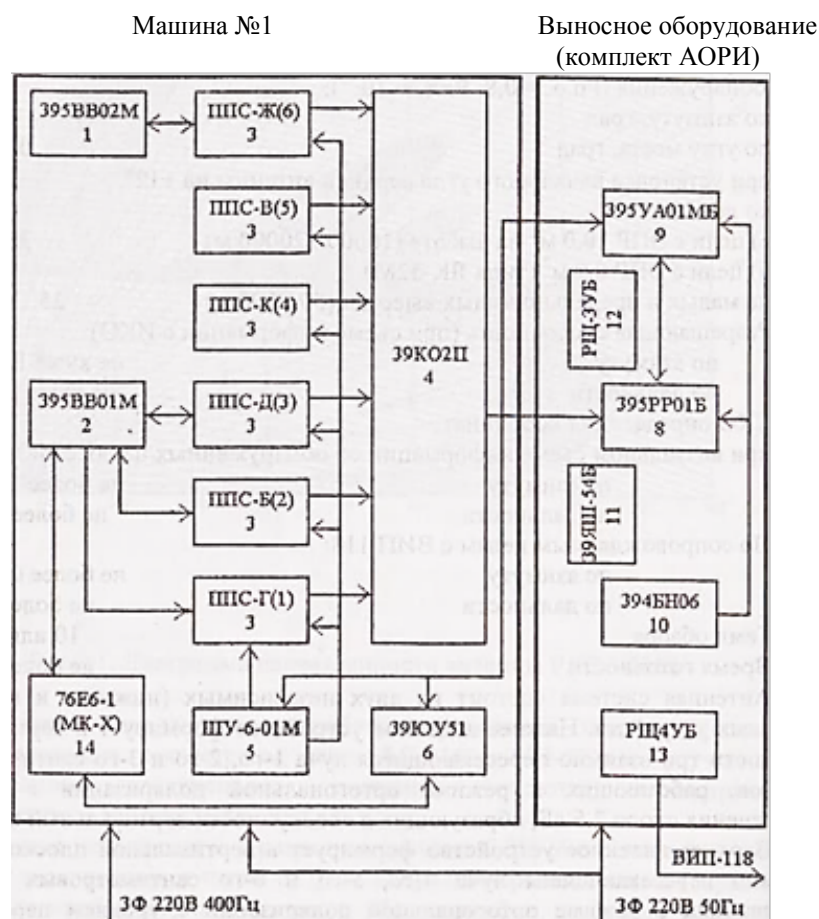


Рис. 4.2. Структурная схема РЛС "Лира-1" (1Л118):

1 - верхняя антенная система; 2 - нижняя антенная система; 3 – приемопередающая система, состоит из передающих шкафов ПС-5 и приемников 394ПУ01 (каналы 1-6); 4 - шкаф обработки и СДЦ; 5 - шкаф автоматики и управления; 6 - аппаратура уплотнения команд; 8 - шкаф индикатора кругового обзора; 9 - шкаф дистанционного управления; 10 - распределительный шкаф; 11, 12, 13 - распределительные щиты (кабельные вводы); 14 – аппаратура госопознавания

Аппаратура вторичной обработки информации АВОИ обеспечивает:

- автоматическое или ручное сопровождение целей и определение их координат (дальность, азимут);
- определение скорости целей;
- выдачу информации о целях на экран монитора и др. информацию.

Аппаратура отображения РЛИ обеспечивает визуальное наблюдение за всеми целями в зоне обнаружения РЛС для определения их координат - азимут, наклонная дальность по экрану индикатора кругового обзора (ИКО).

Аппаратура синхронизации формирует сигналы временной шкалы, масштабных отметок, меток азимута, с помощью которых измеряются координаты воздушных судов, а также сигналы специальных режимов.

Аппаратура управления, контроля и защиты обеспечивает:

- работу РЛС в режиме дистанционного управления из комплекта АОРИ с использованием аппаратуры уплотнения команд ТУ-ТС и техническое обслуживание при местном управлении;
- сигнализацию о состоянии основных систем и блоков РЛС;
- индикацию о работе пожарной и охранной сигнализации;
- отключение электропитания при нарушении блокировок высоковольтных устройств;
- управление температурным режимом и системой охлаждения.

При эксплуатации РЛС производятся все виды технического обслуживания в соответствии с требованиями РРТОП ТЭ-2000 [2].

### **Вторичный радиолокатор "Лира-Т"**

Вторичный обзорный радиолокатор "ЛИРА-Т" предназначен для обеспечения подсистемы наблюдения воздушной обстановки массового использования информацией о координатах ВС и дополнительной информации:

- бортового номера (индекса) воздушного судна;
- текущей барометрической высоты;
- запаса горючего;
- разовых сообщений (опознавание, авария, нападение и пр.);
- путевой скорости и курса ВС.

ВРЛ обеспечивает запрос, получение информации, от бортовых ответчиков ВС по стандарту ИКАО и стандартам России и передачу информации потребителю в согласованных кодограммах.

Режим RBS	Режим УВД	Совмещенные режимы	Режимы перемежения
А	ЗК1	ЗК1/А	А/ЗК1, С/ЗК2, А/ЗК1, С/ЗК2,...
В	ЗК2	ЗК2/В	А, ЗК1, А, ЗК1,...
С	ЗК3	ЗК2/С	С, ЗК2, С, ЗК2,...
Д		ЗК1/Д	



ВРЛ сопрягается и конструктивно встраивается во все типы обзорных первичных радиолокаторов, выпускаемых ЛЭМЗ, и имеет следующие характеристики.

Диапазон рабочих частот:

- для передающей системы - 1030±0.1 МГц;
- для приемной системы RBS - 1090±3 МГц;
- для приемной системы УВД - 740±1.8 МГц.

Поляризация на частотах 1030/1090 МГц - вертикальная, на частоте 740 МГц - горизонтальная

Инструментальные пределы работы ВРЛ:

По углу места -	от 0.25 до 45 градусов.
По дальности -	400 км.
По азимуту -	360 градусов.
По высоте, ограниченной углом места	от 0,25 до 45° - 18 км.

Вероятность правильного обнаружения при нулевых углах закрытия не менее 0.95, вероятность ложной тревоги не более  $10^{-6}$ .

Максимальная пиковая мощность на выходе передающего устройства от 2.2 кВт до 3.4 кВт. Постоянство мощности в течение запроса ± 0.5 дБ. Предусмотрено дистанционное изменение уровня мощности передающего устройства с градациями (0; 3; 6; 9) дБ.

Чувствительность по срабатыванию приемных трактов:

- не более минус ПО дБ/Вт в нормальных условиях и при номинальном напряжении сети;
- не более минус 109 дБ/Вт при воздействии дестабилизирующих факторов.

Динамический диапазон приемных устройств каналов УВД и RBS не менее 70 дБ.

Система контроля и сигнализации обеспечивает регистрацию работоспособности отдельных устройств и трансляцию сообщений о их состоянии.

ВРЛ работоспособен при колебаниях первичного питания по напряжению 220В и по частоте 50Гц ± 2 %

В состав аппаратуры ВРЛ входят: антенная система; внешний фидерный тракт; приемно-передающая аппаратура; источники питания 220 В, 50 Гц и + 27 В. Антенная система, внешний фидерный тракт и источники питания являются общими для аппаратуры ПРЛ и ВРЛ и входят в состав ПРЛ.

Антенна ВРЛ имеет шесть каналов и формирует в пространстве шесть диаграмм направленности:

- суммарную ДН основного канала на частотах 1030-1090 МГц;
- суммарную ДН основного канала на частоте 740 МГц;
- канал подавления на частотах 1030-1090 МГц;
- канал подавления на частоте 740 МГц;
- разностную ДН на частотах 1030-1090 МГц;
- разностную ДН на частоте 740 МГц.

Поляризация излучаемых и принимаемых сигналов — вертикальная для международного диапазона частот и горизонтальная для отечественного диапазона частот.

Антенна ВРЛ представляет собой совмещенные в одном раскрыве антенные решетки международного и отечественного диапазонов частот.

Излучающие элементы международного диапазона представляют собой вертикальные линейные решетки (столбцы) вибраторов, выполненных на основе печатной технологии, которые формируют в вертикальной плоскости косекансную ДН, перекрывающую сектор углов от  $0.5^\circ$  до  $45^\circ$ .

Между излучающими элементами международного диапазона расположены вертикальные столбцы излучающих элементов отечественного диапазона, также представляющие собой линейную решетку элементарных вибраторов, формирующую в вертикальной плоскости косекансную ДН, перекрывающую сектор углов от  $0,5^\circ$  до  $45^\circ$ .

Излучающие столбцы каждого диапазона частот, запитываемые системой распределения мощности, выполненной на длинномерных полосковых печатных платах, формируют в переднем полупространстве в горизонтальной плоскости суммарную, разностную ДН и ДН подавления боковых лепестков в каждом из диапазонов.

В состав АС входят отдельно устанавливаемые вертикальные столбцы международного и отечественного диапазона, которые формируют ДН подавления боковых лепестков в заднем полупространстве.

Фидерный тракт обеспечивает передачу СВЧ - сигналов от работающего передатчика к антенне и принятых сигналов ответа от антенны к приемнику. Основным элементом фидерного тракта, является циркулятор, выполняющий функцию антенного переключателя.

В качестве антенных переключателей основного канала и канала подавления используются коаксиальные Y-циркуляторы.

Передающая система предназначена для формирования мощных радиоимпульсных сигналов и передачи их в основную антенну и антенну подавления боковых лепестков (рис 4.3).

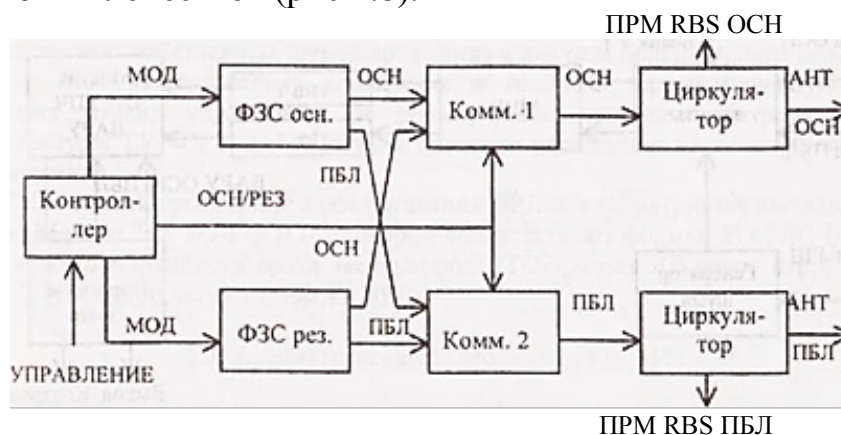


Рис. 4.3. Передающая система ВРЛ1

Она имеет два идентичных канала для питания антенн основного канала и канала подавления боковых лепестков диаграммы направленности.

Передатчик имеет две независимые схемы формирования запросных сигналов ФЗС, в каждой из которых сигнал рабочей частоты  $1030 \pm 0.1$  МГц формируется в модуле задающего генератора, где так же осуществляется его модуляция с глубиной модуляции не менее 60 дБ сигналами, снимаемыми с контроллера управления.

Усиленный импульсный сигнал рабочей частоты с выхода усилителя мощности поступает на коммутатор, который разветвляет его для подачи в основную антенну и антенну подавления боковых лепестков, и далее через направленный ответвитель и циркулятор поступает в антенно-фидерный тракт.

В передающем устройстве обеспечивается контроль с выдачей сигналов аварии и неисправностей:

- выходной импульсной мощности;
- состояние и функционирование источников питания модуля;
- температурный режим модуля;
- КСВ нагрузки передатчика;
- перегрузка по входному сигналу (скважность меньше нормы);
- работоспособность системы охлаждения.

Приемная система состоит из двух независимых приемных каналов, работающих в диапазонах 740 МГц (УВД) и 1090 МГц (RBS). Структурные схемы обоих приемных каналов одинаковы, поэтому ниже описан один канал (рис. 4.4).

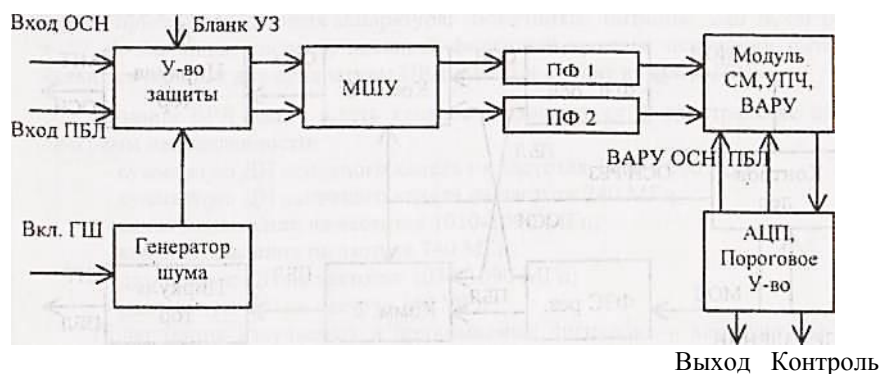


Рис 4.4. Структурная схема приемного канала УВД (RBS)

Ответная информация, принимаемая антенной системой поступает на входы приемных каналов международного или отечественного диапазонов. Каждое приемное устройство выполнено двухканальным и состоит из основного приемного канала и канала подавления.

Для защиты от мощности, поступающей на вход каждого из приемных каналов во время зондирующего импульса служит устройство защиты, предохраняющее МШУ от выгорания.

С выхода МШУ сигналы через полосовые фильтры ПФ-1 и ПФ-2 поступают

на модуль смесителей СМ, УПЧ, ВАРУ. С выхода модуля сигналы поступают на двенадцатирядные АЦП, далее на схему сравнения, где для выделения полезного сигнала сравниваются сигналы основного канала и канала подавления. Полезный сигнал выделяется в случае превышения амплитуды сигнала основного канала над сигналом канала подавления более чем на 12 дБ.

Сигнал АЦП поступает также на логическое устройство, которое сравнивает собственные шумы основного канала и канала подавления с опорным уровнем и вырабатывает сигнал АРУ для модуля СМ, УПЧ, ВАРУ с учетом кода ВАРУ.

С выхода АЦП сигналы в цифровой форме поступают на цифровую схему обработки, где осуществляется основная обработка сигналов по определенным алгоритмам. На выходах цифровой обработки образуются следующие сигналы:

- сигнал обнаружения - логическая единица в том случае, если амплитуда входного сигнала основного канала на 12 дБ больше амплитуды сигнала канала ПБЛ;

- сигнал аварии уровня шума приемников отдельно для каждого из каналов и общего сигнала аварии, объединяющих эти два сигнала логической схемой;

- логическая единица (авария уровня шума приемника) в том случае, если уровень собственных шумов приемника в два раза больше уровня шума.

ВРЛ имеет систему управления и контроля, предназначенную для I приема команд управления и формирования сигналов контроля для аппаратуры ТУ-ТС, а так же приема сигналов управления от местной панели управления.

### **Контрольные вопросы**

1. Приведите классификацию первичных РЛС.
2. Перечислите основные характеристики ОРЛ-Т.
3. Назначение и принцип действия ВРЛ.
4. Структура информационных сообщений ВРЛ.
5. Приведите основные характеристики ОРЛ-А.
6. Диаграмма направленности и принцип действия ПРЛ.
7. Основные характеристики ПРЛ.
8. Назначение и основные характеристики РЛС ОЛП.
9. Принцип действия и ДНА РЛС 1Л118.
10. Структурная схема РЛС "Лира-1".
11. ВРЛ "Лира-1".
12. Передающая система ВРЛ.
13. Структурная схема приемного канала УВД (RBS).

## 5. СРЕДСТВА РАДИОНАВИГАЦИИ И ПОСАДКИ

К радионавигационным объектам средств РТОП относятся:

- Автоматический радиопеленгатор (АРП)
- Наземный всенаправленный ОВЧ радиомаяк азимутальный (РМА)
- Наземный всенаправленный УВЧ радиомаяк дальномерный (РМД)
- Радиотехническая система ближней навигации (РСБН)
- Отдельная приводная радиостанция (ОПРС)
- Курсовой радиомаяк (КРМ)
- Глиссадный радиомаяк (ГРМ)
- Ближняя приводная радиостанция с маркерным радиомаяком (БПРМ)
- Дальняя приводная радиостанция с маркерным радиомаяком (ДПРМ)

### 5.1 Общая характеристика радионавигационных средств

#### Автоматический радиопеленгатор

Автоматический радиопеленгатор предназначен для определения пеленга на воздушное судно относительно места установки антенны радиопеленгатора по сигналам бортовых радиостанций.

На аэродромах, не оборудованных радиомаячной системой инструментального захода ВС на посадку или оборудованных только с одного направления, АРП, работающий на частоте канала авиационной воздушной связи "посадка", должен быть размещен, как правило, на продолжении осевой линии ВПП в районе БГТРМ.

АРП, предназначенные для работы на каналах авиационной воздушной связи посадки, круга и подхода могут размещаться на участке ОРЛ-А, при условии выполнения требований ЭМС.

АРП, предназначенные для работы на каналах авиационной воздушной связи РЦ, могут размещаться на участке ОРЛ-Т, при условии выполнения требований по ЭМС.

Расстояние от антенной системы АРП до различных сооружений и местных предметов должно соответствовать требованиям эксплуатационной документации на АРП. Прилегающая к участку площадка для установки должна быть ровной в радиусе до 100м (уклон на участке установки АРП не более 0.02).

В горной местности АРП должен устанавливаться на господствующей вершине. Площадка на вершине должна позволять разместить АРП на удалении не менее 50 м от края обрыва.

На аэродромах, вблизи которых имеются отдельные горные образования (отдельные горы, холмы), АРП должен устанавливаться на расстоянии 1.5-2 км от них.

В состав АРП должны входить: АФС; радиоприемная аппаратура; аппаратура преобразования информации; индикаторные устройства; контрольно-измерительный генератор; аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации АРП должна обеспечивать:

- автоматический контроль работоспособности АРП и определение отказавшего канала;
- определение отказавшего элемента АРП до уровня сменного узла (платы);
- автоматический контроль основных параметров АРП;
- выработку сигналов оповещения и их передачу в пункт управления;
- дистанционное переключение на резервный канал с переходом на частоту отказавшего рабочего канала;
- автоматическое переключение на резервный источник электроэнергии.

Основные характеристики АРП должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.1.

Таблица 5.1

#### Основные характеристики АРП

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Зона действия на высотах: 1000 м 3000 м	км	80 150
2	Среднеквадратическая погрешность пеленгования, не более	Градус	1.5
3	Диапазон рабочих волн	МГц	118-137
4	Режим управления и контроля: - основной - резервный		дистанционный местный

*Примечание: норматив в п. 2 указан для доплеровских АРП. Для других – 2.5°.*

#### Всенаправленные ОВЧ - радиомаяки РМА/РМД

Наземный всенаправленный азимутальный ОВЧ - радиомаяк предназначен для измерения азимута воздушного судна относительно места установки радиомаяка при полетах ВС по воздушным трассам и в районе аэродрома. Наземный всенаправленный дальномерный УВЧ - радиомаяк предназначен для

измерения дальности воздушного судна относительно места установки радиомаяка при полетах ВС по воздушным трассам и в районе аэродрома.

РМА, РМД и РМА/РМД должны быть размещены таким образом, чтобы максимально обеспечить решение навигационных задач на воздушной трассе или в районе аэродрома в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

Позиция размещения РМА, РМД (РМА/РМД) должна быть ровной или иметь уклон не более 0.04 на расстоянии до 300 м от радиомаяка. Место установки РМА, РМД (РМА/РМД) должно находиться возможно дальше от воздушных проводных линий, высота которых относительно фазового центра антенны должна составлять угол не более 0.5°.

Здания, промышленные сооружения не должны находиться ближе 150м от позиции установки радиомаяка и иметь угол места более 1.5° относительно горизонтальной плоскости.

Антенная система РМД должна быть расположена соосно над антенной системой РМА при использовании РМД совместно с РМА. Допускается разнесение антенных систем РМД и РМА на расстояние не более 30 м при использовании их для обеспечения полетов в районе аэродрома и не более 600 м при обеспечении полетов по воздушным трассам.

В состав РМА должны входить: аппаратура радиомаяка с АФС; аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации; выносная контрольная антенна; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Основные характеристики радиомаяка РМА должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.2.

Таблица 5.2

## Основные характеристики РМА

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Опознавание		Четкое, правильное, разборчивое, не влияет на курсовую линию
2	Зона действия: - в горизонтальной плоскости - в вертикальной плоскости радиус нерабочей зоны, не более	м	Обеспечивает удовлетворительный прием сигнала на борту ВС до угла 40° в зависимости от высоты полета 1.2Н полета

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4
3	Ошибка измерения пеленга (на расстоянии $4\lambda$ ), не более	градус	$\pm 2$
4	Стабильность частоты рабочего канала	%	$\pm 0.002$
5	Выходная мощность	Вт	$(20-100)\pm 15$
6	Сигнал опорной фазы	Гц	$9960\pm 100$
7	Сигнал переменной фазы	Гц	$30\pm 0.03$
8	Согнал опознавания: - соответствие кода - частота - период повторения посылок, не более	Гц сек	2-3 буквы $1020\pm 50$ $30\pm 3$
9	Пределы срабатывания допускового контроля: - отклонение азимута - отклонение коэффициента АМ сигналами опорной и переменной - отказ аппаратуры контроля - пропадание сигнала опознавания	градус %	$\pm 1$ $\pm 15$

В состав РМД должны входить: оборудование приемоответчика радиомаяка с АФС; аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации РМА и РМД должна обеспечивать: автоматический контроль основных параметров; автоматическое определение отказавшего комплекта; определение отказавшего элемента радиомаяка до уровня сменной платы; выдачу сигналов оповещения и их передачу в пункты управления; автоматическое переключение на резервный комплект радиомаяка при отказе рабочего комплекта; дистанционное включение и выключение основного и резервного комплектов радиомаяка; автоматическое переключение на резервный источник электроэнергии.

Основные характеристики радиомаяка РМД должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.3.

