

**МАТВЕЕВСКИЙ В.Р. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ:  
УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. – МГИЭМ. М., 2003, 103 С.**

**ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**1.1. Системы управления и их классификация**

Для любой системы управления производственным объектом, технологическим процессом и т.д. в общем случае известны: закон управления, входные сигналы, параметры, а также выходные сигналы, характеризующие состояние объекта управления (ОУ).

Анализируя входные и выходные сигналы, система управления (СУ) вырабатывает управляющие сигналы согласно принятому закону управления.

Взаимодействие СУ и ОУ можно представить в виде структурной схемы (рис. 1.1). На рисунке введены следующие обозначения:

$X$  — входные сигналы (воздействуют на ОУ и входы СУ).

$Y$  — выходные сигналы (характеризуют состояние объекта и поступают на СУ).

$F$  — возмущающие воздействия (стремятся нарушить заданное функционирование ОУ).

$U$  — управляющие воздействия, вырабатываемые СУ на основании закона управления для достижения цели управления.

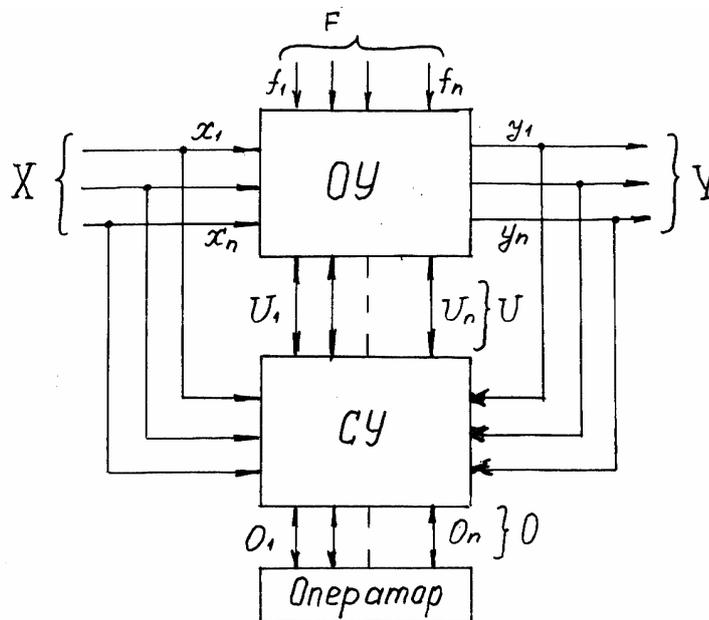


Рис. 1.1. Структурная схема взаимодействия СУ и ОУ

Чем меньше сигналов возмущения  $F$ , тем совершеннее СУ и тем более высокого качества получаем результат управления. Зная текущие значения сигнала  $f_i$ , мы можем выработать упреждающие компенсирующие воздействия  $U$ .

При этом двусторонняя связь по  $U$  более высокая ступень организации, где СУ осуществляет не только управление, но и контроль за исполнением сигналов  $U$  в ОУ.

Соответственно система СУ и ОУ без участия человека называется системой автоматического управления (САУ). В автоматизированной системе управления (АСУ) управление совместное — СУ и оператор. Причем двустороннее воздействие по вектору  $O$  поставляет оператору информацию о ходе технологического процесса и обеспечивает воздействие через СУ и ОУ по воле оператора.

Здесь возникают два вопроса. Какая система сложнее? Нужны ли вообще АСУ? Ответ на первый вопрос: сложнее АСУ. В подтверждение этого проанализируем основные причины существования АСУ наряду с САУ и это одновременно даст нам ответ на второй вопрос. Причинами существования АСУ являются:

1. высокая сложность и неполная изученность процесса управления, что не позволяет полностью передать СУ функции управления и делает необходимым присутствие человека с его опытом и интуицией в тракте управления;
2. экономические соображения, связанные с неполной подготовленностью ОУ к автоматическому управлению им. При этом введение новых органов управления может оказаться экономически невыгодным, пример, при редком включении и выключении водяного охлаждения (достаточно обычных ручных вентилей), при смене инструмента, смене заготовки и т. д.

Из сравнения АСУ и САУ следует необходимость создания и включения в состав АСУ устройств связи с оператором. И эти дополнительные устройства должны обеспечивать двухстороннюю связь по вектору  $O$  с учетом особенностей, вызванных присутствием в системе человека.

Вне зависимости от вида системы САУ или АСУ она может трактоваться как совокупность устройств (приборов), подчиненных общей цели управления, направленной на поддержание или улучшение работы объекта управления ОУ.

В соответствии с функциональным назначением устройств, входящих в систему, различают следующие функциональные группы устройств:

1. устройства получения контролируемой информации (УПКИ) — это измерительные преобразователи элементарных и неэлементарных величин;
2. устройства передачи контрольно-измерительной информации (УПКИИ). Сюда входят: устройства преобразования вида и уровня сигналов, модуляторы, демодуляторы, шифраторы, дешифраторы, линии связи и т. д.;
3. устройства преобразования информации и выработки управляющих (командных) сигналов (УПИ и ВУС).

Эта группа устройств достаточно сложна. К ней относятся устройства хранения информации, устройства арифметико-логических преобразований и т. д. Именно в этой группе наиболее перспективно применение программируемых средств ВТ вплоть до управляющих ЭВМ или систем из нескольких ЭВМ.

4. устройства передачи командной (управляющей) информации (УПУИ). В них много общего со второй функциональной группой, но здесь более актуальны энергетические проблемы.
5. устройства исполнения командной информации (УИКИ) — это различные двигатели, электромагниты, муфты, контакторы и пр.

В соответствии с перечисленными функциональными группами устройств взаимодействие СУ и ОУ может быть представлено следующей схемой (рис. 1.2).

Введем следующие определения:

Устройство — это совокупность элементов, выполняющих одну общую задачу функционального преобразования.

Элемент — это конструктивно целостная совокупность деталей, выполняющая одну операцию преобразования.

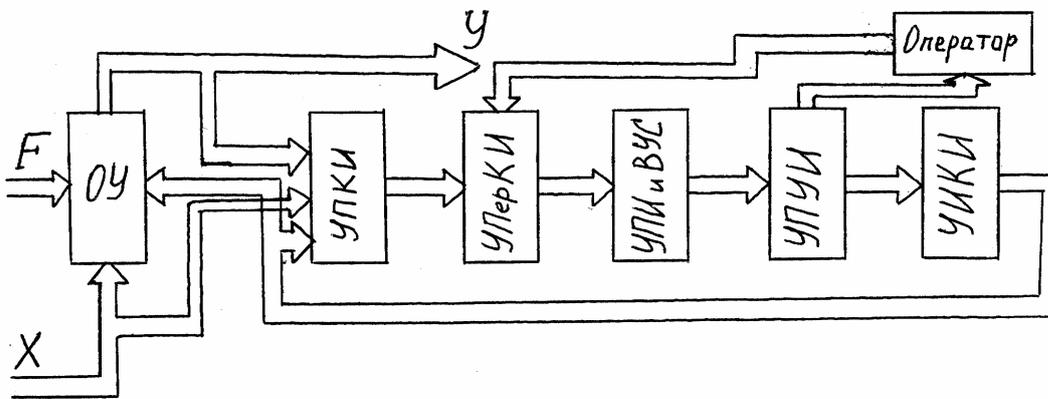


Рис. 1.2. СУ как совокупность устройств пяти функциональных групп

Технические системы в целом и системы управления в частности можно классифицировать по различным признакам, например, структуре, степени автоматизации, характеру функционирования, динамическим свойствам, степени сложности, порядку описывающих их дифференциальных уравнений и др. Классификационная схема СУ, включающая в себя основные из перечисленных выше признаков, представлена в таблице 1.1.

По степени сложности все АСУ и САУ можно разделить на простые, сложные и большие СУ. Однако здесь следует отметить, что признак сложности СУ является достаточно условным.

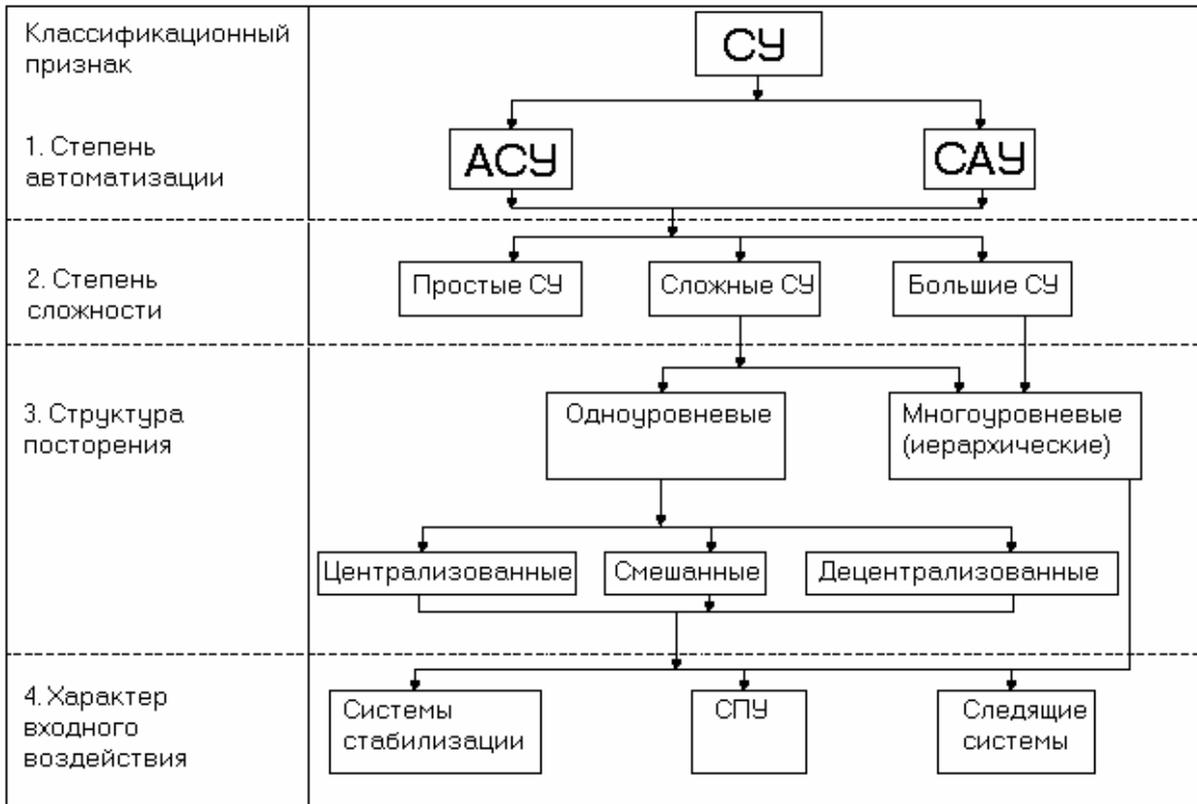
Простыми считают СУ, не имеющие разветвленной структуры, оперирующие одним физическим параметром (или малым их числом), с небольшим количеством взаимосвязанных и взаимодействующих элементов (от 10 до  $10^3$  элементов).

Простые СУ можно разделить на:

1. Информационно-измерительные системы (ИИС). Основная задача — измерение и поставка информации оператору, ЭВМ, на регистрацию. Их сложность зависит от сложности характеристик, которые, в свою очередь, зависят от измеряемых параметров, как, например, в системах автоматиче-

ского циклического контроля, прогнозирующих состояние комплекса аппаратуры.

2. Телеизмерительные системы (ТИС) — отличие заключается в передаче информации на расстоянии.
3. Системы передачи информации (СПИ), например, телеграфной.
4. Системы преобразования информации (СПрИ), например, определения характеристик исследуемых случайных величин.



Таб-

лица 1.1. Классификационная схема СУ

5. Системы управления (СУ), например, ручного управления температурой в печи.
6. Системы программного управления (СПУ), например, система шаблонкопир-деталь).
7. Системы телеуправления (СТУ) – то же, что и СУ, только с передачей на расстоянии.
8. Системы регулирования (СР). К ним относятся системы замкнутой структуры, в которых по требуемому и истинному значению параметра вырабатывается управляющее воздействие на ОУ (например, система регулирования частоты генератора или позиционная следящая система с преобразователями на сельсинах).
9. Системы телерегулирования (СТР), то же что и СР, только с передачей на расстояние.

Если затруднительно провести четкую границу между различными видами систем, то тогда СУ разделяют по типу основной задачи, решаемой согласно ТЗ.

Сложные и большие (очень сложные) СУ управляют большинством производственных объектов. К признакам сложных СУ относят: большое число па-

раметров, много структурность, сложность алгоритмов управления, большие затраты оборудования, высокую стоимость и др.

По структуре построения сложные СУ могут быть разделены на одноуровневые и многоуровневые (иерархические). Большие СУ всегда имеют многоуровневую (иерархическую) структуру.

Одноуровневые СУ могут, в свою очередь, быть централизованными, децентрализованными (рис. 1.3) и со смешанной структурой. Указанные одноуровневые структуры обеспечивают управление  $K$  объектами или в общей задаче управления могут быть выделены  $K$  частных задач  $Z_1, \dots, Z_k$ .

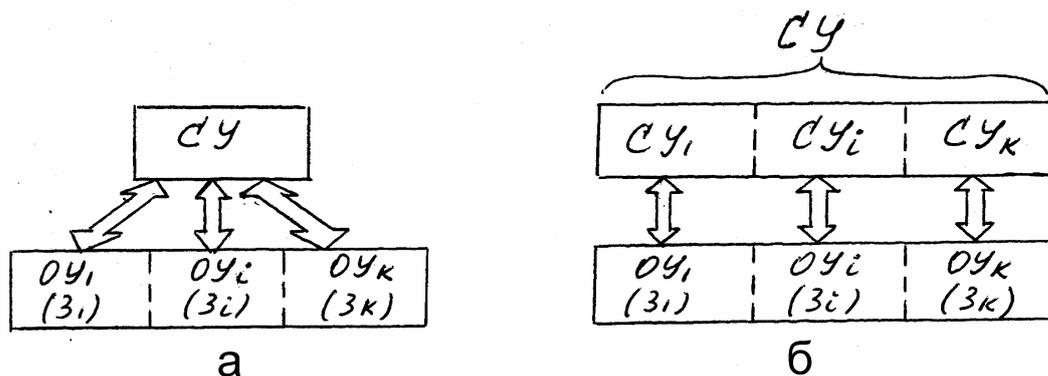


Рис. 1.3. Одноуровневые СУ: а — централизованная СУ; б — децентрализованная СУ

#### *Достоинства и недостатки централизованной и децентрализованной структур СУ*

При централизованной структуре: СУ одна и ее быстродействие должно быть достаточным для того, чтобы с заданной производительностью справиться с управлением всеми объектами (задачами). Следовательно, неизбежно разделение общего ресурса времени СУ между ОУ (задачами). При децентрализованной структуре СУ состоит из  $K$  систем управления ( $СУ_1, \dots, СУ_k$ ) по числу ОУ (задач).

Каждая  $СУ_i$  выполняет свою задачу. Все  $СУ_i$  работают параллельно. Централизованная обладает низкой стоимостью. Децентрализованная при том же быстродействии элементов обеспечивает большую производительность, т.к. все автономные СУ работают параллельно.

Понятно, что рассмотренные структуры одноуровневых систем — крайние из возможных модификаций. Все зависит от поставленной задачи: уменьшение стоимости за счет уменьшения производительности или увеличение производительности за счет увеличения стоимости.

Обычно проектирование СУ производственными объектами ведется при заданной производительности, таким образом, централизация необходима, пока выполняются требования по производительности. Максимально интересен вариант, когда при заданной производительности минимум стоимости.

Сравнение структур по надежности довольно труден, т.к. при централизованной структуре с одной стороны при меньшем объеме оборудования, следует

большее время наработки  $T_{ср}$ , а с другой — отказ в структуре ведет к отказу всей системы.

С точки зрения ремонтпригодности — лучше децентрализованная структура (из-за ее разделенности и большей простоты СУ<sub>i</sub>).

Многоуровневая структура в ряде случаев более выгодна (рис. 1.4). В такой СУ сочетаются достоинства централизованной и децентрализованной структур. На рисунке: ТСУ<sub>i</sub> — терминальные СУ, т.е. нижний уровень управления. При этом желательно, чтобы ТСУ<sub>i</sub> управляли каждым ОУ<sub>i</sub>.

Наиболее сложные задачи управления, связанные с оптимальным управ-

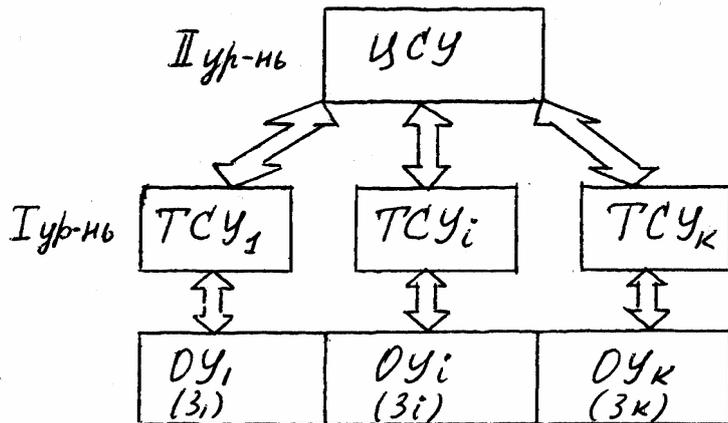


Рис. 1.4. Двухуровневая СУ

лением всей системой, возлагаются на центральную СУ (ЦСУ), образующую верхний уровень управления. Обычно ЦСУ — это ЭВМ или УВМ. ТСУ<sub>i</sub> тоже выполняют на базе программируемых средств ВТ типа мини-, микро-УВМ или так называемых программируемых терминальных контролеров.

