

**МОСКОВСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)**



С.А.ШАХВОРОСТОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

МОСКВА 2011

МОСКОВСКИЙ
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МАДИ)

С.А. ШАХВОРОСТОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебное пособие

Утверждено
в качестве учебного пособия
редсоветом МАДИ

МОСКВА 2011

УДК 681.5
ББК 32.965
Ш 31

Р е ц е н з е н т ы:

профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» Московского автомобильно-дорожного технического университета (МАДИ) д-р техн. наук *А.М. Васьковский*; профессор кафедры «Электроника и информатика» Московского авиационно-технологического института-РГТУ им. К.Э. Циолковского д-р техн. наук *Е.В. Марсова*

Ш 31 Шахворостов, С.А. Технические средства автоматизации: учеб. пособие/ С.А. Шахворостов. – М.: МАДИ, 2011. - 109 с.

Учебное пособие содержит информацию о теоретических основах, принципах действия и методологии практического использования основных групп устройств Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). Рассмотрены устройства получения, преобразования, хранения, обработки и передачи информации и управляющих сигналов по каналам связи, а также исполнительные устройства автоматики.

Пособие предназначено для начальной подготовки студентов, специализирующихся в области автоматизации технологических процессов.

Пособие также может быть использовано в качестве дополнительной литературы для студентов механических специальностей, изучающих курсы «Автоматизация дорожно-строительных машин» и «Управление техническими системами».

УДК 681.5
ББК 32.965

© Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2011

ВВЕДЕНИЕ

Практика преподавания учебных дисциплин по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» на старших курсах показывает, что, несмотря на значительный объем полученной студентами информации, приобретенные теоретические знания не формируются в сознании студентов в единую систему, пригодную для практического использования. Это обусловлено, с одной стороны, спецификой «Государственного образовательного стандарта», в котором общеинженерные, технологические и специальные дисциплины по автоматизации «разнесены» во времени, с другой стороны, содержанием этих специальных дисциплин. Кроме этого рекомендуемая учебная и справочная литература для указанных дисциплин, как правило, отличается избыточностью излагаемой информации при одновременном отсутствии практических рекомендаций по использованию рассматриваемых методик и технических средств для создания конкретных систем автоматизации. Таким образом, на начальной стадии подготовки специалистов в области автоматизации технологических процессов отсутствуют предпосылки для формирования у студентов целостной концепции автоматизации.

Также необходимо отметить: в традиционной рекомендуемой литературе вопросы автоматизации технологических процессов дорожно-строительных машин, как правило, не рассматриваются, что в условиях обучения в автомобильно-дорожном вузе представляется недопустимым.

Материалы, предлагаемые в данном учебном пособии, а также методика их изложения позволяют одновременно с изучением основных технических средств ознакомиться с примерами их использования в системах автоматизации.

Данное учебное пособие является логическим продолжением выпущенного ранее пособия с наименованием «ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ» [1] и предполагает дальнейшую систематизацию у студентов знаний в области автоматизации технологических процессов и производств в строительстве, а также восполняет недостаток информации, отмечаемый в типовых специальных дисциплинах.

1.ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1.Основные понятия и определения

На начальной стадии автоматизации конкретного технологического процесса или производства разрабатываемую **систему автоматизации**, как правило, представляют в виде **функциональной схемы** (рис. 1.1), на которой отображают входящие в состав системы **функциональные блоки** и узлы и связи между ними с указанием символов физических величин, поступающих на вход каждого блока.