Таблица 5.3

## Основные характеристики РМД

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Стабильность частоты рабочего канала	%	$\pm 0.002$
2	Длительность импульса	Мкс	$3.5\pm 0.5$



Продолжение табл. 5.3

1	2	3	4
3	Время нарастания импульса, не более	Мкс	3
4	Время спала импульса, не более	Мкс	3.5
5	Пределы срабатывания допускового контроля при: - изменении кодового интеграла - уменьшении мощности - задержке импульсов  - отказе контрольного устройства	мкс дБ мкс	12±1 3 1.0-навигация 0.5-посадка
6	Зона действия: - навигационный режим  - посадочный режим		не менее зоны РМА не менее зоны РМС
7	Ошибка измерения дальности приемоответчика, не более - навигационный режим - посадочный режим	м м	150 75

### Радиотехническая система ближней навигации

Радиотехническая система ближней навигации предназначена для определения азимута и дальности ВС на борту и на земле относительно места установки наземного радиомаяка РСБН.

Радиотехническая система ближней навигации должна быть размещена на ровной открытой площадке радиусом 500 метров, в соответствии с требованиями ЭД на РСБН. При размещении на позиции двух РСБН максимальное расстояние между радиомаяками не должно быть более 50 м.

Не допускается установка РСБН на искусственной насыпи или на холме с острой вершиной.

Углы закрытия с высоты 1.5 м местными предметами (здания, лес, мачты, башни и др.) не должны превышать  $0.5^\circ$  в секторах прохождения воздушных трасс.

В состав РСБН должны входить: оборудование азимутально-дальномерного радиомаяка с АФС; контрольно-выносной пункт; аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Основные характеристики РСБН должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.4.

## Основные характеристики РСБН

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Максимальная дальность действия на Н = 10000 м	км	360
2	Максимальная ошибка измерения координат по каналу: - азимута, не более - дальности, не более	градус км	0.5 0.5
3	Режима управления: - основной - резервный		дистанционный местный

*Примечание: 1. Допускается уменьшение зоны действия радиомаяка, осуществляемое путем снижения выходной мощности передатчика до 25% от номинальной.*

### Приводная радиостанция

Приводная радиостанция предназначена для обозначения контрольного пункта на трассе (маршруте полета), привода ВС в район аэродрома, выполнения предпосадочного маневра и выдерживания направления полета ВС вдоль оси ВПП.

В зависимости от места установки ПРС подразделяются на отдельные и аэродромные и устанавливаются как в районе аэродрома, так и вне его. Внеаэродромные ОПРС размещаются в радионавигационных (контрольных) точках.

Аэродромные ПРС подразделяются на дальнюю и ближнюю ПРС, входят в состав оборудования системы посадки и устанавливаются на продолжении оси ВПП. Дальняя ПРС должна обеспечивать работу в микрофонном режиме для передачи речевой информации. Этот режим работы ПРС является аварийным, дублирующим канал передачи авиационной воздушной электросвязи.

Расстояния от места установки ГПРС до различных сооружений и местных предметов должны соответствовать требованиям проектной и эксплуатационной документации.

В состав ПРС должны входить: АФС; аппаратура радиостанции с аппаратурой дистанционного управления, контроля и сигнализации; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации ПРС должна обеспечивать: автоматический контроль основных параметров

ПРС; автоматическое определение отказавшего комплекта ПРС; определение отказавшего элемента радиостанции до уровня блока; выдачу сигналов оповещения и их передачу в пункты управления; автоматическое переключение на резервный комплект оборудования при отказе рабочего комплекта; автоматическое переключение на резервный источник электроэнергии.

Основные характеристики ПРС должны соответствовать требованиям, приведенным в табл. 5.5.

Таблица 5.5

## Основные характеристики ПРС

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Зона действия, не менее для обеспечения полетов по трассам для обеспечения полетов в зоне аэродрома	Км	150 50
2	Диапазон рабочей частоты	кГц	190...1750
3	Режим работы		Телефонный, незатухающими колебаниями
4	Режим передачи сигналов опознавания		Автоматический, без разрыва несущей
5	Режим управления радиостанцией: - основной - резервный		Дистанционный Местный
6	Дополнительные функции		Возможность передачи радиотелефонных сигналов на борт ВС
7	Пределы срабатывания допускового контроля при: - уменьшении мощности излучения несущей частоты более - уменьшении глубины модуляции более - прекращения передачи	% %	50 50
8	Время переключения на резерв	С	2

### Радиомаячная система посадки

Радиомаячная система инструментального захода ВС на посадку - совокупность наземных и бортовых радиотехнических устройств, обеспечивающих ВС информацией, необходимой для управления ВС в процессе захода на посадку и во время посадки.

По возможностям использования в сложных метеоусловиях РМС подразделяются на системы первой, второй и третьей категорий (РМС-I, РМС - II, РМС-III).

РМС-III обеспечивает информацию для управления полетом ВС в процессе захода на посадку (с помощью вспомогательного оборудования, если это необходимо) от границы зоны действия РМС до поверхности ВПП и вдоль нее.

РМС-II обеспечивает информацию для управления полетом ВС в процессе захода на посадку от границы зоны действия РМС до точки, в которой линия курса пересекает линию глиссады до высоты 30 м над горизонтальной плоскостью, проходящей через порог ВПП.

РМС-I обеспечивает информацию для управления полетом ВС в процессе захода на посадку от границы зоны действия РМС до точки, в которой линия курса пересекает линию глиссады до высоты 60 м над горизонтальной плоскостью, проходящей через порог ВПП.

В состав наземного оборудования РМС входят курсовой, глиссадный и маркерный радиомаяки.

Курсовой радиомаяк - наземное радиотехническое устройство, излучающее в пространство радиосигналы, содержащие информацию для управления ВС в горизонтальной плоскости при выполнении ими захода на посадку и по время посадки.

Антенная система КРМ (рис. 5.1) должна быть размещена на продолжении осевой линии ВПП, со стороны направления, противоположного направлению захода ВС на посадку, на расстоянии до 1150 метров от порога ВПП.

Боковое смещение антенной системы КРМ от осевой линии ВПП не допускается.

Глиссадный радиомаяк - наземное радиотехническое устройство, излучающее в пространство радиосигналы, содержащие информацию для управления ВС в вертикальной плоскости при выполнении ими захода на посадку.

Антенная система ГРМ должна быть размещена у начала ВПП, как правило, со стороны грунтовой части летного поля аэродрома (со стороны, противоположной рулежным дорожкам и зданиям аэровокзального комплекса) на расстоянии 120-180 метров от осевой линии ВПП и на расстоянии 200-450 метров от порога ВПП (определяется расчетом) таким образом, чтобы обеспечивалась необходимая высота опорной точки РМС над порогом (рис. 5.2).

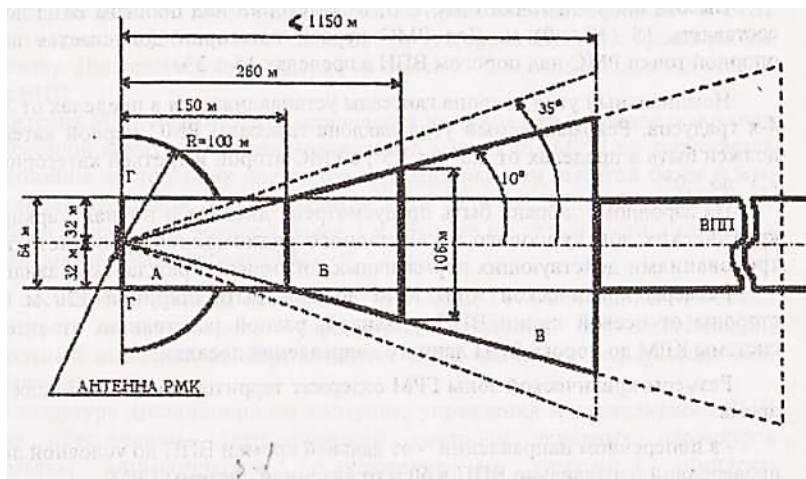


Рис. 5.1. Зоны курсового радиомаяка

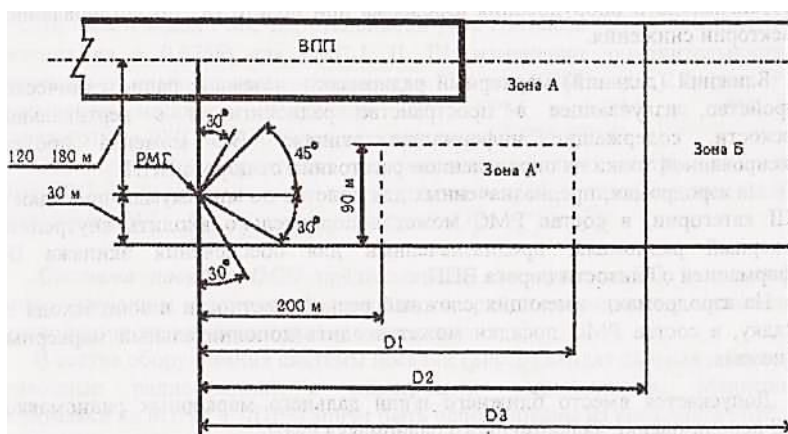


Рис. 5.2. Зоны глисадного радиомаяка

Высота опорной точки РМС I, II, III категории над порогом ВПП должна составлять 15 (+3, -0) м. Для РМС первой категории допускается высота опорной точки РМС над порогом ВПП в пределах  $15 \pm 3$  м.

Номинальный угол наклона глиссады устанавливается в пределах от 2-х до 4-х градусов. Рекомендуемый угол наклона глиссады РМС первой категории должен быть в пределах от  $2,5^\circ$  до  $3,5^\circ$ , а РМС второй и третьей категории - от  $2,5^\circ$  до  $3,0^\circ$ .

На аэродроме должна быть предусмотрена дневная и ночная маркировка критических зон курсового и глисадного радиомаяков в соответствии с требованиями действующих нормативных документов гражданской авиации.

Размеры критической зоны КРМ должны быть шириной 120 м в обе стороны от осевой линии ВПП и длиной, равной расстоянию от антенной системы КРМ до порога ВПП данного направления посадки.

Размеры критической зоны ГРМ содержат территорию летного поля аэродрома:

- в поперечном направлении - от дальней кромки ВПП до условной линии, проведенной параллельно ВПП в 60 м от антенной системы ГРМ;

- в продольном направлении - от условной линии, перпендикулярной оси ВПП, проведенной в 100 м от торца ВПП в сторону БПРМ данного направления посадки до параллельной ей линии на расстоянии 120 м за антенной системой ГРМ.

Сооружения КРМ не должны затенять огней приближения светосигнального оборудования аэродрома при полете ВС по установленной траектории снижения.

Ближний (дальний) маркерный радиомаяк - наземное радиотехническое устройство, излучающее в пространство радиосигналы в вертикальной плоскости, содержащие информацию экипажу ВС момента пролета фиксированной точки на определенном расстоянии от порога ВПП.

На аэродромах, предназначенных для полетов по минимумам посадки II и III категории, в состав РМС может дополнительно входить внутренний маркерный радиомаяк, предназначенный для обеспечения экипажа ВС информацией о близости порога ВПП.

На аэродромах, имеющих сложный рельеф местности в зоне захода на посадку, в состав РМС посадки может входить дополнительный маркерный радиомаяк.

Допускается вместо ближнего и/или дальнего маркерных радиомаяков РМС, использование дальномерного радиомаяка РМД.

Антенна ближнего МРМ размещается на продолжении осевой линии ВПП на расстоянии 850 - 1200 м от порога ВПП со стороны захода ВС на посадку. Допускается ее смещение не более  $\pm 75$  м от продолжения осевой линии ВПП.

Антенна дальнего МРМ размещается на продолжении осевой линии ВПП на расстоянии до 7000 м, но не ближе 3800 м от порога ВПП со стороны захода на посадку. Допускается ее смещение не более  $\pm 75$  м от продолжения осевой линии ВПП.

Антенна МРМ должна быть установлена на грунт или бетонное основание (без железной арматуры). В зоне радиусом 5 м от АФС МРМ не допускается расположение посторонних предметов и растительности высотой более 0.5 м. За границей указанной зоны, в радиусе 15 м от АФС МРМ не допускаются постройки и предметы высотой более 3 м. Высота растительности и снежного покрова должны быть не более 1 м.

В состав РМС должны входить: КРМ с АФС; ГРМ с АФС; МРМ с АФС; аппаратура дистанционного управления, контроля и сигнализации; контрольный выносной прибор; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

Аппаратура дистанционного контроля, управления и сигнализации РМС должна обеспечивать: автоматический контроль основных параметров радиомаяка; автоматическое переключение на резервный комплект; определение отказавшего элемента радиомаяка до уровня сменного блока; выдачу сигналов предупреждения и их передачу в пункты управления; автоматическое переключение на резервный источник электроэнергии.

Сигналы предупреждения об изменении параметров РМС от требований ЭД на пункт управления должны передаваться при: отклонении линии курса от оси ВПП, приведенной к порогу ВПП на  $\pm 10.5$  м для РМС-I, на  $\pm 7.5$  м для РМС-II, на  $\pm 6$  м для РМС-III; отклонении угла глиссады (0) от номинального значения на  $\pm 0,0750$  для РМС-I, II, III; изменении чувствительности к смещению от номинального значения на  $\pm 17\%$  для КРМ и на  $\pm 25\%$  для ГРМ; уменьшении мощности излучения КРМ, ГРМ и МРМ до 50% для одночастотных РМС или 80% для двухчастотных КРМ, ГРМ.

Основные характеристики радиомаячных систем инструментального захода ВС на посадку должны соответствовать требованиям, приведенным в Приложении 1.

Система посадки ОСП предназначена для привода ВС, оснащенных соответствующим радиооборудованием, в район аэродрома, выполнения предпосадочного маневра и захода на посадку.

В состав оборудования системы посадки (рис. 5.3) входят дальняя и ближняя приводные радиостанции с маркерными радиомаяками. Маркерные радиомаяки на БПРМ и ДПРМ могут быть использованы из комплекта РМС.

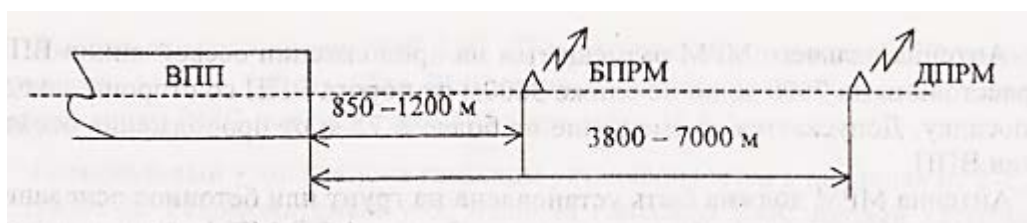


Рис. 5.3. Размещение радиомаяков системы посадки ОСП

Дальняя приводная радиостанция и маркерный радиомаяк предназначены для привода ВС в зону взлета и посадки, выполнения предпосадочного маневра и выдерживания курса посадки.

Антенна дальней приводной радиостанции, как и антенна МРМ размещается на продолжении осевой линии ВПП со стороны захода ВС на посадку на расстоянии до 7000м, но не ближе 3800 м от порога ВПП. Допускается ее смещение от продолжения осевой линии ВПП не более  $\pm 75$  метров (как правило, в сторону грунтовой части летного поля аэродрома).

Ближняя приводная радиостанция и маркерный радиомаяк предназначены для выдерживания ВС курса посадки.

Антенна ближней приводной радиостанции размещается на продолжении осевой линии ВПП со стороны захода ВС на посадку на расстоянии 850-1200 м от порога ВПП. Допускается ее смещение от продолжения осевой линии ВПП не более  $\pm 15$  метров.

## 5.2. Структурные схемы РНС

### Автоматический радиопеленгатор АРП – 95

Автоматический радиопеленгатор (АРП) предназначен для измерения пеленга на воздушное судно, оборудованное радиостанциями ОВЧ - диапазона, относительно места установки антенны радиопеленгатора при управлении воздушным движением в предприятиях воздушного транспорта, на воздушных трассах и в составе автоматизированных систем управления воздушным движением.

АРП обеспечивает измерение пеленга в момент работы бортовых передатчиков, с использованием аналого-цифрового преобразования сигналов и цифровых методов обработки на базе вычислительных средств.

АРП имеет следующие характеристики:

- диапазон частот (118,10 ...136,975) МГц;
- пределы регулирования числа частотных каналов пеленгования 2-16;
- шаг сетки частот приемных устройств 25 кГц;
- среднеквадратическая погрешность пеленгования не более 1.0 градуса;
- дальность пеленгования радиостанций ОВЧ-диапазона с мощностью излучения 5 Вт (и более):
  - при высоте полета ВС 1000 м не менее 80 км;
  - при высоте полета ВС 3000 м не менее 150 км.

Примечание: дальность пеленгования указана для нулевых углов закрытия и произвольного расположения антенны ВС;

- зона действия в вертикальной плоскости не менее 45 градусов;
- расстояние дистанционного управления и приема измерительной информации (с последующим отображением на дисплее КДП) до 10 км;
- расстояние трансляции на выносной индикатор по проводным линиям до 10 км.

В АРП обеспечивается автоматический контроль параметров АРП и передача в пункт управления информации о техническом состоянии.

Для обеспечения необходимого уровня точности пеленгования применена антенна с широкой базой (диаметр больше длины волны) на основе "ступенчатой" фазовой модуляции принимаемых сигналов.

Вибраторы А1...А16 (рис. 5.4), расположенные по окружности, поочередно подключаются к входу однополосного модулятора управляющим сигналом Уупр. компьютера АРП. При этом входные сигналы U1 от переключаемых вибраторов А1...А16 модулируются сигналом с частотой "вращения" вибраторов. Далее модулированный сигнал складывается с сигналом U2, поступающим с неподвижного (центрального) вибратора. Суммарный сигнал U3 поступает на вход приемника, где в результате работы амплитудного детектора образуются "биения" U4 с частотой модуляции. Затем сигнал U4



преобразуется в две квадратурные составляющие  $U_5$ ,  $U_6$ , из которых после процессорной обработки выделяется полезная информация о значении пеленга  $\alpha$ .

Аэродромное оборудование (рис. 5.5) состоит из двух частей, размещаемых внутри обогреваемого укрытия и на открытом воздухе. Аэродромное оборудование, размещаемое в обогреваемом укрытии:

- блок АРП;
- модем и устройство защиты;
- панель питания;
- аппаратура вспомогательная (включающая панель ввода, обогреватели, кондиционер, осветительные лампы, розетки для подключения приборов, клеммные колодки для подключения линии связи).

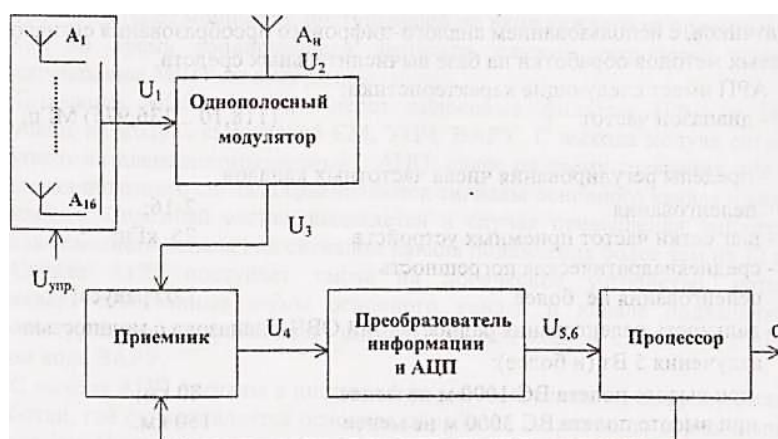


Рис. 5.4. К принципу действия АРП

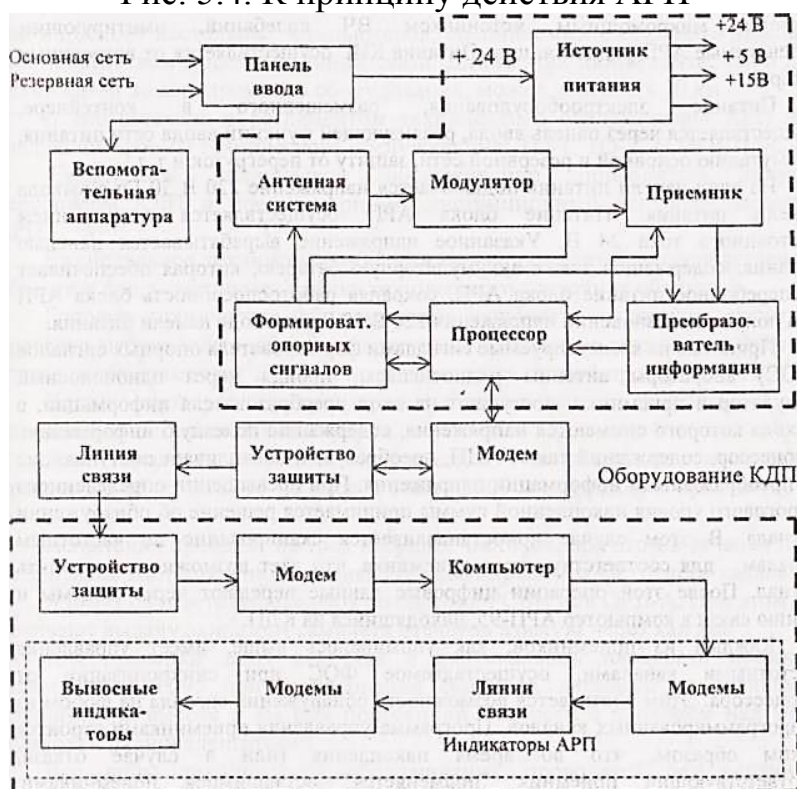


Рис. 5.5. Структурная схема АРП – 95

На открытом воздухе постоянно размещаются антенно-мачтовое устройство и кабели для подключения антенны. Антенно-мачтовое устройство размещается на расстоянии (30-80) м от укрытия. Антенна АРП-95 представляет собой круговую антенную решетку, состоящую из 16 симметричных вибраторов, расположенных по окружности диаметром 3.2 м. Переключатель и выключатели вибраторов конструктивно закреплены внутри элементов антенны. Антенна устанавливается на мачту с высотой подвеса 6 м. Для подъема и опускания антенны в конструкции мачты предусмотрено подъемное устройство.

На открытом воздухе также временно устанавливается переносной КИГ, используемый для настройки и периодического контроля АРП. При этом КИГ является микромощным источником ВЧ колебаний, имитирующим пеленгуемые АРП радиостанции. Питание КИГ осуществляется от встроенных батарей.

Питание электрооборудования, размещенного в контейнере, осуществляется через панель ввода, реализующей функции ввода сети питания, коммутацию основной и резервной сети, защиту от перегрузок и т.д.

