

**Министерство образования Российской Федерации**  
**Северо - Западный государственный заочный технический университет**

**Р. Н. Парахуда, В. И. Шевцов**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ**

**Утверждено редакционно - издательским советом университета  
в качестве письменных лекций**

**Санкт-Петербург  
2002**

УДК 53.08:681.3(075.8), 621.317.3(7)

Парахуда Р. Н., Шевцов В. И. Автоматизация измерений и контроля:  
Письменные лекции. - СПб., СЗТУ, 75 с.

В письменных лекциях рассматриваются вопросы, составляющие основы автоматизации измерений и контроля.

К темам, подлежащим изучению, отнесены основные принципы построения систем автоматизированного контроля, базовые элементы технического и программного обеспечения, методы и средства программирования микропроцессоров, метрологическое обеспечение автоматизированных средств измерений, контроля и испытаний.

Письменные лекции соответствуют тематическому плану лекций, представленному в рабочей программе по дисциплине «Автоматизация измерений и контроля».

Письменные лекции предназначены для студентов специальности 190800 -"Метрология и метрологическое обеспечение".

Рецензенты: Г. П. Телитченко, канд. техн. наук, ст. научн. сотр. ФГУП "ВНИИМ им. Д. И. Менделеева"; О.Г. Антонов, канд. техн. наук, доцент кафедры «Радиотехники» СЗТУ.

© Северо-Западный государственный заочный технический университет, 2002.

## Оглавление

1	Цели и задачи автоматизации.	6
2	Автоматизация измерительного процесса	7
3	Обобщенные структурные схемы процессов измерения и контроля	9
4	Основные принципы построения средств автоматизированного контроля	16
5	Базовые элементы технического обеспечения автоматических систем измерений и контроля	20
6	Элементы программного обеспечения	38
7	Методы и средства программирования	51
8	Автоматизированные средства измерений с одно- и двукратным сравнением	54
9	Автоматические средства с адаптацией чувствительности; с частотно-импульсным преобразованием	58
10	Автоматизация испытаний электронных вычислительных средств	67
11	Метрологическое обеспечение автоматизированных средств измерений, контроля и испытаний	71
	Литература	74

## Предисловие

Неотъемлемой частью технического прогресса является уровень развития промышленности, определяемый как научно-техническим потенциалом страны, так и метрологическим обеспечением промышленности.

Дисциплина "Автоматизация измерений и контроля" включена в учебный план подготовки специалиста (бакалавра) по направлению 653800 – «Стандартизация, сертификация и метрология», специальности 190800 "Метрология и метрологическое обеспечение", так как подготавливает будущего инженера-метролога к решению организационных, научных и технических задач при автоматизации измерений, контроля и испытаний.

Изучение дисциплины основывается на знаниях, полученных в результате изучения дисциплин: "Высшая математика", "Информатика", "Физика", "Теоретическая механика", "Теоретическая метрология", "Взаимозаменяемость", "Методы и средства измерений, испытаний и контроля", "Метрологическое обеспечение", "Электротехника и электроника", "Прикладная метрология" и обеспечивает освоение материала, излагаемого в дисциплинах - «Теория и расчет измерительных преобразователей и приборов» и «Информационно-измерительные системы».

При изучении дисциплины перед студентом стоит задача освоения основ теории измерительных преобразователей (ИП), изучения принципов и компонент автоматизации измерений, контроля и испытаний, ее технического, программного и метрологического обеспечения.

В результате изучения дисциплины студент должен иметь представление о проблемах автоматизации измерений и контроля и возможных подходах к их решению; знать принципы автоматизации измерений и контроля, классификацию, структурные схемы и основные характеристики автоматических средств измерений и контроля общего назначения; уметь использовать компоненты автоматизации измерений и контроля (техническое, программное и метрологическое обеспечение);

На практических занятиях и лабораторных работах студент должен приобрести навыки разработки структурных схем и расчета основных технических и метрологических характеристик автоматических средств измерений и контроля.

Дисциплина "Автоматизация измерений и контроля" относится к группе специальных дисциплин и обеспечивает дальнейшую узкопрофессиональную подготовку инженера-метролога по специальности 190800 "Метрология и метрологическое обеспечение".

## 1.Цели и задачи автоматизации

[1], [5]

Под термином «автоматизация» понимается совокупность методических, технических и программных средств, обеспечивающих проведение процесса измерения без непосредственного участия человека. Автоматизация является одним из основных направлений научно-технического прогресса. Цели автоматизации представлены в табл.1.

Таблица 1

Цели автоматизации			
Научные	Технические	Экономические	Социальные
1. Повышение эффективности и качества научных результатов за счет более полного исследования моделей	1. Повышение качества продукции за счет повторяемости операций, увеличения числа измерений и получения более полных данных о свойствах изделий.	1. Экономия трудовых ресурсов за счет замены труда человека трудом машины.	1. Повышение интеллектуального потенциала за счет поручения рутинных операций машине.
2. Повышение точности и достоверности результатов исследований за счет оптимизации эксперимента.	2. Повышение надежности изделий за счет получения более полных данных о процессах старения и их предшественниках.	2. Сокращение затрат в промышленности за счет уменьшения трудоемкости работ.	2. Ликвидация случаев занятости персонала операций в нежелательных условиях.
3.Получение качественно новых научных результатов, невозможных без ЭВМ.		3. Повышение производительности труда на основе оптимального распределения работ между человеком и машиной и ликвидации неполной загрузки при эпизодическом обслуживании объекта.	3. Освобождение человека от тяжелого физического труда и использование сэкономленного времени для удовлетворения духовных потребностей.

Самым мощным средством в интенсификации труда практически во всех сферах человеческой деятельности является широкое применение средств вычислительной техники.

Сопоставив затраты на автоматизацию с получаемой экономией, можно количественно определить ее эффективность. В качестве меры автоматизации установлено понятие “степень автоматизации”, определяемое как “автоматизированная часть выполняемых данной установкой операций”.

Обобщенная структурная схема СИ, присущая любому измерительному прибору, устройству, системе, приведена на рис. 1.1. Анализ этой схемы приводит к определению основных **задач автоматизации**.

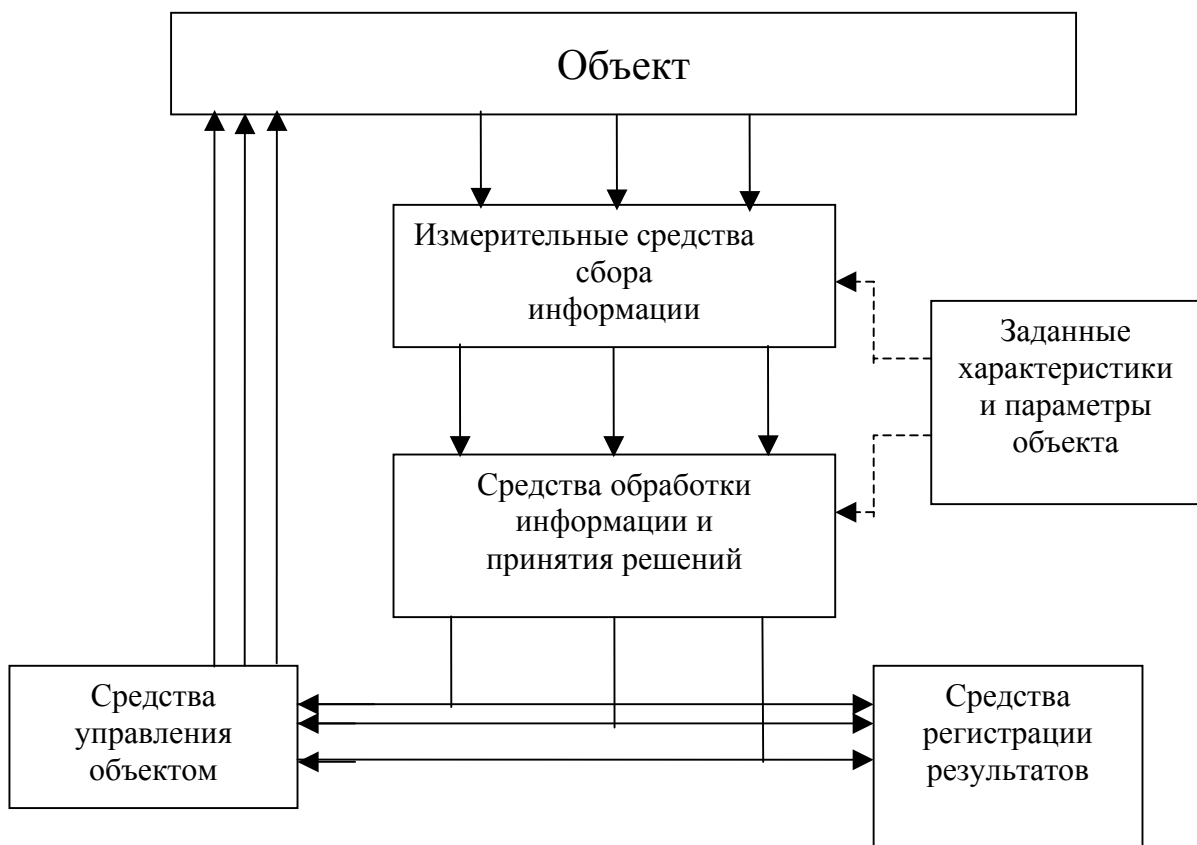


Рис.1.1 Обобщенная структурная схема средств измерений

*При автоматизации сбора измерительной информации необходимо обеспечить:*

- унификацию выходных сигналов измерительных преобразователей;
- программно-управляемую коммутацию сигналов на общий канал связи;
- автоматический выбор диапазонов измерений.

*При автоматизации операций измерительной цепи (канала) необходимо обеспечить:*

- прием информации;
  - фильтрацию;
  - усиление;
  - аналого-цифровое преобразование.
- } типовой набор операций

*При автоматизации передачи информации в ЭВМ необходимо обеспечить:*

- согласование измерительной цепи с информационной магистралью вычислительного устройства (интерфейс).

Интерфейс определяет формат передаваемой и принимаемой информации, уровни сигналов, организацию управляющих сигналов и т.д.

*Автоматизация обработки измерительной информации* предполагает:

- включение в измерительную цепь вычислительных средств (серийно выпускаемых ЭВМ);
- разработку специализированных средств на базе микропроцессорных средств.

*Автоматизация индексации и документальной регистрации результатов измерений* обеспечивается:

- периферийными выходными устройствами;
- цифро-буквопечатающими устройствами;
- графопостроителями;
- дисплеями;
- цифровыми индикаторными табло и т.д.

Выбор необходимого устройства и вывод информации на ЭВМ при этом должен осуществляться автоматически.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Дайте определение понятия "автоматизация".
2. Перечислите научные, технические, экономические и социальные цели автоматизации.
3. На основании анализа обобщенной структурной схемы СИ, сформулируйте задачи автоматизации.

## **2. Автоматизация измерительного процесса**

[1], [2], [5]

Необходимость измерения огромного количества разнообразных физических величин потребовала разработки средств измерений, позволяющих получать необходимую информацию без непосредственного участия человека, т.е. выполняющих измерения автоматически.

Автоматизация позволяет обеспечить:

- сбор измерительной информации в местах, недоступных для человека;
- длительные, многократные измерения;
- одновременное измерение большого числа величин;
- измерение параметров быстропротекающих процессов;
- измерения, характеризующиеся большими массивами информации и сложными алгоритмами ее обработки.

Следует различать полную и частичную автоматизацию. Процесс измерения, при котором обратная связь управления осуществляется без участия человека называется *автоматическим*. Если оператор является одним из звеньев в цепи получения измерительной информации – речь идет об *автоматизированных* измерениях.

Автоматизация измерений не принижает роль исследователя, инженера или техника, планирующих и использующих результаты измерений. Наоборот, она повышает производительность их труда, требует от них более

высокого уровня знаний не только средств измерений но и тех задач, которые решаются при приеме и обработке измерительной информации, умения заложить оптимальную программу измерений и дать правильное толкование результатов измерения.

Автоматические средства измерений в процессе своего развития прошли ряд этапов становления.

На *первом этапе* развития автоматизации подвергались лишь средства сбора измерительной информации и ее регистрации на аналоговых индицирующих и регистрирующих устройствах. Обработку результатов измерений и выработку соответствующих решений и исполнительных команд осуществлял оператор. В подобных системах управления объектом средства измерений представляли собой набор отдельных измерительных приборов. В результате при измерении большого числа параметров объекта оператор был не в состоянии охватить всю полученную информацию и принять оптимальное решение по управлению объектом. Это приводило к расширению штата обслуживающего персонала, к снижению надежности и качества управления и возрастанию эксплуатационных расходов.

На *втором этапе* все возрастающие требования к средствам измерений, обусловленные интенсификацией потоков измерительной информации, привели к созданию *информационно – измерительных систем*. В отличие от измерительного прибора информационно – измерительная система обеспечивает измерение большого количества параметров объекта и осуществляет автоматическую обработку получаемой информации с помощью встроенных в систему вычислительных средств. В задачу оператора системы управления теперь стали входить только принятие решений по результатам измерений и выработка команд управления. Централизованный сбор информации и ее обработка с помощью средств вычислительной техники резко повысило производительность труда, но не освободило его от ответственности за управление объектом, обслуживаемого системой.

На *третьем этапе* развития появились информационно-управляющие системы и информационно – вычислительные комплексы, в которых осуществляется полный замкнутый цикл обращения информации от ее получения до обработки, принятия соответствующих решений и выдачи команд управления на объект без участия оператора. Главное достоинство таких систем заключается в том, что алгоритм работы систем стал программно – управляемым, легко перестраиваемым при изменении режимов работы или условий эксплуатации объекта. Труд оператора сводится к диагностике состояния системы управления, разработке методик измерения и программ функционирования. Выделение этапов развития СИ является приближенным и зависит от тех направлений науки и техники, в которых исследуются вопросы применения измерительной техники.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Дайте характеристику основным этапам развития автоматизированных



измерений.

2. В чем отличие от измерительного прибора от информационно – измерительной системы?

### 3. Обобщенные структурные схемы процессов измерения и контроля

[1], [2], [5], [7], [8]

#### 3.1. Схема процесса измерения и ее анализ с точки зрения автоматизации

Типовая схема автоматизированных измерений изображена на рис. 3.1. Объектом измерения может быть некоторый процесс, явление или устройство. Измеряемые величины воспринимаются датчиками, с выходов которых электрические сигналы поступают на коммутатор. Коммутатор повышает коэффициент использования измерительной установки при многоканальных измерениях. Опрос датчиков может быть циклическим (параметры однородны и стационарны), программным (параметры стационарны, но неоднородны) или адаптивным (параметры нестационарны).

Электрический сигнал с выбранного коммутатором датчика преобразуется в цифровой код в АЦП. Интерфейс обеспечивает сопряжение измерительного канала с ЭВМ. Далее измерительная информация подвергается обработке по заданной программе в ЭВМ и представляется в удобной форме на экране дисплея или отпечатанной на бумаге. База данных (БД) предназначена для хранения необходимой измерительной и справочной информации.

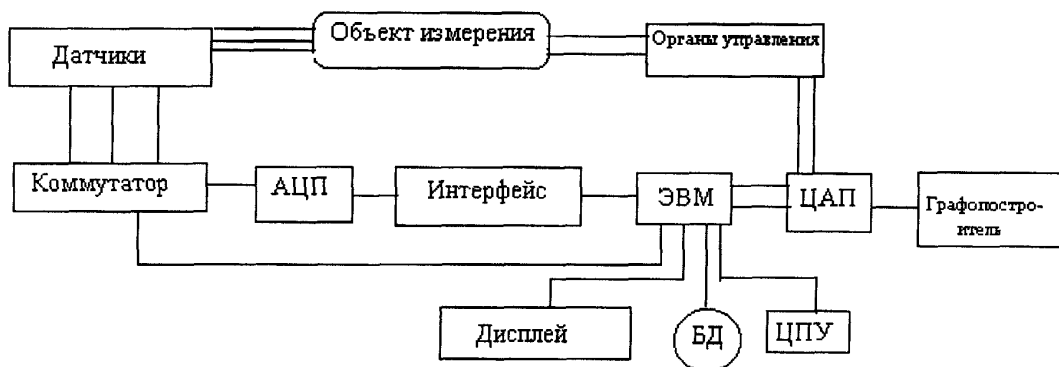


Рис. 3.1. Обобщенная структурная схема процесса автоматизированного измерения

ЦАП используется для двух целей: представление результатов измерений в аналоговой форме с дальнейшим их преобразованием в графическую форму и преобразования команд ЭВМ в аналоговые сигналы с целью управления объектом измерений. Канал управления позволяет активно воздействовать на объект (нагревать, охлаждать, облучать, деформировать, перестраивать), следя одновременно за реакцией его на эти воздействия. Наличие ЭВМ позволяет производить вычислительный эксперимент.

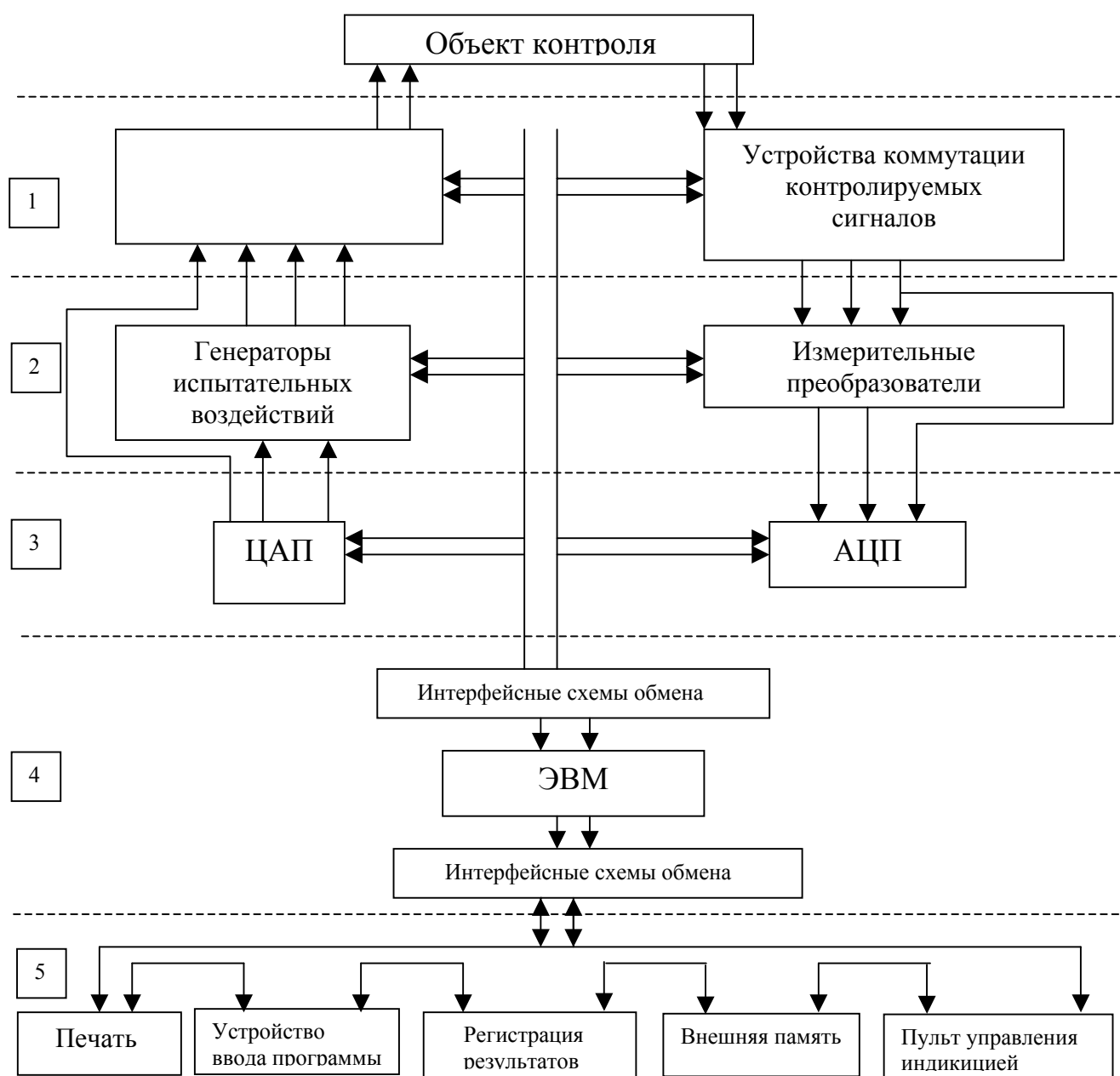
### 3.2 Процесс контроля и возможности его автоматизации

Процесс контроля сводится к проверке соответствия объекта установленным техническим требованиям. Сущность контроля (ГОСТ 16504 – 81) заключается в проведении двух основных операций:

- получение информации о фактическом состоянии объекта, о признаках и показателях его свойств (первичная информация);
- сопоставление первичной информации с заранее установленными требованиями, нормами, критериями (вторичная информация).

Заранее установленные требования к объекту контроля могут быть представлены в виде образцового изделия или в виде перечня определенных параметров и их значений с указанием полей допуска.

Граничные значения областей состояния контролируемого параметра называют **нормами**.



Отличие измерения и контроля состоит в том, что **при измерении** измеряемую величину сравнивают с единицей определенной физической величины с целью получения количественной информации, а **при контроле** физический параметр сравнивают с его нормой с целью определения отклонений данного параметра (качественная характеристика объекта – “годен”-“не годен”).

Совокупность технических средств, с помощью которых выполняются операции автоматического контроля, называются **системами автоматического контроля (САУ)**. Данные системы являются одним из основных звеньев САУ и автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП).

На рис. 3.2 приведена обобщенная структурная схема системы автоматического контроля. Кратко рассмотрим основное назначение составных частей, входящих в эту систему.

*Подсистема коммутации и связи* – служит для непосредственного подключения системы к объекту контроля. Она может осуществляться с помощью проводных или кабельных линий, либо использования высокочастотного радиоканала. В состав подсистемы входят устройства коммутации контролируемых и стимулирующих сигналов.

*Подсистема ИП и генераторов испытательных воздействий* – содержит преобразователи различных физических величин, нормализаторы их выходных сигналов в унифицированные электрические сигналы, а также генераторы испытательных сигналов, формирующие воздействия на объект контроля.

*Подсистема согласующих преобразователей* - состоит из преобразователей унифицированных аналоговых сигналов в код (АЦП – для сигналов напряжения, тока и частотно-цифровые – для частотных сигналов) и обратных преобразователей «код – аналог» для формирования испытательных воздействий.

*Операционная подсистема* – представляет собой специализированную ЭВМ, которая может быть выполнена на микропроцессорных комплексах БИС.

*Подсистема ввода – вывода* – включает устройства, обеспечивающие связь оператора с системой (пульт управления, дисплей, электрические пишущие машины и др.), устройства регистрации информации, внешние долговременные запоминающие устройства, а также средства подготовки и ввода программ, например, программ управления ЭВМ ( загрузчики, ассемблеры, редакторы, монитор и т.д.).

Принципы сопряжения ЭВМ с другими подсистемами основаны на применении стандартных каналов передачи данных.

### 3.3 Обзор обобщенных схем измерительных систем

#### 3.3.1 Структурные схемы ИС с аналоговой и цифровой передачей сигнала

Для измерения небольшого количества величин с относительно невысоким быстродействием, характерна структурная схема, приведенная на рис. 3.3. Выходные электрические сигналы с измерительных преобразователей (ИП) через коммутатор (КМ) поочередно поступают на передающий (выходной) преобразователь (ВП), согласующий выходы ИП с каналом связи (КС). Приемный преобразователь (ПП) выделяет информационный сигнал, который после первичной обработки и усиления на устройстве аналоговой обработки (УАО) поступает в АЦП и после преобразования – на индикатор результатов измерения (ИР). Оценку полученной информации и выработку управляющих воздействий осуществляет оператор. Данная система предназначена лишь для сбора и отображения измерительной информации.

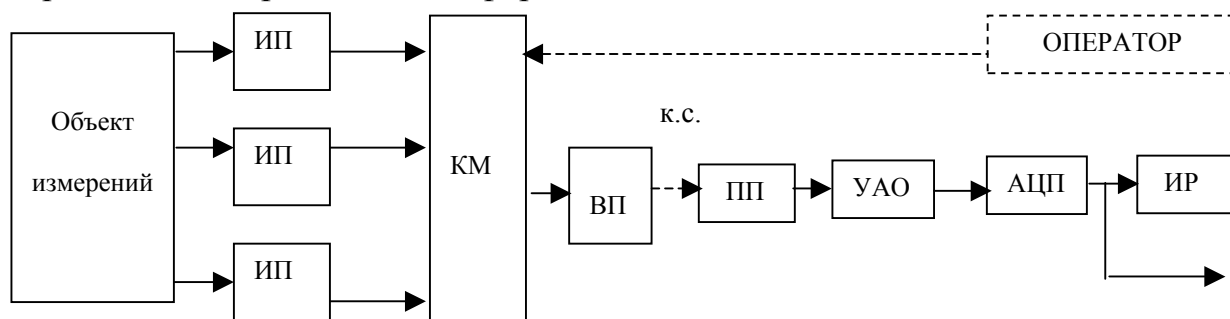


Рис.3.3. Измерительная система с аналоговой передачей информации

Передача по КС информации в цифровой форме отличается большой помехозащищенностью. На рис. 3.4 представлена структурная схема системы с цифровой передачей информации. АЦП, выполненные по интегральной

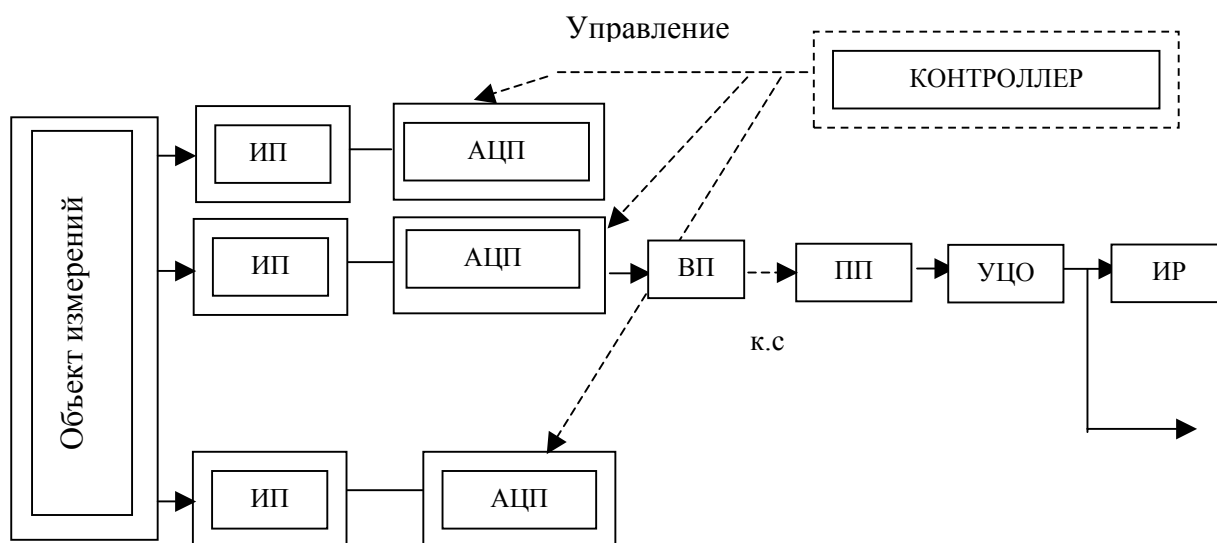


Рис. 3.4. Измерительная система с цифровой передачей информации

технологии, позволяют конструктивно объединять АЦП с каждым ИП объекта.