При проектировании ТСУ особо надо обращать внимание на помехоустойчивость и тяжелые условия эксплуатации, связанные с необходимостью размещения ТСУ непосредственно у производственного объекта, а не в специализированных помещениях лабораторного типа.

Основной поток информации для двухуровневой структуры (рис. 1.3) замыкается между ОУ<sub>i</sub> и ТСУ<sub>i</sub>. Все процессы непосредственного управления происходят здесь. Следовательно, разгружаются ЛС между ЦСУ и ТСУ<sub>i</sub>, а значит, повышается помехоустойчивость всей системы.

Далее, обмен информацией между ЦСУ и ТСУ<sub>i</sub> проводится вне рабочей фазы изготовления конечного продукта, следовательно, возникновения сбоя не приводит к аварии или браку.

Обмен информацией между ЦСУ и ТСУ контролируется и при возникновении сбоя повторяется. Таким образом, к исполнению ТСУ принимаются лишь правильно принятые и переданные команды.

Кроме того, в общем случае системы I уровня ТСУ<sub>i</sub> снабжены буферной памятью БЗУ. Соответственно наличие БЗУ в каждой из ТСУ обеспечивает автономность ее работы. Чем больше объем БЗУ, тем более длительный промежуток времени ТСУ будет работать автономно. Следовательно, отказ в ЦСУ, где сосредоточено наиболее сложное оборудование, приводит лишь к тому, что вся

СУ распадается на  $K$  автономных независимых систем управления. Отказ же ТСУ <sub>$i$</sub>  приведет к выводу из строя лишь одной из  $K$ -систем.

Более того, в этой аварийной ситуации функции отказавшей ТСУ может взять на себя ЦСУ, это произойдет либо за счет ухудшения качества обслуживания оставшихся ТСУ центральной ЦСУ, либо за счет введения в действия общего скользящего резерва СУ, расположенного в ЦСУ.

Дополнительное достоинство двухуровневой системы состоит в возможности постепенного ввода в эксплуатацию сложной системы, т.е. локальная автоматизация на нижнем уровне вводится постепенно для каждого СУ <sub>$i$</sub> . При этом ТСУ <sub>$i$</sub>  сразу пускается в эксплуатацию, начиная приносить материальный и моральный эффект. Одновременно (или даже после этого) создается ЦСУ, требующая больших сроков и затрат.

## **1.2. Основные этапы проектирования**

Основные задачи проектирования состоят в определении методов и принципов построения системы, в выявлении основных статических и динамических свойств разрабатываемой системы, которые при максимальной простоте и минимальных габаритах и весе обеспечат необходимую динамику, точность и надежность.

Проектирование — процесс творческий, и готовых рецептов здесь дать невозможно. Успех зависит от многих объективных и субъективных причин и, в первую очередь, от квалификации проектирующего. Важным этапом проектирования является осмысливание функций, выполняемых всей системой, определение задач, возлагаемых на основные узлы, и влияние их свойств на свойства всей системы, а также выявление всех управляющих и возмущающих воздействий на систему и условий ее работы. В результате должна быть получена количественная оценка требуемых динамических и статических свойств, обеспечивающих решение поставленной задачи.

После этого может быть начато собственное проектирование системы: выбор оптимального варианта структуры построения системы, который производится на основании обзора технической литературы и анализа существующих систем аналогичного типа; разработка функциональной схемы на основании производственного выбора структурно-необходимых элементов и их параметров; оценка динамических свойств полученной схемы и определение необходимой коррекции, следствием которых является выбор корректирующих устройств и дополнительных управляющих воздействий (с учетом возможности их реализации), обеспечивающих требуемые динамические свойства; наконец, разработка полной принципиальной (электрической) схемы и конструктивное воплощение разрабатываемой технической системы (выбор элементной базы, расчет параметров основных узлов, расчет, компоновка и разработка конструкции); далее изготовление лабораторного макета, его экспериментальное исследование, проверка (и если нужно уточнение) всех параметров, испытания и доводка всей системы в целом.

На основании вышеизложенного можно выделить следующие три основных этапа проектирования технических устройств и систем:

1. составление технического задания (ТЗ);
2. эскизное проектирование (ЭП);
3. техническое проектирование (ТП).

Второй и третий этапы выполняются проектировщиками, а успешное их выполнение часто зависит от совместного активного участия исполнителя и заказчика в составлении и согласовании технического задания (ТЗ). Недооценка первого этапа приводит к составлению нереальных или нерациональных требований, как по существу задания, так и по срокам его выполнения. На этапе составления ТЗ проектировщик должен изучить особенности проекта, объем выполняемых работ и возможные трудности проектирования.

### **1.3. Составление ТЗ**

Составление ТЗ целесообразно начинать с ознакомления проектировщиков с техническими и другими объектами, для которых предназначен проект, и с требованиями, предъявляемыми к нему заказчиком.

Для этого заказчик, как правило, выдает предварительное ТЗ на проектирование, содержащее характеристики технологического или другого процесса, а также агрегатов, для которых предназначен проект, назначенных устройств автоматики или телемеханики, схему, территориальное размещение входов и выходов устройств, объемы и характер входных и выходных сигналов, типы датчиков и форму представления информации (в том случае, если они могут быть выбраны на данной стадии проекта) и, кроме того, условия работы аппаратуры, а для систем телемеханики — еще и возможные каналы связи.

ТЗ составляется на основе ГОСТ 16521-70 на устройства автоматики и телемеханики ГСП (государственной системы приборов), в котором изложены основные требования к системам, и согласовывается совместно с заказчиком на основе «предварительного техзадания». На этой стадии необходимы предварительные технико-экономические расчеты нескольких вариантов проекта, разработанных на основе применения по возможности разных способов и принципов структуры построения, или, по крайней мере, с использованием основных узлов на различной элементной базе и с различными характеристиками и параметрами.

Необходимо помнить, что согласованное ТЗ может уточняться на дальнейших стадиях проектирования на основе материалов проекта, т.е. его нельзя рассматривать как нечто неизменяемое.

ТЗ должно содержать:

1. назначение и основную характеристику устройств и системы автоматики и телемеханики;
2. характеристику технического или другого автоматизируемого или телемеханического процесса, включая работы его агрегатов и отдельных участков;
3. характеристики основных узлов и элементов системы (датчиков, преобразователей информации, устройств передачи и приема команд управления и регулирования, отображения информации и т.д.);

4. требования к помехоустойчивости, достоверности передачи, надежности, автоматизации процессов оператора и согласования работы с другими приборами и устройствами;
5. требования к условиям работы аппаратуры (климатические, размещение и обслуживание, диагностики повреждений и т.д.).

Как уже отмечено, в общем случае ТЗ в том или ином виде включает в себя различные требования к проектируемой системе. Основными из них можно считать: точность, производительность, стоимость, надежность, объем и массу аппаратуры, а также условия эксплуатации (температура окружающей среды, вибрация, влажность и т.д.). Рассмотрим подробнее некоторые из них.

### 1.3.1. Точность

Требование к точности САТ прежде всего влияет на выбор и проектирование устройств и получения контрольной информации (УПКИ), входящих как составная часть в общую структуру САТ.

Повышение требований к точности в лучшем случае приводят к удорожанию УПКИ и САТ в целом, а в худшем случае это повышение требований приводит к необходимости решать проблемы требующие специальных исследований.

Уменьшение инструментальной погрешности в устройствах и узлах САТ, где производится преобразование цифровой информации, как правило, достигается за счет увеличения разрядности устройств преобразования и хранения этой информации. Таким образом, в случае высоких требований по точности САТ следует как можно раньше перейти от непрерывной формы представления сигнала к цифровой. Наиболее часто для этого применяют ПНК. Соответственно преобразования аналоговой величины  $A$  в напряжение осуществляется преобразованием неэлектрической аналоговой величины в электрическую.

Основным фактором, определяющим точность преобразования аналог-код, является стабильность эталона соответствующей аналоговой величины. В качестве примера вспомним работу наиболее распространенного типа ПНК по методу поразрядного уравнивания (рис. 1.5).

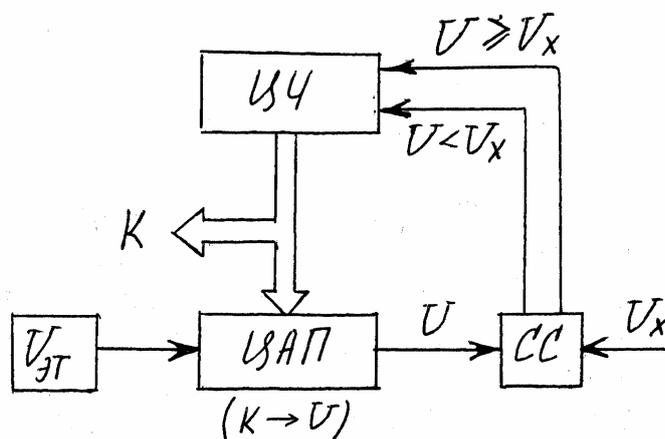


Рис. 1.5. Преобразование АЦП на базе ЦАП

Здесь цифровая часть ЦЧ подбирает код (К), компенсирующий измерительное напряжение  $U_x$ . Алгоритм подбора сводится к  $\Pi$  циклам (где  $\Pi$  — разрядность К). В каждом цикле пробно вписывается 1 в очередной разряд, начиная со старших. В зависимости от результатов сравнения в схеме СС, эта 1 оставляется или зачеркивается. Подбираемый код К поступает на вход ЦАП и на выход устройства. Преобразование  $K \rightarrow U$  состоит в формировании на выходе U части  $U_{эт}$ , пропорционально подбираемому К. Коммутация осуществляется ключевыми схемами с малым внутренним сопротивлением и точными резистивными схемами. Реально достижимая точность преобразования  $U \rightarrow K$  (и обратно) составляет  $10^{-3} - 10^{-4}$ .

Если требуется точность измерения выше  $10^{-4}$ , то перспективно использовать эталон времени (кварцевый генератор), при этом обеспечивается точность  $10^{-5} - 10^{-6}$ . Данная рекомендация хорошо согласуется с интенсивно развиваемыми сейчас частотными измерениями. Например, аналог А представляем в виде частоты  $f$ . Если преобразователь  $A \rightarrow f$  определен, то дальнейшие измерения сводятся к применению счетных цифровых устройств. Счет при этом необходим для получения К, характеризующего  $f$ , либо период сигналов с  $f$ . В первом случае на счетный вход поступают сигналы с измеряемой частотой  $f$ . Их накопление происходит в течение эталонного отрезка времени между двумя импульсами  $f_{эт}$ , а накопление производится между метками с частотой  $f$ .

При этом очевидно, что имеет место соотношение для первого случая  $f \gg f_{эт}$ , а для второго —  $f_{эт} \gg f$ .

Недостаток первого способа — относительно низкая производительность, второго — необходимость высокого быстродействия счетных устройств.

Могут применяться и промежуточные способы (например, измерение времени, соответствующего N меткам частоты  $f$ ) и др.

В заключение общих рекомендаций по достижению требуемой точности следует подчеркнуть, что переход к цифровой форме представления сигналов хорошо согласуется с тенденцией применения, например, в САУ и АСУ унифицированных программируемых средств управляющей ВТ, а также с требованием высокой помехоустойчивости.

### 1.3.2. Производительность

Требования к производительности ТС определяют необходимое быстродействие используемых технических средств.

Дадим определения:

**Быстродействие** — более общая характеристика, определяющая число типовых операций преобразования (т.е. сложения) в единицу времени, либо частотные свойства элементов устройства, системы.

**Производительность** — более специфическая характеристика изделия, регламентирующая время выполнения конкретной задачи (т.е. время выработки приращений в задании положения инструмента фрезерного станка по трем координатам не должно превышать  $5 \times 10^{-3}$  с).

Ясно, что при большем быстродействии может быть достигнута более высокая производительность. Однако ЭВМ с большим быстродействием вычислительных операций может оказаться не удовлетворяющей ТС с большим объемом логических преобразований.

Здесь надо подчеркнуть, что в системе управления, например, производственным объектом не следует стремиться к производительности более высокой, чем требуемая. Это приведет к неоправданному удорожанию системы и снижению ее эффективности.

Рекомендации по достижению высокой производительности:

1. Выбор быстродействующей элементной базы.
2. Переход к параллельным способам преобразования информации на уровне устройства, узла.
3. Децентрализация системы с выделением независимых задач системы (т.е. распараллеливание алгоритмов управления).
4. Организация гибридных систем, когда приближенное решение с малыми затратами времени получается средствами аналоговой ВТ.
5. Разработка специализированных устройств с набором укрупненных специфических операций.
6. Разработка однородных перенастраиваемых микроструктур (или однородных сред), в которых повышение производительности достигается за счет настройки среды для выполнения специализированной операции, характерной для текущего этапа управления, причем с перенастройкой на других этапах (кстати, этот путь интересен тем, что здесь удается избежать противоречия между требуемой производительностью и требуемым высоким уровнем унификации средств управления).
7. Создание однородных макроструктур, когда система организуется из одинаковых и одинаково соединенных между собой элементарных узлов. Например, микропроцессорные системы (или однородные системы), в качестве элементарного узла которых используется ЭВМ. Причем большое влияние на производительность таких систем оказывает организация связи между звеньями однородной структуры. Здесь простейшим типом связи является связь по линейному графу (т.е. каждый  $I$ -ный узел соединен лишь с  $(I+1)$ -м узлом), а наиболее совершенным и полным типом связи является связь по полному графу, при котором каждый узел соединен со всеми остальными и возможен параллельный обмен информацией в произвольном числе пар элементарных узлов системы.

Выбор конкретного пути получения высокой производительности зависит от конкретной решаемой задачи и сводится к анализу нескольких вариантов, в каждом из которых применяется комбинация различных упомянутых способов. Здесь многое зависит от опыта, интуиции, творческого потенциала коллектива разработчиков.

### *1.3.3. Стоимость*

Одним из основных показателей качества проектирования является стоимость создаваемой ТС.

Особенность этой характеристики: ограничений на снижение стоимости при сохранении всех остальных показателей на требуемом уровне не существует.

При этом надо всегда помнить, что проектирование, в процессе которого в качестве целевой минимизируемой функции принимается стоимость ТС, а все остальные требуемые характеристики относятся к ограничениям, является наиболее типичным и разумным при создании систем автоматизации и телемеханизации производственных объектов.

Отсюда общие рекомендации по снижению стоимости при заданной производительности ТЗ в значительной степени противоположны рекомендациям по повышению производительности.

Вот эти рекомендации:

1. Выбор соответствующей элементной базы.
2. Переход от параллельных способов преобразования к последовательным на уровне узла, устройства.
3. Централизация системы с применением режима разделения ресурса времени узлов общего назначения, многофункциональное использование узлов, устройств, ЭВМ для решения возможно большего потока задач и т. д.

Наиболее перспективно снижение стоимости за счет многофункционального использования узлов ТС (т.е. централизация). Пример, использование ЭВМ в режиме многопрограммной работы по дисциплинам с относительным или абсолютным приоритетам.

Современный уровень развития ВТ показывает, что не только ЭВМ в целом, но и наиболее простой и однородный узел ее — ОЗУ (оперативное запоминающее устройство) может быть использован многофункционально для решения всех (конечно, последовательно во времени) задач, характерных для управляющей ЭВМ. Низкая стоимость одного элемента ОЗУ, высокая технологичность, обусловленная однородностью, приводят при этом к значительному экономическому эффекту.

Давайте рассмотрим это на примере.

На рис. 1.6 условно изобразим многофункциональное использование узла общего назначения УОН для решения  $K$  задач  $Z_1, \dots, Z_k$ .

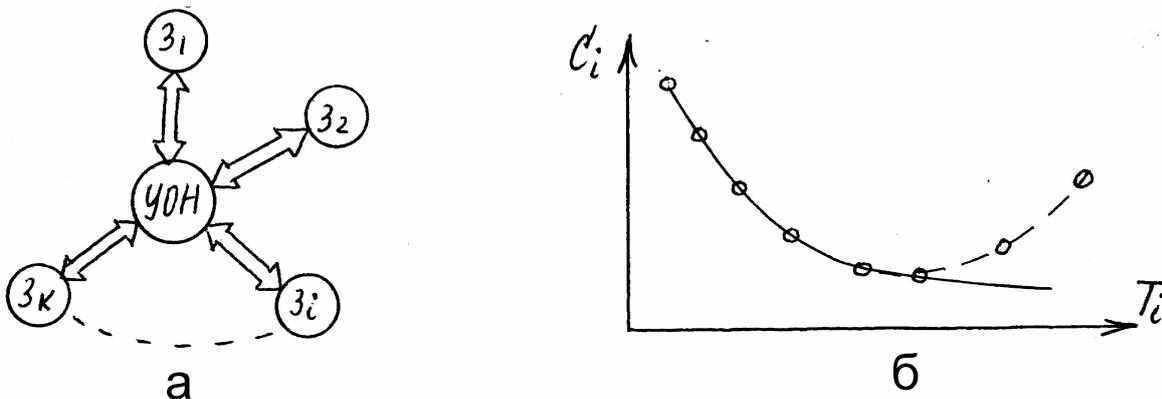


Рис. 1.6. Многофункциональное использование устройств:

*а* — централизация УОН;

*б* — зависимость аппаратных затрат от времени

При этом аппаратура стоимостью  $C_i$ , затрачиваемая на решение задачи  $Z_i$  зависит от времени  $T_i$  (рис. 1.6, б).