На вход панели питания подключается напряжение 220 В 50 Гц с выхода панели питания. Питание блока АРП осуществляется напряжением постоянного тока 24 В. Указанное напряжение вырабатывается панелью питания, содержащей также аккумуляторную батарею, которая обеспечивает бесперебойное питание блока АРП, сохраняя работоспособность блока АРП при полном исчезновении напряжения 220 В 50 Гц на входе панели питания.

Принятые на коммутируемые сигналами формирователя опорных сигналов (ФОС) вибраторы антенны радиосигналы, пройдя через однополосный модулятор и приемники, поступают на вход преобразователя информации, с выхода которого снимаются напряжения, содержащие полезную информацию. Процессор, содержащий также АЦП, преобразует и накапливает поступающие от преобразователя информации напряжения. При превышении определенного порогового уровня накопленной суммы принимается решение об обнаружении сигнала. В этом случае приостанавливается сканирование по частотным каналам для соответствующего приемника, что дает возможность накопить сигнал. После этой операции цифровые данные передают через модемы и линию связи в компьютер АРП-95, находящийся на КДП.

Каждый из приемников, как упоминалось выше, имеет управление частотными каналами, осуществляемое ФОС при синхронизации от процессора. Этим достигается возможность обнаружения сигнала на любом из запрограммированных каналов. Программа управления приемниками строится таким образом, что во время накопления (или в случае отказа) соответствующий приемник "подменяется" оставшимися приемниками, продолжающими поиск целей на всех каналах данного АРП.

В процессе работы АРП производится периодический контроль основных параметров. Контроль происходит под управлением процессора контроля.

Контрольные сигналы проходят через антенну по всем устройствам приема и обработки сигналов. Кроме того, фазовый модулятор позволяет локализовать характер неисправности, осуществляя при этом независимый контроль НЧ аппаратуры блока АРП. Данные о контроле поступают по линии связи в компьютер АРП-95 — для отображения и хранения.

Компьютер АРП-95 осуществляет обработку данных, поступающих на шину из блока АРП. При этом на дисплее компьютера отображаются в графической и цифровой форме результаты пеленгования. Одновременно компьютер имеет выходы для передачи данных на выносные индикаторы, которые выполняются также на основе портативных панельных компьютеров или на основе настольных компьютеров, соединяемых с основным компьютером посредством модемных линий связи. Длина этих линий связи, как и длина линии связи до аэродромного оборудования, может достигать 10 км.

### Приводной радиомаяк РМП – 200

Радиомаяк предназначен для ненаправленного излучения ВЧ колебаний одной из частот в диапазоне 190...1750 кГц, модулированных сигналом опознавания или речевым сообщением, которые на борту воздушного судна, оборудованного радиоконпасом, обеспечивают:

- опознавание радиомаяка;
  - определение курсового угла воздушного судна относительно места установки радиомаяка;
  - получения речевых сообщений, передаваемых по каналу "земля-борт".
- Оборудование радиомаяка (исключая антенну) на местах эксплуатации размещается в аппаратной (контейнере) или в стационарных отапливаемых сооружениях.

Аппаратная (контейнер) оборудована системой обогрева и кондиционирования, поддерживающей температуру воздуха от плюс 10 до плюс 50 °С.

Приводная радиостанция имеет следующие характеристики:

Зона действия изделия составляет:

- для ДПРМ не менее 150 км;
- для БГТРМ не менее 50 км.

Минимальная напряженность поля в зоне действия 70 мкВ/м.

Частота рабочего канала - одно из дискретных значений (через 100Гц) в диапазоне от 190 до 1750 кГц.

Отклонение частоты рабочего канала не более ± 0,005%.

Частота модулирующего тонального сигнала, используемая для опознавания: 1020 ± 50 Гц или 400 ± 25 Гц

Коэффициент нелинейных искажений огибающей ВЧ сигнала не более 5%.

Сигнал опознавания (СО) 1-2-3 буквы в коде Морзе 7 слов в минуту.

Скорость передачи СО 7 слов в минуту.

Цикл повторения сигнала СО

- при передаче сигнала СО в классе излучения А2А 10 с;

- при передаче сигнала СО в классе излучения А1А 60 с.

Мощность передатчика радиомаяка, регулируемая от 20 до 200 Вт.

Коэффициент амплитудной модуляции радиомаяка, опознавание которого производится путем прерывания модулирующего тонального сигнала 85 - 95%.  
Автоматическое отключение аварийного комплекта при:

- уменьшении мощности несущей ниже уровня, который требуется для обеспечения зоны действия более, чем на 50%;

- прекращении передачи СО или при несоответствии кода СО установленному;

- уменьшении коэффициента амплитудной модуляции менее 50%;

- отказе контрольного устройства.

Частотный диапазон модулирующего речевого сигнала 300 - 3000 Гц.

Коэффициент амплитудной модуляции несущего ВЧ сигнала речевым сигналом не менее 50%.

Погрешность радиомаяка, вносимая в суммарную погрешность определения на борту ВС значений КУР не более  $\pm 3^\circ$ .

Время перехода на резервный комплект не более 2 с.

Аппаратура приводной радиостанции состоит (рис. 5.6) из:

- антенного контура;

- усилителей мощности УМ первого (1К) и второго каналов (2К);

- модуляторов М1 и М2;

- аппаратуры формирования и измерения АФИ1 и АФИ2;

- аппаратуры управления и проверки (АУП),

Аппаратура маркерного радиомаяка состоит из передатчиков РММ (ПРД1 и ПРД2) и переключателя.

Конструктивно радиомаяк состоит из следующих частей:

- шкафа РМП;

- панели ввода;

- антенны РМП;

- КПУ;

- панели информации;

- устройства грозозащиты.

Шкаф РМП-200, панель ввода, устройство грозозащиты, модем или радиомодем размещаются а аппаратной или в техническом здании. Персональный компьютер (ПК) с пакетом программ РМП-200 и панель информации размещаются на пульте диспетчера.

В шкафу РМП-200 размещается аппаратура приводной радиостанции и маркерного радиомаяка.

Аппаратура приводной радиостанции и маркерного радиомаяка функционально не зависимы и имеют только общее питание (+5 В, ±15 В) и управление.

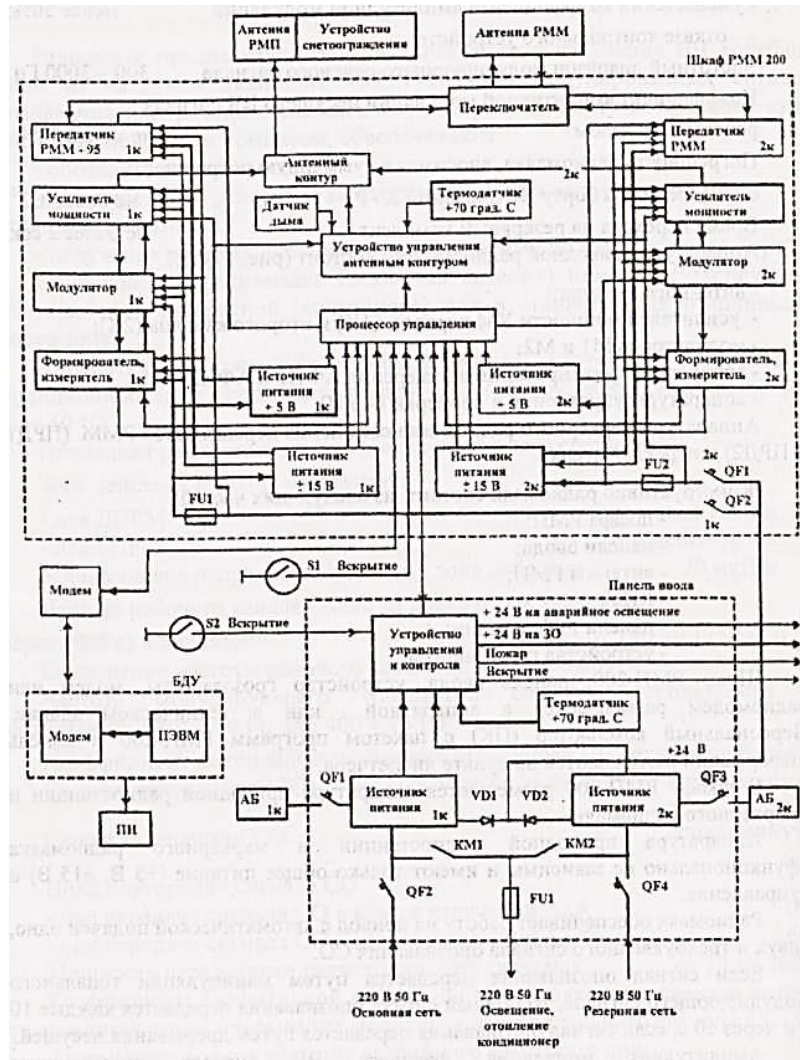


Рис. 5.6. Структурная схема РМП – 200

Радиомаяк обеспечивает работу на привод с автоматической подачей одно-, двух-, и трехбуквенного сигнала опознавания СО.

Если сигнал опознавания передается путем манипуляции тонального модулирующего сигнала, то полный сигнал опознавания передается каждые 10 с и через 60 с, если сигнал опознавания передается путем прерывания несущей.

Амплитудная модуляция несущего ВЧ сигнала производится фиксированными тональными частотами 400 и 1020 Гц.

В радиомаяке предусмотрена возможность передачи информации на ВС путем амплитудной модуляции несущей. Амплитудная модуляция осуществляется от микрофона, при этом сигнал опознавания не передается.

В радиомаяке используются два одинаковых передатчика. Любой из передатчиков может быть включен в качестве основного, другой передатчик в

этот момент является резервным. Усилитель мощности резервного передатчика находится в отключенном состоянии.

Подключение передатчика к антенному контуру, а следовательно, и к антенне осуществляется с помощью коммутатора, который входит в состав антенного контура.

Включение передатчика в работу производится в три этапа:

- включение передатчика на 10 % установленной мощности;
- включение передатчика на 60 % установленной мощности;
- включение передатчика на полную мощность.

При этом на всех этапах включения передатчика проверяются входные и выходные параметры передатчика, и производится подстройка антенного контура.

Радиомаяк предназначен для обеспечения на борту воздушного судна, оборудованного маркерным радиоприемником, сигнализации о пролете специфических точек глиссады (маршрута).

Радиомаяк МРМ - 95, которым может комплектоваться РМП - 200, предназначен для работы в комплексе:

- с радиомаячными системами инструментальной посадки СП-75, СП-80 и СП-90;
- с БПРМ и ДПРМ систем посадки ОСП;
- с приводной радиостанцией;
- в автономном варианте.

Маркерный радиомаяк имеет следующие характеристики:

Зона действия:

- внутреннего радиомаяка  $150 \pm 50$  м;
- среднего радиомаяка (ближнего радиомаяка)  $300 \pm 100$  м;
- внешнего радиомаяка (дальнего радиомаяка)  $600 \pm 200$  м.

Частота ВЧ несущих колебаний  $75000 \pm 3,75$  кГц.

Мощность ВЧ несущих колебаний:

- номинальное значение  $320 / 380 \pm 67$  мВт;
- пределы регулирования  $50 - 1500 \pm 67$  мВт.

Частоты модуляции:  $400 \pm 4$  Гц;  $1300 \pm 13$  Гц;  $3000 \pm 30$  Гц.

Коэффициент амплитудной модуляции  $95 \pm 4\%$

Манипуляция огибающей ВЧ сигнала:

- точками с частотой  $6.0 \pm 0.9$  Гц;
- тире с частотой  $2.0 \pm 0.3$  Гц;
- точками и тире;
- длительность тире  $330 \pm 50$  мс.

Срабатывание аварийной сигнализации при:

- уменьшении мощности ВЧ сигнала  $\text{на } 50\%$ ;
- уменьшении коэффициента АМ  $\text{до } 50\%$ ;
- пропадании манипуляции
- отказе контрольного устройства.

Структурная схема маркерного радиомаяка РММ - 95 показана на рис. 5.7.

Радиомаяк состоит из:

- антенны АИЦТ.468571.002;
- блока передатчика АИЦТ.464211.002.

Антенна радиомаяка является комбинацией передающей и контрольной антенн.

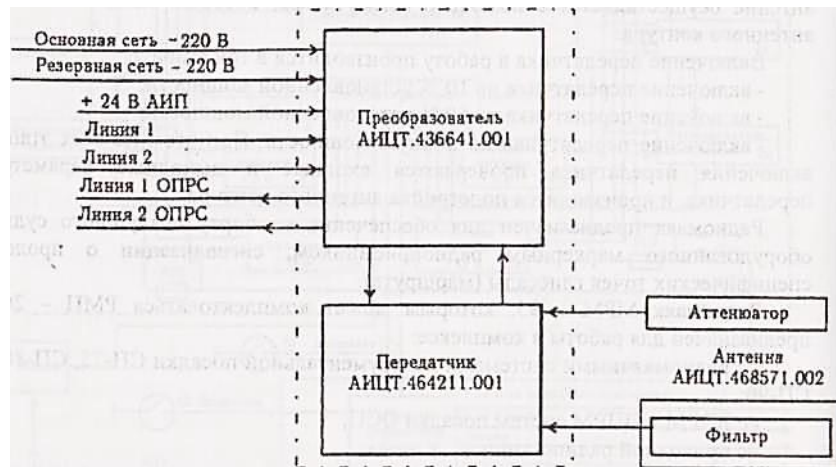


Рис. 5.7. Структурная схема МРМ – 95

Передающая антенна формирует в локальной области пространства электромагнитное поле с горизонтальной поляризацией излучаемых радиоволн.

Диаграмма направленности передающей антенны дает возможность обеспечить требуемую зону действия радиомаяка при минимальной излучаемой мощности. Контрольная антенна предназначена для контроля излучения радиомаяка.

Блок передатчика, в свою очередь, состоит из передатчика и преобразователя.

Передатчик формирует амплитудно-модулированный ВЧ сигнал с частотой несущих колебаний 75 МГц и частотой модуляции 400, 1300 или 3000 Гц, а также манипулированный без прерывания несущих колебаний телеграфными посылками (точками, точками-тире или тире).

Преобразователь преобразует напряжение 220В однофазной сети переменного тока (47...440) Гц или постоянное напряжение (22...32) В аварийного источника питания в постоянные стабилизированные напряжения  $\pm 15$  В, необходимые для питания передатчика и устройств в преобразователе.

### Азимутальный радиомаяк РМА – 90

Система азимутальной навигации с форматом сигналов VOR, работающая в метровом диапазоне волн, рекомендована ICAO в качестве международной системы для навигации воздушным судам при полетах на малые и средние расстояния.

Система состоит из наземной части — радиомаяка и устанавливаемой на воздушных судах бортовой аппаратуры.

Радиомаяк VOR излучает в пределах зоны действия навигационные сигналы, содержащие информацию об азимуте, сигнал опознавания с отличительными признаками радиомаяка и может излучать сигналы РТС.

Бортовая аппаратура принимает и обрабатывает сигналы радиомаяка и выдает информацию пилоту или в систему автоматического управления. Система обеспечивает получение на борту воздушного судна следующей информации:

- об азимуте воздушного судна, т.е. угле между направлением на Север и направлением "радиомаяк — самолет";
- об отклонении воздушного судна от заданной линии курса (линии положения);
- о направлении полета относительно радиомаяка, "на" или "от" него;
- об отличительном признаке радиомаяка;
- речевых сообщений.

При одновременном приеме бортовой аппаратурой сигналов двух РМА может быть определено положение воздушного судна. Для этого необходима карта и знание местоположения радиомаяков.

РМА может объединяться с дальномерным радиомаяком типа DME. В этом случае при наличии на борту воздушного судна соответствующей дальномерной аппаратуры достаточно одного совмещенного радиомаяка VOR/DME для определения положения воздушного судна в системе полярных координат "азимут - дальность".

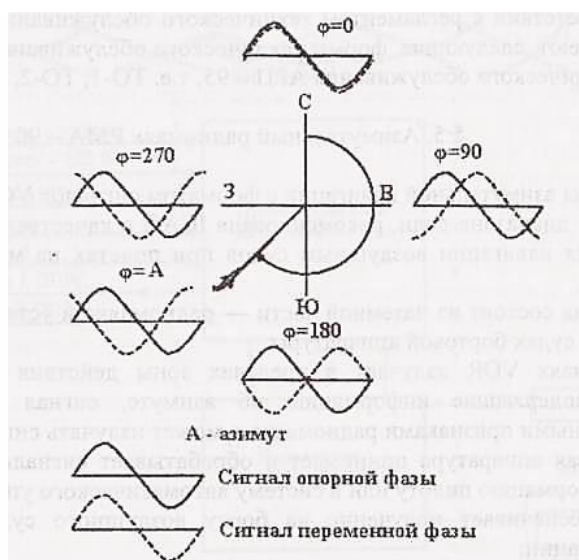


Рис. 5.8. Принцип измерения азимута маяка

В системе азимутальной навигации получение азимутальной информации основано на измерении фазового сдвига между двумя сигналами - опорной и



переменной фазы. Такие сигналы, формируемые в пределах зоны действия радиомаяка (рис. 5.8), имеют следующие особенности:

- фаза первого сигнала постоянна (неизменна) в любой точке зоны действия;
- фаза второго сигнала в любой точке зоны действия зависит от географического угла между направлением на Север и направлением от радиомаяка на эту точку.

Система отрегулирована таким образом, что в точках зоны действия, находящихся на линии радиомаяк - Север, сигналы переменной и опорной фазы синфазны, а фаза сигнала переменной фазы прямо связана с азимутом точки приема.

Азимутальный радиомаяк имеет следующие характеристики:

Зона действия:

- в горизонтальной плоскости от 0 до 360°;
- в вертикальной плоскости (относительно поверхности ограничения прямой видимости):

- снизу не более 3°;
- сверху не менее 40°.

По дальности:

- на высоте 12000 м не менее 300 км;

Напряженность поля на границе зоны действия не менее 90 мкВ/м.

Погрешность информации об азимуте в точках на удалении 28 м от центра антенны не более 1°.

Частота рабочего канала (несущих колебаний) - одно из дискретных значений в диапазоне 108.100-117.975 МГц через 50 кГц.

Мощность несущих колебаний (регулируемая) от 20 до 100 Вт.

Сигнал опорной фазы:

- средняя частота огибающей АМ поднесущей 9960 ± 10 Гц;
- девиация частоты поднесущей 480 ± 20 Гц;
- частота огибающей ЧМ поднесущей 30.0 ± 0.03 Гц;
- коэффициент АМ (регулируемый) 30 ± 2%;

Сигнал переменной фазы:

- частота огибающей АМ 30.0 ± 0.03 Гц;
- коэффициент АМ 30 ± 2 %.

Сигнал опознавания:

- буквенный код - две или три буквы кода Морзе;
- период повторения посылок не более 30 с;
- частота тональной поднесущей 1020 ± 10 Гц;
- коэффициент АМ (регулируемый) 5 ± 1 %.

Включение аварийной сигнализации при:

- отклонении азимута не менее 1°;
- уменьшении уровня ВЧ сигнала более 15 %;
- уменьшении коэффициента АМ сигнала опорной фазы более 15 %;
- уменьшении коэффициента АМ сигнала переменной фазы более 15 %;

- отклонении девиации частоты поднесущей более 30 Гц;
- пропадании СО - понижение уровня СО;
- отказе аппаратуры контроля - неправильное прохождение тестовой проверки.

Структурная схема радиомаяка представлена на рис. 5.9.

Формирование зоны действия радиомаяка осуществляется с помощью передающей антенны. ВЧ тракт служит для согласования тракта распределения сигналов по излучателям передающей антенны с трактом аппаратуры шкафа ГМА, а также для переключения передающей антенны с основной передающей аппаратуры РМА на резервную.

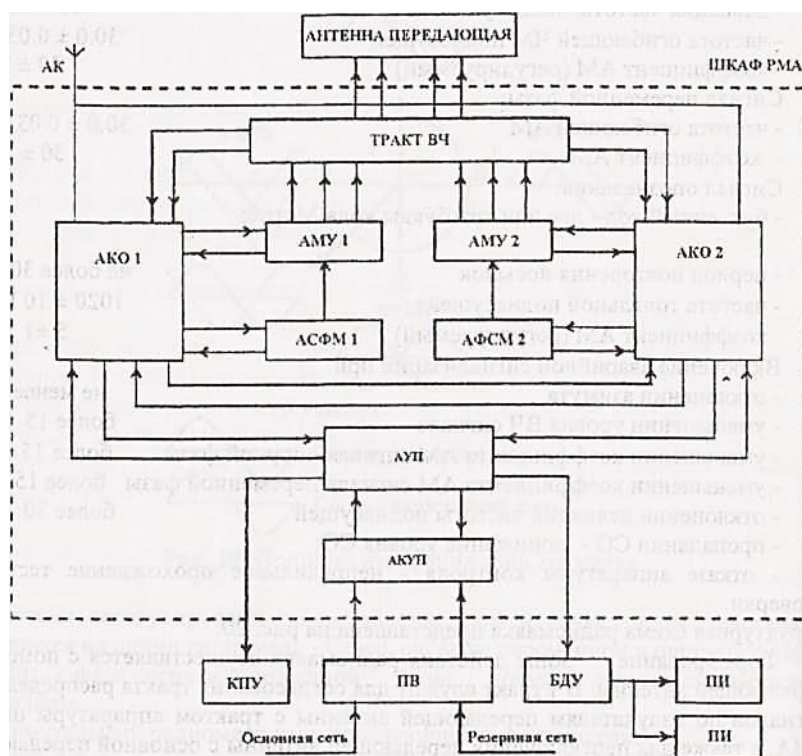


Рис. 5.9. Структурная схема РМА

ВЧ сигналы постоянной и переменной фазы формируются аппаратурой модуляции и усиления (АМУ 1, АМУ 2).

НЧ модулирующие сигналы, а также сигналы контроля состояния поступают на АМУ с аппаратуры формирования сигналов модуляции (АФСМ 1, АФСМ 2).

В аппаратуру контроля и обработки (АКО 1, АКО 2) сигналы поступают с контрольной антенны. Здесь эти сигналы преобразовываются и нарабатываются совместно с НЧ сигналами с АМУ и АФСМ. Результирующие управляющие сигналы вновь поступают на АМУ и АФСМ.

АКО 1 и АКО 2 связаны между собой сигналами синхронизации и сигналами статуса состояний.

Управление радиомаяком и контроль за его параметрами осуществляется с помощью комплекса программно-управляемого (КПУ).

Вывод информации о работе радиомаяка с контрольной аппаратуры производится на аппаратуру управления (АУП).

АУП, в свою очередь, формирует сигналы проверки и контроля АКО и управления трактом ВЧ.