Это дает возможность отказаться от аналогового коммутатора, вносящего искажения, и на приемной стороне осуществлять ряд операций обработки с помощью устройства цифровой обработки (УЦО), такие как усреднение, сравнение, вычитание, накопление и хранение информации.

Для организации управления процессом измерения вводится логическое управляющее устройство с “жестким” алгоритмом – “приборный контроллер”, автоматически задающий длительность такта измерения, управление регистрацией и цифровой обработкой результатов измерений. Введение в систему уже довольно простых вычислительных средств значительно расширяют ее возможности по обработке информации. Введение **микропроцессорного контроллера** позволяет сделать более гибким алгоритм работы и при этом отказаться от блока УЦО, т.к. контроллеры в таком случае могут обрабатывать информацию.

### 3.3.2. Структуры сопряжения приборов и устройств с ЭВМ.

Система, имеющая *интерфейс радиального типа*, состоит из отдельных приборов, измеряющих значения ограниченного числа исследуемых физических величин (рис. 3.5).

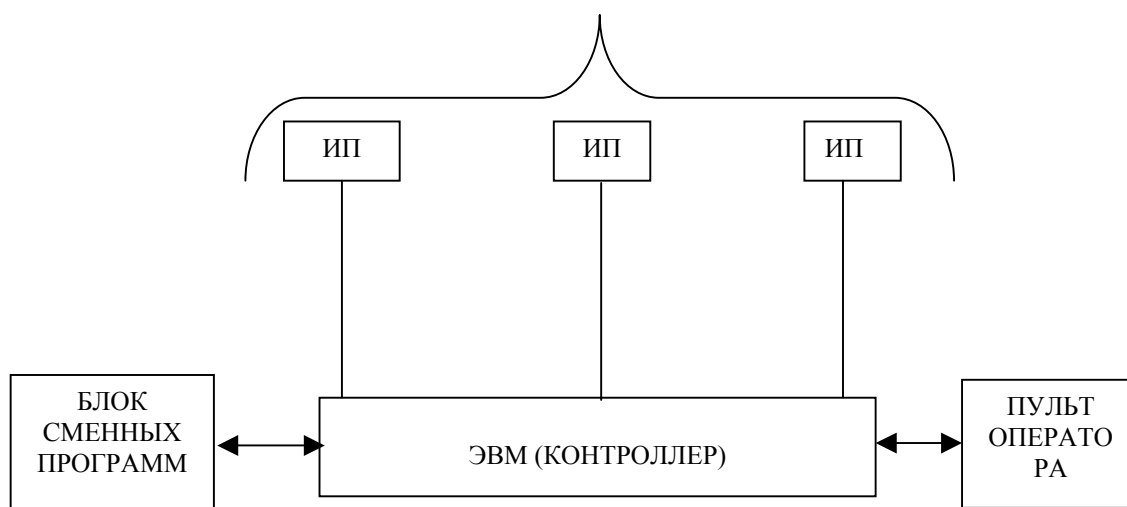


Рис.3.5. Обобщенная структура ИС с ЭВМ (радиальный интерфейс)

Передача информации от приборов к ЭВМ происходит под управлением специальной программы и требует создания для каждого из них специфического интерфейса, т.к. каждый прибор соединяется с ЭВМ индивидуальным кабелем.

Недостатки радиальной структуры сопряжения:

1. ЭВМ должна иметь столько входов, сколько к ней подключено устройств;
2. Громоздкость структуры;

### 3. Ограничение возможности перестройки и наращивания системы.

*Магистральная структура сопряжения* характеризуется наличием сквозного канала передачи данных (системного канала обмена информацией), равноправием всех подключенных устройств и асинхронным принципом обмена.

Каждое из подключенных устройств может быть передатчиком информации, приемником или контроллером. Это позволяет на основе ограниченной номенклатуры приборов и устройств создавать разнообразные системы.

Канал передачи данных (магистральный интерфейс) распределяет информацию между отдельными элементами системы (устанавливается очередность их работы).

В измерительном приборостроении широкое распространение получила магистральная структура канала, приведенная на рис. 3.6.

*системный контроллер* координирует работу отдельных элементов системы и осуществляет изменение форматов данных и команд в процессе обмена с ЭВМ;

*шинная система* линий связи – передает сигналы (информационные и управляющие);

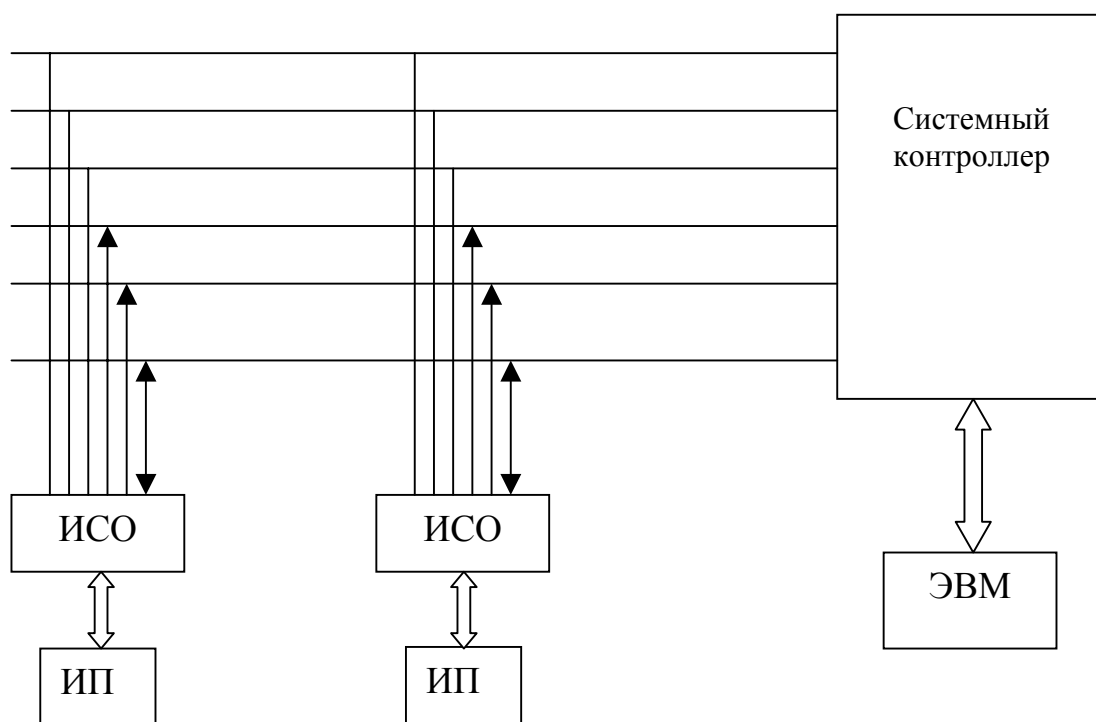


Рис.3.6. Структура канала передачи данных (магистральный интерфейс)

*интерфейсные схемы обмена (ИСО)* – связаны с шинной системой канала и измерительными преобразователями (ИП). Они обеспечивают информационную совместимость.

Примерами стандартных магистральных интерфейсов могут служить: интерфейс МЭК и система КАМАК, принципы построения которых рассмотрим ниже.

### 3.3.3. Структурная схема ИС с микропроцессорной обработкой информации и управлением

Система (рис. 3.7) содержит аналоговую измерительную подсистему (АИП), операционную подсистему и подсистему ПВВ.

Измеряемые физические величины  $X_i$  с помощью первичных преобразователей ПИП преобразуются в аналоговые сигналы  $Y_i$ , поступающие в подсистему ИЦ (измерительные аналоговые цепи), где подвергаются нормализации и первичной обработке.

В состав ИЦ входят: аналоговые коммутаторы, фильтры, детекторы, предусилители и т.д.

Унифицированный сигнал  $Y_i$ , поступает на входной преобразователь АЦП.

Операционная подсистема (ОП) – предназначена для цифровой обработки кодов АЦП, а также формирует управляющие воздействия для всех узлов системы. В качестве ОП могут использоваться мини-ЭВМ (для ИВК) или микро-ЭВМ (для ИИС).

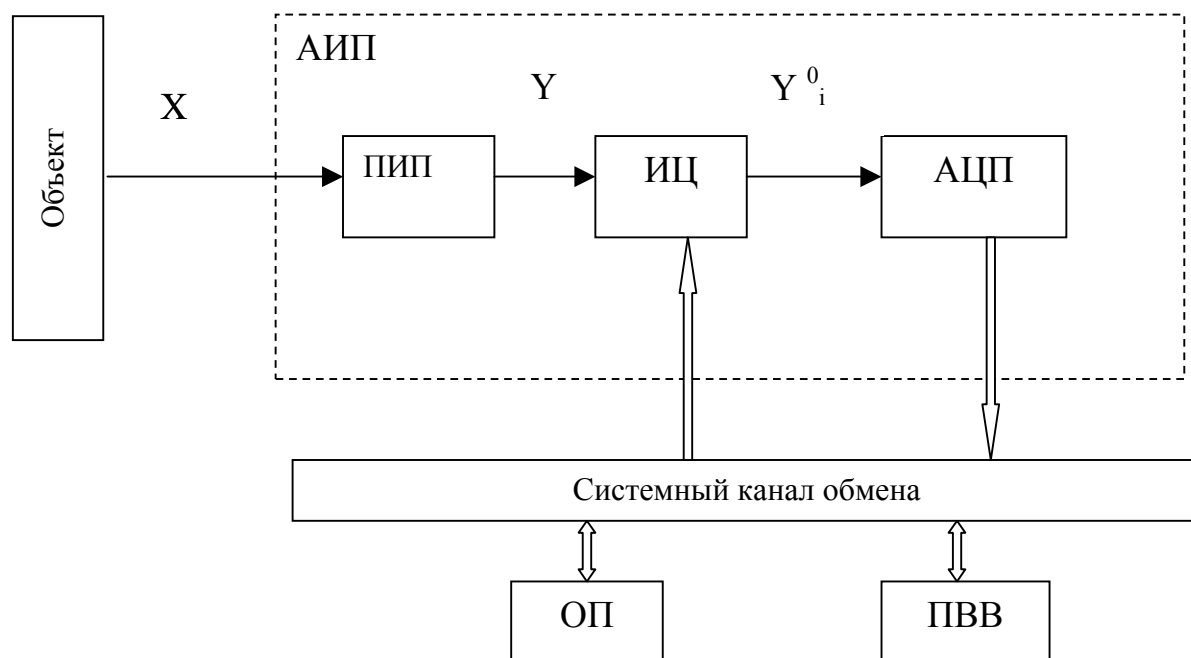


Рис. 3.7. Обобщенная структурная схема ИС с микропроцессорной обработкой информации

В системах высокой производительности широкое применение получили одноплатные ЭВМ и микропроцессорные машины на основе

микропроцессорных комплексов БИС (МПК БИС).

*Подсистема ПВВ* выполняет функции: регистрации результатов обработки на цифровых индикаторах, экранах дисплеев; документирование информации; оперативный ввод программ с магнитных дисков и т.д.; ручное управление системой с помощью пультового терминала, формирование управляющих и исполнительных сигналов обратной связи с объектом исследования.

Особое значение в системе имеет организация связи между ее подсистемами.

Обмен информацией между подсистемами осуществляется в цифровой форме через системный канал обмена (измерительная информация и результаты ее обработки, команды, адреса, сигналы управления и т.д.). Информационная совместимость между устройствами системы обеспечивается интерфейсными схемами обмена.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Дайте анализ обобщенной структурной схемы процесса измерения с точки зрения автоматизации.
2. Проведите сопоставительный анализ обобщенных схем измерительных систем с аналоговой и цифровой передачей сигнала.
3. Какие структуры сопряжения приборов и устройств с ЭВМ вы знаете?
4. Перечислите типовые подсистемы САК и поясните их назначение.
5. Как осуществляется обмен информацией между подсистемами ИС с микропроцессорной обработкой информации и управлением?

## **4. Основные принципы построения средств автоматизированного контроля**

[1], [2], [5], [9]

### *4.1 Выбор точности.*

Применение средств контроля приводит к уменьшению конструкторского (табличного допуска)  $T$  на изготовление детали (рис. 4.1а). Допуск  $T$  оставался бы неизменным при контроле, если бы контрольное СИ было идеально выполнено и настроено на границы поля допуска  $E_1$  и  $E_2$ . В действительности всегда возникает метрологическая ошибка измерения  $\pm \Delta_{мет.}$ . Чтобы ни одна из бракованных деталей не была признана ошибочно годной, необходимо уменьшить допуск  $T$  до значения технологического допуска (рис 4.1б)

$$T_{тех} = T - 4 \Delta_{мет.} \quad (1)$$

Чтобы не сужать производственный допуск и не увеличивать стоимость изделия, необходимо либо уменьшить допускаемую ошибку  $\Delta_{мет.}$ , либо сместить настройку (установить приемочные границы) вне поля допуска (рис. 4.1в), расширяя его до гарантированного значения  $T_r$ .



Конкретное сочетание ошибки измерения и измеряемого параметра является событием случайным. С учетом закона нормального распределения обеих составляющих, можно записать:

$$T = \sqrt{T_{\text{тех}}^2 + (2\Delta_{\text{мет}})^2} \quad (2)$$

Анализ формул (1) и (2) показывает, что, если  $2 \Delta_{\text{мет}}/T \approx 0,1$ , то практически весь допуск отводится на компенсацию технологических ошибок, так как при этом

$$T_{\text{тех}} / T = 0,9 \dots 0,995.$$

Согласно ГОСТ 8.051-81 пределы допускаемых ошибок измерения для диапазона 1 – 500 мм колеблются от 20% до 35% табличного допуска. Ошибка измерения включает как случайные, так и систематические ошибки (поправки) измерительных средств, установочных мер, элементов базирования и т.д.

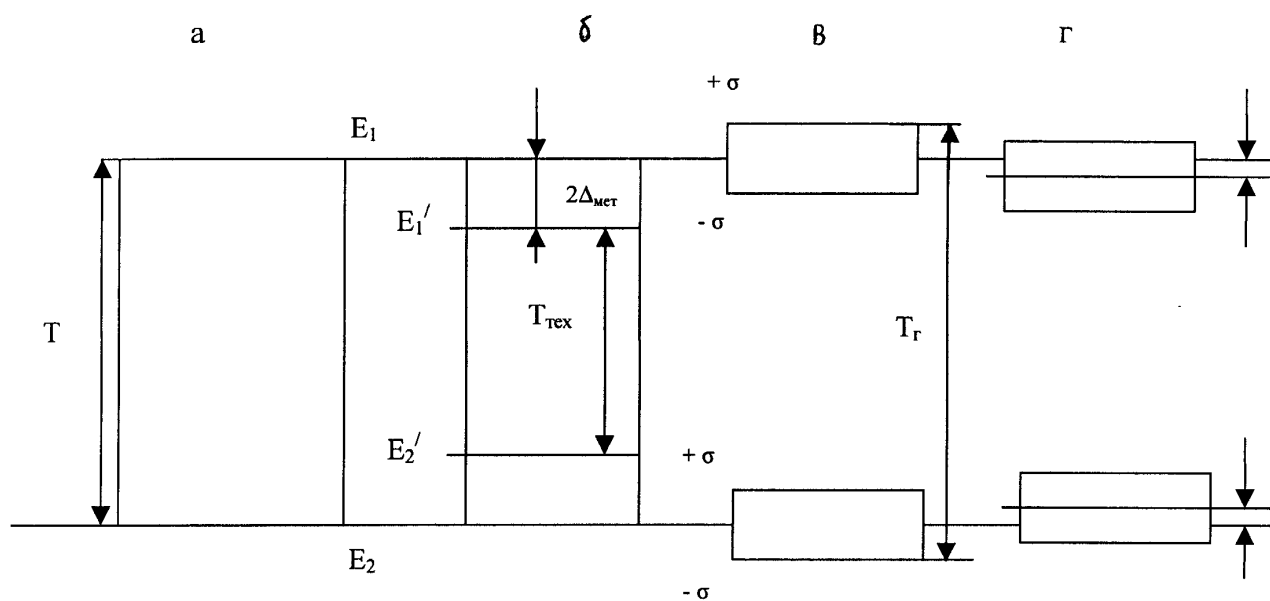


Рис. 4.1 Схема полей допусков

Случайная ошибка не должна превышать 0,6 предела допускаемой ошибки. Следовательно, точность средства контроля должна быть на порядок выше точности контролируемого параметра изделия. Экономически и технически оправданным вариантом расположения предельной ошибки контроля относительно предельного размера изделия является симметричное расположение (рис. 4.1в). Однако, при этом некоторые бракованные изделия могут быть ошибочно признаны годными. Поэтому приемочные границы смещают внутрь поля допуска изделия на величину  $C$  (рис. 4.1з). Если точность технологического процесса неизвестна, то  $C = \Delta_{\text{мет}} / 2$  (в противном случае  $C$  подлежит расчету).

В ГОСТ 8.051-81 приведены допускаемые погрешности (ошибки) контроля для размеров 1-500 мм и квалитетов 2-17.

Относительная ошибка измерения определяется:

$$A_{\text{мет}}(\sigma) = \sigma_{\text{мет}} / T,$$

где  $\sigma_{\text{мет}}$  – среднее квадратическое отклонение ошибки.

На рис.4.2 показаны кривые распределения размеров деталей ( $Y_{\text{тех}}$ ) и ошибок контроля ( $Y_{\text{мет}}$ ). Выход размера за границу допуска на величину  $C$  обусловлен областями вероятностей  $m$  и  $n$ . Таким образом, чем точнее технологический процесс, тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными, так как  $m / n = 0,1 \dots 1,1$ .

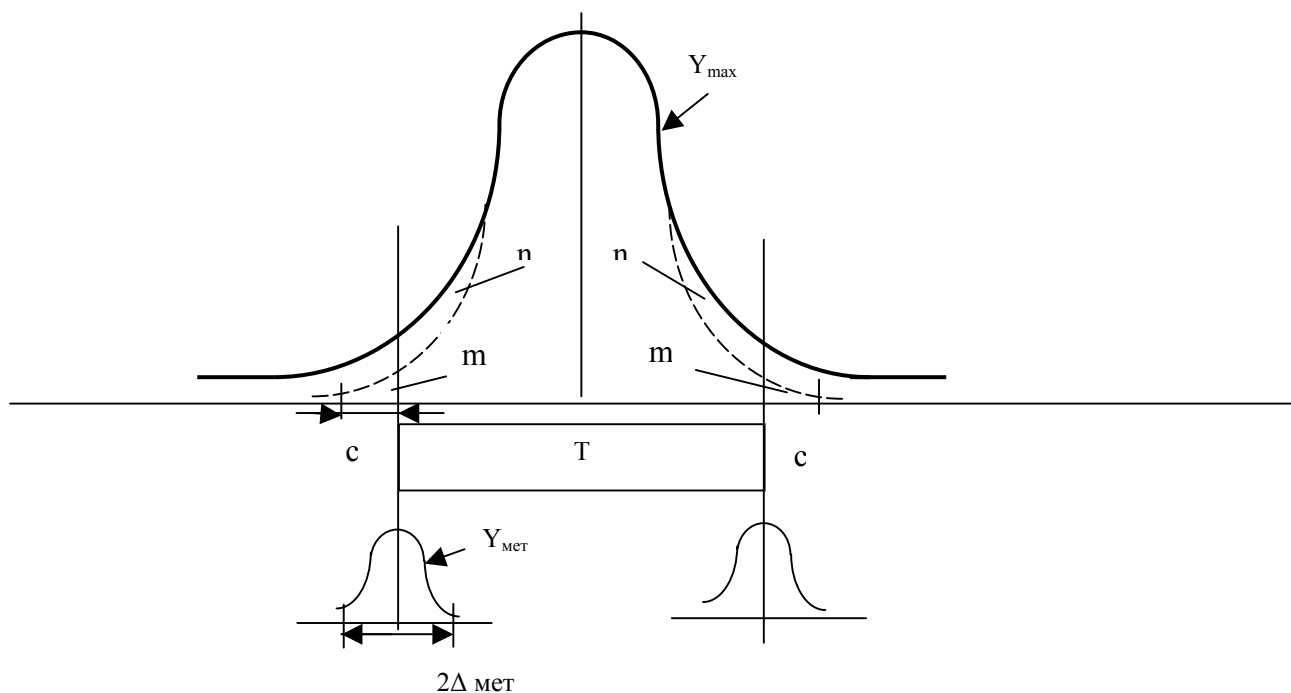


Рис.4.2. Кривые распределения ошибок размеров деталей и ошибок контроля

4.2 Принцип инверсий устанавливает связь между технологическим процессом, процессом контроля и выполнением функций при эксплуатации.

Параметры детали при эксплуатации соответствуют установленным значениям, лишь когда все три фазы ее прохождения (изготовление, контроль, функционирование) изучаются и учитываются совместно. Таким образом, точность необходимо ограничивать, исходя из функционального назначения детали; схема технологического формообразования должна соответствовать схеме ее функционирования, а схема контроля – учитывать обе последние схемы.

Выбранный метод и схему измерения считают обоснованными, если условия контроля соответствуют условиям эксплуатации и формообразования детали, а именно: траектория движения при контроле соответствует траектории движения при эксплуатации и формообразовании; линия измерения совпадает с направлением рабочего усилия при эксплуатации; метрологическая, конструкторская и технологическая базы совпадают с рабочими; физические свойства образцовой детали подобны свойствам контролируемой и т. д.

Соответствие процесса контроля принципу инверсии позволяет более полно обеспечить качественные показатели при эксплуатации.

Например, после изготовления ступенчатого вала редуктора необходимо выбрать схему контроля радиального биения поверхности А детали Д с помощью датчика П (рис. 4.3). В качестве метрологических баз следует выбрать поверхности В и В', поскольку по ним происходит контакт вала с подшипниками. Выбор других баз (С-С'; Д-Д') приведет к дополнительным ошибкам, вызванным отклонением от соосности этих элементов относительно В-В'. В осевом направлении в качестве базирующего элемента следует выбрать поверхность Е (а не С или С'), поскольку она определяет осевое положение вала. (от нее и линейные размеры следует проставлять). При вращательном движении вала в процессе измерения его траектория соответствует траектории движения при эксплуатации.

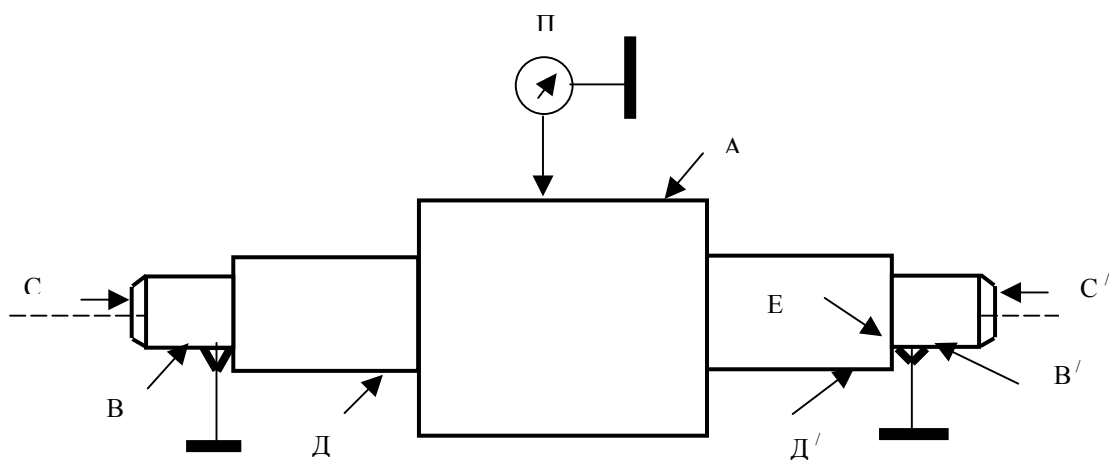


Рис.4.3. Схема контроля ступенчатого вала

#### 4.3 Принцип Тейлора

При наличии отклонений формы и взаимного расположения геометрических элементов сложных деталей в соответствии с принципом Тейлора надежное определение соответствия размеров всего профиля предписанным предельным значениям, возможно лишь в том случае, если определяются значения проходного и непроходного пределов.

Следовательно, любое изделие должно быть проконтролировано по крайней мере дважды – по двум схемам контроля: с помощью проходного и непроходного калибров. Подавляющее большинство средств контроля имеют точечный контакт с контролируемым изделием и осуществляют локальный контроль размеров в одном или нескольких сечениях. Контроль значительно усложняется, если к недопустимости попадания в годные бракованных изделий по непроходному пределу предъявляются повышенные требования. В этих случаях либо используют двух- или трехкоординатные машины, либо применяют устройства, обеспечивающие последовательный непрерывный контроль с заданным шагом текущего размера детали.