Аналогично может быть представлена зависимость аппаратурных затрат  $C_i$  на реализацию отдельного устройства от времени решения задачи устройством при использовании рекомендаций по замене параллельных способов преобразования последовательными.

Зависимость  $C_i(T_i)$  обычно задается как совокупность соответствующего числа реализаций, т.е. таблично (с возможной последующей аппроксимацией).

Возрастающая штриховая ветвь теоретически возможна ввиду усложнения аппаратуры управления при последовательных способах преобразования или аппаратуры диспетчеризации при многофункциональном использовании УОН. Очевидно, что лежащие на возрастающей ветви реализации не представляют практического интереса и при оптимизации всегда могут быть заменены постоянным значением последней реализации (минимум по затратам). Причем наличие этой постоянной составляющей говорит о том, что еще не найдены решения, позволяющие в данном устройстве как бы «разменять» производительность на стоимость, но следует стремиться их отыскать.

$$C = \sum_{i=1}^k C_i(T_i)$$

Теперь главное. При наличии семейства из  $h$  зависимостей  $C_i(T_i)$  и заданном общем ресурсе времени  $T_{\text{зад}}$  оптимизация проектирования сводится к минимизации целевой функции при ограниченном значении.

$$T_{\text{зад}} \geq \sum_{i=1}^k T_i$$

Решение этой задачи может быть получено методами линейного или нелинейного программирования.

Полученное таким образом решение полностью пригодно для минимизации стоимости ТС (или части ТС) со структурой из последовательно соединенных устройств  $Y_1, \dots, Y_k$  (рис.1.7).

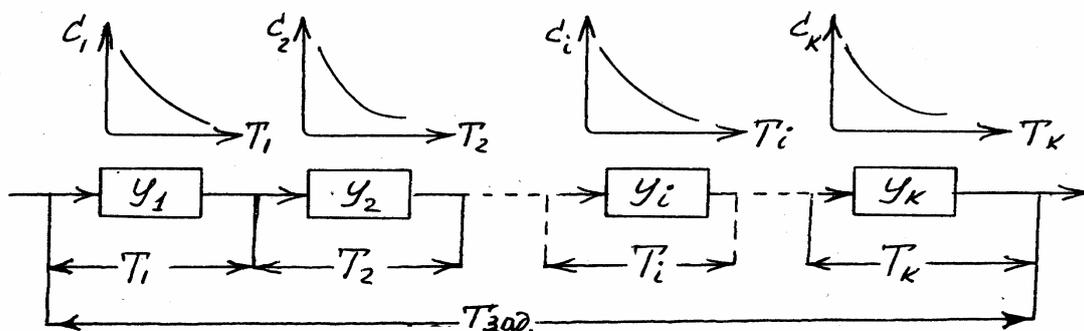


Рис.1.7 Оптимальное распределение ресурса времени в ТС из последовательно соединенных устройств

Для этой распространенной структуры общая допустимая задержка при передаче сигнала от входа до выхода (она же — допустимое время решения задачи  $T_{\text{зад}}$ ) равна сумме задержек последовательно включенных устройств. Возможны различные реализации каждого из устройств согласно зависимости  $C_i(T_i)$ .

Допустимое время  $T_{\text{зад}}$  должно быть распределено между устройствами  $Y_1, \dots, Y_k$  так, чтобы суммарная стоимость всей ТС была минимальной.

$$C = \sum_{i=1}^k C_i$$

#### 1.3.4. Надежность

Надежность — это комплексное устройство системы или устройства выполнять заданные функции, сохраняя эксплуатационные показатели в заданных пределах.

Другими словами, повышение надежности — это улучшение одного или нескольких показателей надежности ( $P, T, \lambda, a$ ).

Например, необходимо повысить наработку на отказ (или уменьшить  $\lambda$ ). Здесь надо выделить два этапа проектирования.

На 1 этапе отсутствуют противоречия между аппаратурными затратами (т.е. стоимостью ТС) и  $T_{\text{ср}}$ . На этом этапе проектирование надо проводить согласно рекомендациям, которые даны для показателя стоимости (в плане ее снижения).

Действительно, достигаемое уменьшение аппаратурных затрат за счет уменьшения числа элементов приведет к снижению и  $\lambda(t)$  в ТС.

После оптимизации аппаратурных затрат следует оценить наработку. Если полученная  $T_{\text{ср}}$  выше требуемой — цель достигнута. В случае, когда  $T_{\text{ср}}$  является определяющим показателем зависимости  $C_i(T_i)$  заменяют зависимостями  $\lambda_i(T_i)$ , где  $\lambda_i$  — интенсивность отказов в аппаратуре, предназначенной для решения  $i$ -й задачи. И далее надо проводить аналогично данным в предыдущем параграфе рекомендациям минимизацию суммарной интенсивности отказов при заданной проводимости ТС.

$$\lambda_i = \sum_{i=1}^k \lambda_i$$

После того, как 1-й этап работ по повышению  $T_{\text{ср}}$  закончен и полученная  $T_{\text{ср}} <$  требуемой, следует приступить ко 2-му этапу.

Этот 2-й этап характеризуется наличием противоречия между аппаратурными затратами и  $T_{\text{ср}}$ , т.к. здесь увеличение  $T_{\text{ср}}$  достигается за счет внесения избыточности (а именно, введением резервирования одним из известных способов).

Важный вопрос в плане надежности — повышение достоверности и ремонтпригодности. Обычно решение находят введением в ТС средств технической диагностики, автоматизирующих процесс обнаружения и локализации не-

исправностей (здесь надо помнить, что введение дополнительной аппаратуры приводит к увеличению  $\lambda(t)$ ).

Различают два крайних способа контроля правильности функционирования ТС: тестовый контроль и встроенный аппаратурный контроль.

Тестовый контроль предполагает затраты времени на периодическое включение тестов. Считается, что при этом отсутствуют аппаратурные затраты, т.к. тесты хранятся в дешевом внешнем запоминающем устройстве (на магнитной ленте). Тестовый контроль нечувствителен к сбоям, возникающим в период работы, а не в период тестирования.

Аппаратурный контроль действует непрерывно, автоматически, не требуя дополнительных затрат времени от основного оборудования. Здесь выявляются и отказы и сбои. Однако введение такого контроля требует дополнительных аппаратурных затрат. Наиболее распространенным примером такого контроля является контроль на нечетность в устройствах хранения цифровой информации.

Кроме того, используются смешанные виды контроля со свойствами аппаратурного и тестового контроля, используя при этом достоинства обоих видов оптимальном для конкретной системы сочетании.

С развитием интегральной технологии все большее распространение получает структура типового элемента замены ТЭЗ. Если ТС состоит из ТЭ, то возможна автоматическая замена элементов (т.е. роботом).

Следующий важный вопрос — повышение помехоустойчивости.

Рекомендации:

- а) выбор элементной базы;
- б) правильность разводки монтажа на плате;
- в) установка в различных точках платы (рассредоточено по потребителям) конденсаторов с малым внутренним сопротивлением для ВЧ сигналов;
- г) применение скрученных пар проводов для передачи малых сигналов;
- д) устранение гальванических связей между системой питания и корпусом;
- е) экранирование элементов, устройств, проводов;
- ж) уменьшение паразитных емкостей трансформаторов питания;
- з) устранение гальванических связей между источником и приемником сигнала;
- и) увеличение мощности сигнала передачи;
- к) переход к передаче кодов вместо передачи аналоговых сигналов;

Последние две рекомендации имеют большое значение для КС.

В заключении рассмотрим кратко рекомендации по обеспечению работоспособности ТС в тяжелых условиях. Самое основное здесь — это выбор определенной системы элементов. Далее, многие вопросы (учет вибрации, влажности и т.д.) сводятся к специальным мерам при конструировании устройств и систем.

Особо важно здесь обеспечение работоспособности в заданном температурном диапазоне окружающей среды  $T_{o.c.}^- \div T_{o.c.}^+$ .

Допустимый температурный диапазон по ТУ на элементы должен удовлетворять следующим неравенствам:

$$\left. \begin{array}{l} T_3^- < T_{o.c.}^- \\ T_3^+ > T_{o.c.}^+ + \Delta T \end{array} \right\} \quad (1.1)$$

где  $\Delta T$  — приращение температуры внутри шкафа (стойки) при максимально напряженном режиме работы;

$T_{o.c.}^-$ ,  $T_3^-$  — нижние границы температуры окружающей среды и допустимая температура элементов;

$T_3^+$ ,  $T_{o.c.}^+$  — верхние границы.

Для уменьшения  $\Delta T$  обычно применяют различные способы вентиляции. Если неравенства (1.1) удовлетворяются, то задача решена. Если же этого мало, то применяют термостатирование или вводят следящие системы, обеспечивающие нужный закон изменения.

$\Pi = F(T)$ , где  $\Pi$  — параметр системы элементов, существенно влияющий на границы допустимого температурного диапазона  $T_3^-$ ,  $T_3^+$ ;  $T$  — температура в зоне элемента.

При термостатировании следует иметь в виду, что проще всего удастся поднять нижнюю границу  $T$  за счет искусственного подогрева внутри шкафа (стойки).

При введении специальных следящих систем в качестве изменяемого параметра  $\Pi$  можно выбрать напряжение, существенно определяющее область работоспособности элементов, если его изменение не противоречит паспортным данным применяемых элементов. Рассмотрим структуру блока питания для этого случая (рис.1.8).

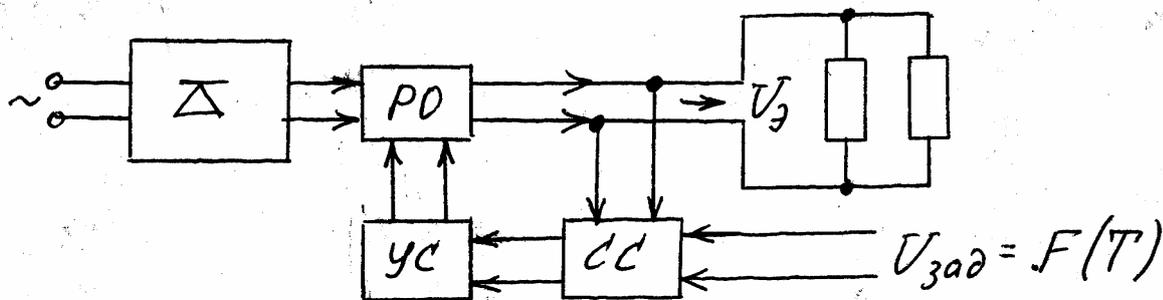


Рис.1.8. Структура блока питания

В схеме сравнения СС сопоставляется выходное напряжение  $U_3$  с напряжением задания  $U_{зад} = F(T)$ .

Температурный элемент (т.е. терморезистор) устанавливается непосредственно у элементов системы. Нужная функция  $F(T)$  формируется одним из способов, применяемых в аналоговых ВУ. Усиленный в УС разностный сигнал поступает на регулирующий орган РО блока питания.

#### **1.4. Этап эскизного проектирования**

На этапе эскизного проектирования (ЭП) решаются укрупненные задачи, определяющие главным образом стратегию проектирования. На этом этапе

должны быть решены вопросы выбора принципов построения системы и определена основная структура системы, простейшими элементами которой являются отдельные подсистемы и блоки, включая требования к ним. На этапе ЭП должно быть проведено сравнение различных вариантов систем автоматики или телемеханики (без детализации блоков и подсистем) и выбран наилучший вариант. Это одна из главных задач ЭП.

В объем работ ЭП включается:

1. Составление структурной схемы информационных потоков;
2. Обоснованный выбор основных принципов построения системы, подкрепленный расчетами нескольких вариантов;
3. Сравнительный анализ и выбор рациональной укрупненной структуры (простейшими элементами которой являются подсистемы и блоки);
4. Алгоритмическое описание функционирования подсистем и блоков. Составление временных диаграмм работы;
5. Составление функциональных схем блоков;
6. Выбор элементной конструкционной базы, входных и выходных устройств и средств их сопряжения.

Структурная схема информационных потоков составляется только для сравнительно сложных ТС с целью рационального разделения ее на подсистемы и блоки, а также уточнения объема информации, ее характера на выходах и входах подсистем и блоков.

При составлении структурной схемы информационных потоков можно ограничиться разделением системы на укрупненные блоки, каждый из которых состоит из нескольких блоков (уточняемых на последних этапах проектирования).

После описания информационных потоков целесообразно перейти к выбору основных принципов ТС. При этом необходимо руководствоваться материалами и рекомендациями изложенными в соответствующей литературе по ТС: монографиям, учебникам, пособиям, обзорам, журнальным статьям и т.д.

Прежде всего путем сопоставления с другими вариантами необходимо выбрать, т.е., для систем телемеханики:

- а) метод разделения сигналов (адресный, многоканальный, комбинированный), причем обосновать конкретный метод разделения сигналов;
- б) методы организации передачи (цилиндрический, по вызову оператора, при возникновении новой информации), целесообразности и характер приоритетов;
- в) типы каналов связи и их основную структуру;
- г) последовательность прохождения информации и ее отображение на пульте управления (последовательное, параллельное, параллельно-последовательное);
- д) принципы синхронизации и управления устройствами и блоками системы.

При проектировании системы автоматики необходимо для следящей системы:

- а) выявить требуемые динамические свойства привода и определить тип привода (электрический, гидравлический, газовый);

б) выбрать исполнительный двигатель, обладающий нужными предельными динамическими возможностями;

в) определить метод управления и разработать схему управления.

При выборе основных принципов построения системы необходимо ориентироваться на определенную элементарную базу, однако уточнять ее целесообразность на более поздних этапах.

Далее следует перейти к сравнительному анализу и выбору рациональной структуры системы. Если для многих простых ТС выбор структуры очевиден, то с укрупнением системы, с расширением и усложнением выполняемых функций оптимизация структуры иногда становится трудноразрешимой задачей из-за многообразия факторов, её определяющих. В настоящее время разработаны теория и методика расчета только некоторых вопросов оптимизации структур.

Таким образом, для крупных и сложных систем задач оптимизации структуры по меньшей мере становятся весьма трудоемкими. Следовательно, их постановка в достаточно полном объеме может оправдаться только когда ТС должны выпускаться серийно и даже крупносерийно. Отсюда следует, что глубина проработки вопросов оптимизации структуры системы становится зависимой от серийности выпуска и значимости работы. Выбор наилучшего варианта структуры сложной системы в таких условиях зависит от опыта и искусства инженеров-проектировщиков, которые в известной мере выполняют научно-обоснованный выбор структуры.

При выборе оптимальной структуры по меньшей мере необходимо сравнение нескольких вариантов, подкрепленное расчетными данными. Для повышения эффективности выбора полезно участие заказчика в сопоставлении и выборе вариантов структуры системы на основе работы, выполненной проектировщиками.

К практическим рекомендациям при разработке следует во многих случаях отнести целесообразность уменьшения оперативной взаимосвязи между подсистемами, если при взаимосвязи уменьшается надежность системы в целом и усложняется разработка, наладка и эксплуатация системы.

К исключениям относятся, например, целесообразность взаимосвязи в аварийных условиях для повышения надежности системы в целом, если возможен переход на режим с менее глубокой автоматизацией функций, выполняемых поврежденными подсистемами. Во время аварии в этом случае на человека возлагается большая нагрузка.

При выборе блоков и подсистем необходимо максимально использовать типовые блоки и устройства, выпускаемые промышленностью, и максимально сокращать новые устройства, требующие разработки. Такой подход аналогичен выбору типовых решений при проектировании, например, заданий, которые сокращают стоимость строительства и улучшают другие показатели. Более подробно мы эти вопросы и выбор элементной базы рассмотрим в дальнейшем.

Алгоритмическое описание функционирования систем и подсистем выполняется только для сравнительно сложных систем телемеханики и автоматики с развитым параллельно-последовательным прохождением информации.

### **1.5. Этап технического проектирования**

Техническое проектирование (ТП) выполняется после утверждения эскизного проекта и имеет целью разработку всей необходимой документации для изготовления или производства ТС. В результате ТП необходимо выполнить следующие работы:

1. Составить принципиальные (электрические) схемы всей системы и отдельных её узлов;
2. Произвести моделирование и лабораторное макетирование всех наиболее сложных и новых блоков и устройств системы;
3. Составить схемы компоновки всех устройств системы по шкафам;
4. Составить монтажные схемы блоков;
5. Составить схемы межблочных соединений;
6. Написать пояснительную записку с необходимыми расчетами, в которой показывается, какой степени выполняется ТЗ на систему;
7. Составить проект технических условий (ТУ) на систему;
8. Составить проект технического описания и эксплуатационные инструкции;
9. Заполнить патентный формуляр;
10. Составить карту технического уровня, включающую сравнение с аналогичными устройствами и обоснования права на существование проектируемого устройства.