Аппаратура контроля и управления питанием (АКУП) содержит вторичные источники питания, сетевое напряжение на которые поступает через панель ввода, и аварийные источники — аккумуляторные батареи. АКУП осуществляет контроль за параметрами АБ и сетевым напряжением, а также переключение аппаратуры с сетевого электропитания на питание от АБ.

Управление аппаратурой с дистанционного пункта (блока ДУ) осуществляется по двухпроводной линии связи через АУП.

Все сигналы контроля и управления, поступающие в аппаратуру с КПУ, могут быть переданы и с блока ДУ.

Информация с блока ДУ о статусе оборудования дублируется на две панели информации по многопроводным линиям связи.

Сетевое напряжение с панели ввода поступает на вспомогательную аппаратуру, содержащую кондиционер, обогреватели и систему освещения аппаратной.

### **Дальномерный радиомаяк РМД – 90**

Дальномерная система навигации с форматом сигналов ДМЕ/N, работающая в диапазоне частот 962...1213 МГц, определена ИКАО качестве типовой системы для навигации воздушных судов Г А при полетах на малые и средние расстояния.

Система (рис. 5.10) состоит из наземного оборудования - радиомаяка (приемоответчика) и бортового оборудования - самолетного дальномера.

Система обеспечивает получение на борту воздушного судна следующей информации:

- об удалении (наклонной дальности) воздушного судна от места установки радиомаяка;
- об отличительном признаке радиомаяка.

Радиомаяк дальномерный может устанавливаться совместно с радиомаяком азимутальным (РМА) с форматом сигналов VOR.

В этом случае на борту воздушного судна обеспечивается определение его местоположения в системе полярных координат "азимут-дальность" относительно места установки радиомаяка, что позволяет решать задачи самолетовождения на трассе и в зоне аэродрома.

Получение информации о наклонной дальности основано на измерении промежутка времени между моментами посылки запроса с борта воздушного судна и получения ответа от наземного радиомаяка, длительность которого с учетом постоянства скорости распространения электромагнитных волн

оказывается однозначно связанной с расстоянием между воздушным судном и радиомаяком.

Радиомаяк излучает кодированные пары радиоимпульсов в виде хаотической импульсной последовательности (ХИЛ), излучение которых прерывается через каждые 40 с на время передачи сигнала опознавания в виде посылки из двух или трех букв в коде Морзе.

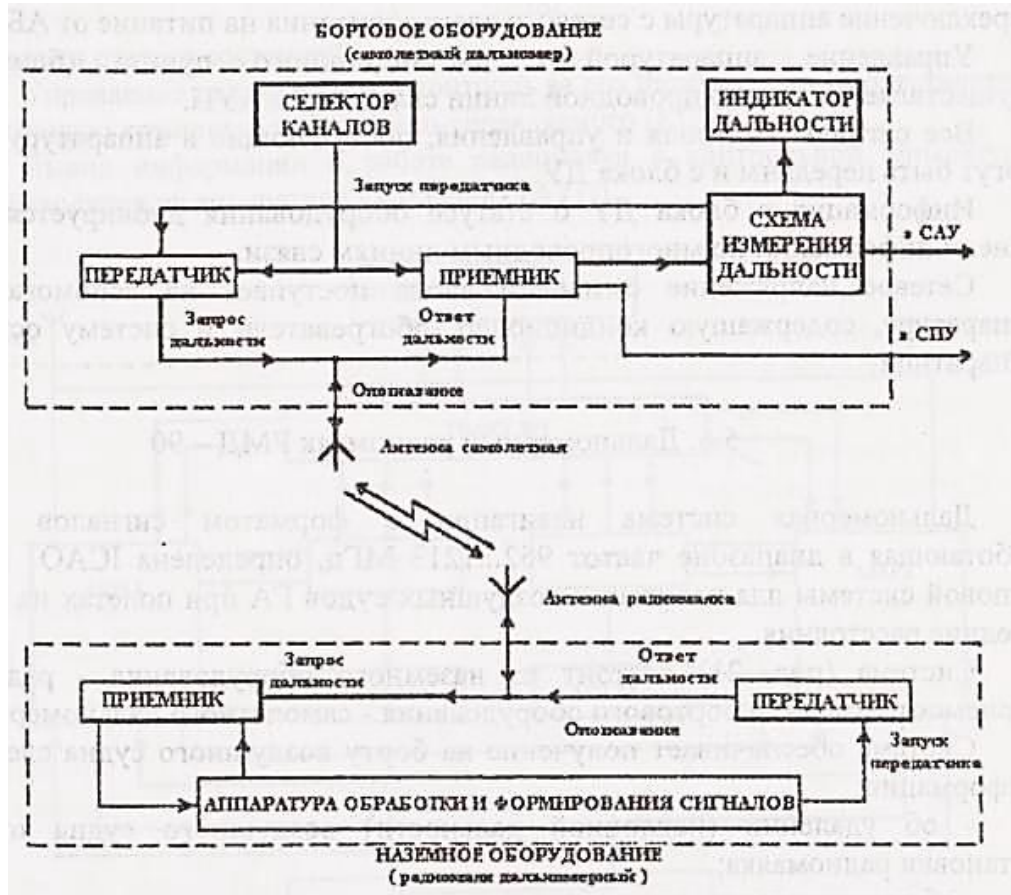


Рис. 5.10. Дальномерная система навигации

Как только воздушное судно оказывается в зоне действия радиомаяка, дальномер начинает принимать радиоимпульсы ХИЛ и автоматически переходит в режим передачи сигналов запроса дальности (ЗД), которые представляют собой пары радиоимпульсов с установленным временным интервалом, излучаемые на определенной несущей частоте.

Радиомаяк принимает эти сигналы и после декодирования, задержки на фиксированное (начальное) время и последующего кодирования излучает сигналы ответа дальности (ОД) - пары радиоимпульсов с определенным интервалом, но уже на другой несущей частоте.

При этом на время излучения сигнала ОД прекращается излучение радиоимпульсов ХИЛ.

Самолетный дальномер принимает сигналы ОД, декодирует их, измеряет временной промежуток между моментами посылки сигнала ЗД и приема

сигнала ОД и преобразует результат измерения временного промежутка в значение дальности.

Вычисленное значение дальности выводится на индикатор и вводится в систему автоматического управления воздушного судна, а выделенный в приемнике дальномера звуковой сигнал опознавания радиомаяка - в самолетное переговорное устройство (СПУ).

Радиомаяк имеет следующие характеристики:

Зона действия:

- в горизонтальной плоскости от 0 до 360°;
- в вертикальной плоскости не менее 40°.

По дальности:

- на высоте 6000 м не менее 200 км;
- на высоте 12000 м не менее 260 км.

Поляризация излучения - вертикальная.

Погрешность, вносимая радиомаяком в измерение дальности  $\pm 75$  м.

Частоты рабочего канала:

- передающего - одно из дискретных значений (через 1 МГц) в диапазоне 1025-1150 МГц;
- приемного - одно из дискретных значений (через 1 МГц) в диапазоне 962-1213 МГц.

Сигнал запроса дальности (КС):

- форма огибающей радиоимпульсов - гауссовая кривая;
- кодовый интервал между импульсами для каналов:
- с индексом X  $12 \pm 0.1$  мкс;
- с индексом Y  $36 \pm 0.1$  мкс.

Сигнал ответа дальности:

- форма огибающей радиоимпульсов - гауссовая кривая;
- длительность импульсов  $3.5 \pm 0.5$  мкс;
- время нарастания импульсов не более 3.0 мкс;
- время спада импульса не более 3.5 мкс;
- кодовый интервал между импульсами для каналов:
- с индексом X  $50.0 \pm 0.5$  мкс;
- с индексом Y  $56.0 \pm 0.5$  мкс.

Сигнал опознавания:

- буквенный код - две или три буквы в коде Морзе;
- период повторения посылок не более 40 с.

Частота ХИП (в отсутствие сигналов ЗД) не менее 700 имп. пар/с.

Мощность радиоимпульсов не менее 500 Вт.

Чувствительность приемника и динамический диапазон от - 116 до - 48 дБ.

Пропускная способность радиомаяка - не более  $2700 \pm 90$  имп. пар/ с.

Автоматическая сигнализация:

- отключения отказавшего комплекта аппаратуры;
- включения резервного, комплекта;

- изменения времени задержки на  $\pm 1.0$  и более мкс;
- изменения кодового интервала сигнала ЗД/КС на  $\pm 1.0$  и более мкс;
- изменения кодового интервала сигнала ОД на  $\pm 1.0$  и более мкс;
- снижения мощности радиоимпульсов сигнала ОД до 250 Вт;
- уменьшения эффективности менее 70 %;
- пропадания сигнала опознавания.

Время переключения на резервный комплект:

- при пропадании сигнала опознавания не более 75 с;
- при других аварийных ситуациях не более 10 с.

В состав структурной схемы РМД (рис. 5.11) входят:

- тракт ВЧ;
- аппаратура приемо-передающая (ПРМ 1, ПРД 1), (ПРМ 2, ПРД 2),
- фильтр полосовой;
- генератор контрольный (ГК 1, ГК 2);
- аппаратура формирования импульсов (АФИ 1, АФИ 2);
- аппаратура контроля и обработки сигналов (АКО 1, АКО 2);
- аппаратура управления и проверки (АУП);
- аппаратура контроля и управления питанием (АКУП).

Антенна РМД обеспечивает формирование в пространстве зоны действия поле радиомаяка и является передающей для сигналов ХИП, СО и ОД и приемной для сигналов ЗД самолетных дальномеров.

Тракт ВЧ подключает к антенне основной или резервный приемники и передатчики, развязывает приемный и передающий тракты, ответвляет ВЧ сигналы на генераторы контрольные ГК 1 и ГК 2, формирующие контрольные сигналы (КС).

Принятые антенной сигналы ЗД через тракт ВЧ поступают на приемник, где они преобразуются, усиливаются и подвергаются предварительной обработке.

Кодовые пары импульсов ЗД и КС подаются в АФИ и АКО.

В АФИ осуществляется привязка кодовых пар к импульсам точной временной шкалы, формируемым опорным кварцевым генератором. На основе точной временной шкалы осуществляются декодирование кодовых пар, их временные задержки, необходимые для формирования кодовых пар ЗД/КС, СО, ОД и ХИП, модулирующих передатчик.

В АКО осуществляется преобразование сигналов управления, сигналов контроля и параметров сигналов в цифровую форму и последующая их обработка. В памяти процессора АКО хранятся табличные значения кодов номинальных и пороговых значений параметров, по которым осуществляется допусковой контроль, а также коды управления. В АКО реализуются все логические и вычислительные операции по обработке сигналов контроля и управления.

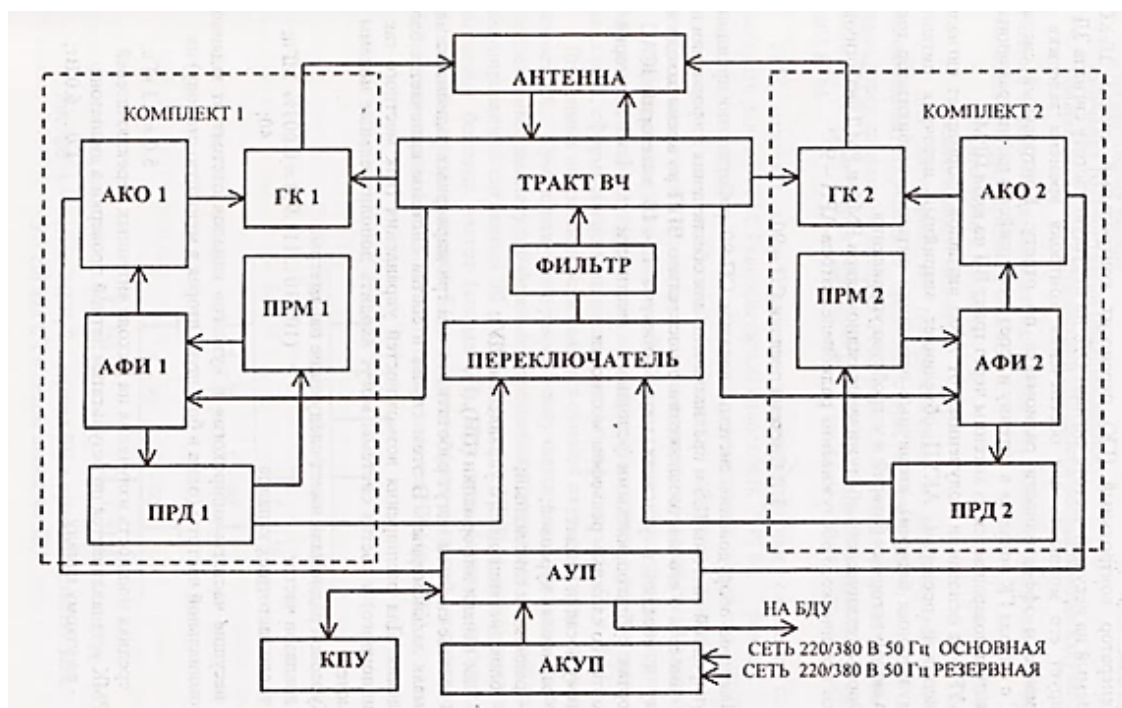


Рис. 5.11. Структурная схема РМД

Генератор контрольный (ГК) переносит контрольный сигнал ЗД/КС, излучаемый на несущей частоте сигнала ОД, на несущую частоту сигнала ЗД и регулирует его мощность для обеспечения контроля времени задержки в радиомаяке и эффективности радиомаяка по ответу. Контрольный сигнал ЗД/КС с выхода ПС подается в антенну и через имеющийся в ней направленный ответвитель возвращается из антенны через тракт ВЧ на вход ПРМ.

АУП, на основании полученных от АКО сигналов, формирует сигналы управления и проверки. АКУП объединяет аварийный источник питания (аккумуляторные батареи), вторичные источники питания, стабилизатор тока заряда аккумуляторных батарей и устройство управления.

### Система посадки СП - 90

Наземное оборудование системы посадки СП-90 работает по принципу международной системы ILS и предназначено для обеспечения информации на борту самолета о его местоположении относительно ВПП во время захода на посадку и посадки в условиях метеоминимума I - III категорий ICAO в аэропортах с благоприятными условиями местности и I -II категорий в аэропортах со сложным рельефом местности.

В систему посадки входят:

- радиомаяк курсовой;
- радиомаяк глиссальный;
- блок дистанционного управления (ДУ);

- две панели информации (ПИ).

В составе системы могут работать два или три маркерных радиомаяка или радиомаяк дальномерный. В этом случае в состав системы включается блок управления. Для расширения возможностей управления (как местного так и дистанционного) в состав системы могут входить дополнительные модемы и компьютер.

Курсовой радиомаяк имеет следующие параметры:

- диапазон частот  $(108.10...111.95) \pm 0.003\%$  МГц;
- число частотных каналов 40;
- несущие частоты «широкого» и «узкого» каналов отстоят от заданной номинальной частоты (одна в большую, вторая в меньшую сторону) на  $5.0 \pm 1.3$  кГц;
- средняя мощность излучения на выходе антенных переключателей РМК устанавливается по результатам летной проверки в диапазоне:
  - по узкому каналу 1.0 ... 6.0 Вт;
  - по широкому каналу 1.0 ... 6.0 Вт;
- излучение горизонтально поляризованное
- поляризованная в вертикальной плоскости составляющая излучения на линии курса, когда самолет находится на линии курса и имеет крен  $20^\circ$  относительно горизонтальной плоскости:
  - для категории I не более 0.016 РГМ;
  - для категории II не более 0.008 РГМ;
  - для категории III поляризованная в вертикальной плоскости составляющая излучения в пределах створа, ограниченного с обеих сторон линии курса точками, в которых РГМ равна 0.03, когда самолет находится на линии курса и имеет крен  $20^\circ$  относительно горизонтальной плоскости не более 0.005 РГМ.

РМК излучает в пространство электромагнитные сигналы, создавая плоскости равных РГМ. Равносигнальная плоскость РГМ, равных нулю, ближайшая к вертикальной плоскости, проходящей через ось ВПП, при пересечении с горизонтальной плоскостью образует линию курса, относительно которой ориентируются самолеты в горизонтальной плоскости.

Формирование зоны действия РМК происходит следующим образом.

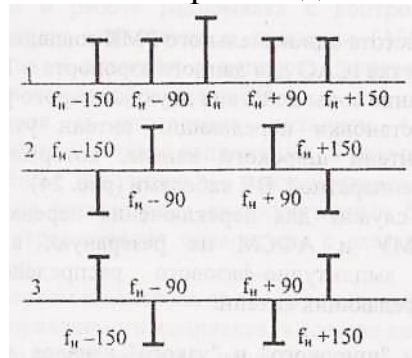


Рис. 5.12

- 1 - сигнал НБЧ; 2 - сигнал БЧ в правом лепестке ДН;  
3 - сигнал БЧ в левом лепестке ДН



Несущая частота модулируется по амплитуде суммарным и разностным сигналами, сформированными из синусоидальных сигналов 90 и 150 Гц.

Диаграмма направленности является суммой двух диаграмм - суммарной и разностной. Суммарная диаграмма получается при запитке антенн в определенных амплитудно-фазовых отношениях сигналами несущей частоты, модулированной сигналами 90 и 150 Гц (сигнал НБЧ), а разностная - только сигналами боковых частот (сигнал БЧ). При этом боковые частоты одной частоты модуляции в сигнале БЧ находятся в фазе, а другой - в противофазе с соответствующими боковыми частотами в сигнале НБЧ (рис. 5.12).

В результате сложения полей сигналов БЧ и НБЧ в пространстве образуется поле несущей частоты, глубина модуляции которой частотами 90 и 150 Гц изменяется в пределах зоны действия радиомаяка. Справа от линии курса (по направлению захода самолета) преобладает глубина модуляции несущей сигналом частоты 150 Гц, а слева глубина модуляции несущей сигналом частоты 90 Гц. На линии курса РГМ равна нулю.

С целью уменьшения влияния сигналов, отраженных от местных предметов и неровностей почвы, курсовой радиомаяк СП-90 выполнен по двухканальной схеме. Зона действия двухканального радиомаяка формируется с помощью двух независимых передающих антенн: передающей антенны "узкого" канала и передающих антенн "широкого" канала.

По "широкому" каналу обеспечивается необходимая ширина зоны действия, а по "узкому" каналу точностные параметры радиомаяка, соответствующие III категории ИСАО.

Несущие частоты "узкого" и "широкого" каналов симметрично разнесены относительно номинальной частоты, выбранной по сетке ИСАО для данного аэропорта на  $(5.0 \pm 1.2)$  кГц.

В зоне действия "узкого" канала сигнал несущей "узкого" канала является преобладающим и бортовая аппаратура обрабатывает этот сигнал, выдавая информацию о величине и стороне отклонения от линии курса.

В области перекрытия зон "узкого" и "широкого" каналов, где сигналы несущих близки по значению, и за пределами зоны действия "узкого" канала, где бортовая аппаратура обрабатывает сигнал несущей "широкого" канала, выдается информация только о стороне отклонения.

Зона действия радиомаяка формируется с помощью двух независимых антенн: 10 - элементная для зоны действия  $\pm 10^\circ$ , 12 - элементная для зоны действия  $\pm 35^\circ$ .

Несущая частота одноканального РМК совпадает с номинальной частотой, выбранной по сетке ИСАО для данного аэропорта  $\pm 1.1$  кГц.

Формирование зоны действия двухканального радиомаяка осуществляется с помощью установки передающих антенн узкого канала и установки передающих антенн широкого канала, которые связаны с аппаратурой, размещенной в аппаратной, ВЧ кабелями (рис. 5.13).

ВЧ тракт служит для переключения передающих антенн с основной аппаратуры АМУ и АФСМ на резервную, а также для обеспечения необходимого амплитудно-фазового распределения ВЧ сигналов по излучателям передающих антенн.

ВЧ сигналы "широкого" и "узкого" каналов двухканального радиомаяка формируются аппаратурой модуляции и усиления (АМУ 1, АМУ 2).

В аппаратуре формирования сигналов модуляции (АФСМ) шкафа РМК формируются синфазные с высокой стабильностью по частоте синусоидальные сигналы 90 и 150 Гц. Из этих сигналов вырабатываются суммарный и разностный сигналы вида:

$$E_{\text{НБЧ}} = E_0[1 + m(\sin \Omega_{90}t + \sin \Omega_{150}t)],$$

$$E_{\text{БЧ}} = A[\sin \Omega_{90}t + \sin \Omega_{150}t],$$

где  $E_{\text{НБЧ}}$  - суммарный сигнал модуляции;

$E_0$  - постоянная составляющая;

$m$  - коэффициент глубины модуляции, равный 0.4;

$\sin \Omega_{90}t$  и  $\sin \Omega_{150}t$  - угловые частоты синусоидальных сигналов 90 и 150 Гц;

$E_{\text{БЧ}}$  - разностный сигнал модуляции;

$A$  - амплитудный коэффициент.

Этими сигналами в АМУ модулируется по амплитуде в двухканальном радиомаяке отдельно несущая "узкого" канала и несущая "широкого" канала.

На АМУ с аппаратуры формирования сигналов модуляции поступает также сигнал опознавания — кодовая последовательность импульсов, представляющая собой слово из трех букв кода Морзе. Эта кодовая последовательность импульсов устанавливается индивидуально для каждого конкретного аэропорта.

В аппаратуру контроля и обработки (АКО 1, АКО 2) сигналы поступают с контрольной антенны и датчиков контроля передающих антенн. Здесь эти сигналы преобразовываются и обрабатываются совместно с НЧ сигналами АМУ и АФСМ. Результирующие управляющие сигналы вновь поступают на АМУ и АФСМ.

АКО 1 и АКО 2 связаны между собой сигналами синхронизации и сигналами статуса состояний.

Вывод информации о работе радиомаяка с контрольной аппаратуры производится на аппаратуру управления и проверки (АУП). АУП, в свою очередь, формирует сигналы проверки и контроля, управления источниками питания и модулем переключателей в тракте ВЧ.

Аппаратура контроля и управления питанием (АКУП) содержит вторичные источники питания, сетевое напряжение на которые поступает через панель ввода, и аварийные источники — аккумуляторные батареи. АКУП осуществляет контроль за параметрами аккумуляторных батарей и сетевым напряжением, а также переключение аппаратуры с электропитания сети на питание от аккумуляторов.

Управление радиомаяком и контроль за его параметрами осуществляется с помощью программно-управляемого комплекса, в составе которого персональный компьютер подключается к шкафу непосредственно или через модемы по коммутируемой (телефонной) линии связи.