#### 4.4 Принцип Аббе

Минимальные ошибки измерения возникают, если контролируемый геометрический элемент и элемент сравнения находятся на одной линии – линии измерения. Этот принцип справедлив для поступательно перемещающихся звеньев. Последовательное расположение контролируемого и образцового элемента по одной линии приводит к увеличению габаритных размеров СИ, поэтому в ряде случаев применяют параллельное расположение сравнительных элементов, но и тогда нужно соблюдать условия, при которых ошибки измерения минимальны.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Каковы основные принципы построения средств автоматического контроля?
2. Каково соотношение неправильно принятых по сравнению с неправильно забракованными деталями в точных технологических процессах?
3. Каким должно быть соотношение точности средства контроля и точности контролируемого параметра изделия?

### 5. Базовые элементы технического обеспечения автоматических систем измерений и контроля

[1], [2], [4], [5], [7], [8], [9]

#### 5.1. Измерительные преобразователи

*Измерительный преобразователь (ИП)* – техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований или передачи (РМГ 29-99).

В зависимости от назначения ИП делятся на *масштабные*, служащие для изменения значения величины в заданное число раз, и *преобразователи рода величины*: **преобразователи электрических величин в электрические величины** (электрическая величина – в цифровой код; напряжение – в частоту); **неэлектрических величин в электрические** (терморезисторы, термопары, тензодатчики); **магнитных величин в электрические** (индукционные, гальванометрические преобразователи); **электрических величин в неэлектрические** (измерительные механизмы электромеханических приборов).

По месту, занимаемому в измерительной цепи, ИП делятся на *первичные*, *промежуточные* и т. д. На первичный ИП непосредственно воздействует измеряемая физическая величина (ФВ).

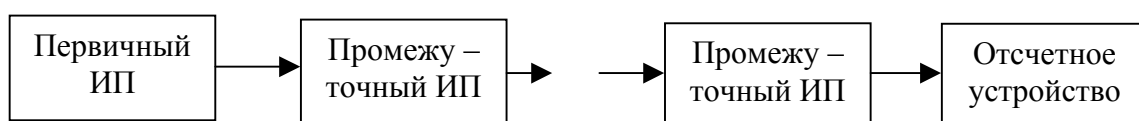


Рис. 5.1. Измерительная цепь

Конструктивно ИП выполняются либо в виде отдельных блоков, либо являются составной частью СИ.

### 5.1.1. Классификация измерительных преобразователей

Измерительные преобразователи классифицируют по роду измеряемой ФВ (температуры, давления, влажности и др.) и по выходной величине (генераторные, параметрические).

Выходным сигналом *генераторных датчиков* является ЭДС, напряжение, ток или электрический заряд, функционально связанные с измеряемой величиной. В *параметрических преобразователях* выходной величиной является изменение параметра электрической цепи ( $R, L, C$ ).

#### *Генераторные измерительные преобразователи*

**Термоэлектрические преобразователи (термопары).** Эти преобразователи применяются для измерения температуры. Принцип действия термопары поясняется рис. 5.2а, где изображена термоэлектрическая цепь, составленная из двух разнородных проводников  $A$  и  $B$ . Точки 1 и 2 соединения проводников называются спаями термопары. Если температуры  $t$  спаев 1 и 2 одинаковы, то ток в термоэлектрической цепи отсутствует. Если же температура одного из спаев (например, спая 1) выше, чем температура спаев 2, то в цепи возникает термоэлектродвижущая сила (ТЭДС)  $E$ , зависящая от разности температур спаев

$$E=f(t_1-t_2)$$

Если поддерживать температуру спаев 2 постоянной, то  $E=f(t_1)$ . Эту зависимость используют для измерения температуры с помощью термопар. Для измерения ТЭДС электроизмерительный прибор включают в разрыв спаев 2 (рис. б). Спаев 1 называют горячим (рабочим) спаем, а спая 2 — холодным (концы — 2 и 2' называют свободными концами).

Чтобы ТЭДС термопары однозначно определялась температурой горячего спаев, необходимо температуру холодного спаев поддерживать всегда одинаковой.

Для изготовления электродов термопар используют как чистые металлы, так и специальные сплавы стандартизованного состава. Градуировочные таблицы для стандартных термопар составлены при условии равенства температуры свободных концов  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На практике не всегда удается поддерживать эту температуру. В таких случаях в показания термопары вводят поправку на температуру свободных концов. Существуют схемы для автоматического введения поправок.

Конструктивно термопары выполняются в виде двух изолированных термоэлектродов с рабочим спаем, получаемым способом сварки, помещенных в защитную арматуру, предохраняющую термопару от внешних воздействий и повреждений. Рабочие концы термопары выведены в головку термопары, снабженную зажимами для включения термопары в

электрическую цепь.

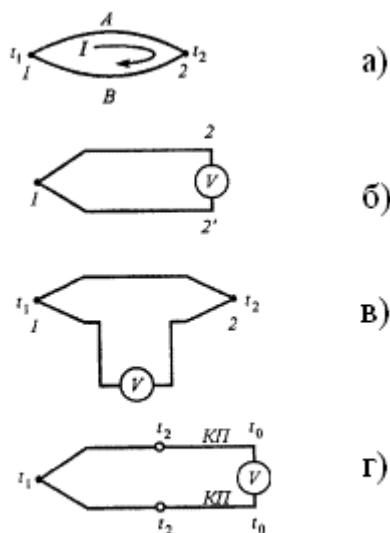


Рис. 5.2. Термоэлектрические цепи

В зависимости от конструкции термопары могут иметь тепловую инерцию, характеризующуюся постоянной времени от единиц секунд до нескольких минут, что ограничивает возможность их применения для измерения быстроменяющихся температур.

Кроме включения измерительного прибора в спай термопары возможно включение прибора «в электрод»; т.е. в разрыв одного из термоэлектродов (рис. 5.2б). Такое включение позволяет измерять разность температур. Например, может быть измерен перегрев обмоток трансформатора над температурой окружающей среды при его испытаниях. Для этого рабочий спай термопары заделывают в обмотку, а свободный спай оставляют при температуре окружающей среды.

Требование постоянства температуры свободных концов термопары вынуждает по возможности удалять их от места измерения. Для этой цели применяют так называемые удлиняющие или компенсационные провода *КП*, подключаемые к свободным концам термопары с соблюдением полярности (рис. 5.2г). Компенсационные провода состоят из разнородных проводников, которые в интервале возможных колебаний температуры свободных концов развивают в паре между собой такую же ТЭДС, как и термопара. Максимальная развиваемая стандартными термопарами ТЭДС составляет от единиц до десятков милливольт.

**Пьезоэлектрические преобразователи.** Такие преобразователи основаны на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, заключающегося в появлении электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов (кварца, турмалина, сегнетовой соли и др.) под влиянием механических напряжений. Пьезоэлектрическим эффектом обладают также некоторые поляризованные керамические материалы титанат бария, цирконат-титанат свинца).

Если из кристалла кварца вырезать пластинку в форме параллелепипеда с гранями, расположенными перпендикулярно оптической  $Oz$ , механической

Оу и электрической Ох осям кристалла (рис. 5.3),

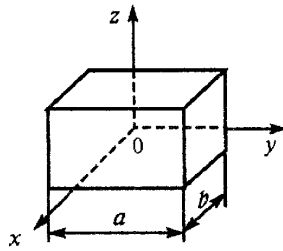


Рис. 5.3. Пластина из кристалла кварца

то при воздействии на пластину усилия  $F_x$ , направленного вдоль электрической оси, на гранях  $x$  появляются заряды

$$Q_x = K_n F_x$$

где  $K_n$  — пьезоэлектрический коэффициент (модуль).

При воздействии на пластину усилия  $F_y$  вдоль механической оси, на тех же гранях  $x$  возникают заряды

$$Q_y = K_n F_y a / b,$$

где  $a$  и  $b$  — размеры граней пластины. Механическое воздействие на пластину вдоль оптической оси появления зарядов не вызывает.

Пьезоэлектрический эффект является знакопеременным: при изменении направления прилагаемого усилия знаки зарядов на поверхности граней меняются на противоположные. Материалы сохраняют свои пьезоэлектрические свойства только при температурах ниже точки Кюри.

Керамические датчики производят по технологии, обычной для радиокерамических изделий — путем прессования или литья под давлением; на керамику наносятся электроды, к электродам привариваются выводы. Для поляризации керамические изделия помещают в сильное электрическое поле, после чего они приобретают свойства пьезоэлектриков.

Электродвижущая сила, возникающая на электродах пьезоэлектрического преобразователя, довольно значительна — единицы вольт. Однако, если сила, приложенная к преобразователю постоянна, то измерить ЭДС трудно, поскольку заряд мал и быстро стекает через входное сопротивление вольтметра. Если же сила переменна и при этом период изменения силы много меньше постоянной времени разряда, определяемой емкостью преобразователя и сопротивлением утечки, то процесс утечки почти не влияет на выходное напряжение преобразователя. При изменении силы  $F$  по закону  $F = F_m \sin \omega t$  ЭДС также изменяется синусоидальному закону.

### ***Параметрические измерительные преобразователи***

**Термометры сопротивления.** Термометры сопротивления как и термопары, предназначены для измерения температуры газообразных, твердых и жидких тел, а также температуры поверхности. Принцип действия термометров основан на использовании свойства металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление с температурой. Для проводников из чистых металлов эта зависимость в области температур от  $-200$  °С до  $0$  °С имеет вид:

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t-100)t^3],$$

а в области температур от 0 °С до 630 °С

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2],$$

где  $R_t$ ,  $R_0$  — сопротивление проводника при температуре  $t$  и 0 °С;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  — коэффициенты;  $t$  — температура, °С.

В диапазоне температур от 0 °С до 180 °С зависимость сопротивления проводника от температуры описывается приближенной формулой

$$R_t = R_0 [1 + \alpha t],$$

где  $\alpha$  — температурный коэффициент сопротивления материала проводника (ТКС).

Для проводников из чистого металла  $\alpha \approx 6 \cdot 10^{-3} \dots 4 \cdot 10^{-3}$  град<sup>-1</sup>.

Измерение температуры термометром сопротивления сводится к измерению его сопротивления  $R_t$ , с последующим переходом к температуре по формулам или градуировочным таблицам.

Различают проволочные и полупроводниковые термометры сопротивления. Проволочный термометр сопротивления представляет собой тонкую проволоку из чистого металла, закрепленную на каркасе из температуростойкого материала (чувствительный элемент), помещенную в защитную арматуру (рис. 5.4).

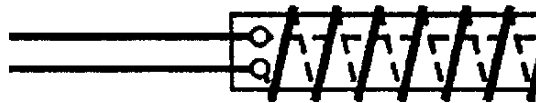


Рис. 5.4. Чувствительный элемент термометра сопротивления

Выводы от чувствительного элемента подведены к головке термометра. Выбор для изготовления термометров сопротивления проволок из чистых металлов, а не сплавов, обусловлен тем, что ТКС чистых металлов больше, чем ТКС сплавов и, следовательно, термометры на основе чистых металлов обладают большей чувствительностью.

Промышленностью выпускаются платиновые, никелевые и медные термометры сопротивления. Для обеспечения взаимозаменяемости и единой градуировки термометров стандартизованы величины их сопротивления  $R_0$  и ТКС.

Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы) представляют собой бусинки, диски или стержни из полупроводникового материала с выводами для подключения в измерительную цепь.

Промышленность серийно выпускает множество типов термисторов в различном конструктивном оформлении.

Размеры термисторов, как правило, малы — около нескольких миллиметров, а отдельные типы десятых долей миллиметра. Для предохранения от механических повреждений и воздействия среды термисторы защищаются покрытиями из стекла или эмали, а также



металлическими чехлами.

Термисторы обычно имеют сопротивление от единиц до сотен килоом; их ТКС в рабочем диапазоне температур на порядок больше, чем у проволочных термометров. В качестве материалов для рабочего тела термисторов используют смеси оксидов никеля, марганца, меди, кобальта, которые смешивают со связующим веществом, придают ему требуемую форму и спекают при высокой температуре. Применяют термисторы для измерения температур в диапазоне от  $-100$  до  $300^{\circ}\text{C}$ . Инерционность термисторов сравнительно невелика. К числу их недостатков следует отнести нелинейность температурной зависимости сопротивления, отсутствие взаимозаменяемости из-за большого разброса номинального сопротивления и ТКС, а также необратимое изменение сопротивления во времени.

Для измерения в области температур, близких к абсолютному нулю, применяются германиевые полупроводниковые термометры.

Измерение электрического сопротивления термометров производится с помощью мостов постоянного и переменного тока или компенсаторов. Особенностью термометрических измерений является ограничение измерительного тока с тем, чтобы исключить разогрев рабочего тела термометра. Для проволочных термометров сопротивления рекомендуется выбрать такой измерительный ток, чтобы мощность, рассеиваемая термометром, не превышала  $20 \dots 50$  мВт. Допустимая рассеиваемая мощность в термисторах значительно меньше и ее рекомендуется определять экспериментально для каждого термистора.

**Тензочувствительные преобразователи (тензорезисторы).** В конструкторской практике часто необходимы измерения механических напряжений и деформаций в элементах конструкций. Наиболее распространенными преобразователями этих величин в электрический сигнал являются тензорезисторы. В основе работы тензорезисторов лежит свойство металлов и полупроводников изменять свое электрическое сопротивление под действием приложенных к ним сил. Простейшим тензорезистором может быть отрезок проволоки, жестко сцепленный с поверхностью деформируемой детали. Растяжение или сжатие детали вызывает пропорциональное растяжение или сжатие проволоки, в результате чего изменяется ее электрическое сопротивление. В пределах упругих деформаций относительное изменение сопротивления проволоки связано с ее относительным удлинением соотношением

$$\Delta R/R = K_T \Delta l/l,$$

где  $l$ ,  $R$  — начальная длина и сопротивление проволоки;  $\Delta l$ ,  $\Delta R$  — приращение длины и сопротивления;  $K_T$  — коэффициент тензочувствительности.

Величина коэффициента тензочувствительности зависит от свойств материала, из которого изготовлен тензорезистор, а также от способа крепления тензорезистора к изделию. Для металлических проволок из различных металлов  $K_T = 1 \dots 3,5$ .

Различают проволочные и полупроводниковые тензорезисторы. Для

изготовления проволочных тензорезисторов применяются материалы, имеющие достаточно высокий коэффициент тензочувствительности и малый температурный коэффициент сопротивления. Наиболее употребительным материалом для изготовления проволочных тензорезисторов является константановая проволока диаметром 20 ... 30 мкм.

Конструктивно, проволочные тензорезисторы представляют собой решетку, состоящую из нескольких петель проволоки, наклеенных на тонкую бумажную (или иную) подложку (рис. 5.5). В зависимости от материала подложки тензорезисторы могут работать при температурах от -40 до +400 °С.

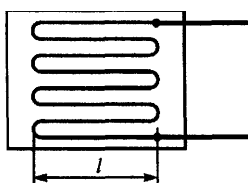


Рис. 5.5. Тензометр

Существуют конструкции тензорезисторов, прикрепляемых к поверхности деталей с помощью цемента, способные работать при температурах до 800 °С.

Основными характеристиками тензорезисторов являются номинальное сопротивление  $R$ , база  $l$  и коэффициент тензочувствительности  $K_T$ . Промышленностью выпускается широкий ассортимент тензорезисторов с величиной базы от 5 до 30 мм, номинальными сопротивлениями от 50 до 2000 Ом, с коэффициентом тензочувствительности  $2 \pm 0,2$ .

Дальнейшим развитием проволочных тензорезисторов являются фольговые и пленочные тензорезисторы, чувствительным элементом которых являются решетка из полосок фольги или тончайшая металлическая пленка, наносимые на подложки на лаковой основе.

Тензорезисторы выполняются, на основе полупроводниковых материалов. Наиболее сильно тензоэффект выражен у германия, кремния и др. Основным отличием полупроводниковых тензорезисторов от проволочных является большое (до 50 %) изменение сопротивления при деформации благодаря большой величине коэффициента тензочувствительности.

**Индуктивные преобразователи.** Индуктивные преобразователи применяются для измерения перемещений, размеров, отклонений формы и расположения поверхностей. Преобразователь состоит из неподвижной катушки индуктивности с магнитопроводом и якоря, также являющегося частью магнитопровода, перемещающегося относительно катушки индуктивности. Для получения возможно большей индуктивности магнитопровод катушки и якорь выполняются из ферромагнитных материалов. При перемещении якоря (связанного, например, со щупом измерительного устройства) изменяется индуктивность катушки и, следовательно, изменяется ток, протекающий в обмотке. На рис. 5.6 приведены схемы индуктивных преобразователей с переменным

воздушным зазором  $\delta$  (рис. 5.6а) применяемых для измерения перемещения в пределах 0,01...10 мм; с переменной площадью воздушного зазора  $S_\delta$  (рис. 5.6б), применяемых в диапазоне 5 ... 20 мм.

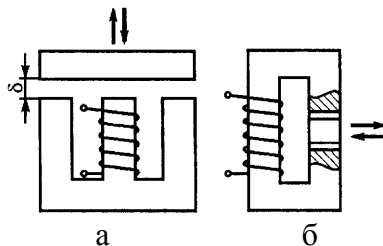


Рис. 5.6. Индуктивные преобразователи перемещений

## 5.2. Операционные усилители

Операционный усилитель (ОУ) - это дифференциальный усилитель постоянного тока с очень большим коэффициентом усиления. Для усилителя напряжения передаточная функция (коэффициент усиления) определяется выражением

$$A_v = \frac{V_0}{V_i}.$$

Для упрощения конструкторских расчетов предполагается, что идеальный ОУ имеет следующие характеристики.

1. Коэффициент усиления при разомкнутой петле обратной связи равен бесконечности.
2. Входное сопротивление  $R_d$  равно бесконечности.
3. Выходное сопротивление  $R_0 = 0$ .
4. Ширина полосы пропускания равна бесконечности.
5.  $V_0 = 0$  при  $V_1 = V_2$  (отсутствует напряжение смещения нуля).

Последняя характеристика очень важна. Так как  $V_1 - V_2 = V_0 / A$ , то если  $V_0$  имеет конечное значение, а коэффициент  $A$  бесконечно велик (типичное значение 100000) будем иметь

$$V_1 - V_2 = 0 \quad \text{и} \quad V_1 = V_2.$$

Поскольку входное сопротивление для дифференциального сигнала ( $V_1 - V_2$ ) также очень велико, то можно пренебречь током через  $R_d$ . Эти два допущения существенно упрощают разработку схем на ОУ.

*Правило 1.* При работе ОУ в линейной области на двух его входах действуют одинаковые напряжения.

*Правило 2.* Входные токи для обоих входов ОУ равны нулю.

Рассмотрим базовые схемные блоки на ОУ. В большинстве этих схем ОУ используется в конфигурации с замкнутой петлей обратной связи.

### 5.2.1. Усилитель с единичным коэффициентом усиления (повторитель напряжения)

Если в неинвертирующем усилителе положить  $R_i$  равным бесконечности,

а  $R_f$  равным нулю, то мы приходим к схеме, изображенной на рис. 5.7.

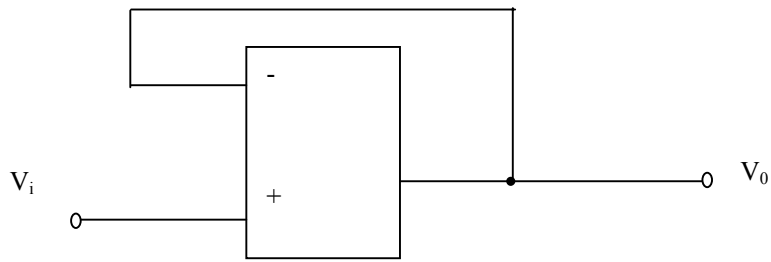


Рис.5.7. Повторитель напряжения

Согласно правилу 1, на инвертирующем входе ОУ тоже действует входное напряжение  $V_i$ , которое непосредственно передается на выход схемы. Следовательно,  $V_o = V_i$ , и выходное напряжение отслеживает (повторяет) входное напряжение. У многих аналого-цифровых преобразователей входное сопротивление зависит от значения аналогичного входного сигнала. С помощью повторителя напряжения обеспечивается постоянство входного сопротивления.

### 5.2.2. Сумматоры

Инвертирующий усилитель может суммировать несколько входных напряжений. Каждый вход сумматора соединяется с инвертирующим входом ОУ через взвешивающий резистор. Инвертирующий вход называется суммирующим узлом, поскольку здесь суммируются все входные токи и ток обратной связи. Базовая принципиальная схема суммирующего усилителя представлена на рис. 5.8.

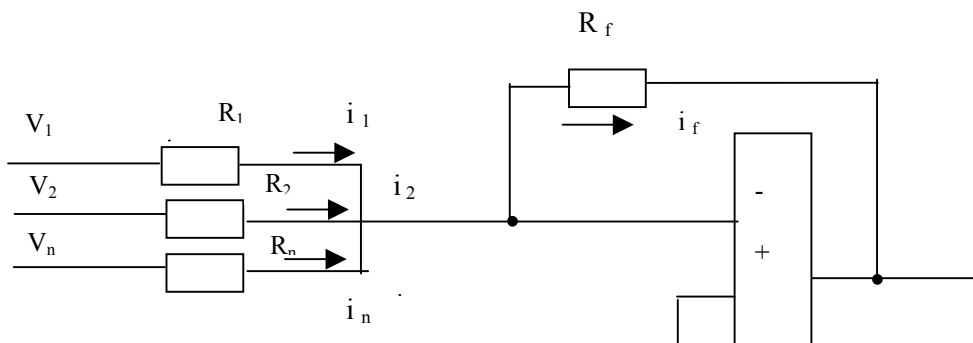


Рис. 5.8. Базовая принципиальная схема суммирующего усилителя

Как и в обычном инвертирующем усилителе, напряжение на инвертирующем входе должно быть равно нулю, следовательно, равно нулю и ток, втекающий в ОУ. Таким образом,

$$i_f = i_1 + i_2 + \dots + i_n$$

и

$$i_1 = \frac{V_1}{R_1}, i_2 = \frac{V_2}{R_2}, \dots, i_n = \frac{V_n}{R_n}.$$

Так как на инвертирующем входе действует нулевое напряжение, то после соответствующих подстановок, получаем

$$V_0 = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right).$$

Резистор  $R_f$  определяет общее усиление схемы. Сопротивления  $R_1, R_2, \dots, R_n$  задают значения весовых коэффициентов и входных сопротивлений соответствующих каналов.

### 5.2.3. Интеграторы

Интегратор – это электронная схема, которая вырабатывает выходной сигнал, пропорциональный интегралу (по времени) от входного сигнала.

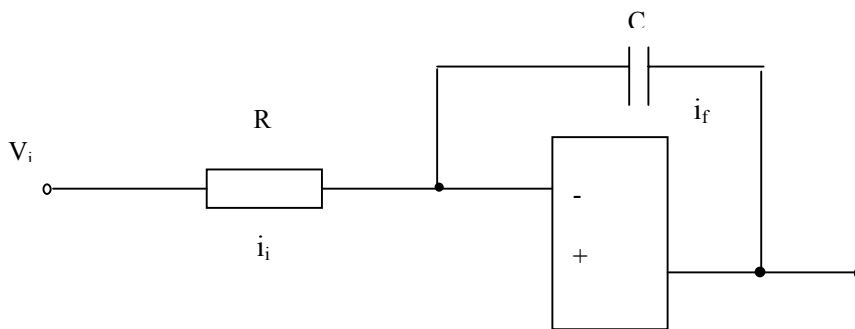


Рис. 5.9. Принципиальная схема аналогового интегратора

На рис. 5.9 показана принципиальная схема простого аналогового интегратора. Один вывод интегратора присоединен к суммирующему узлу, а другой – к выходу интегратора. Следовательно, напряжение на конденсаторе одновременно является выходным напряжением. Выходной сигнал интегратора не удастся описать простой алгебраической зависимостью, поскольку при фиксированном входном напряжении выходное напряжение изменяется со скоростью, определяемом параметрами  $V_i$ ,  $R$  и  $C$ . Таким образом, для того, чтобы найти выходное напряжение, нужно знать длительность действия входного сигнала. Напряжение на первоначально разряженном конденсаторе

$$V = \frac{i_f t_i}{c},$$

где  $i_f$  – через конденсатор и  $t_i$  – время интегрирования. Для положительного  $V_i$  имеем  $i_i = V_i/R$ . Поскольку  $i_f = i_i$ , то с учетом инверсии сигнала получаем

$$V_0 = -\frac{1}{RC} \int_0^{t_1} V_i dt + V_{ic}$$

Из этого соотношения следует, что  $V_0$  определяется интегралом (с обратным знаком) от входного напряжения в интервале от 0 до  $t_1$ , умноженным на

масштабный коэффициент  $1/RC$ . Напряжение  $V_{ic}$  - это напряжение на конденсаторе в начальный момент времени ( $t = 0$ ).

#### 5.2.4. Дифференциаторы

Дифференциатор вырабатывает выходной сигнал, пропорциональный скорости изменения во времени входного сигнала. На рис. 5.10 показана принципиальная схема простого дифференциатора.

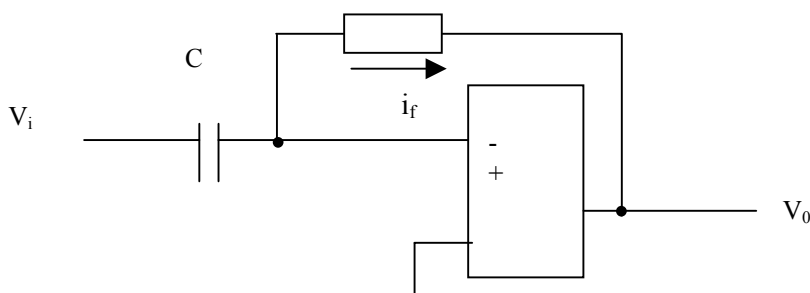


Рис. 5.10. Принципиальная схема дифференциатора

Ток через конденсатор  $i_i = C \frac{dV_i}{dt}$ .

Если производная  $\frac{dV_i}{dt}$  положительна, ток  $i_i$  течет в таком направлении, что формируется отрицательное выходное напряжение  $V_0$ .