### **1.6. Принципы проектирования**

На начальных стадиях (этапах) развития ТС, когда еще не были созданы и серийно не выпускались современные электронные технические средства, каждый раз эти средства приходилось разрабатывать индивидуально для каждой конкретной системы. В то время средства создавались в основном на базе рележно-контактных элементов и вакуумных электронных ламп, т.е. тех «кирпичей», из которых строилось все «здание». Соответственно ТС получались громоздкими, значительно менее надежными в работе, выполняли небольшой объем простых функций и разрабатывались годами.

С развитием систем и усложнением задач, ими решаемых, индивидуальный подход к созданию технических средств приводил к тому, что разработка, наладка и ввод в эксплуатацию сложной системы требовали многих лет напряженной работы больших коллективов специалистов. В результате система устаревала иногда до времени пуска в эксплуатацию и не соответствовала современному уровню быстроразвивающейся области техники. Кроме того, стоимость индивидуальных технических средств была непомерно большой, что сдерживало широкое внедрение автоматики и телемеханики.

Радикальное решение заключалось в переходе к типовым рядам унифицированных технических средств, выпускаемых серийно, из которых можно было бы строить самые разные системы. При этом и их элементную базу нельзя рассматривать как нечто установившееся, неизблемое. Они быстро развиваются и изменяются одновременно с совершенствованием систем. В своем развитии

элементная база уже претерпела несколько радикальных изменений и продолжает совершенствоваться.

В настоящее время принято различать четыре ярко выраженные степени технического уровня РЭА или как чаще их называют — четыре поколения.

Первое поколение появилось вслед за созданием электронно-вакуумной лампы в начале XX века. Электронно-вакуумные приборы прошли сложный путь развития и совершенствования и до настоящего времени применялись в отдельных узлах РЭА. Но низкая надежность, сложность эксплуатации, большая потребляемая мощность и громоздкость РЭА на ЭВЛ всегда сдерживали расширение областей применения электроники.

Второе поколение начало свое существование с появления транзистора, разработанного в 1948 году американскими физиками В. Токли, В. Браттейном и Дж. Бардином. Применение транзисторов в РЭА позволили значительно улучшить некоторые ее характеристики, особенно в части надежности, потребляемой мощности, габаритов и затрат на эксплуатацию. Резко возросли быстродействие и сложность решаемых задач. Разработаны и серийно выпускаются типовые серии логических и функциональных элементов и узлов на полупроводниковых диодах и транзисторах, на основе которых спроектирована и в настоящее время эксплуатируется в народном хозяйстве уже большая часть систем автоматики и телемеханики.

При достаточно высокой надежности полупроводниковых дискретных элементов, резисторов, конденсаторов и т.д. слабым местом схем второго поколения являются электрические соединения между сопротивлениями, диодами, транзисторами и конденсаторами в каждой схеме. Требуются специальные проводники, пайки и контактные соединения, что в общем случае снижает надежность аппаратуры, увеличивает габариты и уменьшает быстродействие. При этом требуется большое количество ручного труда в производстве.

Общая тенденция повышения надежности, уменьшения потребляемой мощности и габаритов нашла свое отражение в появлении приборов третьего поколения, развитие которых связано с появлением в 1958 году интегральных микросхем (ИМС).

Интегральная технология позволяет изготавливать в объеме полупроводника не только активные, но и пассивные элементы схемы, причем те и другие получаются в результате однородных технологических процессов, а отсюда и более высокая надежность и стабильность элементов. Основу приборов третьего поколения составляют интегральные схемы содержащие до 20 – 40 эквивалентных элементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов). Каждая микросхема оформляется в виде автономной конструкции и является законченным функциональным узлом, реализующим простую функцию (триггер, формирователь, усилитель, логический элемент «И», «ИЛИ», «НЕ» и т.д.).

Процесс увеличения сложности микросхем привел к появлению средних и больших интегральных схем (БИС), выполняющих сложение функций и содержащих от нескольких десятков до нескольких тысяч элементов на схему.

Интегральные схемы высокой степени сложности возникли в ходе естественного развития и качественного совершенствования интегральной технологии.

Аппаратуру, выполненную на основе (БИС) больших интегральных микросхем, относят к четвертому поколению РЭА.

Каждое поколение РЭА имеет свои конструктивные и технологические особенности. В блоках аппаратуры нового поколения основу конструкций составляли металлические панели и шасси, на которых наряду с ЭВП крепились резисторы, конденсаторы, дроссели, трансформаторы; монтаж осуществляется гибкими проводами.

В аппаратуру второго поколения для внутреннего монтажа и в качестве несущих конструкций стали применять одно и двух сторонние печатные платы, а в аппаратуре третьего и четвертого поколений — многослойные печатные платы и гибкие печатные кабели.

Здесь следует подчеркнуть, что четвертое поколение — БИС — это более крупные по своему назначению схемы. Одна БИС состоит в общем случае из нескольких или многих схем третьего поколения.

Необходимо также отметить, что сейчас, да и в недалеком будущем будет одновременно применяться элементная база и средства всех или последних трех поколений, что зависит от специфики систем, серийности их выпуска, требований к габаритам, быстродействию и т.п.

Для технологических процессов производства массовых приборов и массовых технических средств (счетчиков энергии, стрелочных и других приборов, часов и.д.) в настоящее время характерна ручная конвейерная сборка. Широкое применение микроэлектроники и в первую очередь БИС изготавливаемых на электрических линиях, позволяет значительно или полностью устранить ручной труд в конвейерном производстве РЭА и более последовательно внедрить принципы агрегатизации и унификации.

Значительная часть массовых приборов будет состоять из трех основных частей: первичного преобразователя (датчика), БИС и цифрового индикатора или регистратора. Например, в часах первичным преобразователем (источником информации) служит кварцевый или другой стабильный генератор, в счетчиках электроэнергии — бесконтактный преобразователь мощности в напряжение, а в измерителях интенсивности светового или другого излучения — фоторезистор. Всё это приведет к переходу от механического производства на часовых и других приборостроительных заводах к электронному.

Всё сказанное относится и к многим другим техническим средствам, которые в основном будут состоять из типовых БИС, построенных по агрегатному принципу, позволяющему образовывать из ограниченного количества типовых деталей практически неограниченное число различных систем. Таким образом, переход к массовому внедрению микроминиатюризации значительно повышает надежность, быстродействие, гибкость, дает возможность расширить выполняемые функции и улучшить другие показатели систем, т.е. решить ряд важнейших проблем, которые не могут быть решены без широкого внедрения микроэлектроники.

Стоимость микросхемы зависит от её надежности. Если она выполняет одни и те же функции и выбирается из одной и той же серии, то её стоимость

изменяется примерно на десятичный порядок, в зависимости от количества испытаний и отбраковки, а её надежность при этом — на несколько порядков.

Естественно, что самые дешевые микросхемы контролируются минимально, примерно так же, как и самые дешевые и менее надежные полупроводниковые приборы. Стоимость многих электронных устройств на интегральных схемах, с учетом равноценных показателей, в настоящее время соизмерима или меньше стоимости устройства на полупроводниковых приборах. Несомненно, что и стоимость устройств автоматики и телемеханики, выполненных в основном на ИМС, с равноценными характеристиками, будет меньше стоимости устройств на дискретных полупроводниковых приборах.

Принцип действия систем А и Т при переходе с дискретных полупроводниковых элементов на БИС в известной мере не изменится, т.к. первичными элементами в этом и другом случае являются полупроводниковые переходы и соответствующим образом выполненные резисторы и конденсаторы. Индуктивности в интегральном исполнении трудно реализуются и поэтому не применяются. С увеличением уровня интеграции происходит переход к транзисторно-транзисторной логике, и БИС всё меньше содержат резисторов и конденсаторов.

Однако при переходе на ИМС и БИС систем А и Т радикально изменяются принципы проектирования. В этом случае они приобретают индустриальный характер и базируются на следующих типовых серийно выпускаемых промышленностью видах технических средств:

1. Элементная база в виде различных серий ИМС и БИС;
2. Типовые конструкции для размещения технических средств с типовыми соединениями между ИМС, платами, блоками, субблоками;
3. Типовые периферийные устройства (первичные преобразователи, исполнительные органы, ЭВМ, устройства регистрации и отображения информации).

Для соединения между функциональными блоками и устройствами применяется интерфейс, определяющий объем сигналов между функциональными блоками и устройствами.

На ранних этапах развития устройств и систем А и Т из большого многообразия при проектировании выбирались электронные схемы, например на транзисторах, проводился расчет и экспериментальная отработка функциональных элементов и узлов в виде триггеров, импульсных генераторов, логических элементов и т.д. Затем после макетирования выбирались и разрабатывались индивидуальная конструкция устройств. При переходе на ИМС и БИС этапы проектирования существенно изменяются.

При индустриальном проектировании нет необходимости рассчитывать и экспериментально отрабатывать подавляющее большинство функциональных элементов и узлов в виде логических схем, триггеров, счетчиков и т.п.

Такие типовые взаимно сочлененные функциональные элементы и узлы есть в сериях микроэлектронных схем, выпускаемых промышленностью. Известны также взаимные нагрузочные способности ИМС. Кроме того, для размещения ИС были разработаны и выпускаются типовые конструкции, в которых

ИМС и БИС размещаются на типовых платах и образуют типовые конструкции субблоков и блоков (блоков-каркасов).

Теперь макетирование и экспериментальная обработка должна быть не уровне простейших функциональных элементов и узлов, а на уровне более крупных образований из микросхем.

При выборе принципов построения случаев необходимо предпочитать устройства, которые могут быть реализованы на ИС. И если выбирается устройство не на ИС, то проекту необходимо дать обоснование такого нетипового выбора.

Принципы проектирования ТС на универсальных полупроводниковых сериях дискретных, логических и функциональных элементов, таких как «спектр» и другие, существенно не отличаются от принципов проектирования информационных элементов на полупроводниках целесообразно использовать при проектировании устройств, которые не могут быть выполнены на БИС и ИС.

Составление принципиальной схемы ТС на микросхемах состоит из следующих этапов:

1. Выбор типовой серии ИМС, выпускаемой промышленностью, и интерфейса;
2. Группировка и деление функциональной схемы каждого блока на микросхемы;
3. Разделение каждого блока на субблоки;
4. Составление принципиальных схем субблоков и блоков.

На этапе разделения схемы блоки на конструктивные единицы (субблоки) рекомендуется руководствоваться правилами:

1. Схему блока разделять на субблоки так, чтобы в результате получить минимальное количество субблоков-каркасов и соединений между ними, а также наименьшее число разновидностей (типов) плат и субблоков. Оптимальное решение этой задачи может потребовать значительного объема кропотливой работы.
2. На каждом субблоке целесообразно предусмотреть резервное место для размещения одной – трех ИМС. Такая необходимость может возникать во время макетирования и наладки схемы или при опытной эксплуатации устройства.
3. При размещении микросхем, плат, субблоков и модулей целесообразно выбирать субблоки одного размера.

## **ГЛАВА 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОБРАБОТКИ, ХРАНЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ И ВЫРАБОТКИ КОМАНДНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

### **2.1. Цифровые средства обработки и преобразования информации САиУ**

При проектировании узлов, устройств, систем автоматики, телемеханики и вычислительной техники за основу создаваемых изделий берутся типовые устройства, выполняющие наиболее распространенные функциональные преобразования. Эти устройства и образуют современную элементную базу средств обработки, преобразования, хранения и управления информацией. При этом показатели проектируемых более сложных устройств и систем зависят от того, насколько полно использованы в проекте возможности этой элементной базы.

Разработчики технических средств автоматики должны в совершенстве знать существующий арсенал наиболее распространенных типовых устройств, таких, как:

- 1) Хранящие регистры (фиксаторы цифровой информации), используемые для временного, оперативного или буферного хранения;
- 2) Сдвиговые регистры, используемые для хранения и форматирования последовательных кодов;
- 3) Счетчики и пересчетные устройства, используемые для счета продукции, времени, команд, для формирования натурального ряда чисел, для организации цифровых делителей частоты;
- 4) Дешифраторы, позволяющие по предъявляемому числу выбирать позицию (возбуждать сигнал) в пространстве;
- 5) Шифраторы, используемые для формирования кода (числа), соответствующего позиции (возбужденному сигналу) в пространстве;
- 6) Распределители, используемые для последовательного во времени возбуждения выходных сигналов синхронно с входным сигналом;
- 7) Мультиплексоры, позволяющие обеспечить подсоединение одного из нескольких источников информации ко входу общего приемника;
- 8) Демультимплексоры, позволяющие выбрать один из нескольких приемников информации и присоединить его вход к выходу общего источника;
- 9) Компараторы, позволяющие сравнивать два числа;
- 10) Шинные приемопередатчики с тремя состояниями выхода, используемые для организации полудуплексного режима обмена информацией между общей шиной и устройством;
- 11) Сумматоры, множительные устройства и т.д.

Понимание функций и свободное творческое владение элементной базой при композиции и декомпозиции сложных структур совершенно необходимо современному специалисту в области технических средств автоматики и управления, разработчику систем управления (СУ).

Рассмотрим более подробно некоторые простые типовые устройства, включенные в таблицу 2.1.

В таблицу 2.1 не включены такие типовые устройства, как сумматоры, множительные устройства, устройства сравнения кодов (компараторы), устройства контроля четности числа единиц в слове и т.д., в связи с тем, что их назначение и использование однозначно соответствует наименованию этих устройств.

Теперь в качестве примера рассмотрим структурную организацию системы управления (СУ), реализованной на базе применения устройств (табл.2.1), в которой содержатся структурные решения, характерные для различных СУ (рис.2.1).

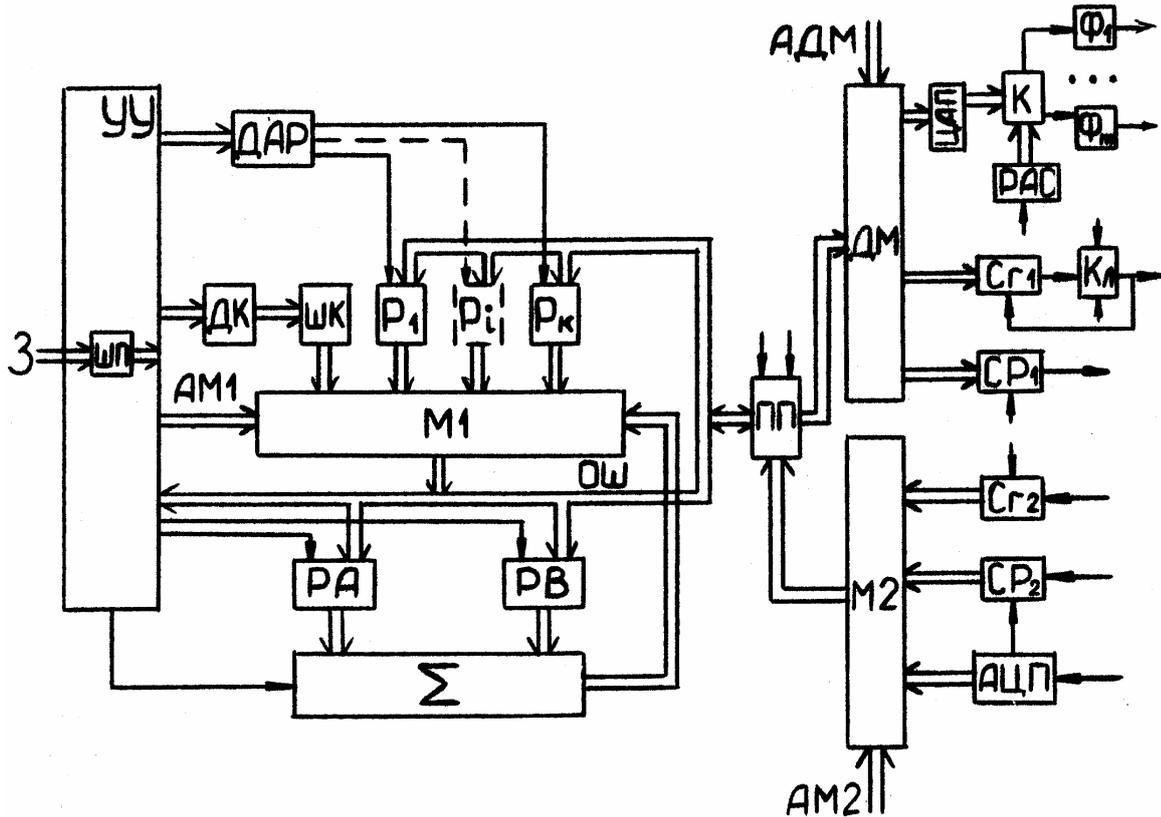


Рис. 2.1. Система управления на базе простых типовых устройств

Таблица 2.1

Название устройства	Назначение	Разновидности	Особенности организации структуры устройства	Примеры применения и особенности организации систем, использующих данное устройство
1	2	3	4	5
1. Регистр (Р)	<p>а) Хранение <math>n</math>-разрядного слова;</p> <p>б) в общем случае возможно выполнение микроопераций: гашения (записи 0), ввода (записи) входного слова</p> $X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$ <p>вывода (чтения) выходного слова</p> $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n);$ <p>в) между операциями ввода, вывода, гашения осуществляется пассивное хранение (память).</p> <p>Длительность хранения произвольна при нормальных условиях эксплуатации.</p>	<p>Различие регистров по разрядности и системе счисления носит чисто количественный характер. На базе двоичных регистров могут быть получены иные регистры за счет соответствующего объединения двоичных регистров.</p>	<p>Зависят от типа запоминающих элементов (Тг, магнитного сердечника, реле). Общим являются вопросы организации ввода, вывода информации</p> <p>а) ввод и вывод осуществляется в двоичном или парафазном коде (т.е. наличие выводов прямого и инверсного кода);</p> <p>б) наличие или отсутствие схем управления вводом–выводом.</p> <p>При наличии управления вводом в регистре входы регистра подключают к общим шинам без дополнительной коммутации (селекции).</p> <p>При наличии управления выводом в регистре, выходы <math>Y</math> нескольких регистров подключают к общей шине без коммутации.</p> <p>При отсутствии управления вводом, выводом эти функции выполняют внешние устройства типа МП, ДМП и специальные приемопередатчики.</p>	<p>а) организация задержки во времени;</p> <p>б) организация регистрового обмена (ввод, вывод цифровой информации) между ЭВМ и ОУ;</p> <p>в) использование в узлах управления в качестве регистров команд и микрокоманд;</p> <p>г) организация оперативных регистров в специализированных устройствах и системах автоматики при использовании параллельных по разрядам методов преобразования цифровой информации.</p>