Управление аппаратурой с дистанционного пункта (блок БДУ) осуществляется по двухпроводной линии связи через АУП. Сетевое напряжение с панели ввода (ПВ) поступает на вспомогательную аппаратуру, содержащую кондиционер, обогреватели и систему освещения аппаратной.

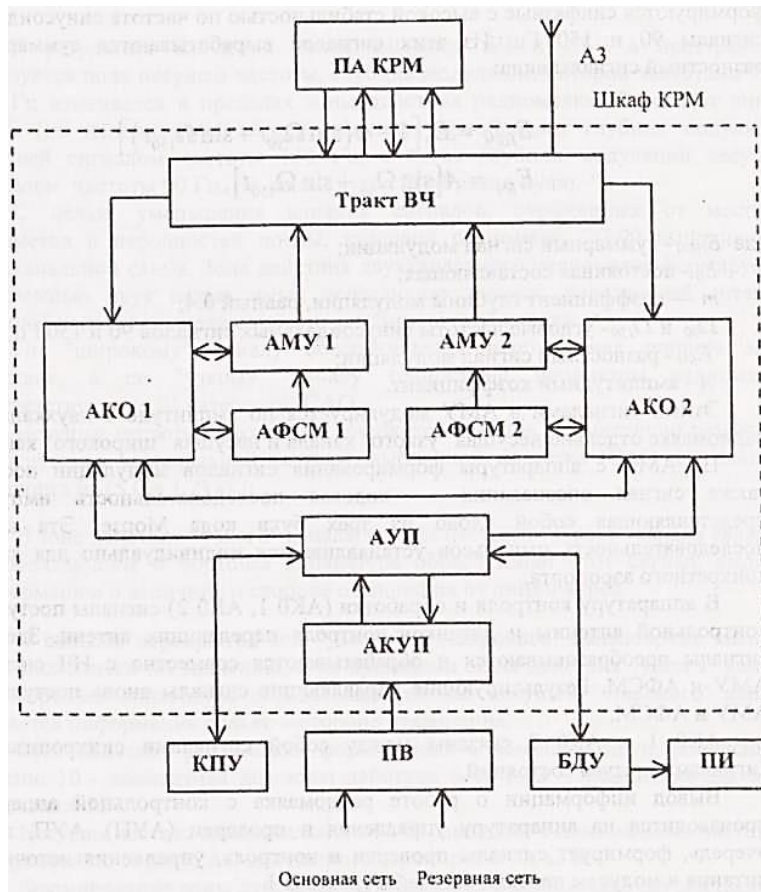


Рис. 5.13. Структурная схема КРМ системы посадки СП-90

Глиссадный радиомаяк обеспечивает информацию для управления самолетом относительно оси ВПП в вертикальной плоскости, создавая заданную зону действия и линию глиссады.

Глиссадный радиомаяк системы посадки СП-90 выполнен по двухканальной двухчастотной схеме и имеет следующие параметры:

- диапазон частот 329.15 - 335.0 МГц;
- число частотных каналов 40;
- несущие частоты "широкого" и "узкого" каналов отстоят от заданной номинальной частоты (одна в большую, вторая в меньшую стороны) на  $10.0 \pm 2.2$  кГц;
- средняя мощность излучения на выходе НБЧ модуля переключателей:

- по узкому каналу  $3.5 \pm 0.7$  Вт,
- по широкому каналу  $2.2 \pm 1.5$  Вт;
- глубина модуляции несущей частоты узкого канала сигналами частот 90 и 150 Гц  $40 \pm 2.5$  %;
- глубина модуляции несущей частоты широкого канала сигналом частоты 90 Гц  $25 \pm 2.5$  %,
- сигналом частоты 150 Гц  $55 \pm 2.5$  %;
- РГМ между сигналами частот 90 и 150 Гц с превышением глубины модуляции частоты 150 Гц в широком канале  $30 \pm 1.2$  %;
- сумма глубин модуляции несущих частот сигналами 90 и 150 Гц  $80 \pm 5$  %;
- отклонение нуля РГМ несущих частот сигналов 90 и 150 Гц не более  $\pm 0.4$  %;
- флуктуация РГМ относительно среднего значения не более  $\pm 0.2$  %;
- отклонение модулирующих частот 90 и 150 Гц от номинальных значений не более  $\pm 0.5$  %.

Принцип формирования сигналов глиссидного радиомаяка аналогичен принципу формирования сигналов курсового радиомаяка.

Для того, чтобы уменьшить влияние помех за счет отражений сигнала от неровностей рельефа, что необходимо для обеспечения выходных параметров РМГ, соответствующих III категории, и при этом сохранить необходимую зону действия, глиссидный радиомаяк СП-90 также построен по двухканальному принципу.

Несущая частота "узкого" канала и несущая частота "широкого" канала симметрично разнесены относительно номинальной частоты, выбранной по сетке ICAO для данного аэропорта, на  $10.0 \pm 2.2$  кГц. Разнос между несущей частотой "узкого" и несущей частотой "широкого" каналов составляет  $20 \pm 4.4$  КГц.

Структурная схема глиссидного маяка аналогична структурной схеме курсового радиомаяка, показанной на рис. 5.13.

В соответствии с регламентом технического обслуживания курсовой и глиссидный радиомаяки имеют следующие формы технического обслуживания: ТО - 1, ТО - 2, ТО - 6 и ТО - С.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение и основные характеристики АРП.
2. Характеристики РМА.
3. Характеристики РМД.
4. Перечислите основные характеристики РСБН.
5. Назначение и основные характеристики ПРС.
6. Принцип действия радиомаячных СП.
7. Размещение радиомаяков.
8. Принцип действия и структурная схема АРП-95.
9. Приводной радиомаяк РМП-200.
10. Структурная схема РМП-200.
11. Структурная схема МРМ-95.
12. Принцип действия РМА-90.
13. Структурная схема РМА.
14. Дальномерный радиомаяк РМД-90. Основные характеристики.
15. Структурная схема РМД.
16. Схема посадки СП-90. Принцип действия.
17. Структурная схема КРМ СП-90.

## 6. АППАРАТУРА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

В настоящее время создана базовая интегрированная аэродромно-районная АС УВД нового поколения "СИНТЕЗ", основанная на автоматизации процессов сбора, обработки и отображения радиолокационной, радиопеленгационной, плановой и метеорологической информации и анализа на бесконфликтность текущей и упрежденной воздушной обстановки.

В системах унифицированного ряда АС УВД "СИНТЕЗ" обеспечивается автоматизация полного спектра процессов УВД - в РДЦ, АДЦ, АКДП, АДП и МДП:

- сбор, обработка и отображение информации о воздушной обстановке;
- сбор, обработка, хранение, отображение и рассылка плановой информации;
- сбор, обработка и отображение метеорологической информации;
- анализ информации о текущей и упрежденной ВО на бесконфликтность;
- отображение информации о текущей и упрежденной ВО, плановой, метеорологической и об ограничениях ВП на совмещенных индикаторах ВО и плановых данных;
- документирование и воспроизведение информации, обрабатываемой системой;
- тренировка диспетчеров УВД;
- контроль функционирования и управления системой;
- взаимодействие с выносным оборудованием на аэродромы ГА и ведомственные;
- взаимодействие со смежными АС УВД и со специальными АСУ.

Наряду с АС УВД, в состав которых входят средства отображения информации, в районных центрах УВД и на позициях служб ЭРТОС находят широкое применение специальные комплексы отображения информации такие, как КАРМ ДРУ, Топаз - 2000, ВИП-118 и др.

Неотъемлемой частью автоматизированного рабочего места диспетчера по управлению воздушным движением является монитор, на котором отображается радиолокационная информация, принятая от радиолокатора. В аппаратуре отображения информации осуществляется совмещение круговой развертки радиолокационного изображения, выполняющейся в полярных координатах азимут - дальность (луч радиолокатора, вращающийся по кругу), и прямоугольной развертки знакографической информации, выполняющейся в декартовых координатах пиксел - строка.

В качестве примера рассмотрим устройство, получившее название контроллера, который осуществляет прием, объединение и последующее отображение информации двух видов: радиолокационной, поступающей от локатора, и знакографической, формируемой программным обеспечением, функционирующим на персональном компьютере.

Контроллер (рис. 6.1) является устройством расширения персонального компьютера, подключаемого к шине ISA, входящего в состав автоматизированного рабочего места диспетчера.

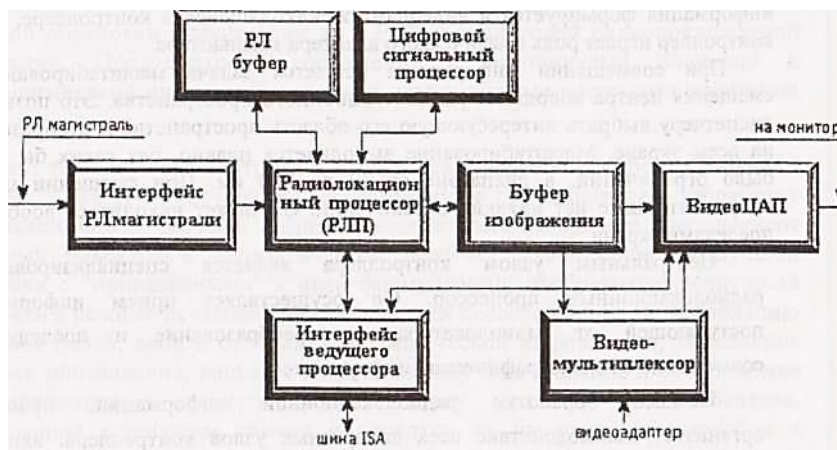


Рис. 6.1 Структурная схема контроллера

Радиолокационная информация поступает на вход контроллера по двум каналам — первичному (аналоговому) и вторичному (дискретному).

Первичный канал, называемый обзорным, представляет собой эхо-сигнал зондирующего импульса и содержит отметки о любых воздушных объектах (летательные аппараты, метеорологические образования), а также возможные помехи.

Вторичный канал, канал опознавания, формируется аппаратурой первичной обработки информации (АПОИ) радиолокатора и содержит отметки только тех летательных аппаратов, ответчики государственного опознавания которых отозвались на запрос, излученный радиолокатором.

Оба канала синхронизированы вместе одинаковыми сигналами синхронизации, к которым относятся:

- импульс определения начального угла поворота антенны радиолокатора (сигнал «СЕВЕР»);
- малые азимутальные импульсы (сигнал «МАИ»), определяющие текущее направление антенны;
- импульс, определяющий момент излучения зондирующего сигнала локатора (сигнал «ЗАПУСК»).

Знакографическая информация может формироваться либо графическим адаптером, входящим в состав компьютера, либо непосредственно в контроллере. В первом случае информация поступает в контроллер через разъем расширения графического адаптера, во втором случае знакографическая информация формируется в видеопамяти, находящейся в контроллере, а сам контроллер играет роль графического адаптера компьютера.

При совмещении информации решается задача масштабирования и смещения центра координат радиолокационного пространства. Это позволяет диспетчеру выбрать интересующую его область пространства и отобразить ее на всем экране. Масштабирование выполняется плавно, без каких бы то ни было ограничений, в диапазоне от 20 до 800 км. При смещении центра координат также нет никаких ограничений. Он может находиться вообще за пределами экрана.

Центральным узлом контроллера является специализированный радиолокационный процессор. Он осуществляет прием информации, поступающей от радиолокатора, ее преобразование и последующее совмещение со знакографической информацией.

Помимо обработки радиолокационной информации, процессор организует взаимодействие всех аппаратных узлов контроллера: входного АЦП; специализированного видео ОЗУ, в котором формируется изображение радиолокационной обстановки; выходного видео-ЦАП, с которого выдается аналоговая информация (RGB) для монитора высокого разрешения.

Радиолокационный процессор содержит также массив регистров, доступных программному обеспечению, с помощью которых определяются режимы и параметры функционирования контроллера.

Контроллер входит в состав оборудования автоматизированного рабочего места (АРМ) диспетчера УВД, в котором основой рабочего места является персональный компьютер. Рассмотренная структура формирования визуальной информации практически существует во всех современных комплексах отображения информации. Рассмотрим характеристики некоторых из них.

Комплекс автоматизированных средств отображения (КАСО) "ТОПАЗ '000" предназначен для приема, обработки, трансляции и отображения информации о воздушной обстановке в системе управления воздушным движением. КАСО "ТОПАЗ 2000" устанавливается в Командных Диспетчерских Пунктах (КДП) вместо устаревших средств отображения. По своим функциональным возможностям является одной из самых современных систем.

КАСО "ТОПАЗ 2000" сопрягается с эксплуатирующимся парком аэродромных и трассовых РЛС и РЛК, автоматических пеленгаторов по диалоговым и цифровым выходам. Для сопряжения с устаревшим парком РЛС типа П-37, ДРЛ7СМ, "Экран" обеспечено совмещенное отображение "сырого" видеосигнала и цифровой информации после обработки. Обеспечено отображение и оперативная регулировка воздушной обстановки после третичной обработки информации до 8 РЛК и аналоговой радиолокационной информации. Предусмотрено сопряжение с источниками плановой и метеорологической информации, а также спутниковыми системами навигации и УВД.

Пульт технического контроля и аппаратура цифровой обработки ВИП-118 для РЛС "ЛИРА-1" осуществляет: первичную и вторичную обработку радиолокационных данных (одновременное сопровождение до двухсот



воздушных объектов в автоматическом режиме), отображение воздушной обстановки с "привязанными" к цели формулярами, отображение воздушной обстановки в режиме псевдоаналога со следами послесвечения, экстраполяцию положения целей, ввод и отображение графической информации, управление режимами опознавания, решение навигационных задач, анализ и отображение метеоинформации, статистическую оценку работы радиолокатора, формирование кодограмм обмена и передачу их на командные пункты и рабочие места диспетчеров, документирование (запись) радиолокационной информации с возможностью последующего ее воспроизведения в любое время ВИП-118 обеспечивает трансляцию РЛИ в цифровых кодограммах на входящие в комплект поставки рабочие места диспетчеров УВД или на комплекс автоматизации средств отображения (КАСО) типа "ТОПАЗ-2000".

Пункт съема информации (ПСИ) и рабочие места снабжены цветными мониторами высокого разрешения 1280x1024 с размером диагонали 21 дюйм. ПСИ может принимать информацию от РЛС как с цифровым, так и с аналоговым выходом. В последнем случае он принимает аналоговые сигналы первичной РЛС, сигналы гос. опознавания, а также сигналы синхронизации и вращения.

Аналоговые сигналы поступают на ПСИ по радиочастотным кабелям. ПСИ производит аппаратно-первичную обработку сигналов (вычисление координат целей) первичной, вторичной РЛС и сигналов гос. опознавания, декодирование дополнительной информации с выхода приемника ВРЛ и выдает информацию на вычислительный комплекс, который производит автоматическую вторичную обработку всех целей в зоне обзора РЛС и отождествление информации первичного, вторичного каналов и канала опознавания.

В результате обработки на дисплее пункта съема отображается воздушная обстановка с символами целей и привязанными к ним формулярами. Полный формуляр цели состоит из трех строк и содержит следующую информацию:

- в первой строке - номер канала сопровождения, который присваивается либо автоматически по порядку обнаружения цели, либо вручную оператором и существует до сброса цели с сопровождения. При наличии информации от вторичного локатора в первой строке отображается номер борта;
- во второй строке отображается высота цели в цифровом виде;
- в третьей строке - путевая скорость, признак опознавания и признак бедствия. При наличии сигнала "бедствие" формуляр меняет цвет или начинает мигать.

Кроме того, на дисплее пункта съема имеется возможность отображения псевдоаналоговой информации, т.е. координатных отметок целей со следами послесвечения за несколько периодов обзора. Система, вычисляя вектор скорости, позволяет производить экстраполяцию положения целей на заданный оператором интервал времени. При этом на дисплее может быть отображен вектор экстраполяции, показывающий будущее местоположение цели. Это свойство системы позволяет также прогнозировать возможные конфликтные

ситуации, т.е. опасное сближение целей как по расстоянию, так и по высоте (при наличии информации о третьей координате). Параметры опасного сближения (допустимая дальность, интервал высот) могут задаваться оператором.

Для решения навигационных задач в системе предусмотрена возможность измерения расстояния и курса между двумя любыми воздушными объектами (ВО) или точками, задаваемыми оператором с помощью маркера. При этом на векторе, соединяющем два ВО, отображается текущее расстояние между ними и текущий азимут.

Оператор имеет также возможность ввести в систему и получить отображение любой графической информации, например: карт воздушных трасс (коридоров) и зон, запрещенных для пролета, карт местности с указанием населенных пунктов, дорог, рек и других наземных объектов, мест расположения аэродромов, радиомаяков и других навигационных средств и т.д.

Современные комплексы отображения информации обладают высокими эксплуатационными характеристиками, так, например, КАСО "ТОПАЗ - 2000" имеет среднее время безотказной работы - 20000 ч, поэтому к ним применима эффективная стратегия технического обслуживания - обслуживания по состоянию с контролем уровня надежности.

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение аэродромно-районных АС УВД.
2. Структурная схема контроллера.
3. Поясните особенности КАСО "ТОПАЗ - 2000".
4. Поясните принцип действия пульта съема информации.
5. Приведите основные требования, предъявляемые к СОИ.

## 7. СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

К объектам авиационной электросвязи (ЭС) относятся:

- Передающий радиоцентр (ПРЦ)
- Приемный радиоцентр (ПМРЦ)
- Автономный ретранслятор авиационной подвижной воздушной связи (АРТР)
- Центр коммутации сообщений (ЦКС)

### 7.1. Требования к объектам авиационной электросвязи

**Передающий радиоцентр** ПРЦ предназначен для организации авиационной подвижной воздушной электросвязи в диапазонах ОВЧ - и ВЧ - диапазонов (обеспечение передачи информации в аналоговом и цифровом видах от диспетчерских наземных служб УВД экипажам воздушных судов), а также для организации авиационной фиксированной электросвязи.

В состав ПРЦ должны входить: АФС; радиопередающие устройства; аппаратура сопряжения, контроля и дистанционного управления; аппаратура служебной связи; устройства молниезащиты; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

**Приемный радиоцентр** ПМРЦ предназначен для организации авиационной подвижной воздушной электросвязи ОВЧ - и ВЧ - диапазонов (обеспечение приема информации в аналоговом и цифровом видах диспетчерскими наземными службами от экипажей воздушных судов), а также для организации авиационной фиксированной электросвязи.

В состав ПМРЦ должны входить: АФС; радиоприемные устройства; аппаратура сопряжения, контроля и дистанционного управления; аппаратура служебной связи; устройства молниезащиты; комплект ЗИП; комплект эксплуатационной документации.

**Автономный ретранслятор авиационной подвижной воздушной связи** АРТР предназначен для организации сплошного радиоперекрытия зон ответственности районных центров ОВД различного уровня, автоматизации многочастотным полем авиационной подвижной воздушной связи и обеспечения обмена информацией в аналоговом и цифровом видах между диспетчерскими наземными службами УВД и экипажами воздушных судов.

В состав автономного ретранслятора авиационной подвижной воздушной связи должны входить: приемо-передающая АФС; приемо-передающие устройства; аппаратура сопряжения, контроля и управления; аппаратура служебной связи; устройства молниезащиты.

Расположение объектов авиационной воздушной электросвязи должно соответствовать требованиям проектной и эксплуатационной документации, утвержденной установленным порядком с учетом:

- минимизации углов закрытия видимости в сторону прохождения воздушных трасс (зон полета ВС);
- требований по ограничению высоты АФС;
- электромагнитной совместимости.

Расположение средств авиационной воздушной электросвязи ВЧ - диапазона может быть автономным или совмещенным с позицией установки средств ОВЧ связи.

*Центр коммутации сообщений* ЦКС предназначен для обеспечения обмена информацией предприятий и организаций ГА через технологическую авиационную наземную сеть передачи данных и телеграфной связи специального уполномоченного органа Федеральной исполнительной власти в области ГА (АИС ПД и ТС) в целях организации воздушного движения и планирования использования воздушного пространства, производственно-хозяйственной и административно-управленческой деятельности.

Центр коммутации сообщений может выполнять следующие функции:

- главного центра сети;
- федерального центра сети;
- регионального центра сети;
- конечного центра сети.

В состав ЦКС должны входить:

Аппаратно-программный комплекс, представляющий из себя:

- для главного центра, федерального и регионального центров сети - дублированные технические средства с горячим резервированием, обеспечивающий при отказах непрерывность выполнения технологических функций центра по приему, передаче, обработке и хранению сообщений;
- для конечных центров - дублированные технические средства, обеспечивающие переход на резерв при отказах оборудования;
- для главного центра - технические средства управления сетью передачи данных, мониторинга состояния сети и имитации сети связи.

Средства сопряжения с аналоговыми (цифровыми) каналами связи (передачи данных).

Оборудование, обеспечивающее подключение подводимых каналов связи (кросс).

Источники бесперебойного электропитания.

Аппаратура служебной связи.

Комплект ЗИП и КИП.

Комплект эксплуатационной документации.

ЦКС, выполняющий функции главного центра обеспечивает обмен информацией с использованием методов коммутации сообщений для сети

AFTN в кодах МТК-2 и МТК-5 (КОИ-7), методов коммутации пакетов для сети CIDIN и/или рекомендациями X.25 и X.36 МСЭ-Т, а также выполнение функций централизованного управления сетью АНС ПД и ТС.

ЦКС, выполняющий функции центра федерального и регионального центров сети, обеспечивает обмен информацией с использованием методов коммутации сообщений для сети AFTN в кодах МТК-2 и МТК-5 (КОИ-7) и методов коммутации пакетов для сети CIDIN и/или рекомендациями X.25 и X.36 МСЭ-Т.

ЦКС, выполняющий функции оконечного центра, обеспечивает взаимодействие с сетью связи и абонентами с использованием методов коммутации сообщений для сети AFTN в коде МТК-2 или МТК-2 и МТК-5 (КОИ-7).

ЦКС должен обеспечивать функционирование средств коммутации сообщений и передачи данных в круглосуточном режиме работы.

Организация архива ЦКС должна обеспечивать хранение всех принятых и переданных сообщений и их журналов в течение последних 30 суток с возможностью их поиска, вывода персоналу центра и повторной передачи в сеть связи, а также должна предусматривать меры по защите от несанкционированного доступа.

Основные требования к средствам авиационной электросвязи приведены в Приложении 2.