Таким образом,

$$V_0 = -RC \frac{dV_i}{dt}.$$

Этот метод дифференцирования сигнала кажется простым, но при его практической реализации возникают проблемы с обеспечением устойчивости схемы на высоких частотах. Не всякий ОУ пригоден для использования в дифференциаторе. Критерием выбора является быстродействие ОУ: нужно выбирать ОУ с высокой максимальной скоростью нарастания выходного напряжения и высоким значением произведения коэффициента усиления на ширину полосы. Хорошо работают в дифференциаторах быстродействующие ОУ на полевых транзисторах.

#### 5.2.5. Компараторы

Компаратор – это электронная схема, которая сравнивает два входных напряжения и вырабатывает выходной сигнал, зависящий от состояния входов. Базовая принципиальная схема компаратора показана на рис. 5.11.

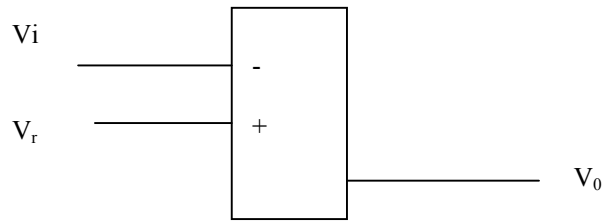


Рис. 5.11. Принципиальная схема компаратора

Как видим, здесь ОУ работает с разомкнутой петлей обратной связи. На один из его входов подается опорное напряжение, на другой – неизвестное (сравниваемое) напряжение. Выходной сигнал компаратора указывает: выше или ниже уровня опорного напряжения находится уровень неизвестного входного сигнала. В схеме на рис.5.11 опорное напряжение  $V_r$  подается на неинвертирующий вход, а на инвертирующий вход поступает неизвестный сигнал  $V_i$ .

При  $V_i > V_r$  на выходе компаратора устанавливается напряжение  $V_0 = -V_r$  (отрицательное напряжение насыщения). В противоположном случае получаем  $V_0 = +V_r$ . Можно поменять местами входы – это приведет к инверсии выходного сигнала.

### 5.3. Коммутация измерительных сигналов

В информационно-измерительной технике при реализации аналоговых измерительных преобразований часто приходится осуществлять электрические соединения между двумя и более точками измерительной схемы с целью вызвать необходимый переходный процесс, рассеять запасенную реактивным элементом энергию (например, разрядить конденсатор), подключить источник питания измерительной цепи, включить ячейку аналоговой памяти, взять выборку непрерывного процесса при дискретизации и т. д. Кроме того, многие измерительные средства осуществляют измерительные преобразования последовательно над большим числом электрических величин, распределенных в пространстве. Для реализации сказанного используются измерительные коммутаторы и измерительные ключи.

Измерительным коммутатором называется устройство, которое преобразует пространственно разнесенные аналоговые сигналы в сигналы, разделенные во времени, и наоборот.

Измерительные коммутаторы аналоговых сигналов характеризуются следующими параметрами:

*динамическим диапазоном коммутируемых величин;*

*погрешностью коэффициента передачи;*

*быстродействием (частотой переключения или временем, необходимым для*

выполнения одной коммутационной операции);  
числом коммутируемых сигналов;  
предельным числом переключений (для коммутаторов с контактными измерительными ключами).

В зависимости от типа используемых в коммутаторе измерительных ключей различаются *контактные и бесконтактные коммутаторы*.

Измерительный ключ представляет собой двухполюсник с явно выраженной нелинейностью вольт-амперной характеристики. Переход ключа из одного состояния (закрытого) в другое (открытое) выполняется с помощью управляющего элемента.

#### *5.4. Аналого-цифровое преобразование*

Аналого-цифровое преобразование составляет неотъемлемую часть измерительной процедуры. В показывающих приборах эта операция соответствует считыванию числового результата экспериментатором. В цифровых и процессорных измерительных средствах аналого-цифровое преобразование выполняется автоматически, а результат либо поступает непосредственно на индикацию, либо вводится в процессор для выполнения последующих измерительных преобразований в числовой форме.

Методы аналого-цифрового преобразования в измерениях разработаны глубоко и основательно и сводятся к представлению мгновенных значений входного воздействия в фиксированные моменты времени соответствующей кодовой комбинацией (числом). Физическую основу аналого-цифрового преобразования составляет стробирование и сравнение с фиксированными опорными уровнями. Наибольшее распространение получили АЦП поразрядного кодирования, последовательного счета, следящего уравнивания и некоторые другие. К вопросам методологии аналого-цифрового преобразования, которые связаны с тенденциями развития АЦП и цифровых измерений на ближайшие годы относятся, в частности:

- устранение неоднозначности считывания в наиболее быстродействующих АЦП сопоставления, получающих все большее распространение с развитием интегральной технологии;
- достижение устойчивости к сбоям и улучшение метрологических характеристик АЦП на основе избыточной системы счисления Фибоначчи;
- применение для аналого-цифрового преобразования метода статистических испытаний.

##### *5.4.1 Цифроаналоговые и аналого-цифровые преобразователи*

Цифроаналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые преобразователи (АЦП) являются неотъемлемой частью автоматических систем контроля управления и регулирования. Кроме того, поскольку подавляющее большинство измеряемых физических величин являются аналоговыми, а их обработка индикация и регистрация, как правило, осуществляются цифровыми



методами, ЦАП и АЦП нашли широкое применение в автоматических средствах измерений. Так, ЦАП и АЦП входят в состав цифровых измерительных приборов (вольтметров, осциллографов, анализаторов спектра, корреляторов и т. п.), программируемых источников питания, дисплеев на электроннолучевых трубках, графопостроителей, радиолокационных систем установок для контроля элементов и микросхем, являются важными компонентами различных преобразователей и генераторов, устройств ввода вывода информации ЭВМ. Широкие перспективы применения ЦАП и АЦП открываются в телеметрии и телевидении. Серийный выпуск малогабаритных и относительно дешевых ЦАП и АЦП даст возможность еще более широкого использования методов дискретно непрерывного преобразования в науке и технике.

Существует три разновидности конструктивно технологического исполнения ЦАП и АЦП: модульное, гибридное и интегральное. При этом доля производства интегральных схем (ИС) ЦАП и АЦП в общем объеме их выпуска непрерывно возрастает, чему в значительной степени способствует широкое распространение микропроцессоров и методов цифровой обработки данных. ЦАП - устройство, которое создает на выходе аналоговый сигнал (напряжение или ток), пропорциональный входному цифровому сигналу. При этом значение выходного сигнала зависит от значения опорного напряжения  $U_{оп}$ , определяющего полную шкалу выходного сигнала. Если в качестве опорного напряжения использовать какой либо аналоговый сигнал, то выходной сигнал ЦАП будет пропорционален произведению входных цифрового и аналогового сигналов. В АЦП цифровой код на выходе определяется отношением преобразуемого входного аналогового сигнала к опорному сигналу, соответствующему полной шкале. Это соотношение выполняется и в том случае, если опорный сигнал изменяется по какому-либо закону. АЦП можно рассматривать как измеритель отношений или делитель напряжений с цифровым выходом.

#### *5.4.2. Принципы действия, основные элементы и структурные схемы АЦП*

В настоящее время разработано большое количество типов АЦП, удовлетворяющее разнообразным требованиям. В одних случаях преобладающим требованием является высокая точность, в других - скорость преобразования.

По принципу действия все существующие типы АЦП можно разделить на две группы: АЦП со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений и АЦП интегрирующего типа.

В АЦП со сравнением входного преобразуемого сигнала с дискретными уровнями напряжений используется процесс преобразования, сущность которого заключается в формировании напряжения с уровнями, эквивалентными соответствующим цифровым кодам, и сравнении этих уровней напряжения с входным напряжением с целью определения

цифрового эквивалента входного сигнала. При этом уровни напряжения могут формироваться одновременно, последовательно или комбинированным способом.

*АЦП последовательного счета со ступенчатым пилообразным напряжением является одним из простейших преобразователей (рис. 5.12).*

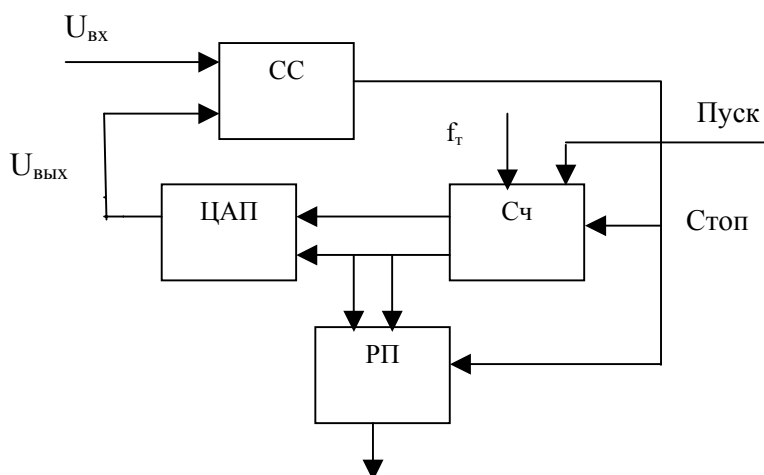


Рис. 5.12. Структурная схема АЦП последовательного счета  
 СС - схема сравнения; Сч - счетчик импульсов; РП - регистр памяти; ЦАП - цифро-аналоговый преобразователь.

По сигналу "Пуск" счетчик устанавливается в нулевое состояние, после чего по мере поступления на его вход тактовых импульсов с частотой  $f_T$  линейно-ступенчато возрастает выходное напряжение ЦАП.

При достижении напряжением  $U_{\text{ВЫХ}}$  значения  $U_{\text{ВХ}}$  схема сравнения прекращает подсчет импульсов в счетчике Сч, а код с выходов последнего заносится в регистр памяти. Разрядность и разрешающая способность таких АЦП определяется разрядностью и разрешающей способностью используемого в его составе ЦАП. Время преобразования зависит от уровня входного преобразуемого напряжения. Для входного напряжения, соответствующего значению полной шкалы, Сч должен быть заполнен и при этом он должен сформировать на входе ЦАП код полной шкалы. Это требует для  $n$ -разрядного ЦАП времени преобразования в  $(2^n - 1)$  раз больше периода тактовых импульсов. Для быстрого аналого-цифрового преобразования использование подобных АЦП нецелесообразно.

В *следящем АЦП* (рис. 5.13) суммирующий Сч заменен на реверсивный счетчик РСч, чтобы отслеживать изменяющееся входное напряжение. Выходной сигнал КН определяет направление счета в зависимости от того превышает или нет входное напряжение АЦП выходное напряжение ЦАП.

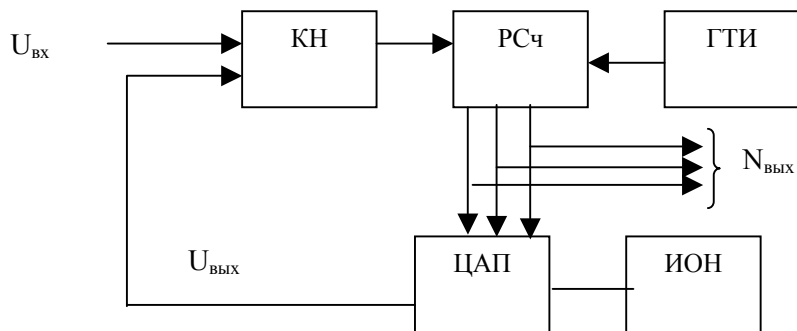


Рис. 5.13. Структурная схема АЦП следящего типа

Перед началом измерений РСч устанавливается в состояние, соответствующее середине шкалы (01 ... 1). Первый цикл преобразования следящего АЦП аналогичен циклу преобразования в АЦП последовательного счета. В дальнейшем циклы преобразования существенно сокращаются, так как данный АЦП успевает отследить малые отклонения входного сигнала за несколько тактовых периодов, увеличивая или уменьшая число импульсов, записанное в РСч, в зависимости от знака рассогласования текущего значения преобразуемого напряжения  $U_{вх}$  и выходного напряжения ЦАП.

*АЦП последовательного приближения (поразрядного уравнивания)* нашли наиболее широкое распространение в силу достаточно простой их реализации при одновременном обеспечении высокой разрешающей способности, точности и быстродействия, имеют несколько меньшее быстродействие, но существенно большую разрешающую способность в сравнении с АЦП, реализующими метод параллельного преобразования (рис.5.14).

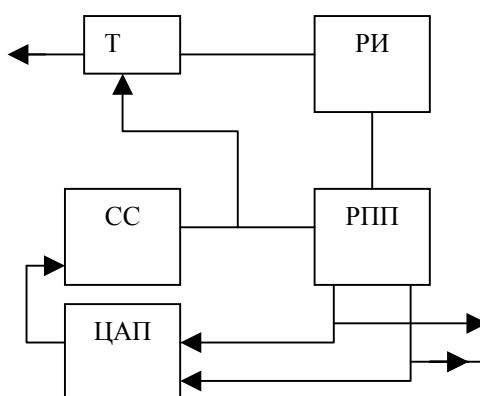


Рис. 5.14. Структурная схема АЦП поразрядного уравнивания  
 СС - схема сравнения; Т - триггер; РПП - регистр последовательного приближения; РИ - распределитель импульсов.

Для повышения быстродействия в качестве управляющего устройства используется распределитель импульсов РИ и регистр последовательного приближения. Сравнение входного напряжения с опорным ( напряжением обратной связи ЦАП ) ведется, начиная с величины, соответствующей

старшему разряду формируемого двоичного кода.

При пуске АЦП с помощью РИ устанавливается в исходное состояние РПП:

1000 . . . 0. При этом на выходе ЦАП формируется напряжение, соответствующее половине диапазона преобразования, что обеспечивается включением его старшего разряда. Если входной сигнал меньше, чем сигнал от ЦАП, в следующем такте с помощью РПП на цифровых входах ЦАП формируется код 0100 . . . 0, что соответствует включению 2-го по старшинству разряда. В результате выходной сигнал ЦАП уменьшается вдвое.

Если входной сигнал превышает сигнал от ЦАП, в очередном такте обеспечивается формирование кода 0110 ... 0 на цифровых входах ЦАП и включение дополнительного 3-го разряда. При этом выходное напряжение ЦАП, возросшее в полтора раза, вновь сравнивается с входным напряжением и т. д. Описанная процедура повторяется  $n$  раз (где  $n$  - число разрядов АЦП).

В результате на выходе ЦАП сформируется напряжение, отличающееся от входного не более, чем на единицу младшего разряда ЦАП. Результат преобразования снимается с выхода РПП.

Достоинством данной схемы является возможность построения многоразрядных (до 12 разрядов и выше) преобразователей сравнительно высокого быстродействия (с временем преобразования порядка несколько сот наносекунд).

В АЦП *непосредственного считывания (параллельного типа)* (рис. 5.15) входной сигнал одновременно прикладывается ко входам всех КН, число  $m$  которых определяется разрядностью АЦП и равно  $m = 2^n - 1$ , где  $n$  - число разрядов АЦП. В каждом КН сигнал сравнивается с опорным напряжением, соответствующим весу определенного разряда и снимаемым с узлов резисторного делителя, питаемого от ИОН.

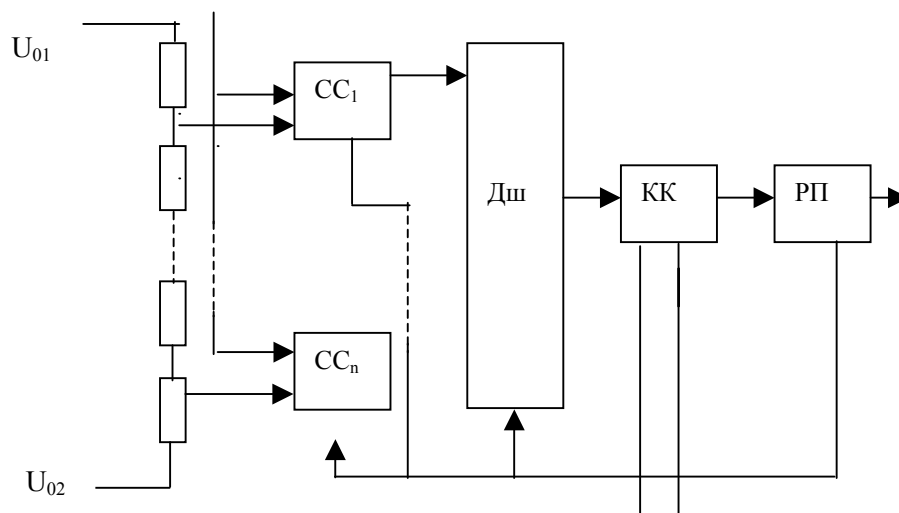


Рис. 5.15. Структурная схема параллельного АЦП

Выходные сигналы КН обрабатываются логическим дешифратором, вырабатывающим параллельный код, являющийся цифровым эквивалентом входного напряжения. Подобные АЦП обладают самым высоким быстродействием. Недостаток таких АЦП заключается в том, что с ростом разрядности количество требуемых элементов практически удваивается, что затрудняет построение многоразрядных АЦП подобного типа. Точность преобразования ограничивается точностью и стабильностью КН и резисторного делителя. Чтобы увеличить разрядность при высоком быстродействии реализуют двухкаскадные АЦП, при этом с выходов второй ступени ДШ снимаются младшие разряды выходного кода, а с выходов ДШ первой ступени - старшие разряды.

*АЦП с модуляцией длительности импульса (однотактный интегрирующий)*

АЦП характеризуется тем, что уровень входного аналогового сигнала  $U_{вх}$  преобразуется в импульс, длительность которого  $t_{имп}$  является функцией значения входного сигнала и преобразуется в цифровую форму с помощью подсчета числа периодов опорной частоты, которые укладываются между началом и концом импульса. Выходное напряжение интегратора под

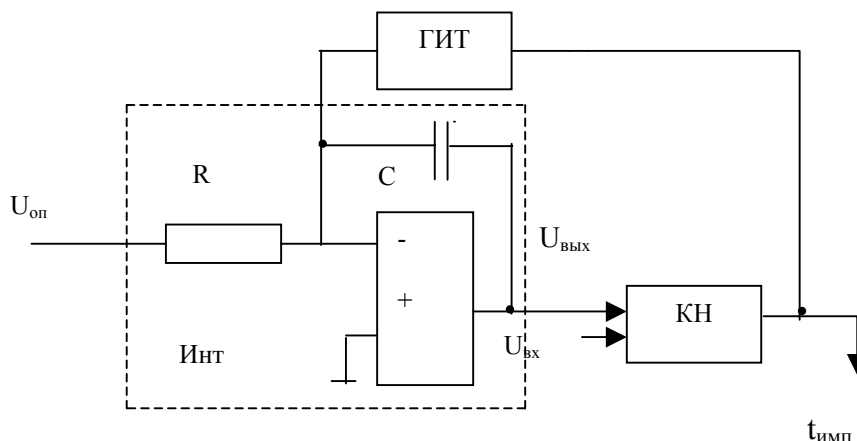


Рис. 5.16. Структурная схема АЦП однотактного интегрирующего.

действием подключенного к его входу  $U_{оп}$  изменяется от нулевого уровня со скоростью

$$U_{вх} = \frac{U_{оп}}{\tau_{Инт}}.$$

В момент, когда выходное напряжение интегратора становится равным входному  $U_{вх}$ , КН срабатывает, в результате чего заканчивается формирование длительности импульса, в течение которого в счетчиках АЦП происходит подсчет числа периодов опорной частоты. Длительность импульса определяется временем, за которое напряжение  $U_{вых}$  изменяется от нулевого уровня до  $U_{вх}$  :

$$t_{имп} = \frac{U_{вх}}{U_{вых}} = \frac{U_{вх} \tau_{Инт}}{U_{оп}}.$$

Достоинство данного преобразователя заключается в его простоте, а

недостатки - в относительно низком быстродействии и низкой точности.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

- 1.Какие физические принципы используются в первичных преобразователях?
- 2.Как классифицируют ИП по виду измеряемой величины?
- 3.Основные критерии согласования первичных преобразователей с объектом измерения.
- 4.Структура ИП, принципы действия, функция преобразования и особенности применения.
- 5.Поясните базовые схемные блоки на операционных усилителях (инвертирующие и неинвертирующие усилители, повторители напряжения и т.д.).
- 6.Каковы метрологические характеристики аналоговых вычислителей (сумматоров, интеграторов, дифференциаторов)?
- 7.Измерительные коммутаторы, их характеристики, эквивалентные схемы, обозначения на принципиальных схемах.
- 8.Реализация аналого-цифрового преобразования в АЦП последовательного счета.
- 9.Принципы действия. Основные элементы, структурные схемы и характеристики АЦП и ЦАП.

## 6. Элементы программного обеспечения

[1], [5]

### 6.1. Программно-доступные регистры микропроцессоров

Микропроцессор (МП) выполняет простейшие арифметические и логические операции, осуществляет общее управление работой компьютера ПК, дает разрешение на ввод и вывод информации и производит обмен информацией.

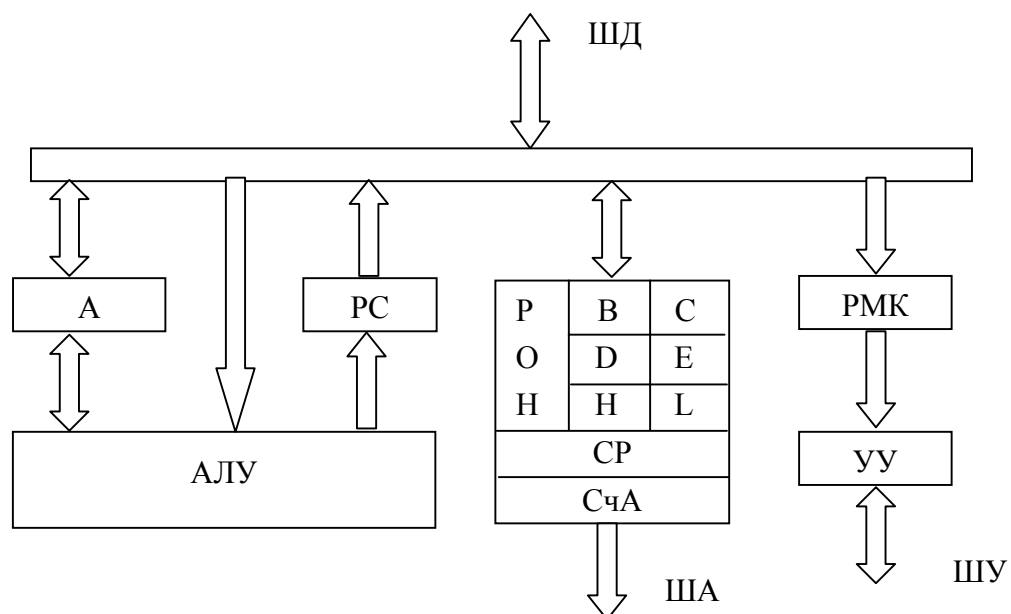


Рис. 6.1. Структурная схема МП

Структура МП обеспечивает выполнение операций обработки, обмена, хранения над тремя видами слов: данными, управляющими словами (командами, микрокомандами) и адресами (формализованными информационными словами, указывающими местоположение данных команд), которые передаются соответственно по шинам:

ШД - шина данных для передачи команд управления работой МП и обрабатываемой информации; разрядность шины данных 8 бит;

ША - шина адреса для передачи адресов ячеек памяти и номеров интерфейсов, к которым обращается МП; разрядность шины адреса - 16 бит;

ШУ - шина управления для передачи команд режимов работы блоков МГТС.

Из всего многообразия возможных принципов вычисления в МП, которые нашли отражение в структурно-логической организации различных типов микропроцессорных БИС, можно выделить следующие наиболее общие элементы МП:

АЛУ - арифметико-логическое устройство для выполнения простейших арифметических и логических операций;

А - аккумулятор (регистр) для хранения первого операнда и результата обработки информации в АЛУ; в А возможно сдвигать информацию вправо и влево; прибавлять и отнимать единицу от содержимого регистра; объем А 8 бит;

РОН - регистры общего назначения для хранения промежуточных результатов; РОН содержит шесть регистров - В, С, D, E, H, L; объем каждого регистра 8 бит;

РС-регистр состояний, вырабатывающий сигналы, характеризующие результаты стандартных операций в АЛУ (например, результат больше, меньше или равен нулю);

СР - стековый регистр для хранения адреса ячейки памяти фоновой программы при возвращении из подпрограммы;

Сч А - счетчик адреса для выработки адресов ячеек памяти и номеров интерфейсов, к которым обращается МП; разрядность шины адреса 16 бит;

РМК - регистры хранения микрокоманд управления работой МП;

УУ - устройство управления работой МП;

### *6.1.1. Организация памяти МП*

Каждая интегральная схема (ИС) памяти содержит строго определенное количество ячеек памяти. Это количество выражается как

$$1024 \times 2^n$$

где  $n = 0$ -к. Например, 1024, 2048, 4096, 8196 и т. д.

Каждая ячейка памяти запоминает только одну команду разрядностью 8 бит (1байт).

МП, обращаясь к ячейке памяти, посылает по шине адреса адрес этой ячейки памяти. Разрядность ША 16 бит. Разряды ША обозначаются А15-А0 (А0-младший разряд, А15-старший разряд). Максимальный адрес ячейки памяти, к которой МП может обратиться при разрядности ША в 16 бит - 65567.

Если в МПС используются ИС памяти одинакового объема, например в 1024 байта, то каждая ИС памяти содержит адреса ячеек памяти начиная с нуля и кончая 1023 (1023 адреса плюс нулевой адрес). В этом случае каждой ИС присваивают номер тысячи. Например, если в МПС используются четыре ИС памяти объемом по 1024 байта каждая, то всем ИС присваивают следующие номера: 0-я тысяча, 1-я тысяча, 2-я тысяча и 3-я тысяча. Чтобы МП обратился к той или иной ячейке памяти, ему необходимо указать номер тысячи и номер ячейки памяти внутри этой тысячи. Например, необходимо обратиться к ячейке памяти с адресом 96. В этом случае на ША должен поступить адрес 0096, т.е. 0-я тысяча, ячейка памяти 096.