Таблица 2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
2. Сдвиговый регистр (СР)	<p>Сдвиг хранимого слова, т.е. передача информации из данного разряда в соседний одновременно во всех разрядах регистра.</p> <p>При сдвиге вправо (в сторону младшего разряда) информация переписывается из <math>i</math>-го в <math>(i-1)</math> разряд.</p> <p>При сдвиге влево из <math>i</math>-го в <math>(i+1)</math> разряд.</p>	<p>Определяются:</p> <p>а) используемой системой счисления;</p> <p>б) наличием сдвига в обоих направлениях (РСР) или только в одном из них.</p>	<p>Как и у хранящих регистров связаны с решением задач ввода и вывода параллельного кода. При этом дополнительно должен быть учтен ввод, вывод последовательных кодов (с крайнего разряда).</p> <p>В соответствии с управляющими сигналами осуществляется либо сдвиг по кольцу (из крайнего разряда в крайний), либо запись последовательного кода через крайний разряд, либо гашение (запись нулей в крайний разряд).</p> <p>Отдельно стоит структура сдвигателя для осуществления за один цикл сдвига хранимого слова сразу на <math>m</math> разрядов. Эта структура содержит два хранящихся регистра, соединенных через МП.</p>	<p>а) преобразование параллельного кода в последовательный;</p> <p>б) преобразование последовательного кода в параллельный.</p>

Таблица 2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
3. Счетчики (Сч)	Счет входных сигналов с хранением результата. (По своей структурной организации — это хранящий регистр, дополненный операцией прибавления или вычитания единицы).	<p>Определяются:</p> <p>а) системой счисления (максимальное число в счетчике <math>r^n - 1</math>, где <math>r</math> — основание системы счисления);</p> <p>б) наличие или отсутствие управляемых цепей ввода, вывода числа;</p> <p>в) направление счета (нереверсивные, реверсивные).</p>	<p>1) самая простая структура — последовательное включение триггеров со счетным входом;</p> <p>2) известны структуры с последовательным, сквозным и одновременным переносом;</p> <p>3) для образования последовательного кода используются СР, либо одноразрядные ЗУ;</p> <p>4) при многоканальном счете вместо нескольких счетчиков можно использовать один общий счетчик и несколько хранящих регистров Р, селективно подключаемых к общему счетчику.</p>	<p>а) пересчетные схемы как цифровые делители частоты с коэффициентом пересчета <math>r^n</math>;</p> <p>б) формирование натурального ряда чисел с помощью счетчиков команд, операндов, микрокоманд;</p> <p>в) формирование заданного числа циклов в вычислительных и управляющих системах;</p> <p>г) счет меток времени в таймерных устройствах;</p> <p>д) преобразование параллельных кодов в число импульсов;</p> <p>е) преобразование числа в интервал времени и т.д.</p>

Таблица 2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
4. Распределители (Р)	Формирование сигнала на очередном из N выходов по очередному сигналу на входе (т.е. при последовательном поступлении N входных сигналов производить поочередное формирование сигналов на каждом из N выходов).	<p>1) Специальное устройство типа шаговый искатель.</p> <p>2) N-разрядный сдвиговый регистр с единицей в одном разряде (N).</p> <p>3) Структура счетчика — дешифратор (при больших N).</p> <p>Затраты оборудования на один выход дешифратора меньше затрат на один разряд сдвигового регистра.</p>	<p>1. Организация поочередного выбора N устройств (например, датчиков в ИИС).</p> <p>2. Управление шаговым двигателем.</p> <p>3. Подключение выхода или входа устройства общего назначения (ЛС, ПАК, ПКА) ко входам нескольких приемников или к выходам нескольких источников информации (ИИ).</p> <p>4. В узлах управления (микропрограммных, программных автоматах и т.д.).</p>	
5. Приемопередатчик (ПП)	Организация полудуплексного режима между устройством и общей шиной.	Устройство с тремя состояниями (ключи, реализуемые на КМОП-приборах).	<p>1. Отключение устройства (узла) от общей шины.</p> <p>2. Подключение общей шины к выходам устройства (узла).</p> <p>3. Подключение общей шины к входам устройства (узла).</p> <p>4. Реализация функции ИЛИ за счет прямого объединения выходов устройств с тремя устойчивыми состояниями (без специальных ячеек ИЛИ).</p>	

Таблица 2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
6. Мультиплексоры и демультиплексоры (МП, ДМП)	<p>1) Подключение выхода одного, выбираемого из нескольких ИИ ко входу общего приемника (МП).</p> <p>2) При общем ИИ и нескольких приемниках информации (ПИ) подключение входа одного выбираемого ПИ к выходу ИИ (ДМП).</p>	<p>МП (ДМП) содержат адресные входы, на которые поступает номер выбираемого ИИ (ПИ). Число адресных шин <math>n_a = \log_2 K</math> (K — число ИИ)</p> <p>Различают МП (ДМП):</p> <p>а) с одним; б) с несколькими разрядами на выходе (входе).</p> <p>В последнем случае в ИИ (ПИ) в соответствии с адресом выбираемого канала поступает n-разрядное слово (n — число разрядов в одном канале МП).</p>	<p>Организация структур с использованием МП (ДМП) и примеры их использования соответствуют прямому назначению этих типовых устройств. При этом следует отметить МП (ДМП) аналоговых сигналов. Требование точной коммутации аналоговых сигналов удовлетворяется в них за счет использования выходных МОП-ключей.</p>	

Таблица 2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
7. Дешифратор (ДШ)	<p>Выбор одного из <math>N</math> выходов (выходной код <math>У</math>) в соответствии с входным <math>n</math>-разрядным кодом <math>X</math>.</p> <p>Входной код обычно представлен в позиционной системе счисления с основанием <math>r</math>. Число возможных значений входного кода для полных ДШ <math>r^n</math> (для двоичных полных ДШ — <math>2^n</math>).</p>	<p>Определяются:</p> <p>а) системой счисления для входного кода <math>X</math>.</p> <p>б) числом допустимых значений входного кода</p> <p>(<math>N = r^n</math> ДШ является полным, для двоичных — <math>2^n</math>; для неполных ДШ — <math>N &lt; r^n</math>)</p>	<p>Определяются значением <math>N</math>:</p> <p>а) для малых <math>N</math> — одноступенчатая структура (ДШ содержит входной инвертор или дополняется регистром), т.е. обеспечиваются прямые и инверсные значения разрядов входного кода <math>X</math>. Дешифрация происходит с помощью <math>n</math>-входовых схем <math>И</math>, каждая из которых реализует конъюнкцию <math>У_i = \tilde{X}_1 \tilde{X}_2 \dots \tilde{X}_j</math>, где <math>\tilde{X}_j</math> означает, что сомножитель <math>X_j</math> может быть в прямом или инверсном виде;</p> <p>б) для больших <math>N</math> — многоступенчатая структура.</p> <p>На входы ДШ 1-й ступени подается часть разрядов <math>n_j</math> входного кода <math>X</math>. Число выходов ДШ 1-й ступени дешифрации <math>N_i^1 = 2^{n_j}</math>. На входы ДШ 2-й и более высокой степени подаются коды <math>У_i</math> с выходов 2-х ДШ предшествующей ступени дешифрации. Поэтому для их построения достаточно двухвходовых ячеек <math>И</math>.</p>	<p>1. ДШ оперативных и постоянных ЗУ с произвольной выборкой;</p> <p>1. ДШ кода операции в составе узлов управления ЭВМ.</p> <p>2. ДШ в системах А и Т для выбора устройств по его номеру (выбор датчика в многоканальной ИИС).</p> <p>3. Неполные ДШ двоично-десятичного кода в десятичный (в устройствах цифровой индикации).</p>

Таблица 2.1 (продолжение)

1	2	3	4	5
8. Шифратор (Ш).	Выполнение функций обратной дешифрации, т.е. с их помощью сигналу на одном из входов ставится в соответствие выходной код.	Основа Ш — ячейки ИЛИ, подключаемые входами к входам Ш, а выходами — к его выходам. Ш разделяются на полные и неполные. Соотношения N и n те же, что и у ДШ.	а) одноступенчатое включение ячеек ИЛИ; б) многоступенчатое (каскадное) включение ячеек ИЛИ; в) Ш приоритетов — каждому из входов соответствует свой приоритет. На выходе — код с самым высоким приоритетом.	1. Ш для сегментных индикаторных ламп десятичной индикации, с помощью которых десятичной цифре ставится в соответствие набор светящихся на индикаторе сегментов. 2. Формирование командных сигналов типа «вкл», «откл» на ОУ. 3. Организация логических преобразователей типа ДШ-Ш.

Взаимодействие узлов в данной системе обеспечивается устройством управления УУ. Заявки  $Z$  на выполнение различных задач, решаемых системой, поступают от объекта управления (ОУ) или от оператора на вход шифратора приоритетов ШП. Номер старшей из поступивших заявок (с самым высоким приоритетом) формируется на выходе ШП. Этот номер и определяет реализуемую УУ задачу.

Память системы управления (СУ) организована на  $K$  автономных регистрах  $P_1 - P_k$ . Требуемые преобразования реализуются программно с помощью общего сумматора  $\Sigma$  и двух входных регистров РА, РВ. Различные устройства СУ по входам и выходам связаны общей шиной ОШ.

С помощью мультиплексора М1 по адресу канала АМ1 к ОШ может быть подключен выход одного из регистров  $P_1 - P_k$ , выход  $\Sigma$  или выход шифратора констант ШК.

Номер константы задается из УУ и поступает на вход ДК. Код из ОШ может быть принят в один из регистров  $P_1 - P_k$ , РА, РВ. Выбор одного из регистров, как приемника информации из ОШ осуществляется с помощью внутренних вентилях этих регистров. Один из оперативных регистров  $P_1 - P_k$  выбирается в качестве приемника информации с помощью дешифратора адреса регистра ДАР.

Через приемопередатчик ПП шина ОШ подключается к устройствам сопряжения с объектом. В зависимости от управляющего сигнала в ПП происходит либо вывод информации от ОШ на демultipлексор ДМ, либо ввод информации на ОШ от мультиплексора М2. В зависимости от адреса канала демultipлексора АДМ слово из ОШ поступает либо на ЦАП, либо в счетчик Сr1, либо в сдвиговый регистр СР1. В зависимости от адреса канала мультиплексора АМ2 ко входу ПП подключается либо АЦП, либо СР2, либо Сr2.

В рассматриваемой схеме предполагается, что на объект управления необходимо выводить  $m$  сигналов вида:

- а) напряжение постоянного тока;
- б) импульсную последовательность, в которой число импульсов изменяется в соответствии с одним из чисел ОШ;
- в) последовательный код, соответствующий одному из слов ОШ.

В качестве контрольной информации от ОУ необходимо принимать в СУ:

- а) сигнал в виде напряжения постоянного тока;
- б) последовательный код от одного из датчиков на ОУ;
- в) импульсную последовательность с изменяющимся числом импульсов (например, от импульсов датчика положения).

Сигналы в виде  $m$  напряжений постоянного тока формируются с помощью общего цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Входные коды от ОШ через ПП, ДМ поступают циклически. Получаемый с выхода ЦАП сигнал подключается в синхронном режиме к одному из  $m$  фиксаторов постоянного напряжения  $\Phi_1 - \Phi_m$ . Фиксатор  $\Phi_i$  выполняет роль аналогового ЗУ. Коммутация напряжения с выхода ЦАП на входы  $\Phi_i$  осуществляется коммутатором К, который управляется от распределителя РАС (К реализуется на МОП – ключах).

Входная импульсная последовательность с требуемым числом импульсов формируется с помощью Сr1 и ключа Кл. Число от ОШ через ПП, ДМ парал-

лельным кодом записывается в Cr1(-1). При переходе через нуль (Cr1) ключ Кл размыкается. Импульсы на выходе прекращаются.

Выходной последовательный код формируется с помощью CP1, т.е. в этом случае CP используется как преобразователь параллельного кода в последовательный. Принимаемый от объекта контрольный сигнал в виде напряжения постоянного тока преобразуется в параллельный с помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Получаемый код через M2, ПП поступает на ОШ. Входной последовательный код преобразуется в параллельный с помощью CP2. Входная импульсная последовательность поступает на счетный вход (+) Cr2. Параллельный код с выхода Cr2 поступает через M2 и ПП на шину ОШ.

## 2.2. Запоминающие устройства

Запоминающие устройства (ЗУ) представляют собой комплекс технических средств, предназначенный для приема, хранения и выдачи информации, представленной двоичным словом. Этот комплекс включает в себя средства адресации, накопитель информации и устройства управления, которые осуществляют запись, считывание, синхронизацию, регенерацию информации (если это необходимо) и блокирование всего ЗУ.

ЗУ в значительной степени определяет возможности и качество любой СУ. Основными параметрами ЗУ являются емкость  $V$ , разрядность  $n$ , число адресов  $N$ , время цикла  $t_{ц}$  (чтения и записи) при обращении к ЗУ за одним словом, стоимость хранения одного бита, надежность, помехоустойчивость.

Для хранения 1 бита информации требуется запоминающий элемент (ЗЭ), например триггер. Для хранения  $n$ -разрядного числа, содержащего несколько бит, требуется ячейка памяти (ЯП), состоящая из нескольких ЗЭ. При наличии  $N$  ячеек в составе ЗУ появляется необходимость установления выбора (обычно адресного) той ЯП, к которой производится обращение с целью записи или считывания информации. Таким образом, общее количество ЯП, которые входят в состав ЗУ образуют, накопитель информации ЗУ определенной емкости. Рациональная организация памяти предусматривает применение иерархической структуры ЗУ, так как с помощью одного ЗУ требуемой емкости практически невозможно реализовать высокое быстродействие при низкой стоимости. При рассмотрении классификации ЗУ обычно в этой иерархии выделяют: сверхоперативную память для хранения промежуточных данных, адресной информации и др. целей в составе самого процессора (микропроцессора); оперативную память для хранения часто используемых данных и команд; внешние ЗУ для хранения больших объемов данных и программ. ЗУ, образующие внешнюю память, как правило, реализуют в виде отдельных периферийных устройств, подключаемых к МП-системе через соответствующее сопряжение (интерфейс). Кроме того, в системах управления (СУ) применяется большое число буферных ЗУ для согласования временных параметров в процессе обмена информацией между различными устройствами СУ.

Классификация ЗУ проводится по различным признакам. Основными из них можно считать: назначение, длительность хранения и характера записи ин-

формации, способ записи и чтения информации, используемый физический эффект, тип запоминающего элемента и т.д.

Рассмотрим классификационную схему ЗУ (табл. 2.2)

В зависимости от назначения все существующие в настоящее время ЗУ можно условно разделить на внешние и внутренние.

Внешние ЗУ (ВЗУ) используются для хранения программ и данных, которые затем переписываются в ОЗУ ЭВМ (или МП). Это, так называемая, массовая память, которая должна обладать большой емкостью и низкой стоимостью 1 бита хранимой информации. В настоящее время в качестве ВЗУ обычно используются подвижные носители информации — диски, ленты, покрытые магнитным материалом. При этом чтение и запись информации осуществляется электромеханическим или оптическим способом.

Внутренние ЗУ, входящие в оперативную память, по длительности хранения информации разделяют на оперативные (ОЗУ или RAM), предназначенные для сравнительно кратковременного хранения информации, и постоянные (ПЗУ) для длительного хранения информации, обычно работающие только в режиме считывания. Как правило, в ОЗУ информация при полном отключении питания разрушается, а в ПЗУ информация хранится и при отсутствии питания.

По характеру записи информации ПЗУ делятся на однократные (ОПЗУ) и многократные (МПЗУ). В свою очередь ОПЗУ можно разделить на две группы. К первой группе относятся ЗУ, в которых запись информации в ячейки накопителя осуществляется однократно в процессе изготовления. При этом способе записи используются, как правило, индивидуальные маски (фотошаблоны), задающие порядок соединений между элементами на полупроводниковом кристалле, поэтому такие ЗУ называют масочными (ПЗУ (м) или ROM). Ко второй группе относят ЗУ, допускающие однократную запись информации (т.е. программирование) оператором. Для этого в каждый элемент ЗЭ вводят плавные переключки, которые при программировании разрушаются в необходимых местах. Такие ЗУ сокращенно обозначают ППЗУ или PROM.