## **7.2. КВ – радиостанция «Арлекин – Д»**

КВ-радиостанция "Арлекин-Д" [16] предназначена для использования на борту магистральных объектов с комплексом стандартного цифрового оборудования, обеспечивает:

двухстороннюю симплексную речевую связь экипажей объектов с наземными службами УВД и между экипажами объектов в воздухе;

двухсторонний симплексный автоматизированный обмен данными по линии "воздух-земля".

Тактико-технические данные:

Диапазон рабочих частот 2,0000 – 29,9999 МГц с сеткой частот 100 Гц;

Отклонение частоты относительно номинального значения, после предварительного прогрева в течение 15мин. в наихудших условиях работы, не превышает  $5 \cdot 10^{-7}$  Гц.

Радиостанция обеспечивает работу в каналах с разносом частот 3 кГц.

Радиостанция обеспечивает работу в следующих режимах:

передачу речевых сигналов в классе излучения НЗЕ;

передачу и прием речевых сигналов в классе излучения JЗЕ;

прием излучений класса АЗЕ;

передачу и прием сигналов системы автоматизированного обмена цифровыми данными J2Д.

Используемая боковая полоса частот - верхняя с подавлением несущей не менее чем на 40 дБ.

Радиостанция обеспечивает работу и сопряжение:

- с системой автоматизированного обмена цифровых данных;
- с аппаратурой внутренней связи АВСА;
- с аппаратурой селективного вызова.

Мощность передатчика радиостанции:

Пиковая мощность передатчика, измеренная на нагрузке  $(50 \pm 2,5)$  Ом через ВЧ кабель длиной не более 3 м, должна быть не менее 400 Вт в диапазоне частот от 3,15 до 29,9999 МГц и 200 Вт в диапазоне частот от 2,000 до 3,1499 МГц, при модуляции J3E, H3E.

При передаче данных мощность радиостанции 200 Вт во всем диапазоне частот.

Цикличность работы радиостанции:

При передаче речевых сигналов с обдувом в течение 15 ч: 5 мин. ПРД; 5 мин. ПРМ.

При передаче данных: 1 мин. ПРД; 4 мин. ПРМ.

Полная мощность на выходе радиостанции обеспечивается при входном речевом сигнале  $(0,25 \pm 0,05)$  В и  $(1,3 \pm 0,3)$  В при передаче данных.

Коэффициент нелинейных искажений передатчика в классе излучения H3E не более 25%.

Уровень взаимной модуляции при испытании методом духовного сигнала ниже уровня пиковой мощности не менее чем на 30 дБ.

Время перестройки радиостанции не более 8 с.

Время перехода с передачи на прием и обратно не более 0,5 с.

Гармонические излучения ослаблены не менее чем на 43 дБ относительно уровня мощности в пике огибающей.

Чувствительность приемника при соотношении, соответствующем 10дБ не менее:

1 мкВ при приеме излучения класса J3E;

4 мкВ при приеме излучения класса A3E (при  $M = 30\%$ ,  $F = 1000$  Гц).

Полоса пропускания приемника при приеме излучения класса A3E на уровне 6дБ не менее 5500 Гц, а на уровне 60 дБ не более 12000 Гц и при приеме излучения класса J3E на уровне 6 дБ не менее 2400 Гц, а на уровне 60дБ не более 5000 Гц.

Ослабление по побочным каналам приема, включая зеркальные, не менее 70 дБ; ослабление на промежуточных частотах не менее 80 дБ. Нелинейные искажения на речевом выходе приемника при приеме класса излучения J3E не превышает 10% при номинальном выходном напряжении.

Время включения приемного тракта подавителем шума (ПШ) – 30 мс, время выключения от 3 до 6 с.

Выход речевых сигналов приемника не менее 2,5 В.

Выход данных независим от ПШ, не менее 0,5 В.

Специальный выход СЕЛКОЛ не менее 0,5 В.

Электропитание радиостанции обеспечивается от сети переменного трехфазного тока с номинальным напряжением 115/200 В и частотой 400 Гц.

Управление радиостанцией осуществляется либо от индивидуального пульта управления, удаленного от нее на расстояние до 50 м, либо от комплексного пульта управления КПРТС и вычислителя системы самолетовождения ВСС.

### Контролеспособность

Система встроенного контроля обеспечивает контроль исправности радиостанции с точностью до сменного блока [7].

### Структурное построение радиостанции и назначение блоков

Радиостанция в соответствии с электрическими принципиальными схемами построена по следующему принципу: (рис.7.1) блок – субблок (плата) – микросхемы (узлы) – элементы.

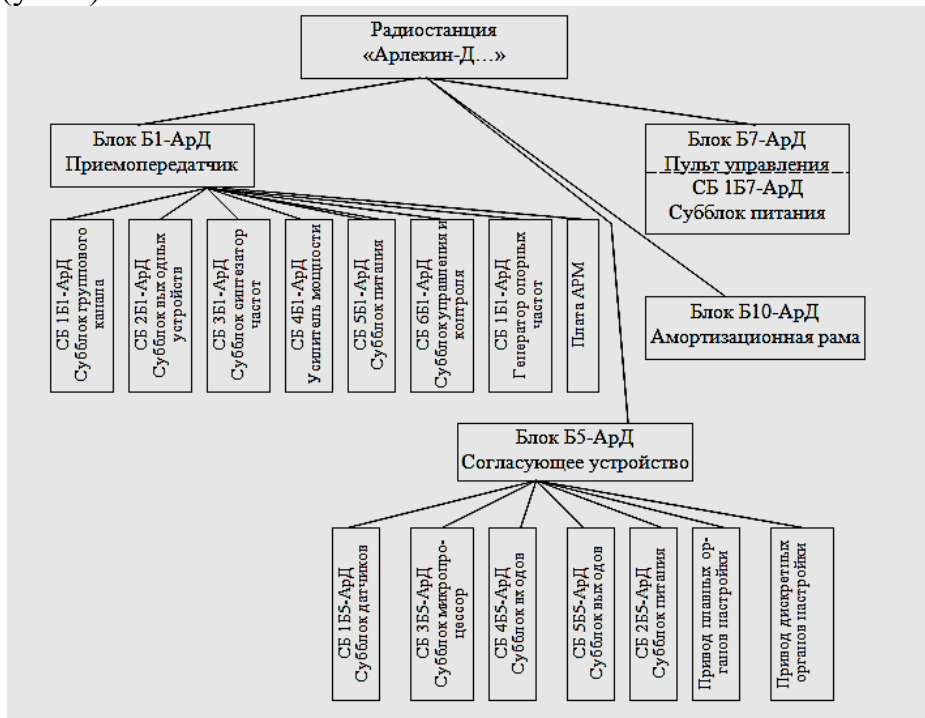


Рис.7.1. Структурное построение радиостанции

Деление радиостанции на блоки построено по схемно-функциональному признаку, что обеспечивает лучшие производственно-технологические и эксплуатационные показатели. Блок Б1-АрД – совмещенный вариант приемовозбудителя и усилителя мощности – должен обеспечивать прием и передачу информационного сигнала в диапазоне от 2,0 до 29,9999 МГц с дискретностью 100 Гц со стабильностью  $5 \cdot 10^{-7}$  Гц во всех условиях эксплуатации, формирование сетки частот, усиление ВЧ сигнала, контроль работоспособности радиостанции.

Блок Б5-АрД – согласующее устройство – предназначен для согласования в режиме передачи волнового сопротивления фидера с комплексным сопротивлением антенны.

Блок Б7-АрД – пульт управления – обеспечивает выбор любой частоты в пределах рабочего диапазона, выключение ПШ, ВСК, переключение видов работы, индикацию режима настройки и ПРД, отказов блоков и субблоков в процессе работы и контроля.

Блок Б10-АрД – амортизационная рама – предназначен для охлаждения приемопередатчика и защиты его от внешних механических воздействий за счет амортизаторов.

Описание работы радиостанции по функциональной электрической схеме.

Схема функциональная электрическая радиостанция состоит из приемного тракта, передающего тракта, системы управления и контроля, схемы питания и защиты.

**Режим приема.** Принимаемый сигнал в диапазоне 2 – 30 МГц из антенны через антенное согласующее устройство (блок Б5...АрД), контакты ВЧ реле в усилителе мощности и ВЧ ограничитель (субблок СБ4Б1-АрД) поступает на вход группового канала, выполненного по схеме с двойным преобразованием частоты (в субблоке СБ1Б1-АрД).

Входной ВЧ сигнал усиливается в субблоке СБ1Б1-АрД с целью достижения необходимой чувствительности с помощью усилителя VT3 и поступает на вход первого преобразователя частоты (VD1 -VD 8). С выхода первого преобразователя сигнал первой промежуточной частоты (110,5 МГц) подается на усилитель первой промежуточной частоты (VT3, VT4) и с помощью второго преобразователя (VD5-VD12) преобразуется в сигнал второй промежуточной частоты 500 кГц.

Кварцевые фильтры Z1, Z2 предназначены для предварительной селекции сигнала зеркальной частоты.

Гетеродинное напряжение на вход первого преобразователя 112,5–140,5 МГц подается с выхода синтезатора частот (субблок СБ3Б1-АрД), а на вход второго преобразователя частотой 110 МГц – с выхода опорного генератора (СБ7Б1-АрД).

Сигнал второй промежуточной частоты 500 кГц поступает на вход субблока выходов (СБ2Б1-АрД), обрабатывающего входной сигнал по видам работ на частоте 500 кГц.

Схема электрическая функциональная радиостанции "Арлекин-Д" приведена на рис. 7.2.

В режиме работы ПРМ СЕЛКОЛ сигнал второй промежуточной частоты проходит через фильтр основной селекции Z, трехкаскадный усилитель промежуточной частоты (VT2-VT4), детектор АМ D1, а затем поступает на выход СЕЛКОЛ и на схему АРУ СЕЛКОЛ. С детектора АРУ в схему АРУ



СЕЛКОЛ сигнал постоянного тока управляет коэффициентом усиления УПЧ и согласующего каскада.

В режиме работы J3E, J2D сигнал второй ПЧ проходит через фильтр нижней боковой полосы (ОМн БП), трехкаскадный УПЧ (VT8, VT9, VT11) и поступает на схему АРУ, ДАРУ и в канал низкой частоты на вход амплитудного детектора D1. На второй вход детектора поступает сигнал опорной частоты 500 кГц с выхода опорного генератора (субблок СБ7Б1-АРД).

С выхода детектора сигнал низкой частоты через ключ D 2.1 в виде работы J3E, ключ D 2,3 в виде работы J2D, ключ D 2.2 в виде работы A3E, далее через повторитель VT1 и фильтр НЧ 3,1 поступает на:

схему подавителя шума, работающего на принципе сравнения выходных уровней сигналов тракта шума и тракта сигнала;

выход тракта данных (Вых. ДАНН);

выход телефонных видов работы (Вых. НЧ).

Каждый из трех выходов (Вых. ДАНН, Вых. НЧ, Вых. СЕЛКОЛ) подключен через соответствующий ключ D7.1, D7.2, D7.3 к детектору контроля приема. При наличии сигнала на соответствующем выходе детектор устанавливает на выходе Вых. КОНТР ПРМ уровень лог."0".

**Режим ПРД.** Сигнал низкой частоты от микрофона (Вх. НЧ) через схему питания микрофонной цепи VD5 или с входа Вх. ДАНН через асимметрирующий каскад D10.1, ключ D11.1, коммутирующий выходы обеих схем поступает на фильтр нижней частоты ФНЧ D12.1, далее через компрессор, ключ ПРМ– ПРД D14.2 подается на модулятор балансный D16, на второй вход которого с субблока опорных частот поступает опорный сигнал частотой 500 кГц. Промодулированный сигнал 500 кГц через ключ D4.2 поступает на фильтр ОМн БП, формирующий полосу на передачу в виде работы J2D, и далее D6.2 на вход первого преобразователя ПРД (VD13-VD20).

В режиме работы H3E сигнал 500 кГц с опорного генератора поступает на узкополосный фильтр УЗ и через ключ D 5.2 подмешивается к сигналу боковой, сформированной фильтром ОМн БП.

На второй вход преобразователя подается гетеродинное напряжение с опорного генератора (СБ7Б1-АРД) частотой 110МГц.

Сигнал первой промежуточной частоты 110,5 МГц через кварцевый фильтр Z1, Z2 поступает на вход второго преобразователя частоты (VD11-VD18), где смешивается с сигналом гетеродина частотой 112,5 – 140,5 МГц, сформированной в синтезаторе частот и преобразуется в сигнал 2 – 30 МГц.

С выхода второго преобразователя сигнал частотой 2-30 МГц через усилитель высокой частоты VT5, VT6 фильтр нижней частоты поступает на вход предварительного усилителя мощности, далее на оконечный усилитель мощности, а затем на выходное устройство, предназначенное для фильтрации высших гармонических составляющих входного сигнала с помощью шести линеек диапазонных фильтров.

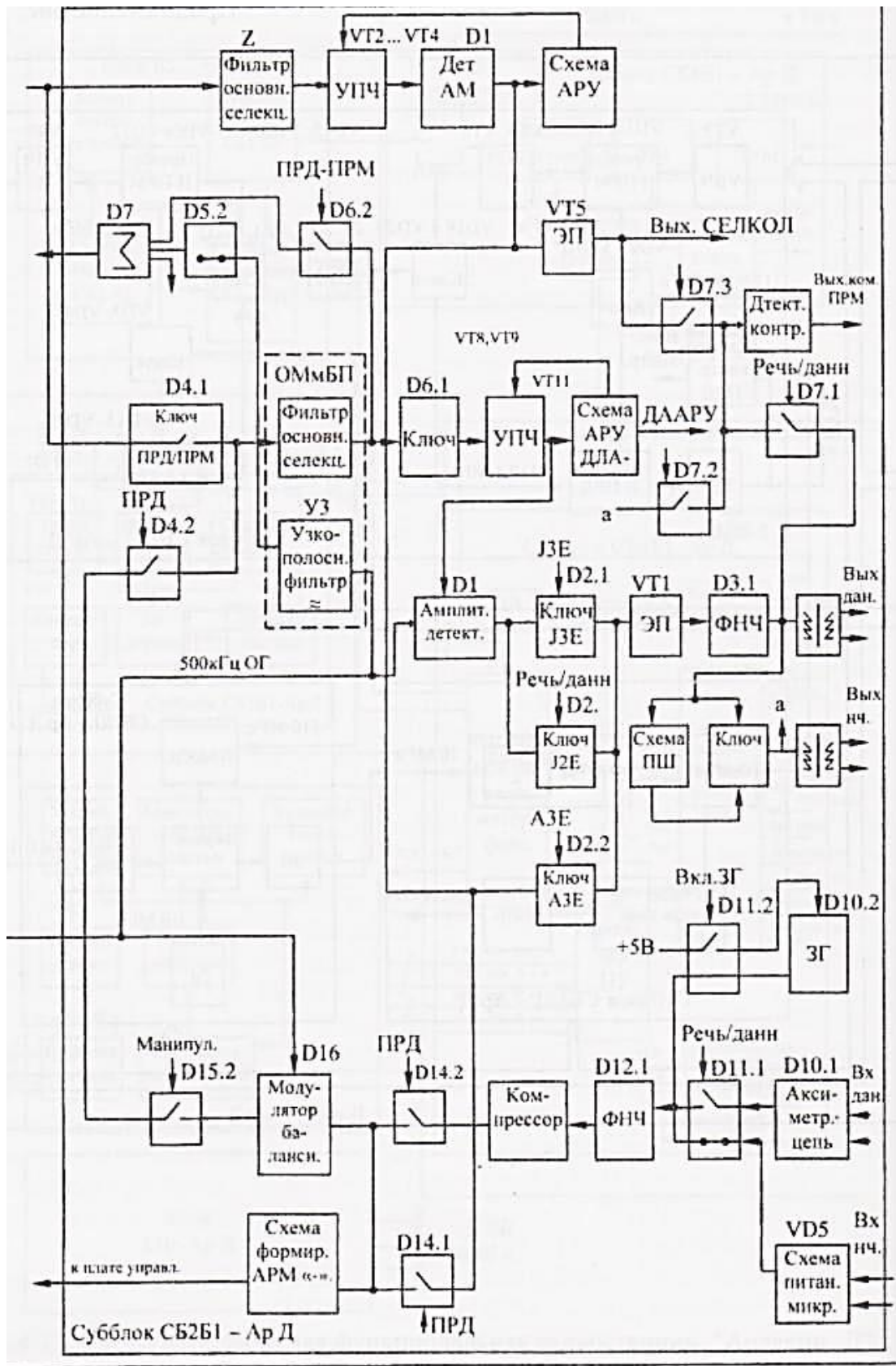
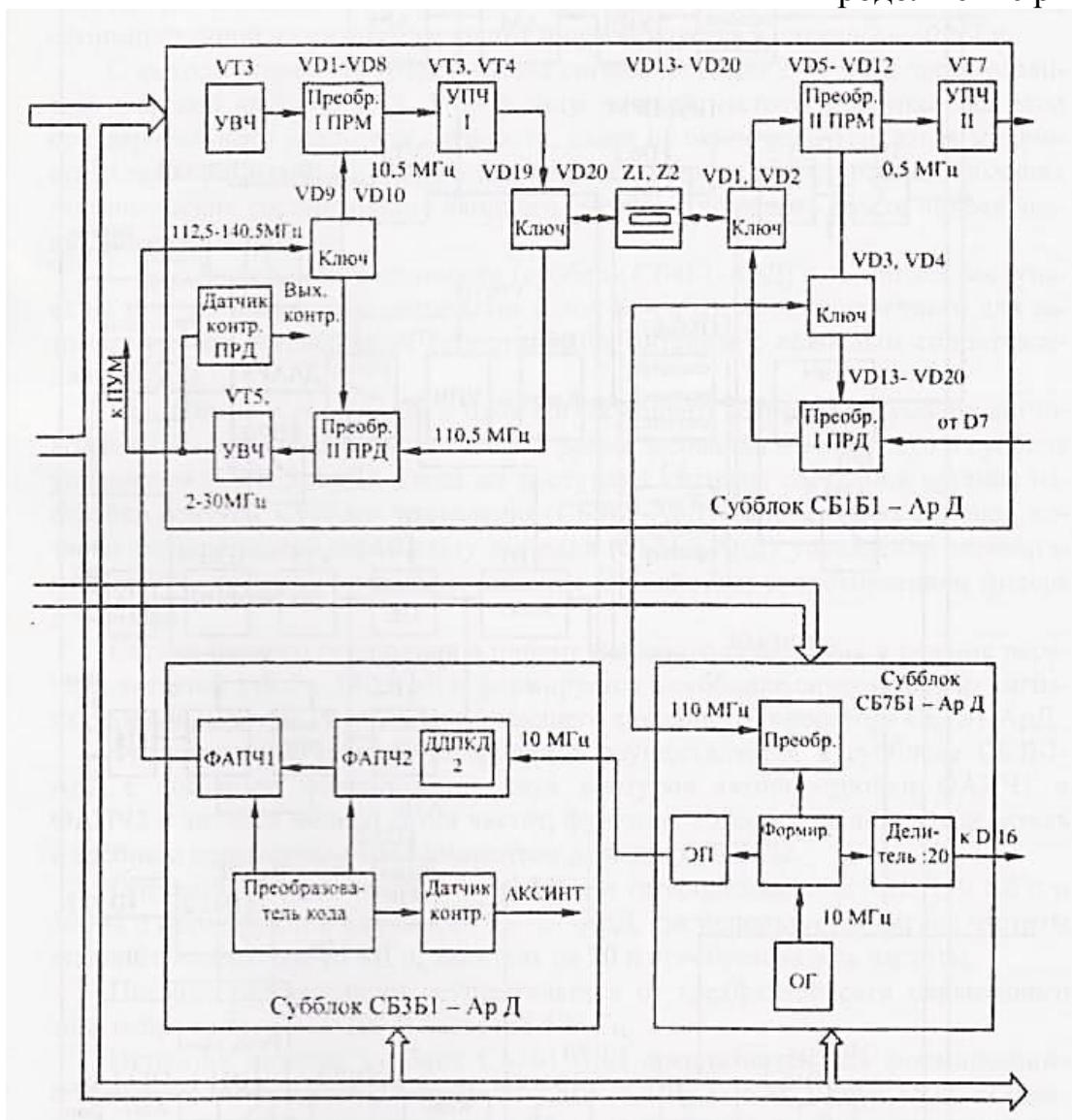


Рис. 7.2. Схема электрическая функциональная радиостанции «Арлекин-Д»

Продолжение рис. 7.2





При подаче ВЧ сигнала в блок согласующего устройства субблок датчиков (СБ1Б5-АрД) вырабатывает сигнал рассогласования и подает его в субблок управления (СБ4Б5-АрД). Сюда же поступают сигналы состояния органов настройки контура. Субблок управления (СБ3Б5-АрД) вырабатывает сигналы, которые осуществляют через плату выходов (СБ5Б5-АрД) управление элементами контура, согласуя импеданс антенны с волновым сопротивлением фидера  $\rho = 50 \text{ Ом}$ .

Сигнал первого гетеродина в приеме и второго гетеродина в режиме передачи частотой 112,5 – 140,5 МГц формируется в субблоке синтезатора из сигнала опорной частоты 10 МГц, поступающего с опорного генератора СБ7Б1-АрД.

Формирование сигнала гетеродинов осуществляется в субблоке СБ3Б1-АрД с помощью использования двух контуров автоподстройки ФАПЧ1 и ФАПЧ2 и датчика мелкой сетки частот, функцию которого выполняет делитель с дробным переменным коэффициентом деления ДДПКД2.

Опорный сигнал частотой 10 МГц и гетеродинные частоты 110 МГц и 500 кГц формируются в субблоке СБ7Б1-АрД, где используется сигнал частоты опорного генератора 10 МГц, делитель на 20 и преобразователь частоты.

Питание радиостанции осуществляется от трехфазной сети переменного тока напряжением 115/200 В частотой 400 Гц.

Источник питания субблок СБ5Б1-АрД предназначен для формирования стабильных напряжений 27 В; 20 В; 7,5 В; 5,2 В; 12,6 В; минус 15 В; коллекторного напряжения для питания субблоков блока Б1-АрД, защищенного напряжения ~115 В для питания согласующего устройства. Пульт управления питается напряжением ~115 В 400 Гц от бортовой сети.

Субблок СБ6Б1-АрД осуществляет управление радиостанцией и контроль работоспособности ее блоков и субблоков блока Б1-АрД.

### **7.3. МВ радиостанция «ОРЛАН – 85СТ»**

Бортовая УКВ радиостанция «Орлан-85СТ» является основной радиостанцией ближней связи и обеспечивает симплексную бесподстроечную и беспойсковую радиотелефонную связь экипажей ВС между собой и с наземными пунктами.