Рассмотрим таблицу адресного поля памяти МПС (табл. 6.1). В верхних частях столбцов указаны разряды шины адреса (A15-A0) и весовые коэффициенты двоичных чисел адресов ячеек памяти (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 и т. д.). В первом столбце указаны номера тысяч. Во втором столбце указаны адреса ячеек. В основном пространстве столбцов с A0 по A15 указаны адреса ячеек памяти в двоичной системе счисления.

Табл. 6.1 Адресное поле памяти МПС

Номер тысячи	Адрес в дес. сис. числ	Адрес в шест., сис. счисл	Адрес в двоичной системе счисления															
			A15	A14	A13	A12	A11	A10	A9	A8	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0
			32768	16384	8192	4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	1023	03FF	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
1	1024	400	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1025	401	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	1026	402	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	2047	07FF	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
2	2048	800	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2049	801	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	2050	802	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	3071	0FFF	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	3072	1000	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3073	1001	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	3074	1002	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	
	4095	1FFF	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Если в МПС используются ИС памяти объемом 1024 байта каждая, то на каждую ИС памяти заводятся разряды шины адреса с A0 по A9. При этом на каждую ИС памяти поступают адреса, начиная с нулевого и кончая адресом 1023. В этом случае на дешифратор адреса заводятся разряды шины адреса,



начиная с A10 и кончая A15, которые характеризуют номера тысяч. Дешифратор адреса включает в работу ту ИС, номер тысячи которой поступил на дешифратор адреса.

Если бы в МПС использовались ИС памяти объемом 2048 байт каждая, то на каждую ИС памяти заводились бы разряды шины адреса с A0 по A10. При этом на каждую ИС памяти поступали бы адреса начиная с 0 и кончая 2047, а на дешифратор адреса поступали разряды с A11 по A15. При этом ИС памяти 0-й и 1-й тысяч имели бы адрес 0, ИС памяти 2 и 3 тысяч имели бы адрес 1, ИС памяти 4 и 5 тысяч имели бы адрес 2 и т. д.

### 6.1.1.1. Динамический запоминающий элемент.

На рис. 6.2 показано условное обозначение МДП- транзистора. Буквами И, С и З обозначены, соответственно исток, сток и затвор. Длинная вертикальная черта обозначает подложку(штриховая, если канал индуцированный и непрерывная – если канал встроенный). Маленькая стрелка указывает на тип канала. Если канал типа  $n$  – она направлена к подложке, а если канал типа  $p$  – от подложки.



Рис.6.2. Условное обозначение транзистора:  
а) - со встроенным n-каналом; б) - с индуцированным n-каналом

Промежуток между истоком и стоком представляет собой аналог электрического контакта. Если на затворе положительное напряжение относительно подложки – контакт замкнут, если отсутствует – разомкнут. Затвор изолирован от подложки тончайшим (доли мкм) слоем окиси кремния. Это значит, что затвор и подложка представляют собой две пластины конденсатора. Поскольку расстояние между пластинами очень мало, емкость такого конденсатора относительно велика. Если приложить к затвору положительное напряжение, а затем отсоединить источник этого напряжения, конденсатор остается заряженным и промежуток исток-сток будет проводящим. Если же замкнуть затвор и подложку, конденсатор мгновенно разрядится и промежуток исток-сток станет непроводящим.

Таким образом, МДП – транзистор способен запомнить тот факт, что к его затвору был подсоединен источник положительного напряжения. Подобная память получила название **динамической**. Иными словами процесс запоминания – забывания динамичен: он изменяется во времени и это

изменение связано с разрядкой конденсатора. Для описания системы одной функции запоминания недостаточно. Полная функция динамического запоминающего МДП элемента, реализующего функции памяти и выбора показан на рис. 6.3.

Здесь транзистор  $V_1$  осуществляет функцию запоминания, транзистор  $V_2$  делает выборку при запоминании (записи).

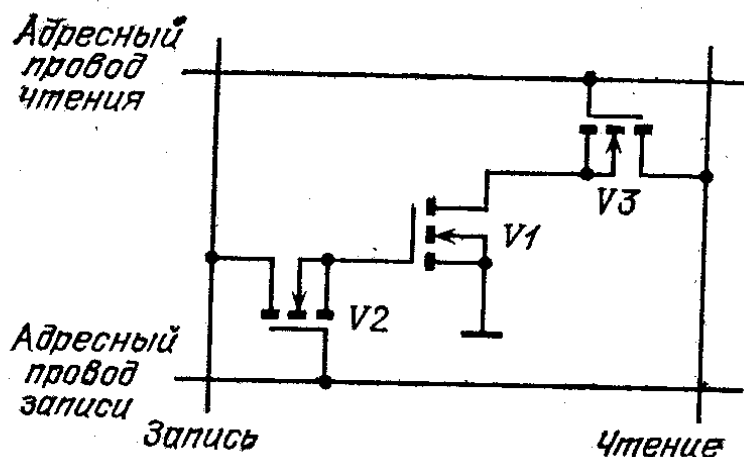


Рис. 6.3. Динамический запоминающий МДП-элемент

Чтобы запомнить, необходимо подать положительное напряжение на провод "Адресный провод записи". При этом затвор транзистора  $V_2$  окажется под положительным напряжением и, следовательно, затвор транзистора  $V_1$  через промежуток исток-сток окажется подсоединенным к проводу "Запись".

Все зависит от того, каково состояние провода "Запись". Если на нем имеется положительное напряжение, затвор транзистора  $V_1$  также окажется под положительным напряжением и это его состояние запомнится (запись 1).

Если провод "Запись" находится под нулевым напряжением, то затвор транзистора  $V_2$  разрядится (запись 0).

Если же адресный провод записи находится под нулевым напряжением, то состояние запоминающего элемента (0 или 1) не будет зависеть от состояния провода записи.

Чтобы прочесть то, что записано в динамическом запоминающем элементе (рис. 6.3.) нужно подать положительное напряжение на "Адресный провод чтения". При этом на затворе  $V_3$ , будет положительное напряжение и провод "Чтение" окажется подсоединенным к стоку  $V_1$ .

Теперь все зависит от состояния транзистора  $V_1$ . Если он помнит 1, то провод для чтения окажется замкнутым с точкой нулевого потенциала (землей). Если транзистор  $V_1$  помнит нуль, такого замыкания не произойдет.

Динамические запоминающие элементы способны помнить в течение нескольких долей секунды, что является их недостатком.

Для длительного хранения информация периодически должна обновляться с помощью устройств регенерации (из-за чего устройства памяти быстро выходят из употребления).

### 6.1.1.2. Статические запоминающие элементы

Статические запоминающие элементы способны помнить неограниченно долго – до тех пор, пока не будет отключен источник питания. Основу его составляет триггер. Существует множество схем триггера. Рассмотрим схему на так называемых комплементарных транзисторных парах.

На рис. 6.4а приведена структура, у которой подложка выполнена из полупроводника типа  $n$ , а области истока и стока – из полупроводника типа  $p$ . Т.е. промежуток исток-сток проводит электрический ток при отрицательном напряжении на затворе. Такой транзистор (6.4,б) называется транзистором с индуцированным каналом типа  $p$ .

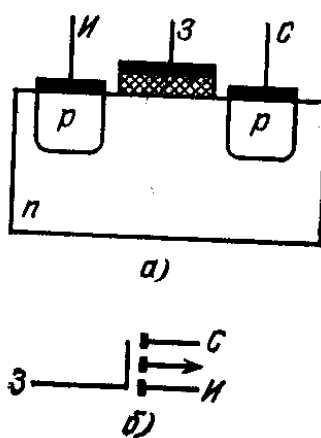


Рис. 6.4. Транзистор с индуцированным каналом типа  $p$  (а) и его условное обозначение (б).

На рис.6.5 показана структура комплементарной пары. Между стоком транзистора  $V_2$  и истоком  $V_1$  включен источник питания.

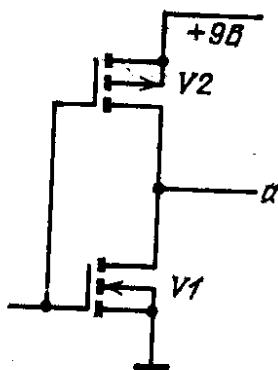


Рис. 6.5. Комплементарная транзисторная пара

Когда на объединенных затворах транзисторов  $V_1$  и  $V_2$  напряжение равно нулю, точку **a** можно считать соединенной и источником питания и напряжение на ней будет +9 В.

Действительно, подложка транзистора  $V_2$  соединена через сток с плюсом источника питания. На затворе  $V_2$  нулевое напряжение относительно земли и, следовательно, отрицательное напряжение относительно подложки. Транзистор  $V_2$  проводит, а транзистор  $V_1$  не проводит, т.к. его подложка соединена с истоком (землей) и на его затворе нулевое напряжение относительно подложки.

Когда на объединенных затворах действует положительное напряжение, точку **a** можно считать соединенной с точкой нулевого потенциала (землей). Напряжения на ней равно нулю ( $V_1$  проводит, а  $V_2$  – не проводит, т.к. на его затворе положительное напряжение относительно земли и нулевое – относительно подложки).

На рис. 6.6 изображены две комплементарные пары. Пусть на затворах транзисторов  $V_1$  и  $V_2$  установилось нулевое напряжение. Тогда точка **a**<sub>1</sub> находится под напряжением источника и под этим же напряжением находятся затворы транзисторов  $V_3$  и  $V_4$ . Точка **a**<sub>2</sub> находится под нулевым напряжением и под этим же напряжением находятся затворы транзисторов ( $V_1$ ,  $V_2$ ). Состояние первой комплементарной пары ( $V_1$ ,  $V_2$ ) как бы поддерживает такое состояние второй ( $V_3$ ,  $V_4$ ), которое в свою очередь поддерживает исходное состояние первой пары.

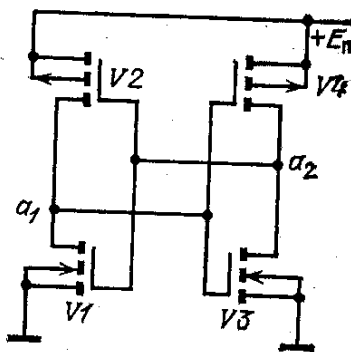


Рис. 6.6. Схема триггера

Триггер может находиться в одном из двух симметричных состояний, при этом энергия в цепи источника питания не потребляется. Энергия потребляется только в моменты переключения (несколько десятков наносекунд).

Полная схема запоминающего устройства на рис. 6.7. Здесь транзисторы  $V_1$ - $V_4$  – составляют схему триггера.

Если  $V_1$  – запоминающий транзистор  $V_2$ - $V_4$  – служат для поддержания транзистора  $V_1$  в одном из двух возможных состояний: проводящем (1) и непроводящем (0).

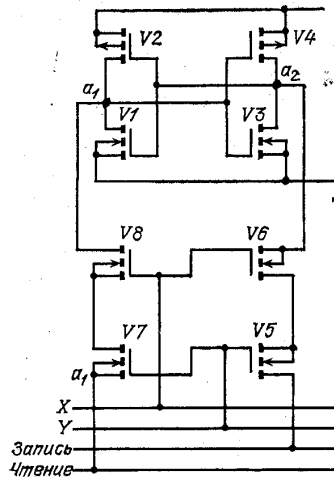


Рис. 6.7. Статический запоминающий элемент

Транзисторы  $V_5$ - $V_6$  выполняют ту же функцию что и  $V_2$  на рис. 6.3.

Когда на затворы обоих транзисторов поданы положительные напряжения, точка  $a_2$  триггера соединяется с проводом записи. При наличии на этом проводе положительного напряжения триггера запоминает **1**, а при наличии нулевого напряжения – **0**. Транзисторы  $V_7$  и  $V_8$  играют ту же роль, что и  $V_3$  на рис. 6.3. При наличии положительных напряжений на затворах обоих этих транзисторов точка  $a_1$  триггера соединяется с проводом чтения. Если триггер помнит **1**, провод чтения оказывается замкнутым на землю, а если помнит **0**, провод чтения оказывается замкнутым на положительный полюс источника питания. Провода, обозначенные буквами  $X$  и  $Y$ , должны быть под положительным напряжением при осуществлении операций записи или чтения. Если хотя бы на одном из них напряжение равно нулю, данный запоминающийся элемент оказывается отключенным от внешней цепи. На рис. 6.8. – условное обозначение статического запоминающего элемента. Это означает, что нас будет интересовать не электрическая схема элемента, а только его функции, однозначно определяющиеся состоянием проводов  $X$ ,  $Y$ , "Чтение" и "Запись".

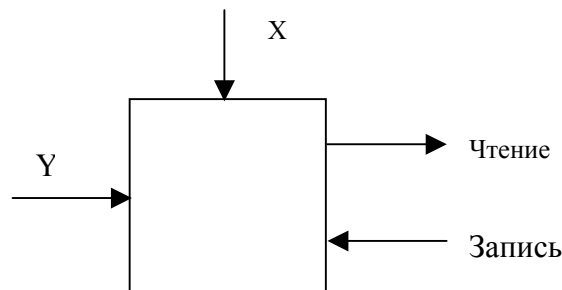


Рис. 6.8. Условное обозначение статического запоминающего

### 6.1.1.3. Оперативные запоминающие устройства (ОЗУ)

Рассмотренный статический запоминающий элемент состоит из восьми транзисторов. Нет никакого смысла изготавливать его в виде отдельного

компонента. Экономически оправданным оказывается изготовление микросхем, содержащих не менее 1000 запоминающих элементов.

Пусть имеется кристалл (полупроводниковая пластинка), содержащий 1000 элементов. Провода "Чтение" всех 1000 элементов можно соединить и сделать общий вывод, поскольку при отсутствии напряжения хотя бы на одном их проводов *X* и *У* провода "Запись" и "Чтение" оказываются изолированными от всей схемы запоминающего устройства. В любом случае вывод "Чтение" окажется подсоединенным только к выбранному элементу, т.е. к тому, у которого имеется положительное напряжение одновременно на входах *X* и *У*. Все это справедливо для проводов записи всех элементов.

Провода *X* и *У* нельзя соединять. Изготавливать микросхемы с 20000 выводов - нереально. Как обеспечить выбор одного лишь запоминающего элемента? Для этого используются дешифраторы.

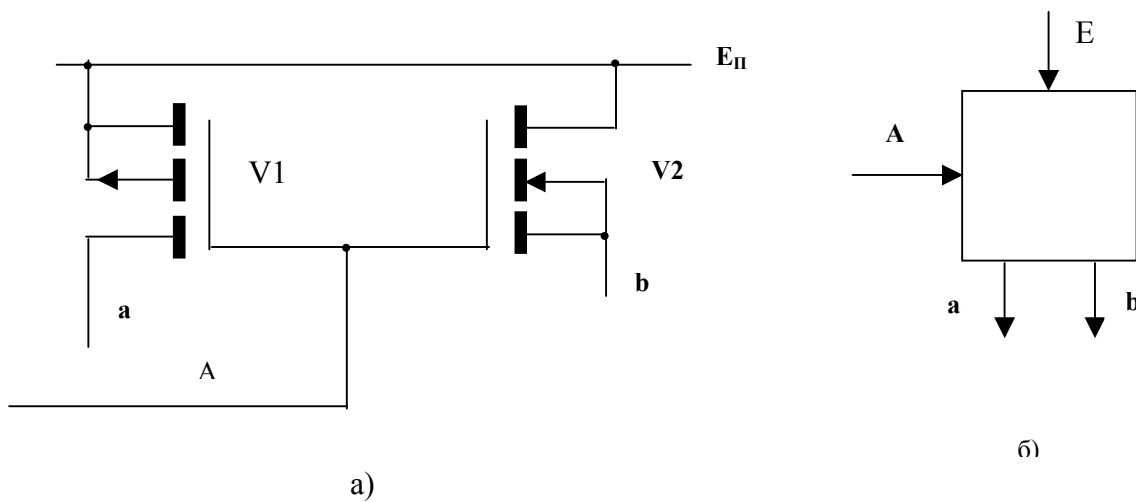


Рис. 6.9. Переключательный элемент (а) и его условное обозначение (б)

На рис. 6.9а представлен переключательный элемент, состоящий из транзистора **V2** с индуцированным каналом типа *n* и подложкой, соединенной с истоком, а другой **V1** с индуцированным каналом типа *p* и подложкой, соединенной со стоком.

Стоки обоих транзисторов подсоединены к источнику питания, а истоки представляют собой выходы схемы, обозначенные буквами **a** и **b**. Затворы обоих транзисторов соединены и являются входом схемы, обозначенным буквой **A**.

Если на входе схемы напряжение высокого уровня, с источником питания соединен выход **b**, а если напряжение низкого уровня, то с источником питания соединен выход **a**.

На рис. 6.10 каждый квадратик представляет собой схему, показанную на рис. 6.9. Если на входе **A<sub>4</sub>** действует **1** - к источнику питания оказывается подключенной правая часть схемы (отделена штриховой линией).

Если на **A<sub>4</sub>** действует **0** - подключена левая половина. При комбинации **00000** - подключен выход, помеченный цифрой **0** и на этом выходе будет действовать положительное напряжение.

При комбинации **11111** - на выходе 31 положительное напряжение. Подобная схема называется **дешифратором**.

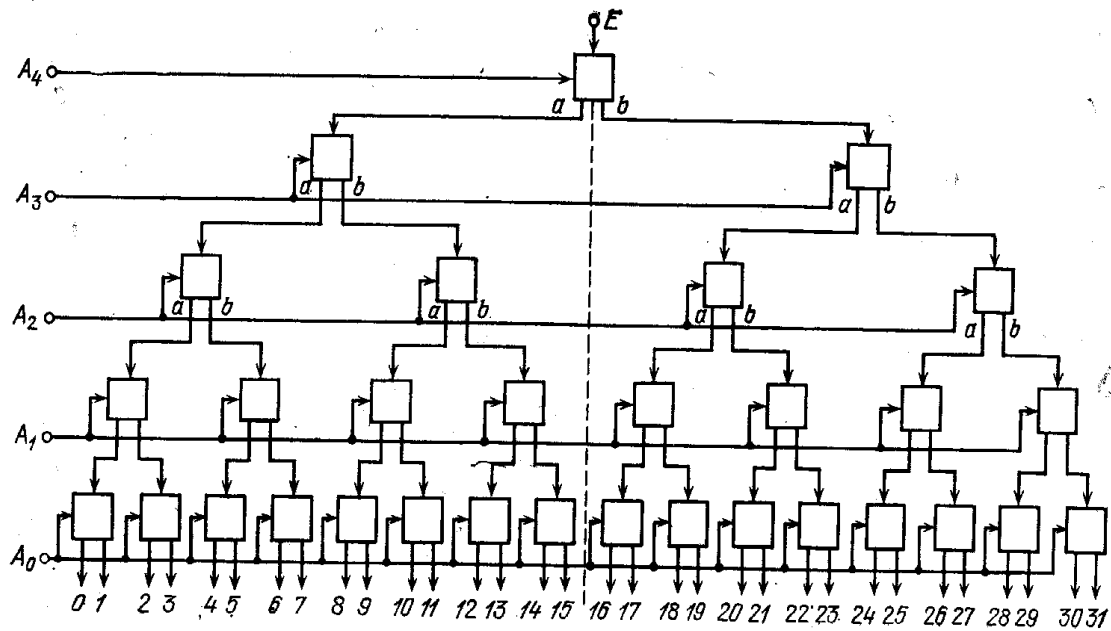


Рис. 6.10. Схема дешифратора

Дешифратор позволяет выбрать один из 32 проводов, задавая комбинацию на 5-ти входах. На рис. 6.11 приведено условное обозначение дешифратора.

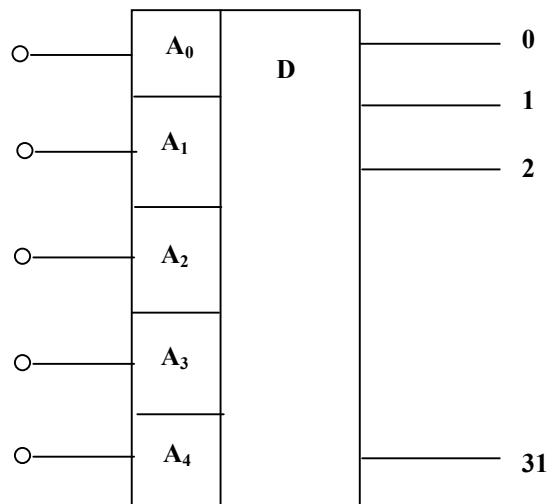


Рис. 6.11. Условное обозначение дешифратора

На рис. 6.12 приведена функциональная схема модуля ОЗУ. Она содержит 1024 статических запоминающих элемента  $3Э_0 - 3Э_{1023}$ . Выводы **"Чтение"** и **"Запись"** всех элементов соединены и подключены к соответствующим выводам.

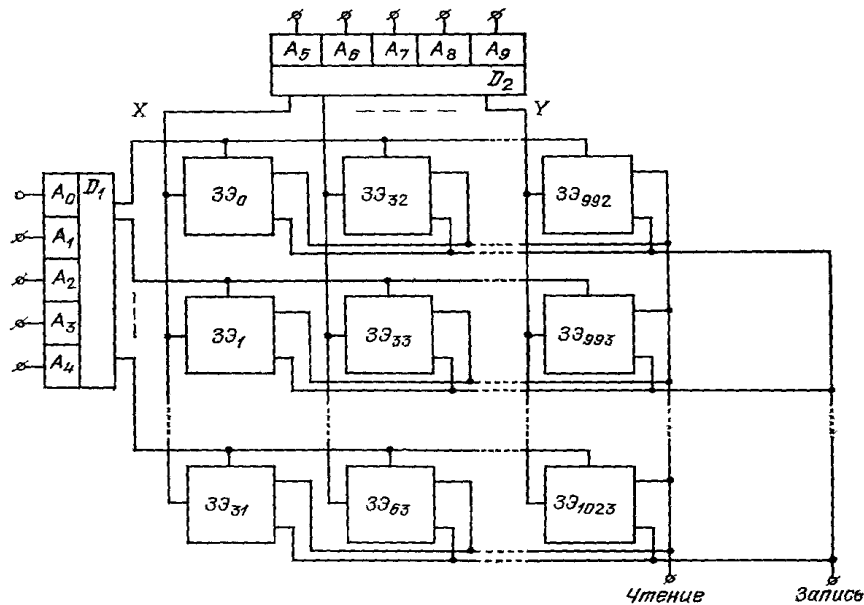


Рис. 6.12. Функциональная схема модуля ОЗУ К537РУ1

Иначе дело обстоит с выводами **X** и **Y**. Выводы **Y** объединяются для каждого столбца и подсоединяются к выводам дешифратора **D<sub>2</sub>**. Выводы **X** объединяются в пределах каждой строки и подсоединяются к выводам **D<sub>1</sub>**.

Пусть на входах **A<sub>5</sub> - A<sub>9</sub>** дешифратора действует некоторая комбинация **01010** - на 11 слева выходе дешифратора **D<sub>2</sub>** появится положительное напряжение.

Это напряжение будет действовать на входах **Y** всех запоминающих элементов 11-го слева столбца матрицы. Предположим, что на входах **A<sub>0</sub> - A<sub>4</sub>** действует комбинация **01101** - при этом положительное напряжение появится на 14 сверху выходе дешифратора и будет действовать на всех входах **X** 14-ой сверху строки.

Таким образом, среди всех элементов матрицы окажется один, расположенный на пересечении 11-го слева столбца и 14-й сверху строки. Для выбора одного из 1024 элементов нужно задать комбинацию положительных и нулевых напряжений на десяти входах **A<sub>0</sub> - A<sub>9</sub>**. (микросхема 537РУ1). Емкость в 1024 (1024 бит) далеко не предел.

Каждая микросхема памяти представляет собой основную структурную единицу **ОЗУ**. Оперативными они названы потому, что сохраненные в них данные можно в любой момент изменить, затрачивая на это сотни и даже десятки наносекунд.

На рис. 6.13 - структура **ОЗУ**, состоящая из 10 микросхем, входы которых **A<sub>0</sub> - A<sub>9</sub>** соединены параллельно. Такая совокупность позволяет на выходах "**Чтение**" и "**Запись**" получать 10 бит (длина слова). Т. о. **ОЗУ** - совокупность запоминающих ячеек, каждая из которых характеризуется своим адресом. Невыгодно иметь длину слова в **ОЗУ** больше, чем 32 бита. Алгоритм просмотра расположения слов в ячейках реализуется организацией **стеков**.



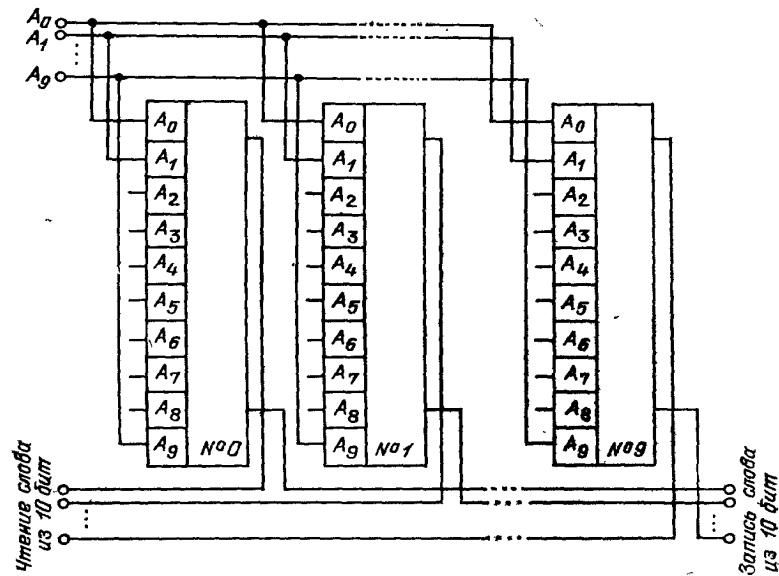


Рис. 6.13. Структурная схема ОЗУ

#### 6.1.1.4. Постоянные запоминающие устройства (ПЗУ)

Основная идея построения ПЗУ весьма простая (рис. 6.14). Имеются набор горизонтальных (адресных) и вертикальных (разрядных) проводов. Число *разрядных* проводов соответствует числу *разрядов* (бит) в запоминаемых словах (чаще 8 или 16). Число *адресных* равно объему памяти или *емкости* модуля ПЗУ. Пусть на горизонтальный провод "Слово2" подано положительное напряжение. На остальные горизонтальные провода - не подается. Аноды всех диодов, подсоединенных к этому проводу, окажутся под положительным напряжением, т.е. способны проводить электрический ток. Следовательно, на всех вертикальных проводах, соединенных с горизонтальным проводом "Слово2" установится такое же напряжение (т.е. на вертикальных проводах 1,2,4 и 5). Следовательно, в ПЗУ можно прочитать 8-разрядное слово **01101100**.