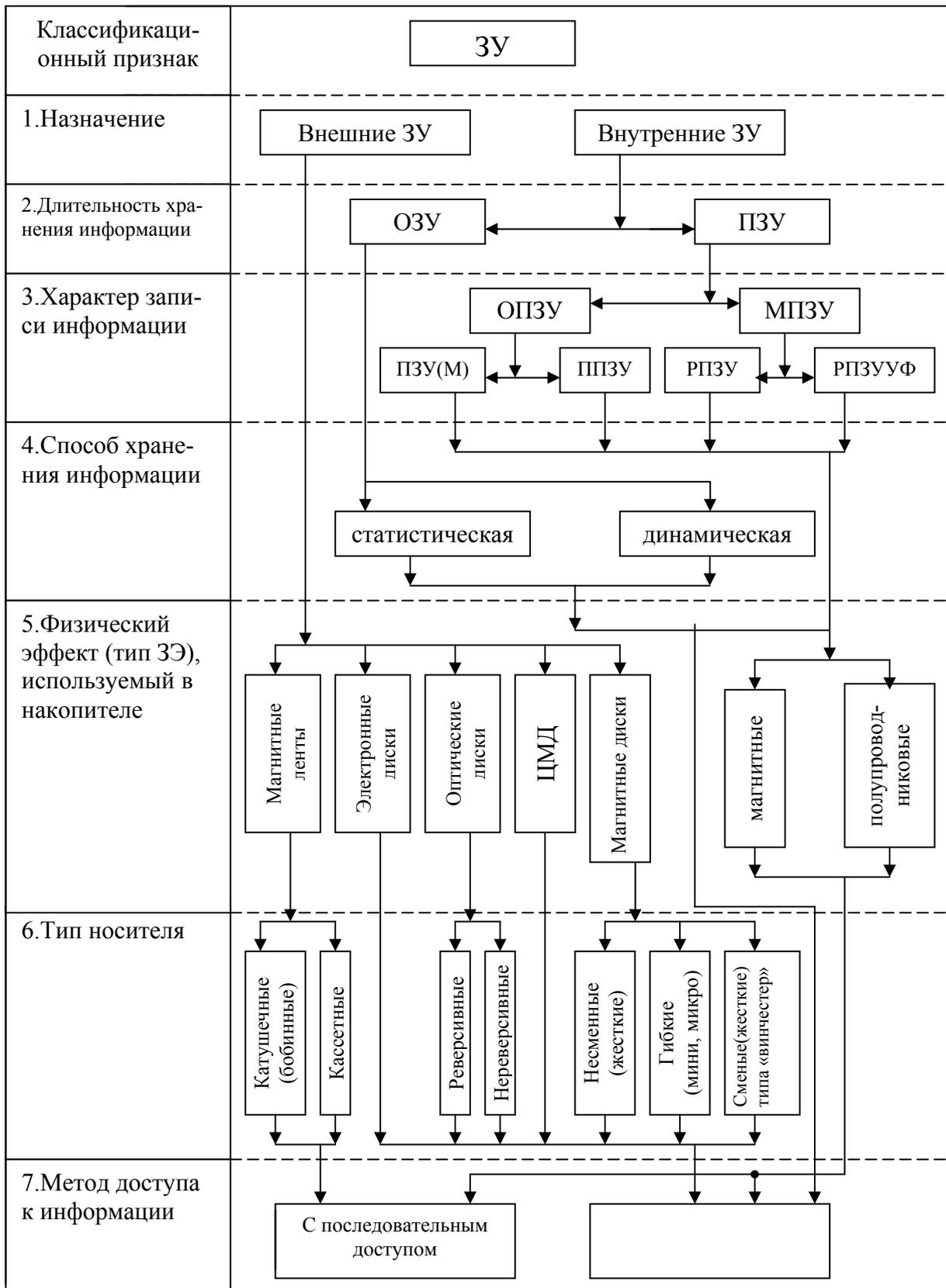


Таблица 2.2

Многokратные ЗУ (МПЗУ) допускают возможность многократного программирования (распрограммирования) после стирания предыдущей, хранившейся в них информации. При МПЗУ с возможностью электрического стирания информации, сокращенно обозначают РПЗУ или EEPROM, а МПЗУ, в которых стирание обеспечивается ультрафиолетовым облучением, сокращенно обозначают РПЗУУФ или EPROM.

Все ЗУ (и внешние, и внутренние) по способу доступа информации разделяются на ЗУ с произвольным и последовательным доступом.

ЗУ с произвольным, т.е. прямым доступом (с произвольной выборкой ЗУПВ) дают возможность обращения к отдельным ЗЭ с целью записи или считывания в любом требуемом для конкретных условий порядке, т.е. время доступа к ЗЭ не зависит от его адреса.

ЗУ с последовательным доступом (или последовательной выборкой) предполагают обращение к отдельным ЗЭ только в порядке не возрастания или убывания их адресов. Для программирования ЗУ оператором (пользователем) применяются специальные устройства — программаторы.

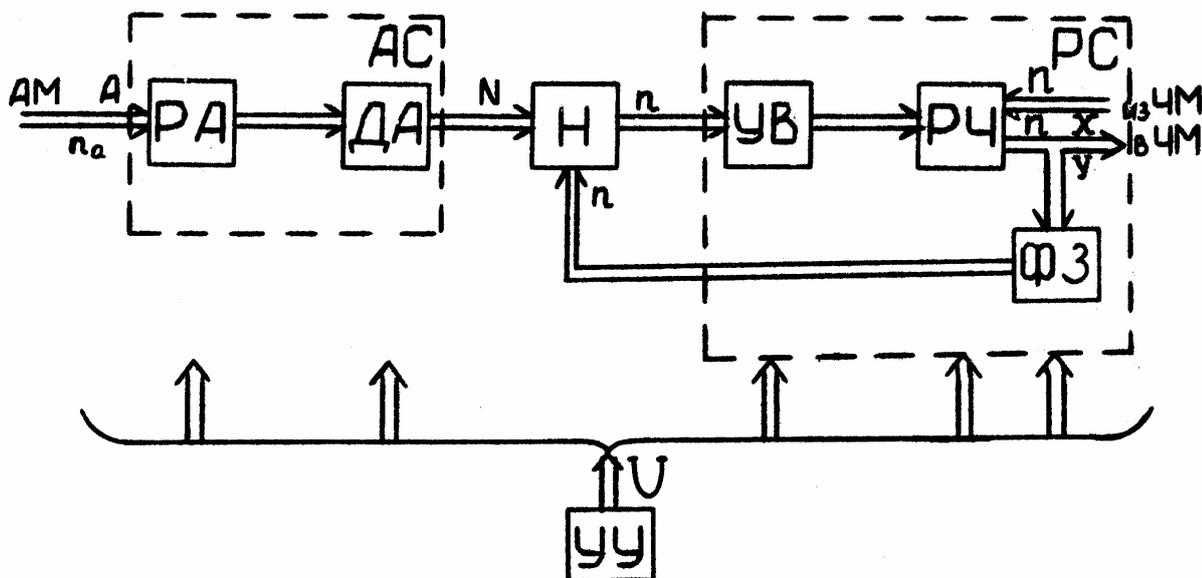


Рис. 2.2. ЗУ с произвольным доступом

Структура внутреннего ЗУ с произвольным доступом представлена на рис. 2.2. Она включает в себя три блока: адресную систему АС, накопитель Н и разрядную систему РС.

При произвольном доступе за время  $t_{\text{д}}$  по коду адреса А из накопителя Н может быть считано (записано) любое из N n-разрядных слов. Код адреса А поступает по магистрали АМ и расшифровывается системой АС, содержащей регистр РА и дешифратор ДА. Запись слова X из магистрали ЧМ производится через регистр числа РЧ и формирователи записи ФЗ.

Чтение слова Y из выбранной системы АС ячейки Н осуществляется через систему РС, включающую в себя УВ, РЧ, ФЗ.

Формирователи ФЗ возбуждаются сигналами с выходов РЧ, если слово из РЧ должно быть записано (регенерировано) обратно в Н. Весь процесс записи и

чтения слова из ЗУ происходит под воздействием вектора управляющих сигналов  $U$  из УУ.

На рис. 2.3 приведена структура ЗУ с последовательным доступом. Накопитель такого ЗУ организован по структуре сдвигового регистра (полупроводниковые ЗУ, ЗУ на магнитных доменах) или содержит носитель, перемещающийся относительно воспроизводящей системы (магнитная лента, диски, барабаны). Существуют  $N$  ЗУ с последовательным доступом (например, на линиях задержки), в которых информация перемещается в виде колебаний различной физической природы (электромагнитных, звуковых, световых).

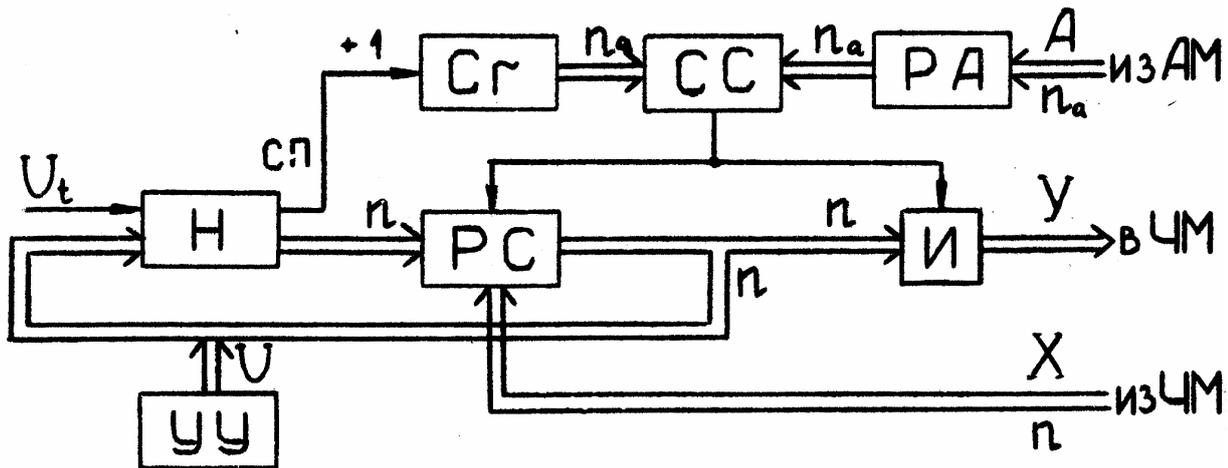


Рис. 2.3. ЗУ с последовательным доступом

Работа данного ЗУ рис. 2.3 заключается в следующем: слово  $Y$  по коду адреса  $A$  выводится в ЧМ через систему РС в том случае, когда в счетчике Сг накопилось число, равное  $A$ . Это равенство определяется схемой сравнения СС. На счетный вход «+1» счетчика поступает сигнал специального признака СП (например, сигнал с синхродорожки). Запись слова  $X$  из ЧМ производится аналогично. Процесс обращения к ЗУ происходит под воздействием вектора управляющих сигналов из УУ. Достоинства такой структуры: малые затраты на адресную систему и низкая стоимость хранения одного бита информации. Недостаток — относительно низкое быстродействие.

Понятно, что ЗУ с произвольным и последовательным доступом — пример крайних вариантов модификации структуры устройства, когда низкая стоимость достигается за счет потери производительности.

Поэтому часто используют смешанную структуру. Например, ЗУ с группой модулей, в каждом из которых реализуется последовательный доступ, а выбор одного из модулей по коду его адреса осуществляется произвольно.

Частым и все более широко применяемым типом структуры ЗУ с произвольным доступом в связи с бурным развитием БИС ЗУ является структура с поразрядной организацией. Основной особенностью такого ЗУ является автономность одного разряда ЗУ с индивидуальными адресной и разрядной системами. Внесение в корпус БИС разряда памяти, оснащенного  $A$  и  $P$  системами, является эффективным способом решения проблемы уменьшения числа внеш-

них контактов БИС ЗУ. Структура  $n$ -разрядного ЗУ с поразрядной организацией представлена на рис. 2.4.

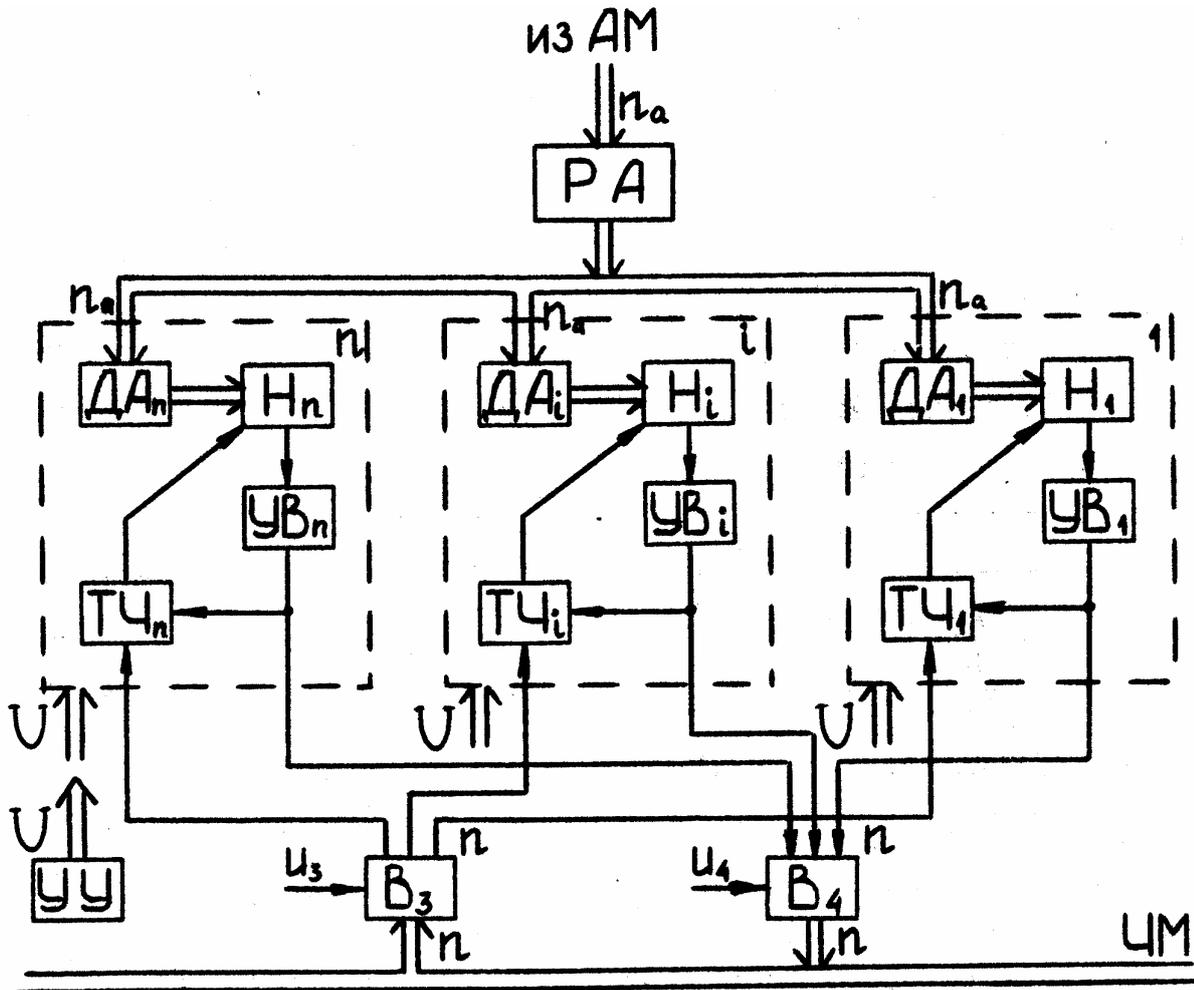


Рис. 2.4. ЗУ с поразрядной организацией

Рассмотрим кратко его работу. Обращение к ЗУ осуществляется под воздействием общего и одинакового для всех разрядов ЗУ вектора управляющих сигналов  $U$  из ОУ. Общий и одинаковый для всех разрядов ЗУ код адреса поступает параллельно на входы всех встроенных в БИС дешифраторов  $ДА_1$  —  $ДА_n$ . Связь с выхода  $УВ_i$  на триггер числа  $ТЧ_i$  в ЗУ с чтением информации без разрушения отсутствует. Чтение и запись в ЗУ происходит через числовую магистраль ЧМ с помощью вентилях  $В_4$  и  $В_3$ .

Одним из наиболее важных вопросов, стоящих перед разработчиками СУ, является оптимальный выбор разрядности ( $n$ ) ЗУ. Задача выбора  $n_{\text{опт}}$  решается при заданной емкости (объеме  $V$ ) ЗУ. Из выражения  $V = N \cdot n$  следует, что при увеличении  $n$  будут расти аппаратные затраты  $C_p = C_p \cdot n$  на разрядную систему и сокращаться затраты  $C_a = C_a \cdot N$  на адресную систему (где  $C_p$  и  $C_a$  — удельные затраты на один разряд, адрес). При этом затраты на сам накопитель при заданном объеме  $V = \text{const}$  могут быть принятыми постоянными.

Заметим, что при системном подходе к выбору  $n_{\text{опт}}$  в аппаратные затраты  $C_p$  следует включать магистраль ЧМ и операционное устройство ОУ.

Очевидно также, что с увеличением  $n$  будет увеличиваться производительность всей системы, т.к. производительность СУ считается заданной ( $T_3$ ), то следует найти такое  $n_{\text{опт}}$ , чтобы суммарные затраты  $C_{\Sigma} = C_a + C_p$  были минимальными при условии, что  $T \leq T_3$  (где  $T$  — время решения задачи управления).