## Характеристики радиостанции «Орлан-85СТ»

Наименование параметров	Величина
1. Выходное напряжение на телефонном выходе приемника при входном сигнале 1 0 мкВ, модулированном частотой 1000Гц на 60%, на нагрузке 600 Ом, В, в пределах	5-7
2. Обеспечение приема и передачи данных : а) выходное напряжение широкополосного усилителя на нагрузке 600 Ом при входном сигнале 500 мкВ, модулированном частотой 1000 Гц на 70 %, В, в пределах б) неравномерность частотной характеристики приемника по выходу широкополосного усилителя, дБ, не более в диапазоне 312 - 1200 Гц в диапазоне 300 - 6800 Гц в ) коэффициент нелинейных искажений приемника по выходу широкополосного усилителя, %, не более	0,42-0,76 3 6 5
г) коэффициент модуляции передатчика со входа данных при частоте модуляции 1000Гц и модулирующем сигнале с уровнем 0,78 В, %, не менее	70
д) коэффициент нелинейных искажений передатчика в диапазоне частот 600-6600 Гц, не более	10
е) неравномерность частотной модуляционной характеристики передатчика в диапазоне частот 600-6600	6
ж) задержка звуковых частот в трактах передачи и приема данных, мкс, не более частоты 2400 Гц относительно 1200 Гц частоты 4800 Гц относительно 2400 Гц	42 21
з) время, мс, не более перехода с приема на передачу (или обратно) установления выходного напряжения широкополосного усилителя после подачи входного сигнала восстановления выходного напряжения широкополосного усилителя после уменьшения входного сигнала	50 40 50

Радиостанция обеспечивает:

- двухстороннюю симплексную речевую связь экипажа с наземными службами УВД и между экипажами самолетов в воздухе;
- симплексный автоматизированный обмен данными по линии "Земля-Воздух" и "Воздух-Земля" в системах АУВД;
- непрерывный контроль аварийного канала на частоте 121,5 МГц (по команде) без нарушения основных функций связи и управления с выдачей звуковой и световой индикации при наличии сигнала на частоте аварийного канала.

Функционально [17] радиостанция состоит из трактов приема, передачи и общих устройств: блока управления и контроля, системы перестройки, блока питания и пульта дистанционного управления (рис.7.3.).

В состав приемопередатчика входят:

- приемник;
- усилитель звуковой частоты;
- блок управления и контроля;
- усилитель мощности;
- модулятор;
- синтезатор;
- блок питания.

**Приемный тракт.** Предназначен для селекции принимаемого высокочастотного сигнала, и его усиления и преобразования в сигнал звуковой частоты. Он выполнен по супергетеродинной схеме с двойным преобразованием частоты и включает в себя:

- усилитель радиочастоты (УРЧ);
- смеситель 1;
- усилитель первой промежуточной частоты (УПЧ1);
- смеситель 2;
- усилитель второй промежуточной частоты (УПЧ2);
- детектор;
- усилитель звуковой частоты (УЗЧ);
- широкополосный усилитель;
- систему автоматической регулировки усиления (АРУ);
- систему подавления шума (ПШ);
- систему контроля работоспособности приемника.

Входной сигнал через ФНЧ, антенный коммутатор и ФВЧ поступает на аттенюатор приемника, предназначенный для регулирования уровня ВЧ сигнала и отключения входа приемника от антенны в режиме "Контроль".

Начальный уровень управляющего напряжения, подаваемый на аттенюатор, устанавливается с помощью усилителя постоянного тока (УПТ). Сигнал с выхода аттенюатора через коммутатор "Прием – контроль" поступает на каскад

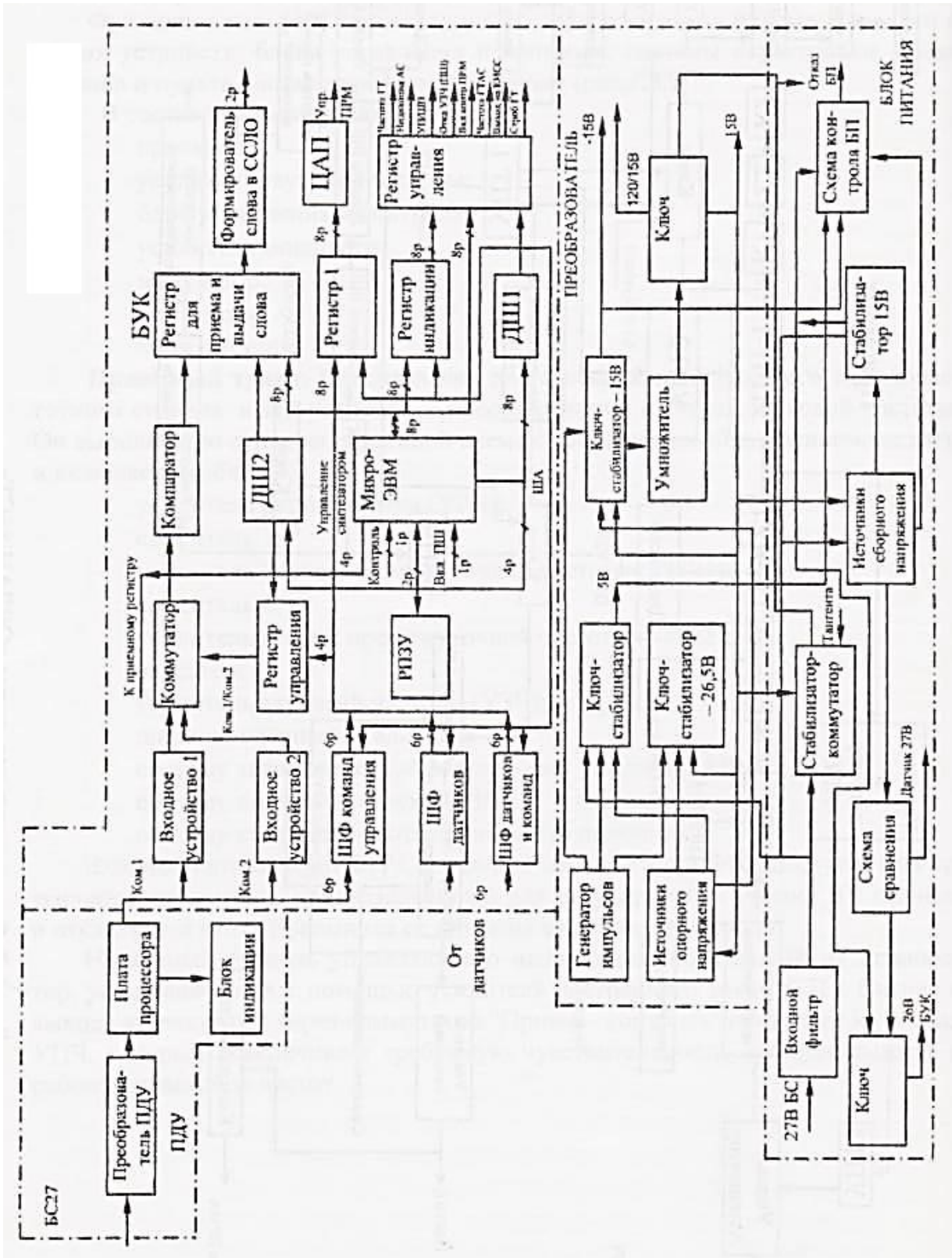
УПЧ, который обеспечивает требуемую чувствительность, избирательность в рабочем диапазоне частот.

Коммутатор "Прием-контроль" предназначен для отключения входа приемника от антенны и предотвращения шунтирования входа усилителя радиочастоты (УРЧ) выходным сопротивлением аттенюатора в режиме "Контроль".

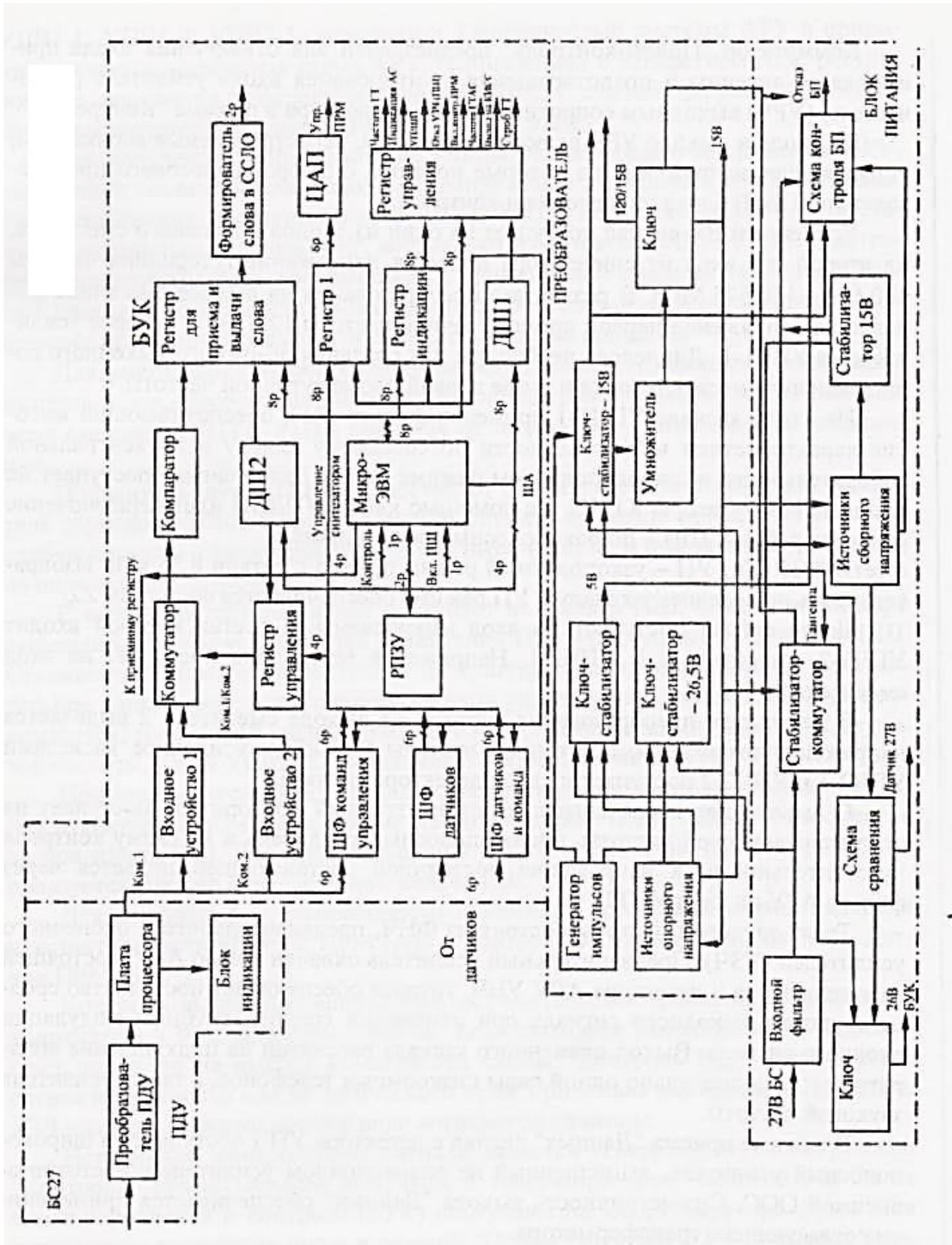
На входе и выходе УРЧ включены фильтры, перестраиваемые варикапами, управляющее напряжение на которые подается с цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) блока управления и контроля.







Продолжение рис. 7.3



Продолжение рис. 7.3

Усиленный ВЧ сигнал поступает на один из входов кольцевого смесителя, на второй его вход от синтезатора подается напряжение гетеродина частоты  $130,600 \div 150,575$  МГц. В результате преобразования на выходе смесителя выделяется напряжение первой промежуточной частоты 12,6 МГц, которое усиливается в УПЧ1-1. Диплексер необходим для создания 50-омного выходного сопротивления смесителя ниже и выше первой промежуточной частоты.

На входе каскада УПЧ1-1 применен фильтр (Z1), обеспечивающий высокие характеристики избирательности по соседнему каналу и двухсигнальной избирательности в широкополосном режиме (ШП). Далее сигнал поступает на диодные коммутаторы K1, K2 и с помощью ключа УП/ШП идет переключение режимов работы: ШП – широкополосный режим приема с сеткой 25 кГц; УП – узкополосный режим приема с сеткой 8,33 кГц. Избирательность по соседнему каналу в УП режиме обеспечивается фильтром Z2.

Далее сигнал поступает на вход микросхемы, в состав которой входит УПЧ1-2, смеситель 2 и УПЧ2-1. Напряжение гетеродина поступает на вход смесителя 2.

В результате преобразования частоты на выходе смесителя 2 выделяется напряжение второй промежуточной частоты (250 кГц), усиленное каскадами УПЧ2-1 и УПЧ2-2 поступает на вход детектора сигнала.

С выхода детектора сигнал через эмиттерный повторитель поступает на усилитель звуковой частоты, широкополосный усилитель и на схему контроля чувствительности, а напряжение постоянной составляющей подается через фильтр АРУ на вход УПТ1.

Тракт звуковой частоты состоит из ФНЧ, предварительного и окончного усилителей (УЗЧ). Предварительный усилитель охвачен цепью АРУ, состоящей из аттенюатора и детектора АРУ УНЧ, которая обеспечивает постоянство среднего уровня выходного сигнала при изменении средней глубины модуляции входного сигнала. Выход окончного каскада рассчитан на подключение аппаратуры и дополнительно одной пары низкоомных телефонов, а также усилителя звуковой частоты.

В режиме приема "Данных" сигнал с детектора УПЧ поступает на широкополосный усилитель, выполненный на операционном усилителе с частотнозависимой ООС. Симметричность выхода "Данных" обеспечивается применением согласующего трансформатора.

Для обеспечения работы приемника в заданном динамическом диапазоне входных сигналов применена автоматическая регулировка усиления в трактах УПЧ и УРЧ. Необходимый коэффициент регулирования обеспечивают каскады УПЧ1-1, УПЧ1-2, УПЧ2-1, аттенюатор. Особенностью системы АРУ в приемнике является эстафетная схема АРУ. В приемнике с эстафетной АРУ регулирование начинается с последних каскадов УПЧ2-1, а затем при увеличении сигнала регулируется усиление УПЧ1-2, УПЧ1-1, УВЧ.

Для получения необходимой величины управляющего напряжения АРУ постоянная составляющая выходного напряжения детектора сигнала

усиливается усилителями постоянного тока УПТ1, УПТ2. Регулировка УВЧ осуществляется отдельным кольцом АРУ, состоящим из детектора АРУ, УПТ3. Быстродействие системы АРУ обеспечивается применением диодной цепи, изменяющей постоянную времени при переходных процессах. Уменьшение постоянной времени происходит только в течение переходного процесса.

Для уменьшения влияния связей между блоками и каскадами через цепи питания и для обеспечения постоянства параметров приемника напряжение на цепи смещения УПТ1, УПТ2 подается от отдельного стабилизатора напряжения.

Подавитель шума (ПШ) осуществляет автоматическое отключение усилителя звуковой частоты при отсутствии сигнала на входе приемника или при слабом сигнале и включении усилителя низкой частоты при достижении сигнала определенного уровня.

С выхода детектора сигнал поступает на фильтр ПШ. С выхода фильтра выделенные шумы усиливаются усилителем ПШ и поступают на детектор ПШ. Сглаженное напряжение поступает на триггер ПШ, который выдает положительное напряжение, поступающее на вход управления ключом УЗЧ. Ключ открывается, и звуковой сигнал проходит на предварительный усилитель звуковой частоты. Ключ УП/ШП2 выравнивает уровень шумов в УП и ШП.

При приеме нескольких сигналов, разнесенных по частоте, возможно ложное отключение УЗЧ из-за биения частот, которые могут оказаться в спектре шумов тракта ПШ. Для предотвращения такого отключения в системе ПШ используется триггер параллельного канала ПШ.

Для контроля работоспособности приемника применены схемы контроля чувствительности «Датчик ПРМ (А)» и контроля выходного напряжения «Датчик ПРМ (Б)».

Контроль выходного напряжения осуществляется сравнением выходного напряжения УЗЧ с заданным порогом. Если выходное напряжение УЗЧ превышает порог, то на выходе компаратора схемы "Контроль  $U_{\text{вых}}$ " формируется сигнал исправности в виде логического нуля, при малом выходном напряжении УЗЧ – сигнал неисправности в виде логической единицы.

Источником контрольного сигнала является генератор шума. В режиме "Контроль" прямоугольные импульсы с генератора тона частотой 300 Гц от блока управления и контроля (БУК) поступают на вход генератора шума. Для отключения генератора шума в режиме "Прием" от входа УРЧ применен коммутатор ВЧ.

В режиме «Контроль» промодулированные шумы усиливаются каскадами УРЧ и УПЧ и поступают на вход детектора сигнала.

В режиме контроля чувствительности сигнал с выхода детектора, представляющий собой смесь шумов генератора тона и собственных шумов приемника, поступает на коммутатор контроля чувствительности. В момент времени, соответствующий приходу строба генератора тона ( $F_{\text{ГТ}}$ ) в виде

логической 1, с детектора приходят собственные шумы. В момент времени, соответствующей приходу строба в виде логического нуля, с детектора идет сигнал, представляющий смесь собственных шумов приемника и шумов генератора тона. Далее сигнал поступает на коммутатор. При определенном соотношении, соответствующем реальной чувствительности приемника, напряжение на инвертирующем входе компаратора больше чем на неинвертирующем. На выходе при этом формируется сигнал исправности в виде логического нуля. При ухудшении реальной чувствительности формируется сигнал неисправности в виде логической единицы.

**Передающий тракт.** Состоит из модулятора и усилителя мощности. Модулятор имеет два входа: микрофонный и вход передачи данных. Входное устройство осуществляет развязку входов, в его состав входит схема питания авиагарнитур.

Для обеспечения постоянства коэффициента модуляции при изменении входных сигналов предварительный усилитель охвачен цепью АРУ, порог срабатывания которой задается со следящего делителя напряжения бортовой сети. С этого же делителя на вход буферного усилителя подается постоянный потенциал для формирования на выходе модулятора опорного сигнала, пропорционального напряжению бортовой сети.

Ключ-ограничитель в режиме "Передача" открыт по команде 15 В "Передача" и заперт в режиме "Прием". Для защиты транзисторов оконечного каскада от перенапряжения в бортовой сети ( $\geq 33$  В) ключ запирается сигналом со схемы защиты. Этот же ключ является ограничителем пиков модуляции.

Через открытый ключ сигнал поступает на оконечный усилитель, выходные транзисторы которого являются управляющими элементами стабилизатора напряжения питания модулируемых каскадов передатчика.

Для контроля работоспособности модулятора применены схемы контроля за уровнем опорного напряжения для питания УМ и схема контроля за уровнем глубины модуляции.

Для схемы контроля за уровнем опорного напряжения сигнал исправности формируется в виде "Лог. 0", неисправности в виде "Лог. 1". Для схемы контроля за уровнем глубины модуляции сигнал исправности формируется в виде "Лог. 1", неисправности – в виде "Лог. 0".

Для работы в сетке 8,33 кГц требуемая АЧХ формируется фильтром УП. Режим работы модулятора задается по команде УП/ШП, поступающей на ключи ШП и УП.

Трехкаскадный широкополосный усилитель мощности предназначен для усиления сигналов возбудителя до необходимого уровня выходной мощности.

Для обеспечения устойчивости работы широкополосного усилителя межкаскадное согласование осуществляется с помощью широкополосных реактивных трансформирующих четырехполюсников и трансформаторов бегущей волны, выполненных на коаксиальных линиях.

В передатчике применена коллекторная модуляция, которая осуществляется во втором и третьем каскадах. Оконечный каскад выполнен по схеме балансного усилителя. Для ослабления влияния усилителя мощности на возбуждатель первый каскад питается от отдельного источника.

Подключение антенны к входу усилителя мощности или к входу приемника в зависимости от режима работы осуществляется антенным коммутатором.

Фильтр нижних частот ослабляет гармонические составляющие высокочастотного сигнала. Система автоматической регулировки уровня мощности в составе рефлектометра, схемы сравнения, схемы формирования опорного уровня, аттенюатора обеспечивает постоянство выходной мощности передатчика в диапазоне частот и при работе АРУ с различным коэффициентом стоячей волны по напряжению (КСВН). Рефлектометр имеет детекторные секции для падающей и отраженной волн и вырабатывает напряжения, пропорциональные этим сигналам. Продетектированные напряжения поступают на схему сравнения, где сравниваются с величиной опорного напряжения и вырабатывают сигнал управления на входной аттенюатор. Схема формирования опорного напряжения создает опорное напряжение на одном из входов схемы сравнения путем деления напряжений от источника 15 В и источника модулирующего напряжения "12 В мод."

Продетектированные сигналы с рефлектометра дополнительно поступают на схему контроля УМ и схему контроля АФУ. Сигналы исправности ("Лог. 0") или неисправности ("Лог. 1") поступают на БУК.

**Блок управления и контроля (БУК).** В радиостанции «Орлан-85СТ» БУК выполняет следующие функции:

- преобразует последовательный двоично-десятичный трехуровневый код, поступающий по каналам управления частотой, в последовательный двоичный код, управляющий коэффициентом деления ДПКД синтезатора;
- формирует управляющее напряжение перестройки резонансных контуров УРЧ приемника;
- контролирует работу радиостанции в автоматическом непрерывном режиме или по командам, поступающим извне.

В состав БУК входит управляющий микропроцессор и устройство последовательного ввода-вывода (УПВВ).

Внутри микро-ЭВМ аппаратно от внутреннего таймера формируются прерывания, которые обрабатываются в подпрограмме «Минута», где микро-ЭВМ производит счет минут и секунд.

При нажатии кнопки «Контроль» на лицевой панели передатчика микро-ЭВМ из программы «Монитор» переходит к обработке прерывания и установке признака «Контроль». После этого при анализе в программе «Монитор» признака «Контроль», микро-ЭВМ переходит к полному контролю радиостанции.

Сначала анализируется «Тангента», при ее отсутствии микроЭВМ включает передатчик и формирует генератор тона. При этом контролируются усилитель мощности, модулятор, АФУ, результаты контроля записываются в ОЗУ. Далее анализируется датчик ПШ и проводится контроль приемника и синтезатора. Результаты контроля выводятся на индикаторы, расположенные на передней панели радиостанции.

Если канал занят, то индикатор «Исправно РС» прерывисто светится в течение трех секунд.