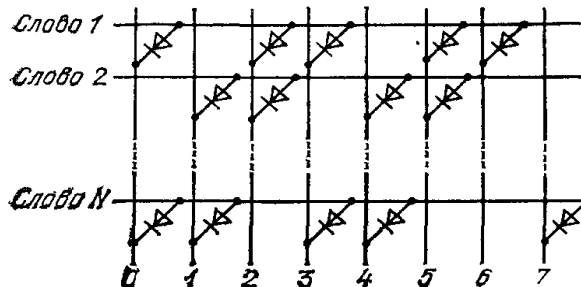


Рис. 6.14. Схема ПЗУ

Когда на каком-либо вертикальном проводе устанавливается положительное напряжение, катоды всех остальных диодов, подсоединенных к этому проводу оказываются так же под напряжением. Следовательно, они

не проводят электрический ток и не участвуют в работе ПЗУ.

Первичную информацию в ПЗУ записывают в процессе изготовления и выпускают ПЗУ с уже записанной информацией. В ПЗУ могут быть записаны: рекомендации по выбору наилучших режимов работы, программы работы станков с ЧПУ, справочные данные.

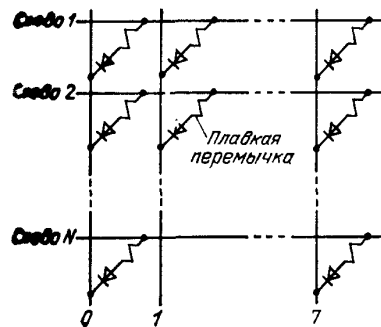


Рис. 6.15 Схема ПЗУ с плавкими

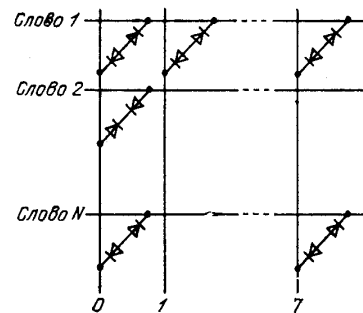


Рис. 6.16 Схема ПЗУ с цепочками из двух диодов

Первый способ иллюстрирует схема на рис. 6.15 - диоды расположены во всех без исключения точках пересечения вертикальных и горизонтальных проводов; последовательно с каждым диодом включена плавкая перемычка.

В ПЗУ с плавкими перемычками записываются нули. Для этого между адресным проводом данного слова и вертикальным проводом того разряда, в котором в данном слове имеется нуль, прикладывается большая разность напряжений и выжигается плавкая перемычка. Диоды, оставшиеся подключенными, соответствуют единицам.

Второй способ - на рис. 6.16. Здесь во всех без исключения точках пересечения проводов включены пары диодов. В каждой паре диоды включены навстречу другу. Такая цепь не проводит тоже ни в одном из возможных направлений.

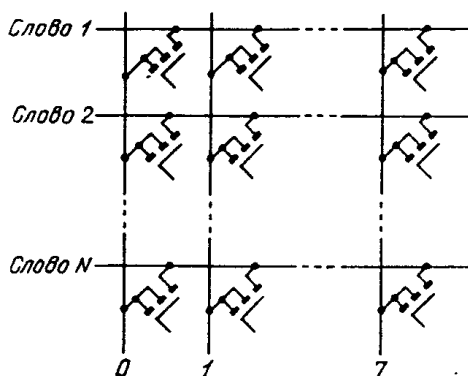


Рис. 6.17. Схема ПЗУ

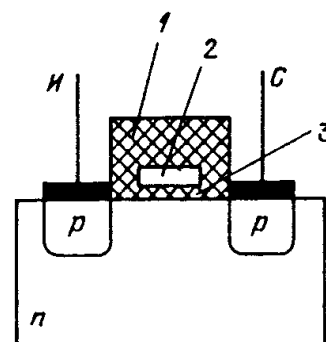


Рис. 6.18. Структура МДП-транзистора с плавающим затвором: 1- толстый слой  $\text{SiO}_2$ ; 2-затвор; 3- тонкий слой  $\text{SiO}_2$

В ПЗУ подобного типа в момент выпуска его записаны одни нули. Для записи единицы в данный разряд данного слова между вертикальным и горизонтальным проводом прикладывается большая разность напряжений. Тот из двух диодов, который оказывается смещенным в обратном направлении, пробивается и в дальнейшем представляет собой электрическое соединение.

ППЗУ - позволяют многократно записывать информацию. В точках пересечения - транзисторы с плавающим затвором. Запись единиц осуществляется приложением напряжения (около 80 В). Стирание осуществляется облучением ультрафиолетовым светом или рентгеновскими лучами.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Каким образом реализуются алгоритмы?
2. Поясните структурную схему МП. Как осуществляется выполнение операций обработки, обмена и хранения информации?
3. Поясните принцип записи и чтения информации на примере динамического запоминающего элемента.
4. Поясните структурную схему и принцип действия статического запоминающего элемента. Как организуется оперативная память?
5. Приведите структурные схемы ПЗУ и ПППЗУ. В чем их отличие от ОЗУ и каковы принципы построения и особенности изготовления?
6. Перечислите факторы, влияющие на показатели качества и МХ базовых элементов.

## **7. Методы и средства программирования**

[1], [5],[11]

При составлении программ для ПК используется язык Ассемблер, в котором машинные коды выражаются в шестнадцатеричной системе счисления (ШСС), а команды близкие по функциональному назначению объединяются в группы и обозначаются специальными символами-мнемокодами. При вводе программы в ПК команды из шестнадцатеричной системы счисления вновь переводятся в двоичную систему счисления. Мнемокоды и шестнадцатеричная система счисления служат лишь для написания программ, помогая программисту в ее составлении и прочтении.

ШСС образуется из двоичной системы счисления путем разбиения двоичного числа на группы по четыре бит и замены каждой группы числами, выраженными в ШСС. Десятичные числа 10, И, 12, 13, 14 и 15 обозначаются латинскими буквами А, В, С, D, Е и F.

Дес. сис. счисл. (В)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
ШСС (H)	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F.

По назначению команды делятся на пять групп: команды пересылок, арифметико-логические команды, команды ввода-вывода, команды управления и специальные команды.

Типичным примером команды однобайтовой пересылки служит команда межрегистровой пересылки, мнемонический код которой имеет вид:

MOV R1, R: R → R1.

MOV R1, R – это родовое имя целой группы операций, отличающихся друг от друга конкретными регистрами, между которыми осуществляется пересылка.

### *Пересылка информации между A и PОН*

MOV BA	47	A → B	
MOV DA	57	A → D	
MOV CA	4F	A → C	
MOV EA	5F	A → E	
MOV AB	78		<b>B → A</b>
MOV AC	79	C → A	
MOV AD	7A	D → A	
MOV AE	7B	E → A	

Всего в составе набора имеется 63 команды типа MOV. К семейству операций пересылок относится также команда, мнемокод которой имеет вид:

MVI R, D:D8 → R.

Символ D8 означает, что сама команда имеет двухбайтовый формат. Смысл всего семейства операций означает, что операнд D8, т.е. содержимое второго байта команды, передается в регистр, имя которого стоит на месте символа R. Всего таких команд восемь. Они позволяют записать операнд в любой из PОН в ячейку памяти, адрес которой хранится в регистровой паре HL, или в регистр-аккумулятор.

Ввод информации в A и PОН

MVIA	3E	D8 → A.
MVIB	06	D8 → B.
MVIC	0E	D8 → C.
MVID	16	D8 → D.
MVIE	1E	D8 → E.

Группа команд арифметических и логических операций делится на четыре подгруппы( операции с одним операндом, с двумя операндами, операции

сложения над двумя 16-разрядными двоичными числами и операции сдвига содержимого регистра результатов).

Примеры мнемочкодов арифметико-логических команд:

ADD R:  $A+R \rightarrow A$ ; - сложение двух чисел.

SUB R:  $A - R \rightarrow A$ ; - вычитание одного числа из другого.

IRN R:  $R + 1 \rightarrow R$ ; - увеличение на единицу соответствующего числа.

#### Сдвиг числа в A

Сдвиг чисел на один бит влево обеспечивает умножение сдвинутого числа на 2.

Сдвиг числа на один бит вправо обеспечивает деление этого числа на 2.

Сдвиг влево                      RLC              07

Сдвиг вправо                    RRC              0F

Условные переходы применяются для ветвления программы. Они осуществляются только после выполнения арифметических или логических операций.

Если указанное в команде условие выполняется, то происходит переход программы по указанному адресу. Если указанное в команде условие не выполняется, то МП пропускает команду условного перехода и продолжает программу.

#### Режимы работы МП

Символы команд	Функциональное назначение
<b>DBIN</b>	Чтение информации из блоков МПК и ввод в МП
<b>WR</b>	Запись во внешнее устройство
<b>INTE</b>	МП готов к обмену информацией
<b>WATT</b>	Внешнему устройству следует ожидать
<b>HOLD</b>	ША и ШД должны быть закрыты
<b>RESET</b>	Сброс на нуль информации
<b>INT</b>	Запрос на обмен информацией
<b>SYNC</b>	Признак начала машинного цикла
<b>READY</b>	Внешнее устройство готово к обмену информацией

*Пример* : Сложить два числа: 2+5.

1. Для запоминания команды "Ввести в А МП" используем ячейку памяти с адресом 2048.
2. Для запоминания самого числа 2 используем ячейку памяти с адресом 2049.
3. Для запоминания команды "Ввести в РОН В" используем ячейку памяти с адресом 2050.
4. Для запоминания самого числа 5 используется ячейка памяти с адресом 2051.
5. Для запоминания команды "Сложить содержимое А и РОН В" используем ячейку памяти с адресом 2052.

В машинных кодах программа будет иметь вид:

- |                         |            |                    |
|-------------------------|------------|--------------------|
| 1) 0000.1000.0000.0000. | 0011.1110. | Ввести в А МП;     |
| 2) 0000.1000.0000.0001. | 0000.0010. | Число 2;           |
| 3) 0000.1000.0000.0010. | 0000.0110. | Ввести в РОН В МП; |
| 4) 0000.1000.0000.0011  | 0000.0101. | Число 5;           |
| 5) 0000.1000.0000.0100  | 1000.0000. | Сложить А и РОН В. |

На языке Ассемблер эта программа будет иметь вид:

- |         |    |                               |
|---------|----|-------------------------------|
| 1) 0800 | 3E | Ввести в А МП;                |
| 2) 0801 | 02 | Число 2;                      |
| 3) 0802 | 06 | Ввести в РОН В МП;            |
| 4) 0803 | 05 | Число 5;                      |
| 5) 0803 | 80 | Сложить содержимое А и РОН В, |
- где 3E, 06 и 80 - команды управления работой МП, 02 и 05 - вводимые числа.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Какие вы знаете системы счисления, коды, используемые в аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователях?
2. Как осуществляется перевод числа в двоичный, шестнадцатиричный и двоично-десятичный коды?
3. Программирование МП на языках низкого и высокого уровня.
4. Назначение, основные функции и состав операционных систем МП.
5. Как осуществляется программирование арифметических операций на МП?

## **8. Автоматизированные средства измерений с одно- и двукратным сравнением**

[1],[10]

Рассмотрим структурные схемы автоматических СИ, иллюстрирующие применение основных классических методов преобразования, в которых в качестве чувствительных элементов используются терморезисторы (термисторы), т.к. они могут быть применены для преобразования большого количества физических величин (мощности СВЧ, температуры, объем потоков жидкостей и газов, напряжение и т.д.).

Их недостатки: инерционность, нелинейность характеристик, разброс параметров.

Под действием на терморезистор любой физической величины, изменяющей условие теплообмена, изменяется рассеиваемая на нем мощность. Поэтому в качестве входной величины  $X$  выбрана мощность  $P_x$ .

### 8.1. Средства измерений с однократным сравнением

Рассмотрим автоматические СИ, построенные на основе самобалансирующих мостов схем (СБМ), представляющих собой замкнутую систему автоматического регулирования, состоящую из измерительной мостовой схемы с терморезистором в одном из плеч и усилителя разбаланса моста.

В основу автоматического измерительного устройства с однократным сравнением (рис. 8.1) положен принцип, заключающийся в сравнении предварительного запомненного результата преобразования сигнала  $P_x$  с результатом преобразования замещающего сигнала в виде мощности, подаваемой на терморезистор от источника напряжения постоянного тока. В момент фиксации нулевого значения разности измеряется значение последнего, определяющего значение входного сигнала.

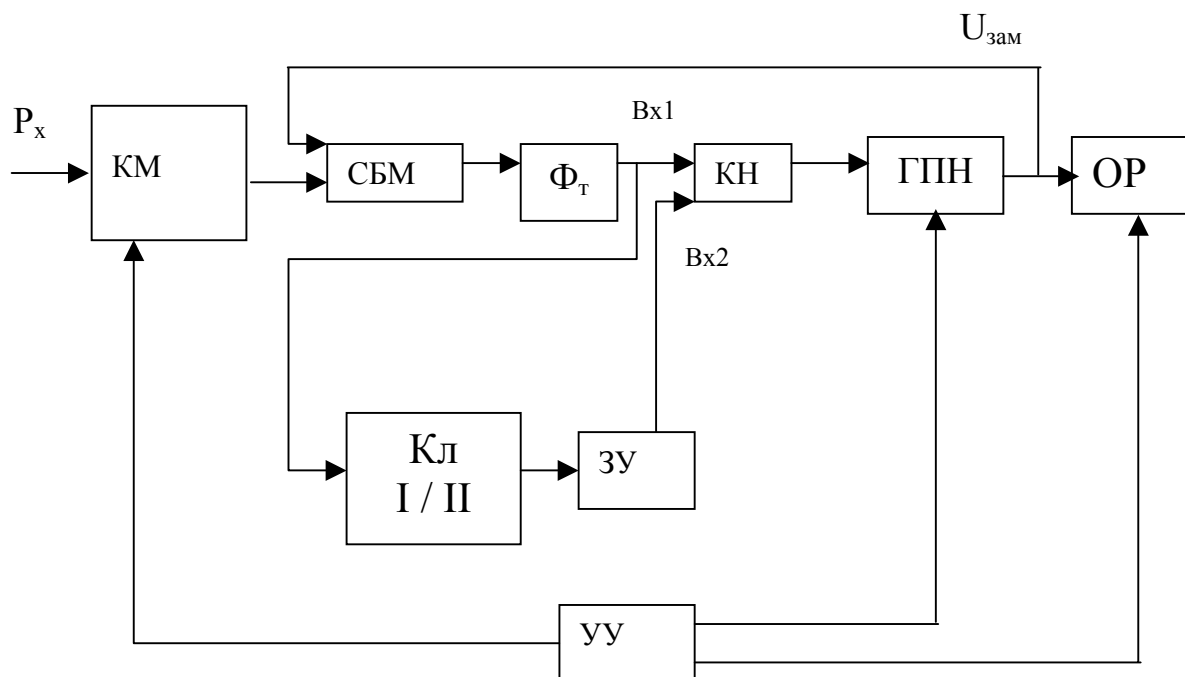


Рис. 8.1. Структурная схема автоматического измерительного устройства с однократным сравнением

КМ - коммутатор, СБМ - самобалансирующаяся мостовая схема,  $\Phi_T$  - выпрямитель с фильтром, КН - компаратор напряжения, ОРУ - отсчетно- регистрирующее устройство, УУ - управляющее устройство, Кл - ключ.

Измеряемый сигнал  $P_x$  через  $K_m$  поступает на терморезистор  $R_T$  СБМ переменного тока. По окончании переходных процессов на выходе ФТ устанавливается некоторый уровень постоянного напряжения  $U_1$ , фиксируемый ЗУ, выход которого подключен к одному из входов КН.

**В момент времени  $t_1$**  УУ вырабатывает сигналы на коммутатор и Кл, что обеспечивает прекращение подачи  $P_x$  на терморезистор и отключение ЗУ от ФТ.

Это приводит к резкому возрастанию амплитуды колебания напряжения в СБМ и выходного напряжения фильтра до  $U_2$ . Спустя  $\Delta t$ , определяемый переходным процессом, УУ запускает ГПН, выходное напряжение которого  $U_{зам}$  (замещение) подается на  $R_T$ , уменьшая амплитуду колебаний напряжения в СБМ и напряжение на выходе фильтра, до момента времени  $t_2$  равенства напряжений на обоих входах КН.

**В момент  $t_2$**  срабатывает КН и прекращается изменение напряжения ГПН. Одновременно  $U_{зам}$  фиксируется ОРУ. При этом мощность входного сигнала

$$P_x = K_0 U_{зам}^2,$$

где  $K_0$  – коэффициент преобразования замещающего напряжения  $U_{зам}$  в мощность, рассеиваемую на  $R_T$ , определяемый значением проводимости электрической цепи между ГПН и  $R_T$ .

Анализ приведенной структурной схемы установил, что отклонение выходного сигнала измерительного устройства от входного обусловлена:

- несовершенством ЗУ ( $\Delta U_{зу}$ );
- порогом срабатывания КН ( $\Delta k_n$ );
- инерционностью преобразовательного тракта (СБМ, ФТ);
- временем срабатывания компаратора ( $\Delta t_{кн}$ );
- несовершенством ОРУ ( $\Delta U_{вых}$ ).

Поскольку быстродействие КН выше быстродействия измерительного устройства составляющими  $\Delta t_{кн}$  и  $\Delta U_{вых}$  можно пренебречь. Существенное уменьшение влияния  $\Delta U_{кн}$  и  $\Delta U_{зу}$  на точность измерения обеспечивает метод двукратного сравнения (рис. 8.2).

## 8.2. Средства измерений с двукратным сравнением

Входной сигнал  $P_x$  подается через  $K_m$  на СБМ, при этом на выходе фильтра устанавливается напряжение  $U'_{фт1}$  (**момент времени  $t_1$** ). Спустя промежуток времени  $\Delta t = t_2 - t_1$ , определяемый постоянной времени  $U_{инт}$  в режиме апериодического усиления, на выходе интегратора устанавливается напряжение  $U'_{фт2}$ , несколько меньшее  $U'_{фт1}$ . По окончании времени задержки  $t_{н.у} = \Delta t$  необходимой для формирования начальных условий интегратора (т.е. установления на его выходе напряжения  $U'_{фт2}$ ), Инт переводится из режима апериодического усиления в режим интегрирования (**момент времени  $t_2$** ). На его второй вход с источника опорного напряжения (ИОН) подается некоторый уровень отрицательного напряжения, вызывающий на выходе Инт линейное



изменение напряжения.

В момент времени  $t_3$ , когда выходное напряжение Инт достигнет значения

$$U_{\text{Инт}}(t) = U'_{\text{фт1}} - \Delta U_{\text{кн}} = U_{\text{Инто}},$$

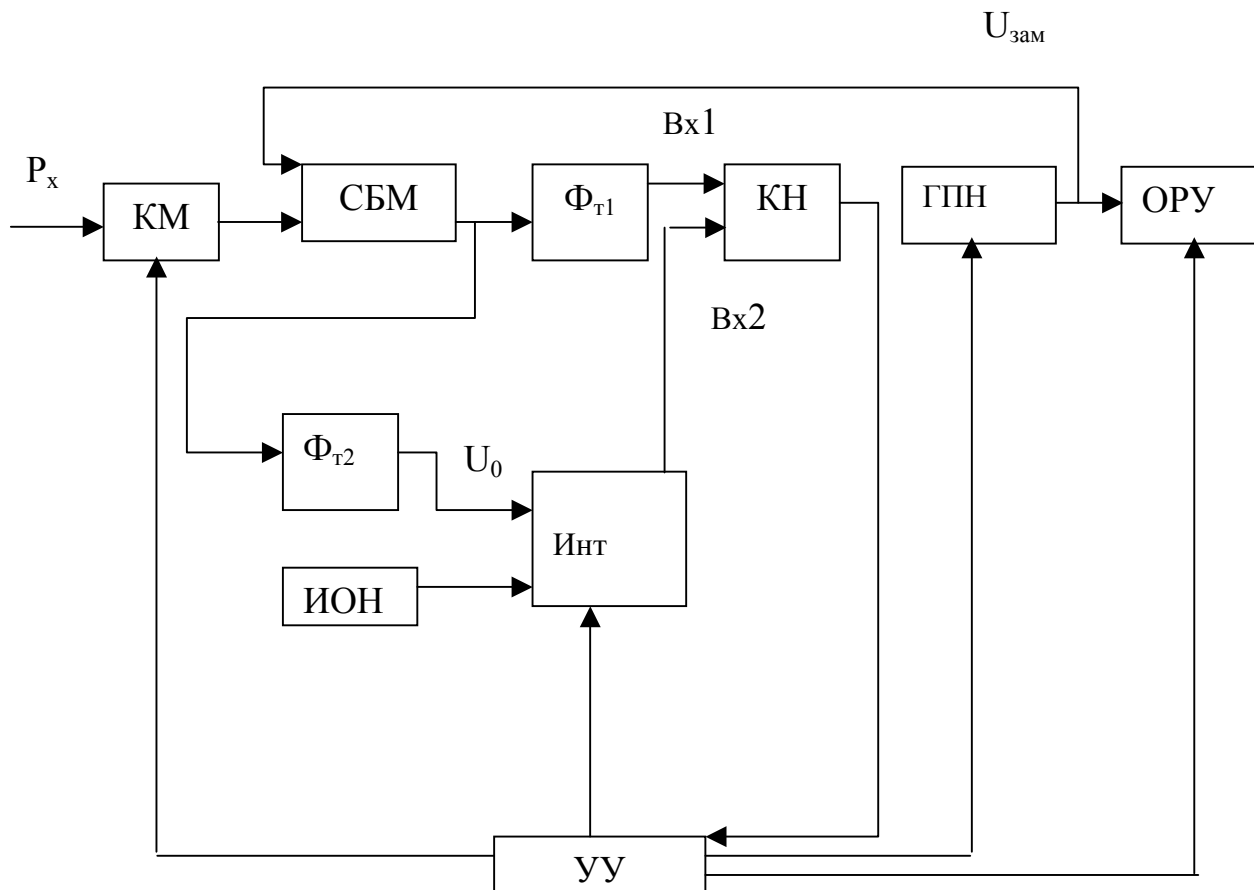


Рис. 8.2. Структурная схема автоматического устройства с двукратным сравнением  
ИОН - источник опорного напряжения, Инт - интегратор.

срабатывает компаратор, при этом устройство управления УУ осуществляет следующие операции:

- переводит  $U_{\text{Инт}}$  в режим “памяти”, отключая ИОН;
- прекращает подачу сигнала  $P_x$  с помощью Км ;
- включает ГПН, формирующий мощность замещения.

Под действием возрастающей замещающей мощности  $P_{\text{зам}}(t)$  будет уменьшаться выходное напряжение фильтра  $U_{\text{фт1}}$  до тех пор, пока не достигнет в (момент времени  $t_4$ ) значения:

$$U_{\text{фт1}}(t) = U_{\text{Инто}} + \Delta U_{\text{кн}} .$$

Компаратор срабатывает вторично и УУ прекращает изменение выходного

напряжения ГПН и запускает ОРУ, фиксирующий значение  $U_{\text{зам}}$ , которое является *МЕРОЙ ВХОДНОГО СИГНАЛА* -  $P_x$ .

На результат измерения оказывает влияние:

- дрейф выходного напряжения  $U_{\text{инт}}$  за время его уравнивания;
- динамическая составляющая на этапе уравнивания.

1я составляющая является *СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНОЙ* и для ее уменьшения необходимо уменьшать время замещения (увелич.  $U_{\text{зам}}$ ). Однако, при этом увеличивается влияние динамической составляющей. Использование таких СИ в несколько раз снижает требования к КН.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Какой принцип положен в основу автоматического измерительного устройства с однократным сравнением? Дайте анализ факторов, влияющих на его точность.
2. Какие преимущества дает схема измерений с двукратным сравнением?

## **9. Автоматические средства с адаптацией чувствительности; с частотно-импульсным преобразованием**

[1],[10]

### *9.1. Средства измерений с адаптацией чувствительности*

Повышение точности СИ связано с уменьшением значения  $P_{o.c.}$  и обеспечением инвариантности  $P_{o.c.}$  по отношению к возмущающим воздействиям.

В свою очередь уменьшение  $P_{o.c.}$  приводит к повышению чувствительности УСБМ и, следовательно, уменьшению погрешности. Другим важным показателем СБМ является относительное изменение его выходного напряжения при воздействии на терморезистор измеряемого сигнала. Полезный сигнал  $\Delta U_{o.c.}$ , несущей в себе информацию о значении измеряемого сигнала  $P_x$ , поступает на вход запоминающего и сравнивающего устройств в виде приращения относительно постоянной составляющей  $U_{o.c.}$ .

При этом, чем выше значения  $\Delta U_{o.c.}/U_{o.c.}$ , тем меньше трудностей с выделением полезного сигнала.

Повышение относительного значения выходного полезного сигнала СБМ возможно за счет уменьшения мощности разогрева  $R_T$  напряжением обратной связи СБМ.

Поскольку необходимо выполнение уравнения баланса мощностей в мостовой схеме

$$P_{o.ci} + P_{\theta i} = P_o = \text{const}$$

или

$$U_{oci}^2 / 4R_T + P_{\theta i} = P_o = \text{const}$$

где  $P_{\theta i} = H(\theta_i - \theta_o)$  – мощность, эквивалентная воздействию на  $R_T$  температуры окружающей среды;  $H$  – постоянная рассеяния терморезистора,  $Вт/^\circ\text{C}$  ;

**уменьшение  $P_{o.c.}$  возможно за счет подачи на терморезистор дополнительной мощности его разогрева  $P_{доп}$  от какого-либо внешнего источника**

$$P_{доп}(t) = P_o - P_{o.c.} - P_{\theta}(t)$$

Практическая реализация данного способа адаптации чувствительности возможна при использовании в качестве источника дополнительной мощности **управляемого генератора (УГ)**, частота которого отличается от частоты переменного напряжения СБМ, что исключает корреляцию между  $P_{доп}$ ,  $P_{зам}$  и  $P_{o.c.}$

Структурная схема СИ с адаптацией чувствительности приведена на рис. 9.1.