Возможны два вида зависимости  $C_{\Sigma} = f_1(n)$  (рис. 2.5 а и в).

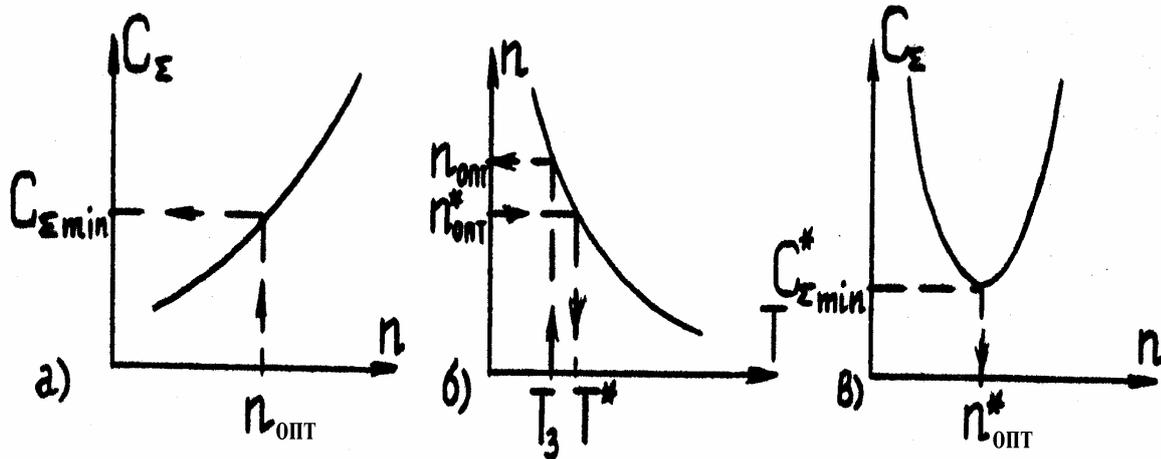


Рис. 2.5

Если  $C_{\Sigma} = f_1(n)$  не имеет экстремума (рис. 2.5, а), то исходя из заданного  $T_3$  (рис. 2.5, б) по графику  $n = f_2(T)$  определяют  $n_{\text{опт}}$  и соответствующие ему (по рис. 2.5, а) затраты  $C_{\Sigma \text{min}}$ .

Если зависимость  $C_{\Sigma} = f_1(n)$  имеет экстремум (рис. 2.5, в), то из уравнения  $\frac{\partial C_{\Sigma}}{\partial n} = 0$  определяется  $n^*_{\text{опт}}$  и соответствующие затраты  $C^*_{\Sigma \text{min}}$ .

Далее из графика  $n = f_2(T)$  (на рис. 2.5, б) находят  $T^*$  по  $n^*_{\text{опт}}$ .

Если  $T^* > T_3$ , то реальной оказывается ветвь  $C_{\Sigma} = f_1(n)$  справа от  $n^*_{\text{опт}}$  и рассматриваемый случай сводится к предыдущему (рис. 2.5, а). Если  $T^* < T_3$ , то для выбранной структуры оптимальным оказывается  $n_{\text{опт}}$ . Наконец, если получаемый при этом избыток производительности значительный, то следует искать иные структурные решения.

Как видно из рассмотренных структур ЗУ произвольного и последовательного доступа, любая схема ЗУ в общем случае включает в себя собственно накопитель и схемы адресации, управления, формирования сигналов и т.д., так называемые схемы обрамления.

Накопитель (Н) представляет собой регулярную структуру, состоящую из отдельных ЗЭ, количество которых равно числу бит хранимой информации, т.е. в накопителе отдельные ЗЭ объединяются с помощью соответствующих линий (например, в ОЗУ интегрального исполнения).

Существует два основных способа организации Н ОЗУ — словарная и матричная.

При словарной организации осуществляется одновременное обращение к нескольким ЗЭ, находящимся в строке (к одному слову, т.е. к ячейке памяти ЯП)

(рис. 2.6, а). При этом адрес выбираемой строки определяется подачей разрешающего сигнала на соответствующую адресную линию АЛ.

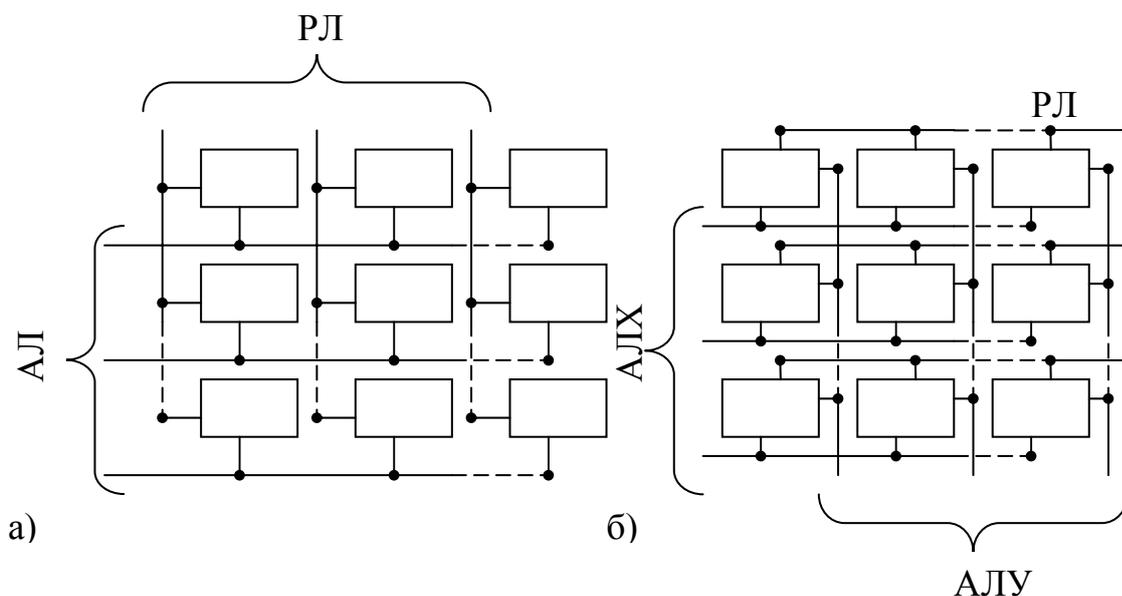


Рис. 2.6. Словарная (а) и матричная (б) организация накопителя

При матричной организации накопителя (Н) обеспечивается обращение к каждому ЗЭ независимо от других (рис. 2.6, б). Следовательно, в этой структуре выбор нужного ЗЭ задается пересечением соответствующих АЛ по координатам X и Y, на которые поданы разрешающие сигналы. Съем информации (при чтении) или записи новой информации осуществляется и в той и другой структуре по разрядным линиям РЛ.

Здесь уместно вспомнить, что по способу хранения информации, существующие ЗУПВ и, в частности, ОЗУ разделяют на статические и динамические ЗУ. Так, например, в статических БИС ОЗУ используются бистабильные ЗЭ, а в динамических хранение информации осуществляется за счет заряда специально сформированных в структуре полупроводника конденсаторов. Такие ЗЭ имеют более простую структуру по сравнению с бистабильными и занимают меньшую площадь на полупроводниковом кристалле, однако в процессе хранения информации нуждаются в периодическом восстановлении состояния (регенерации). В ряде БИС ЗУ система регенерации встраивается в ЗУ и работает автоматически. Этот тип ЗУ иногда называют квазистатическим.

Структура наиболее полно соответствующая статическому ОЗУ с матричным накопителем представлена на рис. 2.7, а динамического ОЗУ на рис. 2.8. Рассмотрим кратко действия этих схем.

В структуре статического ОЗУ (рис. 2.7) на основе двоичного кода адресной матрицы АМ с помощью  $ДА_X$  и  $ДА_Y$  формируются разрешающие сигналы по одной строке и одному столбцу Н, определяя адресованную ячейку Н. Устройство УУ задает режим работы ЗУ в соответствии с комбинацией сигналов  $\overline{CS}$  и  $\overline{WR}/RD$ . Значение  $\overline{CS}=1$  соответствует невыбранному устройству. При этом отсутствует прием информации по входу D1, а выход D0 (если он может прини-

мать три состояния) находится в состоянии «ВЫКЛ». В этом случае БИС данного ЗУ работает в режиме хранения информации.

Подача сигнала  $\overline{CS}=0$  определяет выбор данной БИС для записи или считывания. Информация со входа D1 через усилитель записи УЗ записывается в адресованную ячейку при  $\overline{WR}/RD=0$ , а считывается через усилитель УС из адресованной ячейки Н при  $\overline{WR}/RD=1$ . Причем сигнал  $\overline{CS}$  кроме своего основного назначения (выбор – не выбор устройства) дополнительно играет роль синхросигнала, определяющего начало записи или считывания информации.

Типовая структура БИС динамического ОЗУ (рис. 2.8) предназначена для хранения MN одноразрядных чисел. Адреса чисел задаются (m+n) – разрядным кодом, одна часть которого адресует строки, другая – столбцы Н. Адреса строк и столбцов подаются по одним и тем же выводам БИС в два приема. Режимы работы задаются комбинацией сигналов  $\overline{CAS}$ ,  $\overline{RAS}$ ,  $\overline{WR}/RD$  подаваемые на ЗУ сигналы  $\overline{CAS}$  и  $\overline{RAS}$  определяют обращение к БИС для записи, считывания и регенерации.

Поступление по АМ m- разрядного кода строки фиксируется в регистре РА по разрешению сигнала  $\overline{RAS}$  (логический нуль). При этом дешифратор строк ДА<sub>х</sub> обеспечивает выборку одной из М строк Н. В случае отсутствия разрешающего значения сигнала  $\overline{CAS}$  (так же логический нуль) за достаточно короткое время будет произведена регенерация строки. Она предусматривает передачу информации из всех ЗЭ адресованной строки в N двунаправленных усилителей У с последующей записью информации в те же ЗЭ. Следовательно, формируя на АМ последовательность адресов строк и передавая в ЗУ эти адреса с помощью сигнала  $\overline{RAS}=0$ , можно за М тактов обеспечить полную регенерацию. Это время обычно не превышает 2 мс.

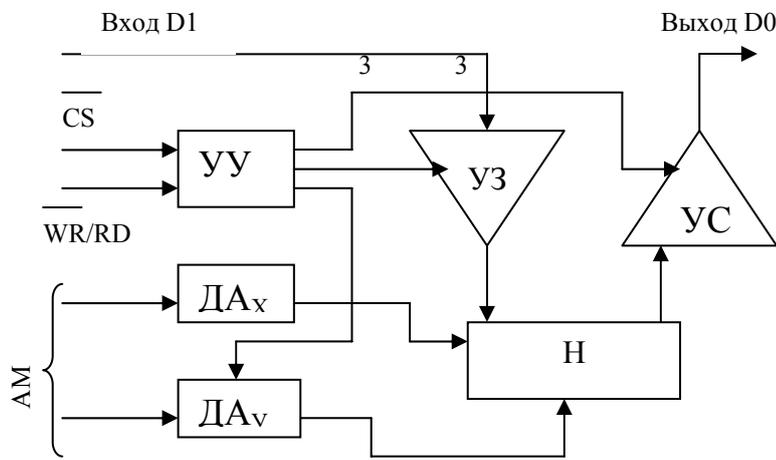


Рис. 2.7. Структурная схема статического ОЗУ

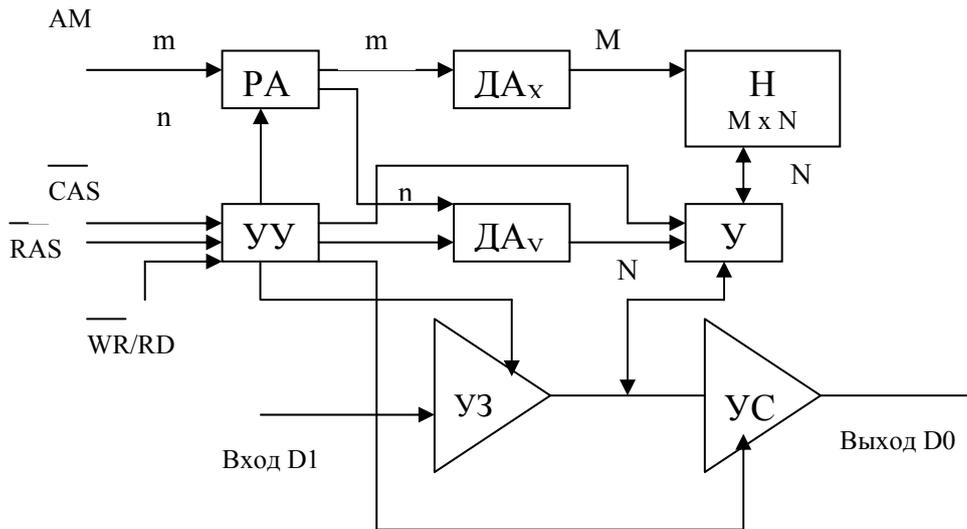


Рис. 2.8. Структурная схема динамического ОЗУ

Для обращения к определенному ЗЭ для записи или считывания информации необходимо после адресации строки сформировать на АМ  $n$ -разрядный адрес столбца. Этот код по сигналу  $\overline{CAS}=0$  через  $ДА_v$  обеспечит выбор одного из  $N$  двунаправленных усилителей  $У$ . При этом режиме работы (запись или считывание) будет определяться сигналом  $\overline{WR/RD}$ , который присутствует к моменту формирования значения  $\overline{CAS}=0$ . Если  $\overline{WR/RD}=1$ , то произойдет считывание информации из адресованного ЗЭ с передачей через усилитель  $УС$  на выход  $D0$ . При  $\overline{WR/RD}=0$  будет произведена запись информации, присутствующей на входе  $D1$  через усилитель  $УЗ$ . При этом следует помнить, что время цикла считывания и записи информации задается сигналом  $\overline{RAS}$ .

Вышеизложенный материал в основном касается принципов построения накопителей ОЗУ и структур построения внутренних ЗУ.

Представляет определенный интерес более подробное рассмотрение вопросов, связанных с принципами построения накопителей внешних ЗУ, а в более широкой постановке, вопросов, связанных с организацией массовой памяти.

Внешние ЗУ (ВЗУ), как уже отмечалось, используются для хранения программ и данных, которые переписываются затем в ОЗУ для исполнения процессором (микропроцессором). ВЗУ по емкости памяти значительно превышают внутренние ЗУ (ОЗУ и ПЗУ).

Как и внутренние ЗУ, внешние ЗУ по способу доступа к информации делятся на ВЗУ с произвольным (прямым) и последовательным доступом.

ВЗУ прямого доступа обеспечивают поиск данных за время, не зависящее от их размещения на носителе и положения механизма доступа в момент начала доступа. При этом поиск производится по адресу или ключу, наличие которого позволяет рассматривать данные, хранящиеся на носителе ВЗУ, как адресное пространство (внешней памяти). Подсоединение и управление ВЗУ осуществляется контроллером, который в зависимости от организации системы ввода-вывода может присоединяться к основным компонентам вычислительной системы (процессору, системной магистрали, каналу и пр.). Подключение ВЗУ к своему контроллеру осуществляется через интерфейс, стандартизируемый в пределах одного класса накопителей ВЗУ.

Существующие ВЗУ прямого доступа — это устройства регистрации данных на перемещающейся магнитной среде, где каждая физическая запись имеет адрес, по которому осуществляется произвольный доступ к записанным данным. По физическому принципу, используемому в накопителях, различают ВЗУ на магнитных (НМД); оптических (НОД) и электронных (ЭД) дисках, а также цилиндрических магнитных доменах (ЦМД).

Наиболее широко в настоящее время в качестве накопителей ВЗУ используются магнитные диски, которые по типу носителя могут быть сменными жесткими (НМДс), несменными жесткими (НМДн) типа «Винчестер» и гибкими (НГМД). Накопители на постоянных МД разработаны для обеспечения большой емкости при высокой скорости обмена данными и выборки информации. Например, жесткие НМД типа «Винчестер» имеют значительную емкость от 20 Мбайт до 100 Мбайт в пакете и выше и имеют скорость передачи данных в 10 — 20 раз больше, чем гибкие НГМД диски. Особенностью накопителя типа «Винчестер» является то, что и диски с нанесенной информацией, и головки записи/чтения, и привод головок помещены в герметично закрытую конструкцию, в которой постоянно циркулирует и фильтруется воздух. При этом зазор между головками и поверхностью диска очень мал (0,5 мкм) и достаточно мало давление прижима головки (порядка 10 г), причем, когда диск не вращается, головки находятся в специальной посадочной зоне на поверхности диска. Все это вместе взятое и ряд еще дополнительных конструктивных тонкостей позволяют НМД типа «Винчестер» при существенной достаточно большой емкости иметь и более высокие надежность показатели.

Появление и широкое использование накопителей на гибких магнитных дисках НГМД, называемых также флоппи-дисками или дискетами, определяется их небольшими габаритами и массой, низкой стоимостью и энергонезависимостью. Кроме того, емкость НГМД постоянно растет за счет увеличения плотности записи, плотности дорожек, использованию в качестве рабочих обеих сторон диска и т.д.

Однако накопители на жестких и гибких магнитных дисках в настоящее время достигли уже своих предельных характеристик. И поэтому дальнейшее совершенствование накопителей ВЗУ идет по пути использования других физи-

ческих принципов их построения с целью дальнейшего повышения емкости накопителей, их надежности и понижения стоимости.