При исправной радиостанции выдается команда «Исправно РС». При наличии неисправного блока анализируется состояние датчика «Бортсеть» и если напряжение бортсети менее 24 В, то производится индикация «Бортсеть» красным светодиодом в правом отсеке приемопередатчика.

После индикации микро-ЭВМ возвращается в программу «Монитор» и продолжает работу. В программе «Монитор» производится анализ цепи включения приема на аварийном канале «Вкл. АП».

Если включен режим АП, то микро-ЭВМ 1 раз в секунду производит перестройку синтезатора на частоту аварийного канала 121,5 МГц.

Если на частоте аварийного канала обнаружен сигнал, то выдается звуковая (свип-сигнал) сигнализация и команда на включение световой сигнализации (индикация АС).

Обработка слов от ПДУ производится в подпрограмме «ПДУ». Пять раз в секунду микро-ЭВМ прерывается из программы «Монитор» для обработки «слов», приходящих с ПДУ. При приеме слова производится расчет кодов для синтезатора и расчет кода на ЦАП УРЧ приемника. По окончании обработки слов микроЭВМ возвращается в программу «Монитор».

Преобразование параллельного двоично-десятичного кода, поступающего по каналу управления, происходит в преобразователе уровня (ПУ) и шинном формирователе (ШФ) команд управления. При этом формируется последовательный двоичный код, управляющий коэффициентом деления ДПКД синтезатора. По команде АП (аварийный прием) БУК осуществляет кратковременную (100–200 мс с периодичностью 1 с) перестройку (сканирование) на частоту 121,500 МГц путем формирования кодов управления синтезатором и управляющего напряжения на варикапы УРЧ. При наличии несущей на частоте 121,500 МГц микро-ЭВМ формирует команды звуковой и световой сигнализации (индикация АП и частота ГТАС). При появлении сигнала на основном канале сканирование прекращается.

Управляющий процессор содержит следующие функциональные узлы:

- микро-ЭВМ;
- репрограммируемое запоминающее устройство (РПЗУ);
- дешифратор устройств (ДШ);
- шина данных (ШД);
- шинные формирователи (ШФ);
- регистр управления;



- регистр индикации;
- регистр кода приемника с цифроаналоговым преобразователем (ЦАП).

Микро-ЭВМ выполняет все функции контроля входных сигналов от блоков радиостанции, их анализ, выдачу информации на индикаторы и внешние устройства по линии данных. Микро-ЭВМ, поочередно считывая команды из памяти программ, осуществляет полную работу и контроль радиостанции. В ОЗУ микро-ЭВМ хранятся результаты работ, данные, считываемые с ПУ, результаты контроля отдельных блоков радиостанции. В РПЗУ хранится информация в течение определенного времени об отказавшем блоке радиостанции в полете. РПЗУ имеет возможность электрического перепрограммирования управлением программы микро-ЭВМ и стирание аппаратным способом, по цепи «Стирание», путем замыкания этой цепи на «корпус».

Код управления синтезатором записывается в порт микро-ЭВМ и выдается в виде 20-разрядного последовательного кода. Код управления синтезатором изменяется в соответствии с положением цепи «Тангента». Микро-ЭВМ формирует напряжение управления для приемника путем записи 8-разрядного кода управления в регистр ШД. Далее этот код в ЦАП преобразуется в аналоговый сигнал, который поступает на УРЧ приемника.

Команды управления приемником и выдачи информации в КИСС формируются путем записи информации с ШД микро-ЭВМ в регистр управления. Шинные формирователи служат для чтения состояния датчиков блоков радиостанции и команд управления.

БУК контролирует следующие блоки радиостанции:

- ПДУ или цепи управления частотой радиостанции от других формирователей кода набора частоты;
- синтезатор по сигналу с ЧФД при наличии захвата набранной частоты;
- приемник, по сигналу исправности с выхода при уровне сигнала контроля с входа 4–20 мкВ;
- усилитель мощности передатчика, по сигналу исправности с рефлектометра при уровне мощности не менее 16 Вт;
- модулятор по сигналу исправности прохождения модуляционного сигнала;
- АФУ при КСВН не более 3,3.

Информация об исправности или неисправности выдается в систему КИСС и на индикаторы, расположенные на лицевой панели приемопередатчика и в правом отсеке корпуса.

БУК осуществляет следующие виды контроля:

- контроль работоспособности по команде с передней панели приемопередатчика;
- непрерывный контроль в автоматическом режиме с выдачей информации в систему КИСС.

При контроле по команде с передней панели приемопередатчика БУК контролирует все вышеперечисленные блоки. При непрерывном контроле

постоянно контролируется ПДУ, синтезатор, приемник (без УЗЧ). Контроль исправности модулятора, усилителя мощности, УЗЧ и АФУ производится только при выходе в режим «Передача».

**Система перестройки.** Состоит из синтезатора и генератора, управляемого напряжением (ГУН).

Синтезатор (СЧ) предназначен для формирования сигнала первого гетеродина в диапазоне частот 130,600 – 150,575 МГц и сигнала возбуждителя в диапазоне частот 118,000 – 137,975 МГц с шагом 8,33(3) кГц. Синтезатор выполнен на основе кольца фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с трактом деления в цепи обратной связи.

Генератор, управляемый напряжением (ГУН), вырабатывает синусоидальный сигнал в диапазоне 118,000 – 150,575 МГц, и перестраивается изменением управляющего напряжения. Сигнал с первого выхода ГУН поступает на буферный усилитель (БУ1), обеспечивающий усиление сигнала до требуемого уровня и развязку генератора от реакции последующих каскадов. Сигнал с выхода БУ1 поступает на первый фильтр нижних частот, обеспечивающий в спектре выходного сигнала уровень высших гармоник не более минус 30 дБ.

Коммутатор, при наличии команды "Передача", переключает сигнал на выход "Возбудитель". При отсутствии команды сигнал переключается на выход "Гетеродин". Мощность на выходе синтезатора появляется только при наличии захвата в кольце ФАПЧ. Сигнал о наличии захвата поступает на коммутатор с частотно-фазового детектора через второй фильтр нижних частот.

Сигнал со второго выхода ГУН поступает на второй буферный усилитель (БУ2), обеспечивающий развязку генератора от последующих цепей и уровень сигнала на входе ДПКДv не менее 0,2 В.

ДПКДv осуществляет деление частоты проходящего на него сигнала на величину, определяемую кодом управления, который поступает с преобразователя кода устройства управления (УУ). Коэффициент деления ДПКДv изменяется от 14160 до 18069.

Сигнал поделенной частоты с ДПКДv поступает на вход частотно-фазового детектора (ЧФД), на второй вход которого подается высокостабильный сигнал с частотой 8,33(3) кГц. Этот сигнал формируется из частоты опорного генератора (ОГ) с помощью делителя опорной частоты ДПКДг. Опорный генератор работает на частоте 5 МГц. Коэффициент деления ДПКДг задается кодом управления, поступающим на входы БИС СЧ, и равен 600.

ЧФД вырабатывает сигналы управления интегратором. Интегратор формирует управляющее напряжение, которое через нелинейный фильтр нижних частот (НФНЧ) поступает на ГУН.

ГУН генерирует выходной сигнал в требуемом диапазоне частот при изменении управляющего напряжения от 2 до 10 В. Напряжение управления поступает на вход управления ГУН и изменяет его частоту до тех пор, пока не выполнится условие:

$$F_{\text{гун}} / N = F_{\text{ср}},$$

где  $F_{\text{гун}}$  – частота генерации ГУН;  $N$  – коэффициент деления ДПКД;

$F_{\text{ср}} = 8,33(3)$  кГц – частота сравнения, на которой работает ЧФД.

При выполнении вышеуказанного условия выходная частота синтезатора определяется выражением:  $F_{\text{гун}} = F_{\text{ср}} \cdot N$ .

Каждому каналу связи соответствует свое значение  $N$ , которое задается кодом управления. Код поступает на преобразователь кода в последовательном виде как сигнал "Данные" и сопровождается сигналом "Такт". В преобразователе кода происходит преобразование последовательного кода в параллельный, который поступает в приемный регистр ДПКД БИС СЧ. Внешним сигналом «Запись» происходит фиксация кодов управления в приемных регистрах БИС СЧ.

**Блок питания (БП).** Первичным источником питания является бортсеть постоянного тока 27В системы электроснабжения самолета, питаемой от выпрямительных устройств. Вторичные источники питания обеспечивают блоки радиостанции напряжениями 15В; 5В; 26,5В; минус 15В, коммутируемыми 15В, минус 120В.

В состав блока питания входят:

- входной фильтр;
- источник опорного напряжения;
- компенсационный стабилизатор 15В;
- стабилизатор-коммутатор 15В «Передача»;
- схема контроля блока питания;
- схема сравнения, следящая за напряжением бортсети;
- ключ, коммутирующий напряжение 26,5В на БУК;
- преобразователь напряжения с задающим генератором, источником опорного напряжения, ключевыми стабилизаторами 5В; 26,5В; минус 15В; множителем напряжения минус 120В, ключом 120/15В антенного коммутатора.

**Пульт дистанционного управления (ПДУ).** Управление частотой радиостанции производится с ПДУ. Установка частоты или рабочего канала связи на ПДУ производится вручную переключателями.

Трехразрядный двоичный код, создаваемый с помощью переключателей, преобразуется в плате процессора ПДУ в 6-разрядное 3-байтное слово управления радиостанцией. Слово передается по 7-проводной линии связи. Набираемая частота связи индицируется на шестизначном цифровом табло ПДУ.

### Контрольные вопросы

1. Приведите общие сведения о КВ-радиостанции «Арлекин-Д».
2. Поясните структурное построение радиостанции «Арлекин-Д».
3. Приведите схему электрическую функциональную радиостанции «Арлекин-Д» и поясните режимы ее работы:
  - ПРД;
  - ПРМ.
4. Основные характеристики УКВ РСТ «ОРЛАН-85СТ».
5. Приведите функциональную схему РСТ «ОРЛАН-85СТ».
6. Поясните режимы работы РСТ «ОРЛАН-85СТ» в:
  - приемный тракт;
  - передающий тракт.
7. Назначение блока управления и контроля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сперанский В.С. Сигнальные микропроцессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники. – М.: Горячая линия, 2008.
2. Корнеев В., Киселев А. Современные микропроцессоры. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003.
3. Карцев М.А. Архитектура ЦВМ. – М.: Наука, 1978.
4. Henessey J., Patterson D. Computer Architecture: A Quantitative Approach Morgan Kaufman Publishers, Palo Alto, CA, 1990.
5. Halfbill T. Inside IA-64// Byte. -1998. –Vol. 23, No 6, pp. 81-88.
6. Волин В., Рудомётов В., Столярский Е. Организация подкачки кода в VLIW-процессора // Информационные технологии и вычислительные системы – 1999, N:1, с. 58-64.
7. Останевич А. Экспериментальное исследование поддержки предикатных вычислений в архитектуре с явно выраженным параллелизмом // Информационные технологии и вычислительные системы – 1999, N:1. - С. 41-49.
8. Goodman S., Wolcott P., Burkhart G. Building on the Basics: An Examination of High-Perfomance Computing Export Control Policy in the 1990s. Centre for International Security and Arms Control Stanford University – 1995.
9. Кручинин С. Стандартные тесты измерения производительности // COMRUTER WEEK. Москва 5(211), 8-14 февраля 1996.
10. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. Санкт-Петербург – Москва – Краснодар «Лань», 2010.
11. TMS 320. Digital Signal Processor Solutions. Texas Instruments Inc., 1997.
12. TMS 320 C30. Digital Signal Processor. Production Data, Texas Instruments, Inc., April 1996.
13. TMS 320 C4x, User's Guide, Texas Instruments Inc., March 1996.
14. Лукьяненко В.И. Техническая эксплуатация радиоэлектронного оборудования аэропортов. – М: МГТУ ГА, 2003.
15. Кобылкин Ю.И., Сосновский М.Ю. Системы и устройства связи авиационной техники гражданской авиации. – М.: МГТУ ГА, 2006.
16. Руководство по технической эксплуатации радиостанции «Арлекин-Д», 1991.
17. Руководство по технической эксплуатации радиостанции «ОРЛАН-85СТ», 1999.

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РМС**

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив		
			РМС-I	РМС-II	РМС-III
1	2	3	4	5	6
<b>Курсовой радиомаяк</b>					
1	Опознавание				
2	Пределы установки и поддержания средней линии курса в опорной точке относительно осевой линии ВПП	М	±10.5	±7.5	±3.0
3	Номинальная чувствительность к смещению от линии курса в пределах полусектора у порога ВПП (Для КРМ 1 категории максимальный угол сектора курса не должен превышать 6°. Для коротких ВПП за номинальную чувствительность КРМ 1 категории принимается значение, приведенное к точке В)	РГМ/м	0.00145	0.00145	0.00145
4	Пределы отклонения к смещению от номинального значения	%	±17	±17	±10
5	Амплитуда искривления линии курса (структура курса) для вероятности 0.95 на участках, не более: - от границы зоны действия до т. А - от т. А до т. В линейное уменьшение до - от т. В до т. С - от т. В до т. Т - от т. В до т. Д - от т. Д до т. Е линейное увеличение	РГМ РГМ РГМ РГМ РГМ	0.031 0.015 0.015 - -	0.031 0.005 - 0.005 -	0.031 0.005 - - 0.005 0.01
6	Зона действия в горизонтальной плоскости в секторах, не менее ±10° от ±10° до ±35°	км км	46 32	46 32	46 32
7	Зона действия в вертикальной плоскости, не менее	градус	7	7	7
8	Характер изменения РГМ (азимутальная характеристика) в секторе, не менее: - от линии курса до углов с РГМ ±18° - от углов с РГМ ±18° до углов ±10° - от углов ±10° до углов ±35°	РГМ	Монотонное увеличение		
			0.18 0.155	0.18 0.155	0.18 0.155

## Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6
9	Напряженность поля: - на границах зоны действия, не менее - на глиссаде в пределах сектора курса на удалении 18 км от КМР, не менее - над порогом ВПП увеличение до величины - от т. Т до т.т. Д и Е, не менее	мкВ/м	40 90 - -	40 90 200 -	40 100 200 100
10	Срабатывание системы автоматического контроля: - при смещении линии курса от осевой линии ВПП в т. Т, не более - при изменении чувствительности к смещению от линии курса, от номинального значения, не более	м  %	  ±17	  ±17	  ±6.0 ±17
11	Допуск несущей частоты: - одночастотного радиомаяка - двухчастотного радиомаяка	% %	 ±0.005 ±0.002	  	 - ±0.002
12	Глубина модуляции несущих частот сигналами 90 и 150 Гц	%	20±2		
13	Параметры сигнала опознавания: - соответствие кода - период повторения, не более - частота модуляции - глубина модуляции несущей сигналом опознавания	 с Гц  %	3 буквы, причем первая - И 10 1020±50  10±5		
<b>Глиссадный радиомаяк</b>					
1	2	3	4	5	6
1	Пределы поддержания чувствительности к смещению РГМ относительно номинального значения	%	±25	±20	±15
2	Пределы установки и поддержания угла глиссады относительно номинального (расчетного для данного направления $\Theta$ )	отн.ед.	±0.075	±0.075	±0.075
3	Положение границ полусектора глиссады относительно номинальной линии глиссады: - выше глиссады - ниже глиссады	мин мин	(0.07- 0.014) $\Theta$	(0.012 ± 0.02) $\Theta$	(0.012 ± 0.02) $\Theta$

## Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6
4	Амплитуда искривлений глissады для вероятности 0.95 на участок, не более: - от внешней границы зоны действия до т. А - от т. А до т. В - от т. А до т. С - от т. В до т. Т	РГМ	0.035 - 0.035 -	0.035 Линейное уменьшение до 0.023 - 0.023	
5	Зона действия: - в горизонтальной плоскости в секторе $\pm 8^\circ$ относительно осевой линии ВПП - в вертикальной плоскости в секторе, ограниченном углами: - выше глissады - ниже глissады	км  градус градус	18  1.75 $\Theta$ 0.45 $\Theta$	18  1.75 $\Theta$ 0.45 $\Theta$	18  1.75 $\Theta$ 0.45 $\Theta$
6	Напряженность поля в зоне действия, не менее	мкВ/м	400	400	400
7	Угломестная характеристика в секторе (плавное увеличение): - от линии глissады вверх до величины - от линии глissады вниз до угла 0.45 $\Theta$ , не менее (Если плавное уменьшение РГМ не достигается до угла 0.45 $\Theta$ , то угол, при котором РГМ = -0.22, должен быть не менее 0.3 $\Theta$ )	РГМ РГМ	0.175 -0.22	0.175 -0.22	0.175 -0.22
8	Допуск несущей частоты: - одночастотного радиомаяка - двухчастотного радиомаяка	% %	$\pm 0.005$ $\pm 0.002$		$\pm 0.002$
9	Глубина модуляции несущих частот сигналами 90 и 150 Гц	%	40 $\pm 2.5$		
10	Срабатывание системы автоматического контроля для одночастотного ГРМ: - при смещении угла глissады от номинального значения, не более - при изменении чувствительности к смещению от номинального значения, не более	отн.ед. %	$\pm 0.075$ $\pm 25$		



Продолжение прил. 1

1	2	3	4	5	6
11	Пределы срабатывания допускового контроля: - время ложного излучения, не более - уменьшение мощности излучения одночастотного маяка - уменьшение мощности излучения двухчастотного маяка	с % %		1 50 80	
<b>Маркерный радиомаяк</b>					
1	Непрерывность манипуляции в зоне действия			Правильная манипуляция, ясная слышимость	
2	Зона действия на линии курса и глиссады: - дальнего - ближнего - внутреннего	М		600±200 300±100 150±50	
3	Допуск несущей частоты	%		±0.005	
4	Выходная мощность	Вт		Устанавливается при вводе в эксплуатацию ±0.01	
5	Допуск на частоту модуляции	%		±2.5	
6	Манипуляция: - непрерывность - скорость манипуляции дальнего ближнего внутреннего			Непрерывная последовательность манипулированного сигнала 2 тире в с. ±15% 6 точек в с. ±15% Непрерывный сигнал без манипуляции	
7	Пределы срабатывания допускового контроля: - уменьшение мощности от номинальной, не менее - уменьшение глубины модуляции, не менее - манипуляция			% %	
8	Напряженность поля на границе зоны действия, не менее	мВ/м		1.5	

**Основные характеристики средств авиационной воздушной электросвязи  
ВЧ диапазона**

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
1	Диапазон частот	МГц	1.5...29.999
2	Шаг сетки дискретности настройки частот в диапазоне (п.1)	Гц	10 Допускаются с шагом 100 и 1000
3	Передача и прием излучения класса J3B (верхняя боковая), J7B (верхняя боковая). F1Bco сдвигом со скоростью. Допускается передача и прием излучений класса A1 и A3.	Гц бит/с	170±3 100
4	Стабильность частоты, не более	Гц	±10
5	Ширина полосы звуковых частот должна быть ограничена полосой	Гц	350-2700
6	Метод работы		Одноканальная симплексная связь
<b>Требования к передатчику</b>			
7	КБВ фидера антенны, не менее		0.2
8	Максимальная мощность огибающей, подводимая к линии питания антенны, для всех классов излучения не должна превышать	кВт	6
9	Время включения настроенного передатчика в режим «излучение», не более	мс	100
10	Низкочастотные входы передатчика должны быть рассчитаны на подключение линии сопротивлением	Ом	600±10%
11	Должна обеспечиваться работа - на симметричную фидерную линию с волновым сопротивлением - на несимметрическую нагрузку	Ом Ом	300 и 600 с КБВ>0.2 75/50
12	Диапазон ручной регулировки усиления по тракту промежуточной частоты, не менее	дБ	90

Продолжение прил. 2

1	2	3	4
	<b>Требования к приемнику</b>		
13	Основные электрические параметры должны соответствовать следующим нормам: - нестабильность частоты гетеродина, не более - коэффициент шума, не более - полоса пропускания на уровне 6 дБ	Гц дБ Гц	±10 17 350...2700
14	Уровень выходного сигнала в линию 600 Ом	дБ/мВт	10
15	Коэффициент нелинейных искажений при номинальном выходном напряжении, не более	%	3
16	Приемник должен обеспечивать работу с несимметричным антенным фидером с волновым сопротивлением	Ом	75

**Основные характеристики средств авиационной воздушной электросвязи  
ОВЧ диапазона**

№ п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Норматив
1	2	3	4
<b>Основные характеристики радиопередатчиков ОВЧ диапазона</b>			
1	Диапазон частот	МГц	118...137
2	Сетка частот	кГц	25 или 8.33
3	Выходная мощность на нагрузке 50 Ом, не менее	Вт	5/50
4	Максимальная глубина модуляции	%	85
5	Полоса пропускания по уровню 6 дБ: - для сетки частот 25 кГц - для сетки частот 8.33 кГц	Гц Гц	350...2700 350...2500
6	Уровень выходного НЧ сигнала на нагрузке 600 Ом	В	0.25...1.5
7	КБВ АФУ		>0.5
8	Стабильность частоты: - для сетки частот 25 кГц - для сетки частот 8.33 кГц	% %	0.002 0.0001
<b>Основные характеристики радиоприемников ОВЧ диапазона</b>			
1	Чувствительность не хуже	мкВ	3.0

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. МИКРОПРОЦЕССОРЫ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.....	4
1.1. Принципы цифровой обработки сигналов.....	4
1.2. Основные понятия, виды архитектур, типы процессоров.....	10
1.3. Способы оценки производительности процессоров.....	27
2. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ СИСТЕМЫ.....	34
2.1. Цифровая обработка сигналов в микропроцессорах.....	34
2.2. Сигнальные микропроцессоры.....	39
2.3. Коммутационные микропроцессоры.....	59
3. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ СХЕМЫ.....	63
4. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УВД.....	69
4.1. Характеристики РЛС.....	69
4.2. Структурные схемы и особенности РЛС.....	76
5. СРЕДСТВА РАДИОНАВИГАЦИИ И ПОСАДКИ.....	85
5.1. Общая характеристика радионавигационных средств.....	85
5.2. Структурные схемы РНС.....	96
6. АППАРАТУРА ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ.....	118
7. СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ..	123
7.1. Требования к объектам авиационной электросвязи.....	123
7.2. КВ-радиостанция «Арлекин-Д».....	125
7.2. МВ-радиостанции «ОРЛАН-85СТ».....	133
ЛИТЕРАТУРА.....	149
Приложение 1. Основные характеристики РМС.....	150
Приложение 2. Основные характеристики АВС.....	154