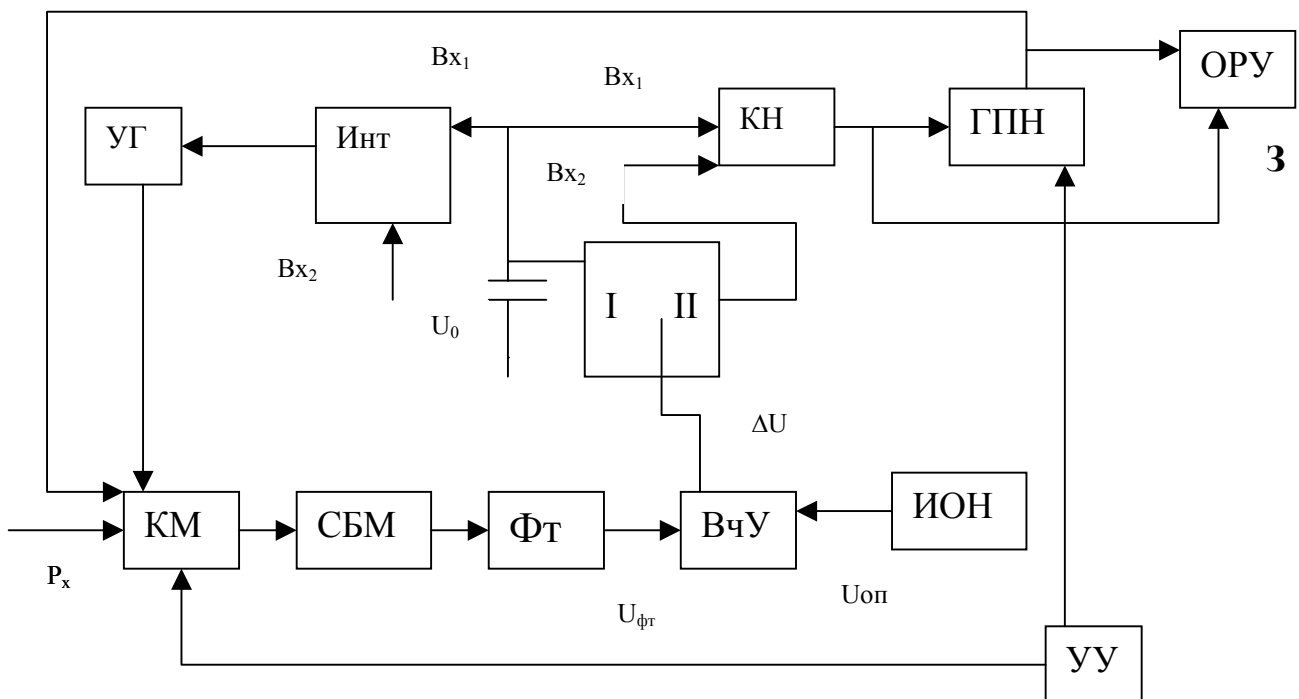


Рис. 9.1. Структурная схема автоматического устройства с адаптацией чувствительности

В основе работы данного СИ лежит использование замкнутого контура, содержащего СБМ переменного тока, выпрямитель с фильтром  $\Phi_T$ , вычитающее устройство ВЧУ, Инт, УГ высокочастотного напряжения. Контур представляет собой САУ (систему автоматического регулирования) обеспечивающую стабилизацию  $P_{o.c.}$  на требуемом уровне.

Выходное напряжение СБМ поступает на  $\Phi_T$  и затем сравнивается с  $U_{оп}$  источника ИОН. Разностное напряжение  $\Delta U(t) = U_{\Phi_T}(t) - U_{оп}$  подается с выхода ВиУ на вход Инт (ключ находится в положении 1).

Изменяющееся выходное напряжение Инт приводит к изменению амплитуды выходного сигнала УГ и дополнительной мощности разогрева  $R_T$ , способствуя уменьшению  $\Delta U(t)$ .

В установившемся режиме значение  $\Delta U_{уст}$  определяется выбранной рабочей точкой Инт, т. е. значением напряжения  $U_0$  подаваемого на  $V_{x2}$  Инт. По окончании переходных процессов с учетом смещения нуля  $U_{см}$  интегратора:

$$\Delta U_{уст} = U_0 \pm U_{см}$$

При этом конденсатор  $C$ , подключенный к  $V_{x1}$ , Инт и  $V_{x1}$  КН заряжается до значения  $\Delta U_{уст}$ . Рассмотрим подробно работу СИ с адаптацией чувствительности.

**В момент  $t_1$**  через КМ подается измеряемый сигнал  $P_x$ . Это приводит к уменьшению  $U_{о.с.}$ . Сигнал рассогласования увеличивается, что вызывает уменьшение выходного напряжения Инт и напряжения на выходе УГ и, следовательно, увеличение выходного напряжения СБМ и уменьшение  $\Delta U(t)$ , поступающего на  $V_{x1}$  компаратора КН.

Таким образом, при подаче на  $R_T$  измеряемого сигнала  $P_x$  мощность, рассеиваемая на терморезисторе от УГ уменьшается на

$$\Delta P_{уг} = P_x,$$

возвращая амплитуду напряжения  $U_{ос}$  СБМ к прежнему значению.

**В момент времени  $t_2$**  по окончании переходного процесса с помощью УУ переключается Кл в положение II, прекращается подача измеряемого сигнала  $P_x$  и запускается генератор ГПН. Прекращение подачи  $P_x$  вызывает увеличение амплитуды колебаний СБМ.

Напряжение, до которого заряжен конденсатор  $C$  поддерживает напряжение на выходе Инт, а, следовательно, и  $P_{доп} = P_{уг}$  постоянным.

Под действием возрастающего напряжения  $U_{гпн}$  амплитуда колебаний СБМ убывает, увеличивая рассогласование  $\Delta U(t)$ , поступающего на  $V_{x2}$  КН.

**В момент  $t_3$**  наступления равенства напряжений на входах КН последний срабатывает, прекращая работу ГПН, запуская ОРУ. Значение  $U_{гпн} = U_{зам}$ , фиксируемое ОРУ, является мерой измеряемого сигнала  $P_x$ .

*Анализ точности СИ с адаптацией чувствительности (ошибка сравнения  $\Delta P_x (\Delta U_{кн})$  и запоминания  $\Delta P_x (\Delta U_{зу})$ ).*

Использование САУ позволяет *уменьшить амплитуду колебаний СБМ и обеспечить ее постоянство* при воздействии ВВ ( за счет перераспределения мощностей, действующих на  $R_T$  ). Это в свою очередь позволяет уменьшить уровень напряжения запоминания. Следовательно, *в качестве компаратора КН можно использовать устройства с невысоким уровнем напряжения, но высокой чувствительности* (т.е. малое значение  $\Delta U_{кн}$ ).

Низкий уровень  $U_{зу}$  значительно снижает ошибку  $\Delta P_x (\Delta U_{зу})$ , поскольку скорость уменьшения  $U_{зу}$  на запоминающем конденсаторе  $C$  пропорциональна значению этого напряжения.

Выбором  $U_{оп}$  и коэффициента передачи  $K_{фт}$  чувствительность СБМ может быть увеличена в несколько раз. Таким образом, отклонения значения выходного сигнала, обусловленные несовершенством ЗУ ( $\Delta U_{зу}$ ) и порогом срабатывания КН ( $\Delta K_{н}$ ) могут быть уменьшены в десятки раз.

Отклонение значения выходного сигнала, обусловленное изменением  $P_{доп}$  за счет изменения  $U_{зу}$ , носит случайный характер. Динамическая ошибка замещения, обусловленная инерционными свойствами измерительного канала, определяется по той же методике, что и в предыдущих схемах.

Таким образом, основными составляющими неопределенности результата измерения будут:

- сравнения  $\Delta P_x (\Delta U_{кн})$ ;
- запоминания  $\Delta P_x (\Delta U_{зу})$ ;
- замещения  $\Delta P_{зам}$ ;
- динамическая ( $\Delta P_x$ )д .

Их можно считать независимыми случайными величинами, распределенными по нормальному закону. Их линейная комбинация также подчиняется нормальному закону.

Принцип адаптации чувствительности СБМ позволил обеспечить широкий рабочий диапазон температур ( $\pm 60^\circ \text{C}$ ) для СИ с  $R_T$ .

## 9.2. Средства измерений с частотно-импульсным преобразованием

Рассмотренные СИ имеют недостатки:

- нельзя реализовать прямое преобразование (разновременное сравнение  $P_x$  и  $P_{зам}$  с коммутацией  $P_x$ );
- СИ являются аналоговыми.

Если выходной сигнал имеет частотную форму представления – схема СИ упрощается, повышается помехоустойчивость, чувствительность.

Основными узлами ЧИП (рис. 9.2) являются:

СБМ, импульсный усилитель разбаланса (ИУ), фазовый детектор (ФД), фильтр ( $\Phi_T$ ), генератор импульсов управляемой частоты (ГУЧ), формирователь синхроимпульсов (ФСИ) и формирователь амплитуды  $U_{max}$  и длительность  $\tau_{имп}$  прямоугольных импульсов (ФИ) питания мостовой схемы.

Таким образом, схема представляет собой СБМ с импульсным напряжением питания, модулированным по одному из параметров импульсного сигнала. В этом случае мощность, рассеянная на  $R_T$ :

$$P_{RT} = U_{max}^2 / 4R_T \cdot \tau_{имп} / T = (U_{max}^2 \cdot \tau_{имп} / 4R_T) F,$$

где  $U_{max}$ ,  $\tau_{имп}$ ,  $T$ ,  $F$  – соответственно амплитуда, длительность, период повторения, частота импульсного напряжения питания.

До подачи на вход ЧИП измеряемой величины  $P_x$  суммарная мощность, рассеиваемая на  $R_T$ :

$$P_o = P_{RT} + P_\theta = (U_{max}^2 \cdot \tau_{имп} / 4R_T) F + P_\theta$$

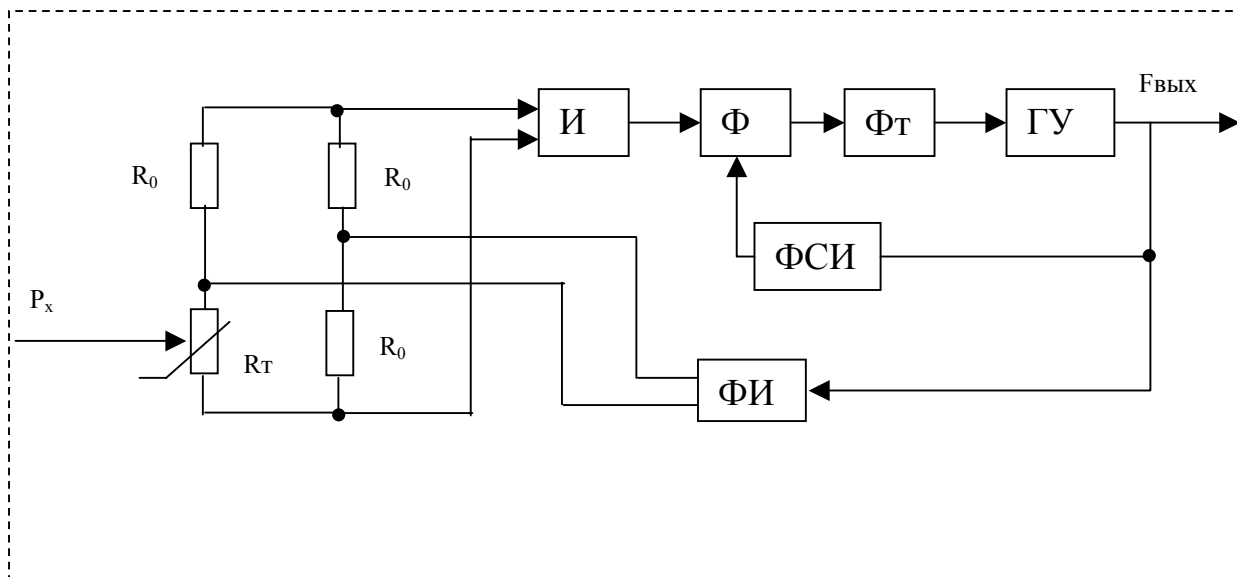


Рис. 9.2. Структурная схема частотно-импульсного преобразователя

При подаче на вход ЧИП измеряемого сигнала  $P_x$  мостовая схема разбалансируется и ее напряжение разбаланса уменьшает частоту импульсов на выходе ГУЧ до момента наступления баланса мостовой схемы, при котором справедливо соотношение:

$$P_0 = P_{RT} + P_\theta + P_x = (U_{\max}^2 \cdot \tau_{\text{имп}} / 4R_T) F_2 + P_\theta + P_x$$

Следовательно, изменение частоты на входе ЧИП (при постоянстве температуры)

$$\Delta F = (4R_T / U_{\max}^2 \cdot \tau_{\text{имп}}) P_x = S P_x,$$

где  $S = \Delta F / P_x$  – чувствительность ЧИП;

$\Delta F$  связано с  $P_x$  линейной зависимостью (при  $U_{\max}$  и  $\tau_{\text{имп}} = \text{const}$ ).

Рациональной с точки зрения автоматизации процесса является схема, реализующая метод двухтактного интегрирования (рис. 9.3). Измерение производится в три такта:

**В 1й такт** сигнал  $P_x$  не воздействует на  $R_T$ .

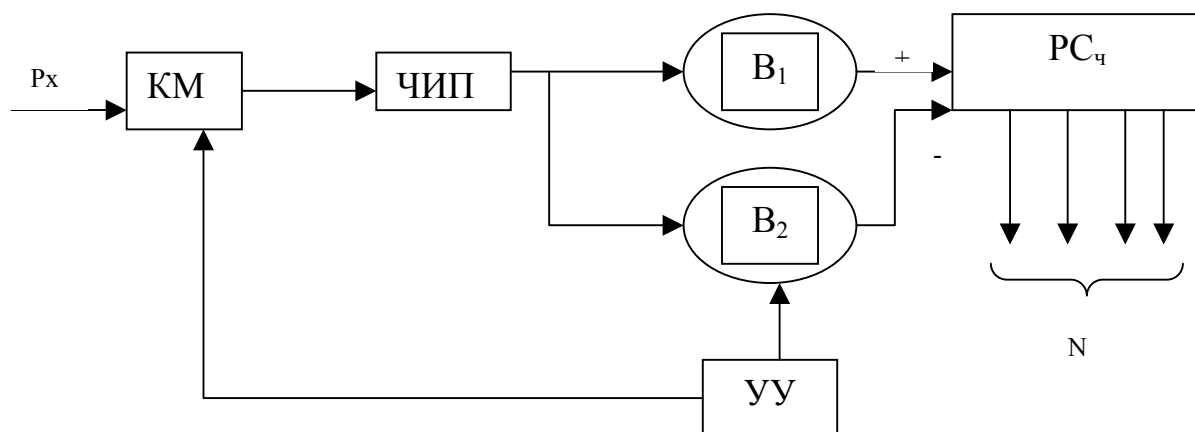


Рис. 9.3. Структурная схема СИ, реализующего метод двухтактного интегрирования

Выходной сигнал  $F_1$  ЧИП поступает через вентиль  $B_1$  по команде УУ на суммирующий вход реверсивного счетчика (РСч), работающего в этот такт в режиме “сложение”.

При этом

$$N_1 = \int_0^{T_0} F_1(t) dt = ST_0(P_0 - P_\theta)$$

где  $T_0$  – продолжительность 1го такта.

**Во II-м такте** УУ с помощью  $K_M$  подает на  $R_T$  измеряемый сигнал  $P_x$ , отключая при этом вход РСч от ЧИП. За время 2го такта на выходе ЧИП установится значение частоты  $F_2$ .

**В III-м такте**, длительность 1-го такта, выход ЧИП с помощью  $B_2$  подключается в вычитающему входу РСч. При этом

$$N_2 = \int_{3T_0}^{2T_0} F_2(t) dt = ST_0 (P_0 - P_\theta - P_x)$$

Число импульсов, накопленное счетчиком

$$N = N_1 - N_2 = ST_0 P_x$$

Отсюда  $P_x = (1/ST_0) N$ , где  $P_x = (U_{\max}^2 \cdot \tau_{\text{имп}} / 4R_T T_0) N$ ;

$1/ST_0$  – разрешающая способность измерителя.

Ошибка измерения определяется нестабильностью параметров импульсного напряжения ( $U_{\max}$ ,  $\tau_{\text{имп}}$ ) и времени счета  $T_0$ . Определяя частные производные и переходя к конечным приращениям, получают случайные составляющие ошибки измерения.

Предельное значение абсолютного отклонения определяют, считая случайные величины  $\Delta U_{\max}$ ,  $\Delta \tau$  и  $\Delta T_0$  независимыми.

$$(\Delta P)_{\max}^0 \approx 3\sigma_{\Delta P} = \frac{3U_{\max} N}{2R_T T_0} \sqrt{\tau_{\text{имп}}^2 \sigma_{\Delta}^2 U_{\max} + \frac{U_{\max}^2}{4} \sigma_{\Delta}^2 \tau_{\text{имп}} + \frac{U_{\max} \tau_{\text{имп}}}{2T_0^2} \sigma_{\Delta}^2 T_0}$$

Это выражение позволяет определить допускаемое отклонение параметров в процессе эксплуатации в зависимости от требуемой точности измерения.

Разработан алгоритмический способ коррекции температурной погрешности – трехтактное интегрирование.

**1-й такт:** входной сигнал  $P_x$  не поступает на  $R_T$  и выходная частота ЧИП  $F_1(t)$  в течение времени  $T_0 = \frac{1}{4} t_{\text{изм}}$  поступает на РСч, который накопит число импульсов  $N_1$ .

**II-й такт** – за время  $2T_0$  на  $R_T$  подается  $P_x$ . Одновременно выходной сигнал ЧИП с частотой  $F_2(t)$  подается на вычитающий вход РСч, из которого за время  $2T_0$  вычитается число импульсов  $N_2$ .

**III-й такт** – прекращается подача  $P_x$  на  $R_T$  (в момент времени  $t_2$  отключения  $P_x$  значение частоты на выходе ЧИП возрастает на  $\Delta F$ ) и выходной сигнал ЧИП  $F_3(t)$  подается на суммирующий вход РСч. При этом в счетчик занесется число импульсов  $N_3$

$$N = (N_1 + N_3) - N_2 = 2T_0 S P_x$$

При этом влияние нестабильности температуры полностью исключается.

### 9.3. Средства измерений прямого преобразования

Схемы основного ЧИП1 и компенсационного ЧИП2 каналов СИ прямого преобразования идентичны и представляют собой рассмотренные ранее ЧИП (рис.9.2.).

Равенство выходных частот основного и компенсационного каналов, при  $P_x=0$  обеспечивается подачей на терморезисторы дополнительной мощности разогрева  $P_{доп}$  от регулируемых источников напряжения постоянного тока (РИН).

Этим достигается компенсация аддитивной погрешности измерения (совмещая начальные точки отсчета обоих каналов).

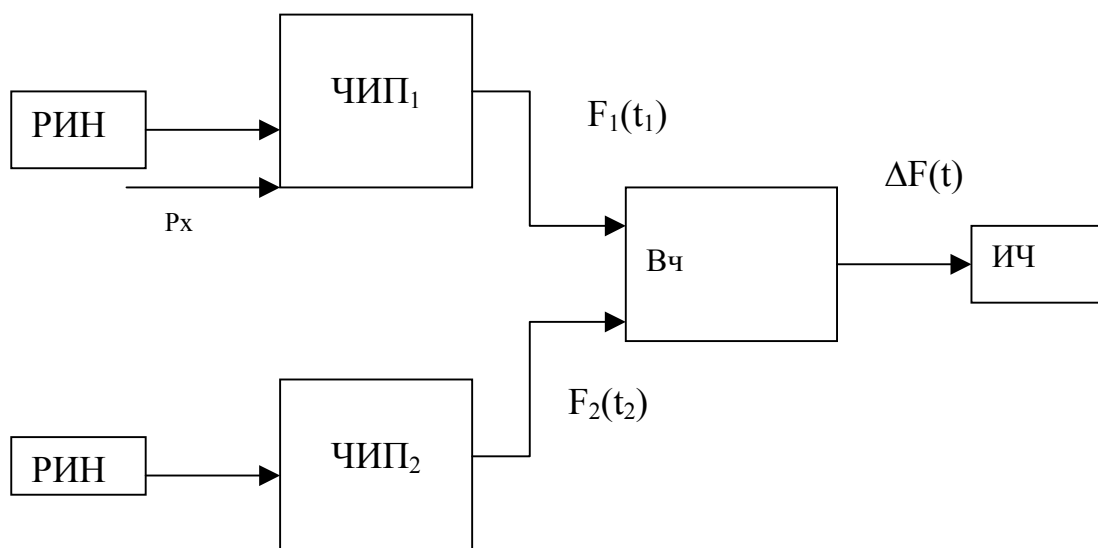


Рис. 9.4 Схема СИ с пространственным разделением каналов на основе ЧИП

Чтобы скомпенсировать мультипликативную погрешность измерения, необходимо обеспечить равенство коэффициентов преобразования каналов.

Для этого в цепь обратной связи ЧИП2 введен АТТЕНЮАТОР ( $Att$ ), который за счет изменения амплитуды импульсов питания мостовой схемы обеспечивает равенство коэффициентов преобразования. Разностная частота однозначно определяет значение измеряемого сигнала  $P_x \Delta F$ , выделяется в устройстве вычитания частот  $V_{\text{ч}}$  и поступает затем в измеритель частоты (ИЧ).



#### 9.4. Выбор метода построения автоматических СИ

Классификация методов построения автоматических СИ представлена на рис. 9.5. Выбор конкретного метода измерения и схемы построения зависит от следующих факторов:

- точностных параметров;
- быстродействия;
- условий эксплуатации, режима работы.

Если *возможна коммутация* преобразуемого сигнала – целесообразно применить метод замещения.

Если за цикл измерения возможна *однократная коммутация* – используется схема с 1х или 2х сравнением.

Более высокую точность обеспечивают схемы с замещением импульсным сигналом.

При большом диапазоне температуры окружающей среды – (+60°С) с *адаптацией чувствительности*.

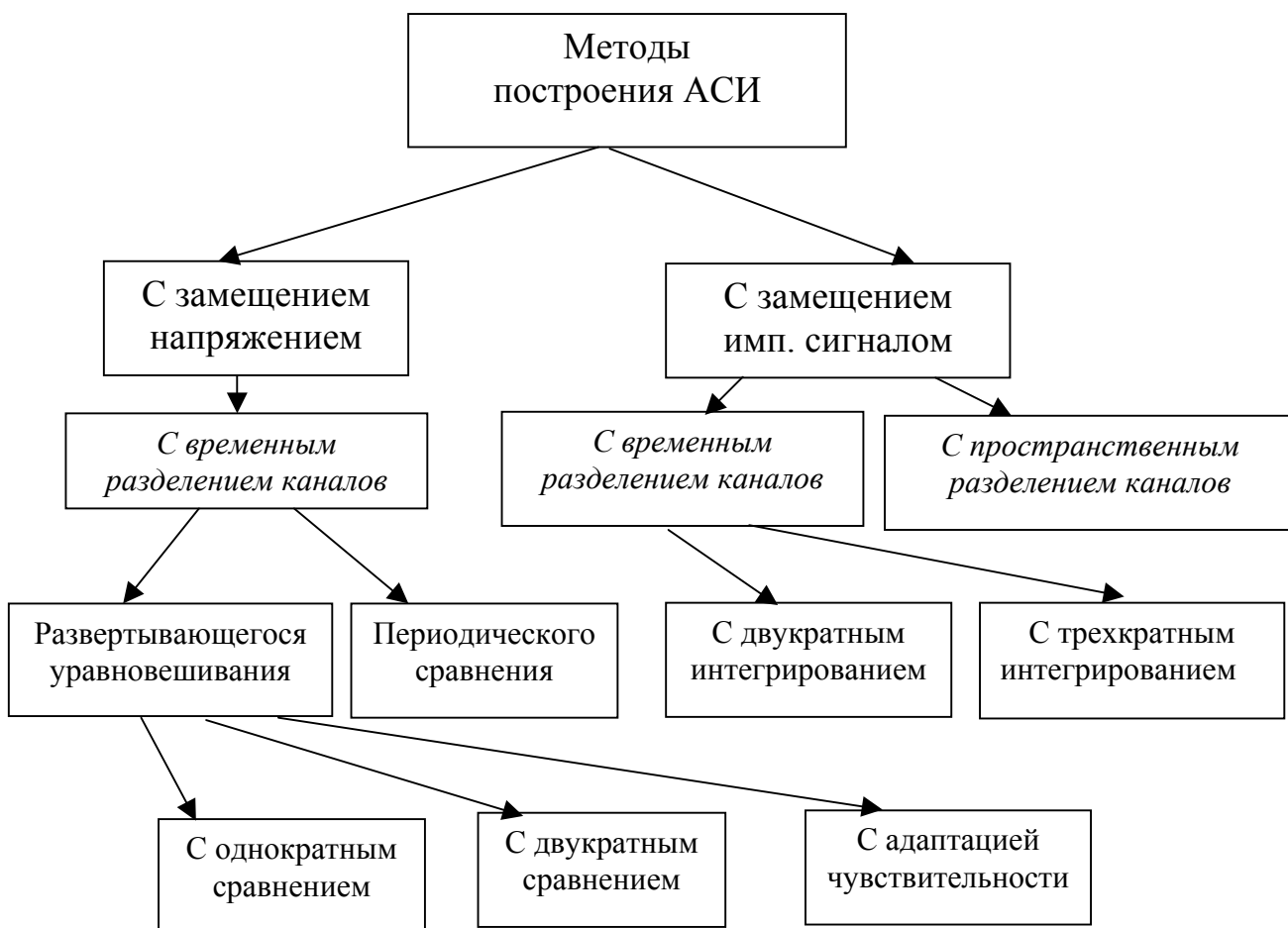


Рис. 9.5. Классификация методов построения автоматических средств измерений

При использовании СИ в системе контроля – предпочтительнее схемы с *аналоговым* выходом.