Одним из таких примеров совершенствования накопителей является применение накопителей на оптических дисках (НОД). Основными достоинствами НОД являются высокая плотность записи информации (по крайней мере, на порядок выше, чем на любом магнитном носителе), универсальность, т.е. пригодность для хранения информации, заданной в различной форме, возможность быстрой перезаписи огромных емкостей информации и длительного хранения дисков, снятых с привода, а также низкая удельная стоимость хранения на бит информации.

В настоящее время выпускаются два типа НОД: накопители на компакт-дисках КД ПЗУ и накопители на оптических дисках с однократной записью CD-ROM. КД ПЗУ по формату напоминает звуковой КД, но отличается от него введением дополнительной избыточности. Емкость такого диска со стандартным диаметром 120 мм, составляет 540 Мбайт и более, что эквивалентно суммарной емкости нескольких сотен НГМД.

Помимо накопителей на КД ПЗУ имеются компактные накопители с диаметром диска 133 мм с однократной записью. В таких дисках данные могут однократно записываться пользователем лазерным лучом и многократно производить считывание (при сниженной мощности лазера).

Однако стирание информации, также как и в КД ПЗУ, невозможно. Диски с однократной записью имеет заранее подготовленные дорожки и жесткий формат. В отличие от КД ПЗУ они работают при постоянной частоте вращения, что позволяет значительно уменьшить время поиска информации, хотя при этом несколько сжимается емкость диска. Емкость диска диаметром 133 мм с однократной записью составляет 100 – 250 Мбайт на сторону. Пользователь приобретает диски «пустыми» («чистыми») либо частично заполненными необходимой информацией.

Перспективные накопители на нереверсивных (нестираемых) оптических дисках при том же диаметре диска 133 мм имеют емкость накопителя от 0,5 до 1,0 Гбайта и выше (достаточно для записи полного текста Большой Советской Энциклопедии).

Производство таких дисков осуществляется на специальных установках, где информация записывается лазерным лучом большой мощности, выжигающим микрометки 0 и 1 по концентрическим окружностям на стеклянных дисках, с которых затем, как по матрице, изготавливают пластиковые копии, приобретаемые пользователями. Считывание информации производится лучом мало-мощного лазера, который, различным образом (из-за разной отражательной способности) отражаясь от микрометок 0 и 1, воспринимается фотоприемниками (обычно фотодиодами).

Основным недостатком описанных выше магнитных и оптических накопителей (НМД и НОД) является необходимость механического движения носителя (диска), что уменьшает их быстродействие и несколько снижает надежность.

В некоторой степени альтернативой дисковым накопителям считаются устройства на цилиндрических магнитных доменах (ЦМД) и приборах с зарядовой связью (ПЗС).

### **Запоминающие устройства на ЦМД**

Для ЭВМ повышенной надежности и портативных ЭВМ перспективны ЗУ на цилиндрических магнитных доменах, которые характеризуются отсутствием механических узлов, высокой стойкостью к пыли и грязи, широким диапазоном рабочих температур, а также возможностью предварительной сортировки и логической обработки данных в самом накопителе.

В общем случае ЗУ на ЦМД состоит из контроллера и накопителя в виде одного или нескольких идентичных модулей. Каждый модуль выполнен на отдельной печатной плате, на которой расположены от одной до четырех магнитных интегральных схем (МИС), называемых иногда ЦМД-микросхемами, и вспомогательные схемы управления. Модуль накопителя также выполняется в виде отдельной съемной кассеты в изолированном корпусе.

Принцип действия накопителя на ЦМД основан на образовании в тонких пленках некоторых магнитных материалов (в основном гранатов редкоземельных элементов) крошечных цилиндрических доменов («пузырьков») и на передвижении их внешним магнитным полем. Когда на пленку действует поле смещения  $H$ , домены, направление собственных полей которых противоположно направлению  $H$ , сокращаются в размере и принимают форму цилиндров с диаметром в несколько микрометров. Поле  $H$  создается постоянным магнитом.

Домены передвигаются вращающимся магнитным полем вдоль пермалловых доменопродвигающих структур (аппликаций), имеющих Т-образную и шевронную конфигурацию. Вращающееся с частотой около 100 кГц магнитное поле создается парой сдвинутых по фазе токов  $I_x, I_y$ . Токи подаются в катушки, охватывающие корпус микросхемы.

Таким образом, появляется возможность построить память в виде длинного регистра сдвига, в котором наличие домена означает единицу, а отсутствие — ноль. Как и все магнитные устройства, такая память оказывается энергонезависимой и не требует непрерывной регенерации: токи  $I_x, I_y$  можно выключить и содержимое памяти сохраняется неизменным.

Генерирование доменов осуществляется с помощью проводника, изогнутого по форме шпильки. При пропускании через него импульса тока высотой порядка 1 А возникает магнитное поле, напряженности которого достаточно для инверсии ориентированных доменов в магнитном слое. Подключение генератора на вход регистра сдвига позволяет вводить в регистр последовательные двоичные данные. Импульс тока противоположного направления вызывает исчезновение (аннигиляцию) домена, что при необходимости реализуется операцией стирания. Для восприятия домена используется магниторезистивный эффект в некоторых материалах, например в пермаллоевых. Вначале с помощью расширителя осуществляется вытягивание домена, чтобы увеличить выходной сигнал детектора. Когда растянутый домен проходит под столбцом последовательно включенных пермалловых шевронов, сопротивление столбца изменяется, что приво-

дит к формированию считанного сигнала в несколько милливольт. Подавление помех производится с помощью мостовой схемы, в два плеча которой включены рабочий и фиктивный магниторезисторы. В некоторых структурах памяти необходима операция дублирования (раздвоения или репликации) домена, которая реализуется импульсом тока, подаваемым в специальный проводник.

Простейшая структура памяти имеет вид последовательной петли, показанной на рис. 2.9. Основу прибора составляет длинный регистр сдвига емкостью 16 Кбит и более, в котором данные циркулируют под воздействием вращающегося магнитного поля. Ввод данных осуществляется с помощью проводников стирания и записи. Первый из них уничтожает домены в тракте рециркуляции, а второй генерирует домены при записи единиц. Для считывания с помощью репликатора создаются копии доменов, находящихся в регистре сдвига, и направляются в магниторезистивный детектор. Недостаток такой структуры заключается в сравнительно большом времени обращения к произвольному биту, которое в среднем равно времени сдвига домена на половину длины регистра.

Котроллер обеспечивает управление работой накопителя и его подключение к системной магистрали ЭВМ. Он выполняется на стандартных ИМС, специализированных БИС, на основе МП наборов и МП общего назначения.

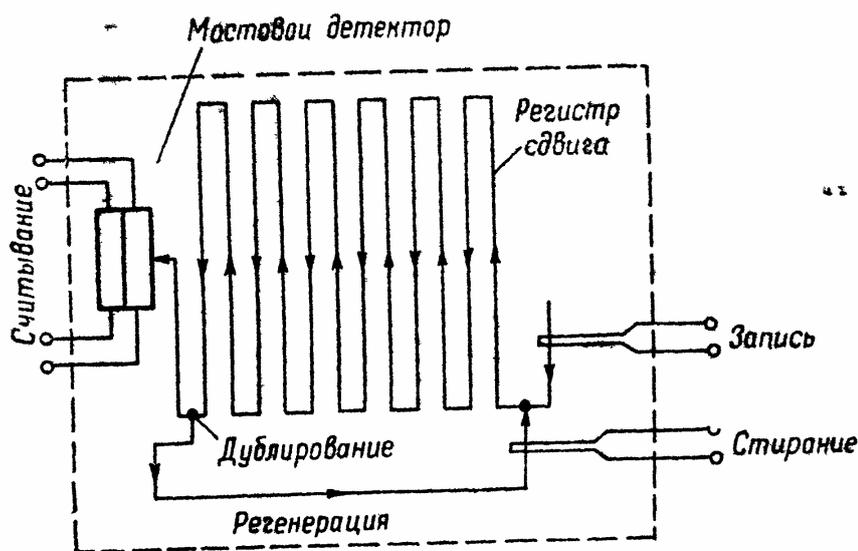


Рис. 2.9. Последовательная ЦМД-память

Основными характеристиками ЗУ на ЦМД являются емкость МИС — 0,256 – 1 Мбит, число МИС в накопителе 1 – 32, среднее время доступа 6 – 12 мс, скорость передачи данных 12,5 – 50 – 200 Кбит/с.

В отказоустойчивых ЗУ на ЦМД применяются известные программные методы повышения надежности (корректирующие коды Хэмминга, Фабри и т.д.), которые позволяют практически полностью устранять случайные сбои при считывании информации.

### Запоминающие устройства на ПЗС

Действие ПЗС-памяти основано на передаче зарядовых пакетов по цепочке емкостей (конденсаторов), образованной в МОП-структуре. Передачей

управляют внешние сигналы синхронизации. Прибор аналогичен набору регистров сдвига, хранящиеся в которых биты представлены наличием или отсутствием зарядов. ПЗС-память оказывается энергозависимой и требует непрерывной регенерации.

Металлические электроды на поверхности подложки представляют собой линейный массив близко расположенных МОП-емкостей, выполняющих функции запоминающих элементов. Когда на электрод подается положительное напряжение, основные носители в р-легированной подложке отталкиваются, и под электродом образуется обедненный слой. На границе диэлектрик — кремний создается потенциальная яма для неосновных носителей (электронов). Распространению потенциальной ямы по поверхности кремния препятствуют специальные области полупроводника.

Обедненный слой заполняется электронами от соседних областей канала или от схемы инжекции заряда. Если разместить МОП-емкости так близко друг от друга, что их потенциальные ямы смогут перекрываться, то заряд неосновных носителей накапливается в том месте, где поверхностный

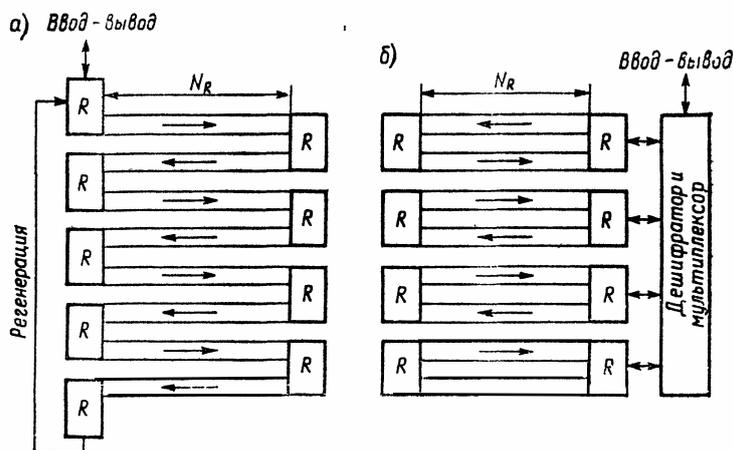


Рис. 2.10. Структуры приборов ПЗС-памяти

потенциал выше. В соответствии с гидравлической аналогией можно считать, что заряд (как жидкость) течет в наиболее глубокую часть потенциальной ямы.

В синхронной змеиной структуре, приведенной на рис. 2.10, а, все хранимые биты сдвигаются по одному тракту и синхронизируются одной и той же частотой  $f_c$ . Запоминающие элементы образуют один регистр сдвига, в который включены промежуточные усилители восстановления  $R$ . Число бит  $N_R$  между усилителями зависит от эффективности передачи и минимальной частоты синхронизации в пассивном режиме. Среднее время обращения составляет  $\frac{MN_R}{2f_c}$ , где  $M$  — число сегментов змеины. Время обращения в операции считывания сокращается, если каждый сегмент имеет отдельный выход. Недостаток змеиной структуры заключается в том, что все биты сдвигаются с одной частотой синхронизации, определяемой скоростью передачи данных. При работе на высокой частоте кристалл потребляет значительную энергию, а источник синхроимпульсов должен иметь мощный выход. Кроме того, большое число усилителей сокращает полезную площадь кристалла и емкость прибора. В неко-

тывания сокращается, если каждый сегмент имеет отдельный выход. Недостаток змеиной структуры заключается в том, что все биты сдвигаются с одной частотой синхронизации, определяемой скоростью передачи данных. При работе на высокой частоте кристалл потребляет значительную энергию, а источник синхроимпульсов должен иметь мощный выход. Кроме того, большое число усилителей сокращает полезную площадь кристалла и емкость прибора. В неко-

торых приборах имеется несколько серпантинных, например девять, по 1024 бита каждый. Ввод и вывод осуществляются по девяти двунаправленным линиям с тристабильными буферами.

На рис. 2.10, б показана ПЗС-память с петлевой организацией записи, в которой все запоминающие элементы по-прежнему работают с одинаковой частотой синхронизации. Каждая автономная петля имеет усилитель регенерации. Содержимое одной петли считывается последовательно, и для получения высокой скорости передачи данных требуется мощный источник синхроимпульсов.

Среднее время обращения к памяти составляет  $\frac{N_R}{f_c}$ . Если, например,  $N_R = 128$  бит и  $f_c = 2$  МГц, среднее время обращения равно 64 мкс. На кристалле должен размещаться дешифратор адреса, выбирающий для записи или считывания адресуемую петлю.

Широкое применение ПЗС-памяти пока сдерживается сложной технологией и высокой стоимостью. В некоторых случаях отрицательную роль играет энергозависимость ПЗС-памяти.

В заключение отметим, что кроме ЗУ на ПЗС одним из перспективных принципов построения ВЗУ в настоящее время является использование голографического метода накопления информации. Основным достоинством является то, что голографический метод допускает наличие пыли или дефектов на накопительной среде, т.к. голограмма — это не изображение самой картины распределения битов информации, а ее преобразование Фурье. Это свойство имеет особенно большое значение при записи с высокой плотностью, т.к. в этом случае площадь накопителя, имеющая царапины и покрытая частицами пыли, может значительно превышать размеры участка, соответствующего одному ЗЭ.

Большая информационная емкость голограммы, чрезвычайно высокая степень помехозащищенности, малые размеры, возможность записи двумерных массивов данных позволяют создавать ЗУ с плотностью записи порядка  $10^{11}$  –  $10^{12}$  бит/см<sup>2</sup> и более.

Голографическое ЗУ представляет собой фотоноситель (например, фотоэмульсия), на котором регистрируются голограммы числовых массивов, обычно в виде комбинаций светлых и черных точек транспоранта. Для считывания информации, отклоняющая система направляет считывающий (опорный) луч на фотоноситель, в точку с заданными координатами. Восстановленное изображение проецируется на систему фотоприемников, на выходе которых производится считывание числа.

Дополнительным достоинством голографического ЗУ является возможность ввода и считывания информации не только поэлементно, но и блоками, в виде двумерных матриц – транспорантов. Это позволяет создать, например, мощные архивные ЗУ, информация в которых хранится в виде удобных для использования текстов. Для построения голографических ЗУ большой емкости и высокого быстродействия перспективно также использование прозрачных сегнетоэлектриков, термомагнитных (магнитооптических), жидкокристаллических, термопластических и других материалов. Более подробно по этим вопросам можно ознакомиться в специальной литературе.



## **Введение**

Анализ современного развития техники, как показывают отечественные и зарубежные публикации, позволяет выявить следующие устойчивые тенденции:

- время создания новых образцов изделий от зарождения идеи до серийного производства сокращается в 2 раза через каждые 20 – 25 лет;
- число вновь разрабатываемых изделий удваивается через каждые 12 – 15 лет;
- сложность изделий по числу используемых элементов, узлов, устройств удваивается через каждые 8 – 10 лет;
- объем научно технической информации, перерабатываемой при создании новых образцов техники, удваивается через каждые 5 – 8 лет.

Приведенные данные четко определяют тенденции быстрого обновления и повышения сложности современных технических систем и устройств и ужесточение требований к качеству и срокам их проектирования. Таким образом, проблемы развития традиционных и разработки новых принципов и методов проектирования являются чрезвычайно актуальными. При этом огромную роль играет бурное развитие вычислительной техники и информатики, теории и практики автоматизированного проектирования.

В данном учебном пособии рассматриваются общие вопросы проектирования технических систем, а также вопросы структурного проектирования технических систем различного типа. Данная работа является первой частью учебного пособия по курсу «Проектирование технических систем»

## Оглавление

### Введение

#### **Глава 1.** Общие принципы проектирования технических систем

- 1.1 Системы управления и их классификация
- 1.2 Основные этапы проектирования
- 1.3 Этап составления ТЗ
- 1.4 Этап эскизного проектирования
- 1.5 Этап технического проектирования
- 1.6 Принципы проектирования ТС на современном уровне техники

#### **Глава 2.** Структурное проектирование устройств преобразования аналого-цифровой информации

- 2.1 Назначение и структуры типовых цифровых устройств
- 2.2 Запоминающие устройства
- 2.3 Устройства управления
- 2.4 Операционные устройства
- 2.5 Назначение и структура построения АЦП И ЦАП
- 2.6 Микро ЭВМ и микроконтроллеры (МК)
- 2.7 МП средства обработки информации
- 2.8 Отечественные МП и МК
- 2.9 Зарубежные МП и МК

**Министерство образования Российской Федерации**  
**Московский Государственный институт Электроники и Математики**  
**(Технический университет)**

**В.Р. Матвеевский**

**Проектирование технических систем**  
**(учебное пособие)**

**Москва 2003г.**