Если СИ *автономное* – используют схемы с замещением импульсным сигналом, обеспечивающие *цифровой отсчет*. При этом, если имеют место перепады температуры – применяют метод трехтактного интегрирования. Если отсутствует возможность коммутации сигнала – используется *схема прямого преобразования*.

При выборе *быстродействия* необходимо сопоставить динамические погрешности из-за нестабильности уровня сигнала и дополнительные погрешности преобразования, связанные с повышением быстродействия СИ.

### 9.5. Структура СИ измерений вероятностных характеристик случайных процессов

Современные цифровые СИ вероятностных характеристик случайных процессов реализуют дискретные методы оценки  $X_{cp}$

$$X_{cp} = 1/N \sum (i T).$$

Определение  $X_{cp}$  заключается в суммировании выборок  $X(iT)$  и последующем делении на число выборок  $N$ .

Входной сигнал  $X(t)$  (рис. 9.6) поступает на преобразователь напряжения в частоту (ПНЧ). В момент времени  $iT$ , задаваемые генератором импульсов опроса (ГИО) сигнал преобразуется в частотно-импульсный сигнал  $f_x(t)$ , поступающий через ключ  $K1$  на счетчик импульсов  $Сч 1$ . Ключ отпирается на время действия импульса опроса длительностью  $\tau_{имп}$ .

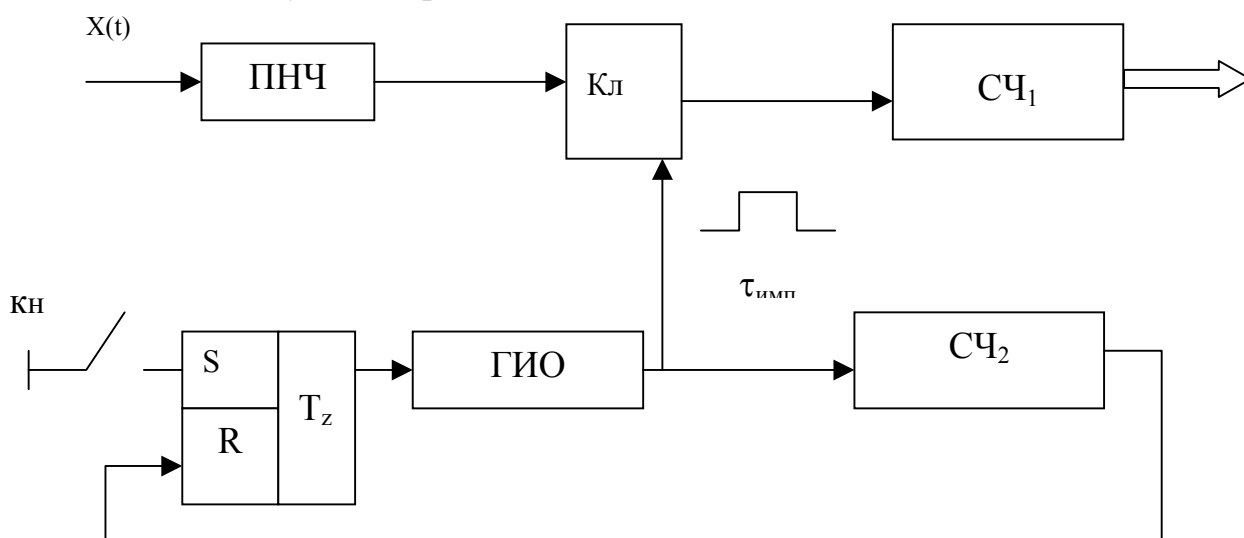


Рис. 9.6. Структура СИ измерений среднего значения  $X_{cp}$

Таким образом, за время  $\tau_{имп}$  накапливается код  $N1 = f_x(iT) \tau_{имп}$ . Одновременно импульсы опроса подсчитываются счетчиком  $Сч2$ . Импульс переполнения этого счетчика переводит триггер ( $T2$ ) во второе устойчивое состояние, и его выходной сигнал закрывает генератор ГИО. На этом цикл измерений  $X_{cp}$  заканчивается.

На счетчик  $Сч1$  поступает  $N$  пачек импульсов  $f_x(t)$ , где  $N$  – число импульсов опроса, поступающих на счетчик  $Сч2$  до его переполнения.

Полученный код в счетчике Сч1 пропорционален  $\sum X(iT)$ . Операция деления производится путем переноса запятой в значении полученного кода  $N_{cp}$  счетчика Сч1 на число разрядов счетчика Сч2. Новый цикл измерения начинается путем нажатия кнопки Кн и начальной установки Сч1.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Как практически может быть реализован способ адаптации чувствительности?
2. Поясните принцип работы автоматического средства измерения с частотно-импульсным преобразованием, реализующего метод двухтактного интегрирования.
3. В чем состоит алгоритмический способ коррекции температурной ошибки в СИ с частотно-импульсным преобразованием?
4. В каком случае реализуется метод построения АСИ с пространственным разделением каналов (на основе ЧИП) ?
5. Приведите классификацию методов построения автоматических СИ.

## **10. Автоматизация испытаний электронных вычислительных средств**

[ 3 ]

Согласно принятому определению, испытания — это экспериментальное определение характеристик продукции в заданных условиях ее функционирования. Испытания являются важнейшим этапом создания образцов техники, а их результаты служат основанием для принятия ответственных решений.

Цель испытаний, с метрологической точки зрения, заключается в нахождении посредством измерения истинного значения контролируемого параметра и оценивании степени доверия к нему.

Объем испытаний и трудоемкости их проведения вследствие расширения функциональных возможностей электронных средств приводит к необходимости автоматизации испытательных и контрольно-измерительных операций путем широкого внедрения средств вычислительной техники.

В свою очередь, интенсивное развитие вычислительной техники, а также постоянное совершенствование устройств для испытаний позволяют создать информационно-измерительные системы и автоматизированные испытательные станции, которые предназначены для выполнения на основе измерений функций контроля, испытаний, диагностики и др. Пример такой системы приведен на рисунке (рис 10.1.).

Объектом управления в испытательной станции служит *автоматизированное устройство для испытаний*, для которого требуется

поддерживать нужный испытательный режим и производить измерения значений контролируемых параметров по заданной программе.

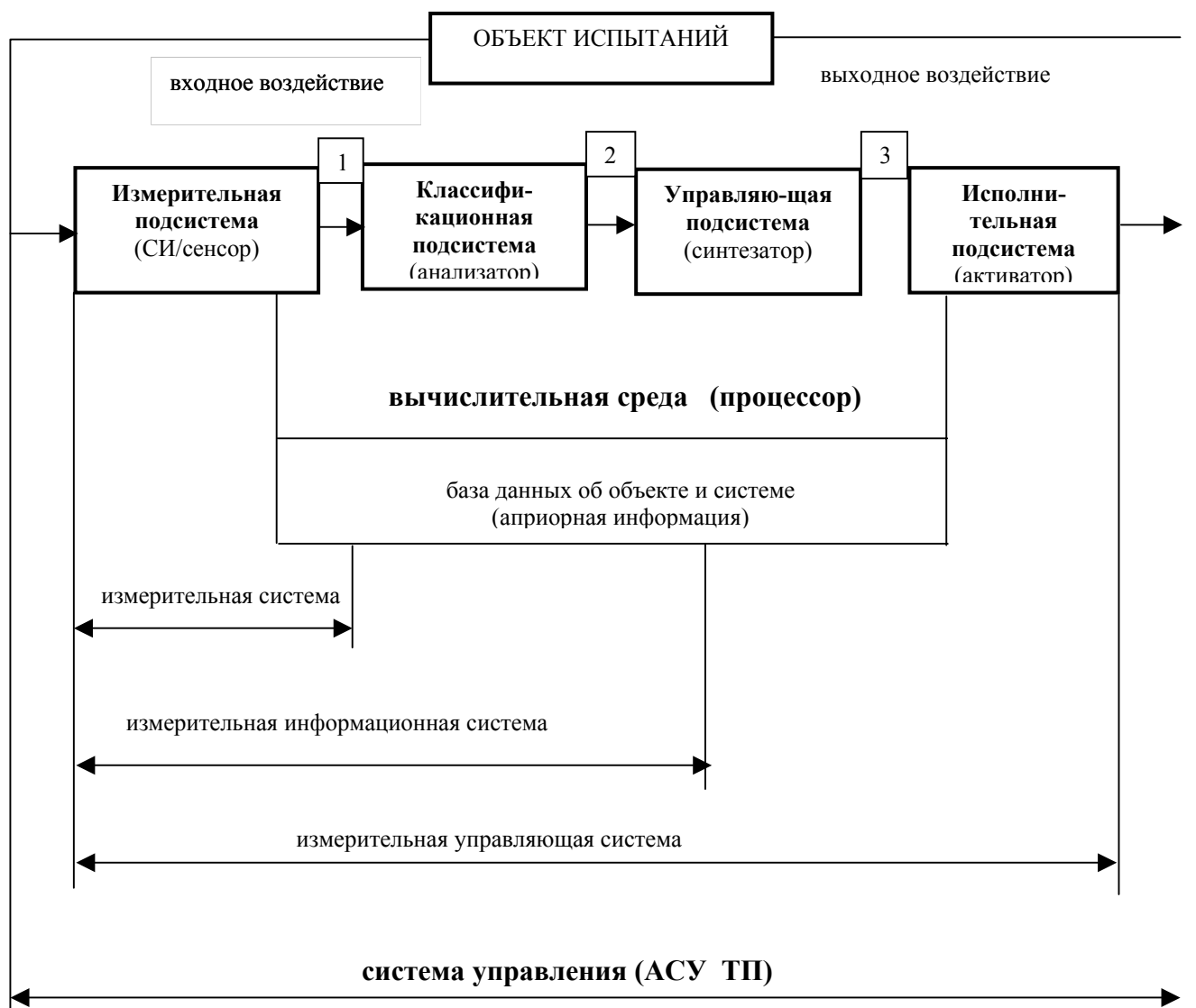


Рис.10.1. Структурная схема автоматизированной испытательной станции  
 1 – измерительная информация; 2 – классификационная информация;  
 3 – управляющая информация.

Измерительная подсистема получает данные о ходе испытаний и выдает эти данные в виде измерительной информации на анализатор. В случае нарушения испытательного режима управляющая подсистема (синтезатор) исполнительная подсистема (активатор) производят корректировку этих данных через управляющий орган.

*Центральные испытательные станции* позволяют решать следующие основные задачи:

-предоставление предприятиям технической испытательной базы, позволяющей проводить испытания, наиболее полно удовлетворяющие все более ужесточающимся требованиям заказчиков;

-проведение граничных испытаний и испытаний на долговечность, направленных на выявление конструктивно-технологических запасов изделий и разработку на их основе руководящих материалов по совершенствованию конструкций изделий;

-накопление, обобщение и анализ результатов испытаний для внесения рекомендаций по повышению надежности изделий и совершенствованию системы и методов испытаний, а также по модернизации существующих и созданию новых устройств для испытаний.

*Техническое обеспечение* автоматизированной испытательной станции представляет собой в первую очередь комплекс серийно выпускаемых технических средств, используемых в системе. К этим средствам относятся: устройства для испытаний, ЭВМ, АЦП и ЦАП, датчики, накопители информации, устройства ввода-вывода и документирования; устройства оперативного взаимодействия, коммутирующие устройства, интерфейсы. Математическое обеспечение автоматизированной испытательной станции в значительной степени определяет эффективность ее использования.

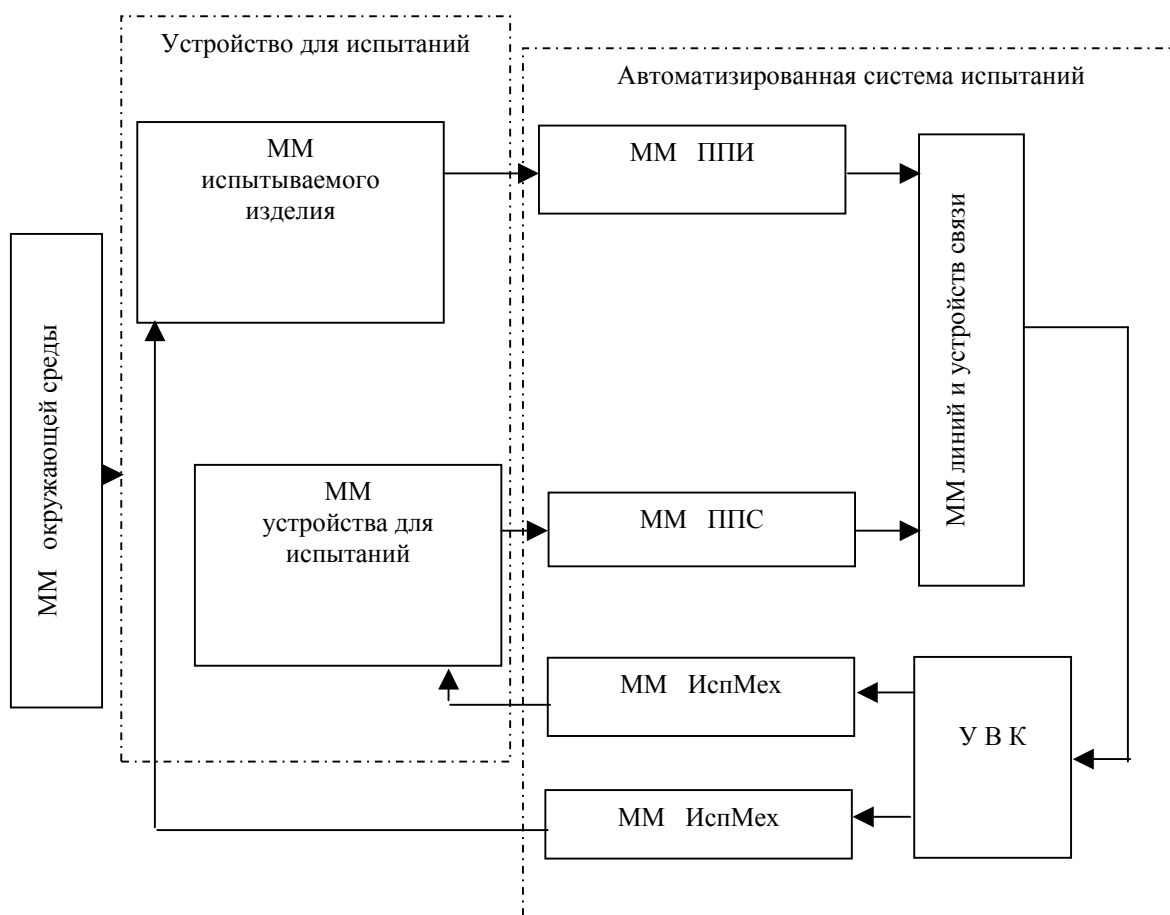


Рис.10.2. Математическая модель технологического процесса испытаний

ММ – математическая модель; ППИ – первичный преобразователь параметров изделия; ППС – первичный преобразователь параметров станда; ИспМех – исполнительные механизмы; УВК – управляющий вычислительный комплекс

*Математическая модель процесса испытаний* (рис.10.2. ) определяет последовательность операций и порядок взаимодействия технических средств при решении таких задач: подготовка электронных средств и устройств для испытаний, управление устройствами для испытаний, коррекция параметров испытываемых изделий и др.

*Программное обеспечение* автоматизированных испытательных станций представляет собой комплекс программ и инструкций к ним, необходимых для реализации всех функций станций и записанных на соответствующих носителях. Его можно разделить на общее и специальное. *Общее программное обеспечение* представляет совокупность программ, служащих для управления и организации вычислительного процесса, обработки результатов, стандартных операций с наборами данных, рассчитанных на широкий круг пользователей и поэтому ориентированных на решение часто встречающихся задач. В общее программное обеспечение входят тестовая и операционная системы.

Специальное программное обеспечение представляет совокупность программ, предназначенных для реализации одной функции или группы функций конкретной станции, т. е. обеспечивает решение специфических задач в соответствии с программой испытаний или по специальным запросам пользователей. Совокупность взаимосвязанных программ называется пакетом прикладных программ.

*Информационное обеспечение* автоматизированных испытательных станций включает информационное описание процессов испытаний, отдельных испытательных операций и процедур управления ими. Каждый испытательный центр должен иметь свою информационно-логическую модель, создание которой предполагает максимальную автоматизацию подготовительных и финишных операций, всех вычислений и формирования вторичных документов. *Информационная модель* автоматизированных испытательных станций должна отражать процессы испытаний, факты выполнения этих процессов, состояние и динамические характеристики объектов управления и должна включать развернутую информационную схему управления, схемы решения отдельных задач. *Наиболее существенными потоками информации* в автоматизированных испытательных станциях являются: входная информация с различных автоматизированных устройств для испытаний; промежуточная информация в виде графиков, таблиц, обобщенных данных и т.п. за некоторый промежуток времени; выходная информация в виде решений, планов, мероприятий и других распорядительных документов по воздействию на качество выпускаемой продукции. При отображении указанной информации следует учитывать тот факт, что в основном человек воспринимает ее через зрительные органы. При этом наиболее полно воспринимается та информация, которая отражает тенденцию изменения общего уровня или отдельных показателей качества продукции. Именно такие данные необходимы для принятия решения. Поэтому сведения о качестве продукции чаще всего представляют в виде графиков или сопоставимых данных.

*Организационное обеспечение* автоматизированных испытательных станций включает: обслуживающий персонал; описание функциональной,

технической и организационной структуры системы; нормативные документы, определяющие функциональные обязанности обслуживающего персонала.

*Организационная система контроля и испытаний* предусматривает широкое использование математических методов, автоматизированных средств контроля и ЭВМ.

*Организационная структура автоматизированной системы управления испытаниями* включает измерительную информационную и информационно-советующую подсистемы.

Измерительная информационная подсистема содержит алгоритмы контроля за испытательными режимами, управления измерением параметров этих режимов и характеристик испытываемой продукции, статистической обработки результатов испытаний, подготовки выходной информации для включения ее в протоколы испытаний и сопроводительные документы. Информационно-советующая подсистема содержит алгоритмы, на основе которых в системе испытаний реализуются управляющие функции состава и режимов испытаний, планов контроля, критериев годности.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

- 1.Что является целью испытаний средств измерений? Необходимость автоматизации испытаний и контроля.
- 2.Перечислите задачи, которые позволяют решать автоматизированные испытательные станции.
- 3.Что представляет собой программное обеспечение автоматизированных испытательных станций?
- 4.Роль и значение информационного и организационного обеспечения автоматизированных испытательных станций.
- 5.Поясните математическую модель технологического процесса испытаний.

## **11. Метрологическое обеспечение автоматизированных средств измерений, контроля и испытаний**

[5],[12]

Основным способом определения и контроля МХ средств измерения является поверка. Разработанные для автоматизированных систем методы поверки допускают либо поканальное, либо поэлементное определение МХ системы (ГОСТ 8.38-81).

Поэлементная поверка предполагает, что система представляет собой комплекс компонентами которого являются агрегируемые СИ. Поскольку метрологические характеристики отдельных элементов (автономных СИ) известны, определение общей метрологической характеристики всего канала может быть произведено расчетным путем.

Но основная часть АИС и САК представляет собой систему, деление которой может быть произведено лишь на основании структуры программно-аппаратных средств. Можно разбить АИС на отдельные подсистемы, реализующие каналы измерения, однако большое количество общих программных и аппаратных ресурсов каналов, а также возможность программной реконфигурации, делает эти системы виртуальными, т.е. существующими лишь во время выполнения измерений в данном канале.

В связи с этим для компьютерно-измерительных систем применимы лишь поканальный метод определения МХ, при которых канал измерения, даже виртуальный, рассматривается как независимое средство измерений, подлежащее поверке.

Автоматическая поверка и корректировка каналов внутренними средствами может значительно улучшить МХ, однако не исключает поверки с помощью внешних средств, что позволяет подтвердить правильность работы внутренних средств поверки. Встроенные меры и ПО позволяют быстро и экономно компенсировать несовершенство аппаратных средств и учесть влияние на них различных факторов в процессе эксплуатации аппаратуры. Измерительная система как целенаправленная совокупность взаимосвязанных СИ характеризуется большим числом факторов. Их сочетание в том или ином варианте определяет особенности конкретной системы.

Единообразие измерительных систем обеспечивается с помощью ряда взаимосвязанных процедур, осуществляемых на различных этапах жизненного цикла системы. К этим процедурам относятся:

- метрологическая экспертиза технической документации;
- нормирование метрологических характеристик измерительных каналов;
- сертификация и лицензирование деятельности по изготовлению систем;
- испытания систем с целью утверждения типа или единичного экземпляра;
- утверждение типа или единичного экземпляра;
- испытания на соответствие системы утвержденному типу;
- метрологический надзор за состоянием и применением систем;
- государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением систем.

Все указанные процедуры необходимы для метрологического обеспечения измерительных систем, которому может быть дано следующее определение:

*Метрологическое обеспечение измерительной информационной системы* – система научной, технической, правовой и организационной деятельности, направленной на обеспечение соответствия характеристик полученной информации установленным нормам путем достижения единства процессов преобразования информации, осуществляемых в ИИС .

Интеллектуализация СИ, т. е. включение в состав СИ микропроцессоров и ЭВМ с целью автоматизации обработки данных, выполнения обработки в режиме on-line, а также процедурой измерений, приводит к «алгоритмизации» метрологии и метрологического обеспечения. В проблеме метрологического обеспечения растущее значение приобретает метрологический аспект создания и использования алгоритмов и программ обработки данных. Последнее требует



выхода метрологии в область оценивания качества алгоритмов и программ, что, в свою очередь, невозможно без взаимодействия с информатикой в ее узком смысле (как computer science).

Интеллектуализации СИ сопутствует то, что СИ часто конструируется как единое целое без возможности доступа извне к его подсистемам и элементам. Это обстоятельство затрудняет осуществление процедур метрологической аттестации. С другой стороны, традиционный подход, связанный с созданием специальных испытательных сигналов, теряет эффективность. Причина состоит в том, что точность задания параметров сигналов, как правило, достигается за счет сужения диапазона их значений. Следовательно, испытания не позволяют полностью выявить свойства СИ во всей возможной области его применений. В результате аттестация такого СИ зачастую требует воспроизведения широкого комплекса условий эксплуатации, в том числе создания испытательных сигналов, имитирующих рабочие воздействия. Метрологическое обеспечение интеллектуальных СИ, в частности, включение информационно-измерительных систем как целостных устройств в число объектов метрологического обеспечения, представляет собой серьезную конкретно-практическую задачу.

Автономный – в метрологическом смысле – режим использования СИ имеет место в ситуации, когда не может быть реализована его связь с вышестоящими по поверочной схеме средствами. Такая ситуация характерна, в частности, для ИИС и АСУ ТП, в которых комплектная поверка измерительных каналов требует подачи на вход сигнала эталонной меры, что, как правило, невозможно по условиям установки датчика на объекте. Аналогичная ситуация возникает при использовании СИ в составе систем вооружения, в том числе бортовых систем морских и воздушных кораблей. Такие ситуации приводят к сверхточным измерениям. Автономный режим использования СИ является одним из источников проблемы децентрализации системы обеспечения единства измерений и системы метрологического обеспечения. Если для традиционно используемых СИ привязка к эталону означает, в конечном итоге, перемещение к месту его дислокации, то для автономного СИ зачастую необходимо встречное движение эталона к месту размещения СИ.

Одним из важнейших направлений решения проблемы децентрализации, по крайней мере применительно к автономно используемым СИ, является развитие методов и средств их самоконтроля и самоповерки. Научной основой указанного направления должна служить теория метрологической надежности как одного из разделов общей теории метрологической надежности в технике.

Вопросы для самоконтроля усвоения знаний:

1. Как можно определить метрологические характеристики автоматизированного комплекса при поэлементной поверке?
2. Что такое поканальный метод определения метрологических характеристик?
3. Чем обеспечивается единообразие измерительных систем?
4. Дайте понятие метрологического обеспечения информационных измерительных систем.

## Литература

1. Автоматизация измерений и контроля электрических и неэлектрических величин: Учебное пособие для вузов/ Под ред. А. А. Сазонова. - М. :Изд-во стандартов, 1987. –328 с.
2. Воронцов Л. Н., Корндорф С. Ф. Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении: Учеб. пособие для вузов. - М.: Машиностроение, 1988.-280 с.
3. Глудкин О.П. Методы и устройства испытаний РЭС и ЭВС.- М: Высшая школа, 1991. – 335 с.
4. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBM PC: Пер. с англ./Под ред. У. Томпкинса, Дж. Уэбстера. - М.: Мир,1992. – 592 с.
5. Малышев В. М., Механников А. И. Гибкие измерительные системы в метрологии. - М.: Изд-во стандартов, 1988. – 176 с.
6. Методы электрических измерений: Учеб.пособие для вузов/ Под ред. Э. И. Цветкова.- Л.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Основы метрологии и электрические измерения: Учеб. пособие для вузов/ Под ред. Е. М. Душина.-Л.: Энергоиздат, 1987.
8. Левшина Е.С., Новицкий П. В. Измерение физических величин: Измерительные преобразователи.-Л.: Энергоатомиздат, 1983.
9. Лейтман М. Б. Нормирующие измерительные преобразователи электрических сигналов. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
- 10.Шишкин И. Ф. Теоретическая метрология. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
- 11.Готшалк О.А. Микропроцессорные средства систем управления : Письменные лекции- СПб.,СЗТУ, 2002.
- 12.Грановский В. А. Системная метрология: метрологические системы и метрология систем.- СПб.: ГНЦ РФ – ЦНИИ «Электроприбор»., 1999.

№ 020308 от 14. 02. 97

Раиса Никифоровна Парахуда  
Владимир Иванович Шевцов

## **Автоматизация измерений и контроля**

Письменные лекции

Редактор

---

Подписано в печать		Формат 60x84 1/16
Б. кн. – журн. п. л.	Б. л.	РТП РИО СЗТУ
Заказ		Тираж

---

Редакционно-издательский отдел  
Северо-Западный заочный технический университет  
191186, Санкт-Петербург, ул. Миллионная, 5