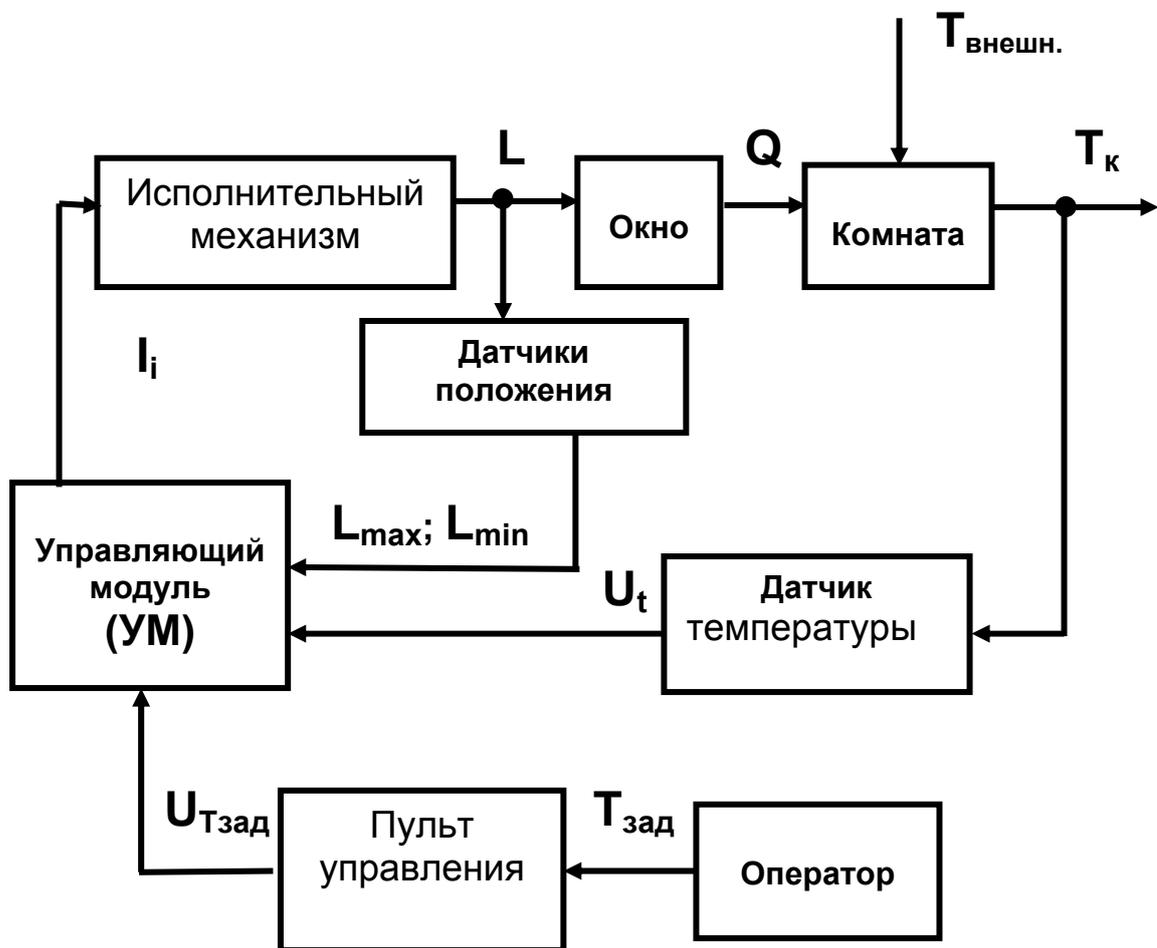


Рис.1.1. Функциональная схема системы автоматического регулирования температуры производственного помещения

Проанализируем процесс автоматического регулирования температуры в производственном помещении в зимнее время методом проветривания.

Известно, что при наступлении отопительного сезона батареи центрального отопления работают в постоянном режиме независимо от реальных погодных условий. Поэтому при наступлении оттепелей снижения температуры достигают периодическим проветриванием помещений с помощью окон, форточек, фрамуг и т.д. Достаточно часто доступ к этим «регулирующим органам» затруднен, а подчас просто невозможен. В последнем случае для открывания или закрывания окна используют реверсивные электромеханические исполнительные механизмы возвратно-поступательного или поворотного действия.

Для автоматического определения текущего значения температуры, как правило, применяют **датчики температуры**, преобразующие изменение температуры в изменение электрического напряжения или активного сопротивления.

Целесообразно отметить, что в зависимости от характера производственной деятельности значение «комфортной» температуры варьируется. Вследствие этого система автоматики должна обладать возможностью перенастройки, что достигается применением **задатчика**, с помощью которого можно устанавливать различные значения необходимой температуры. В качестве задатчика, как правило, применяют переменные сопротивления, включенные по схеме «делителя напряжения». Таким образом, устанавливают потенциальный сигнал, пропорциональный заданному значению температуры (**сигнал целевого состояния**).

Управляющий модуль, сравнивая с помощью **анализатора (компаратора)** текущее и заданное значения температуры, формирует управляющие команды в виде потенциальных сигналов необходимой мощности: «Открыть» или «Закрыть»

Для надежного закрывания окна исполнительный механизм должен обеспечивать достаточное усилие. Поэтому во избежание разрушения рамы окна его угловое перемещение должно быть ограничено. Для этого на раме окна или на выходном звене исполни-

тельного механизма, как правило, устанавливают электромеханические

6

датчики положения, информирующие о полном открывании L_{\min} и полном закрывании L_{\max} окна.

При достижении окном указанных крайних состояний управляющий модуль автоматически снимает управляющую команду с исполнительного механизма, независимо от наличия сигнала компаратора.

Следовательно, управляющий модуль принимает на себя дополнительные функции и формирует управляющие команды на основе **логического анализа** информации, поступающей от анализатора и датчиков положения.

В результате изложенного можно сформулировать следующие основные определения.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ - *последовательность направленных воздействий, переводящих объект из некоторого начального состояния в состояние целевое.*

АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ – *наблюдение за объектом с помощью специальных устройств-датчиков с целью проверки значений его основных параметров.*

АВТОМАТИЗАЦИЯ – *процесс передачи техническим устройствам, называемым автоматами, функций управления и контроля.*

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ – *совокупность специальных технических средств, находящихся во взаимодействии, обеспечивающая управление технологическим процессом или его частью без непосредственного физического участия человека.*

1.2. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации

Технические устройства, используемые при автоматизации технологических процессов и производств, в нашей стране представлены в виде приборов, механизмов и агрегатов, объединенных в Государственной системе приборов и средств автоматизации.

Широкое развитие автоматического управления технологическими процессами и производствами практически во всех отраслях промышленности, а также расширение круга задач, которые решаются автоматическими устройствами и системами, привело к необходимости унификации средств автоматизации. С этой целью была разработана Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) и ее структура [2].

Основные положения формирования ГСП формулируются следующим образом.

Система должна состоять из нормальных рядов приборов и элементов с едиными унифицированными сигналами и параметрами питания, нормализованными габаритами и присоединительными размерами.

Система представляется в виде отдельных ветвей – электрической, пневматической, гидравлической и ветви без использования вспомогательной энергии*.

Система должна отвечать единым техническим требованиям, предусматривающим наиболее широкое ее использование в различных отраслях промышленности.

Система должна обеспечивать решение как простейших задач локального контроля и управления, так и сложных задач комплексной автоматизации с использованием современной микроэлектронной базы для обработки данных и управления технологическими процессами.

Структура системы должна быть гибкой и предусматривать возможность усовершенствования путем замены отдельных блоков и элементов без изменения системы в целом.

По функциональному признаку изделия ГСП разделяются на четыре группы устройств (рис. 1.2).

Первую группу функциональных изделий образуют устройства получения нормированной информации о состоянии процесса. Устройства этой группы предназначены для получения информации о значении контролируемых параметров в виде унифицированного электрического сигнала.

* - пневматическая ветвь в данном пособии не рассматривается.

8

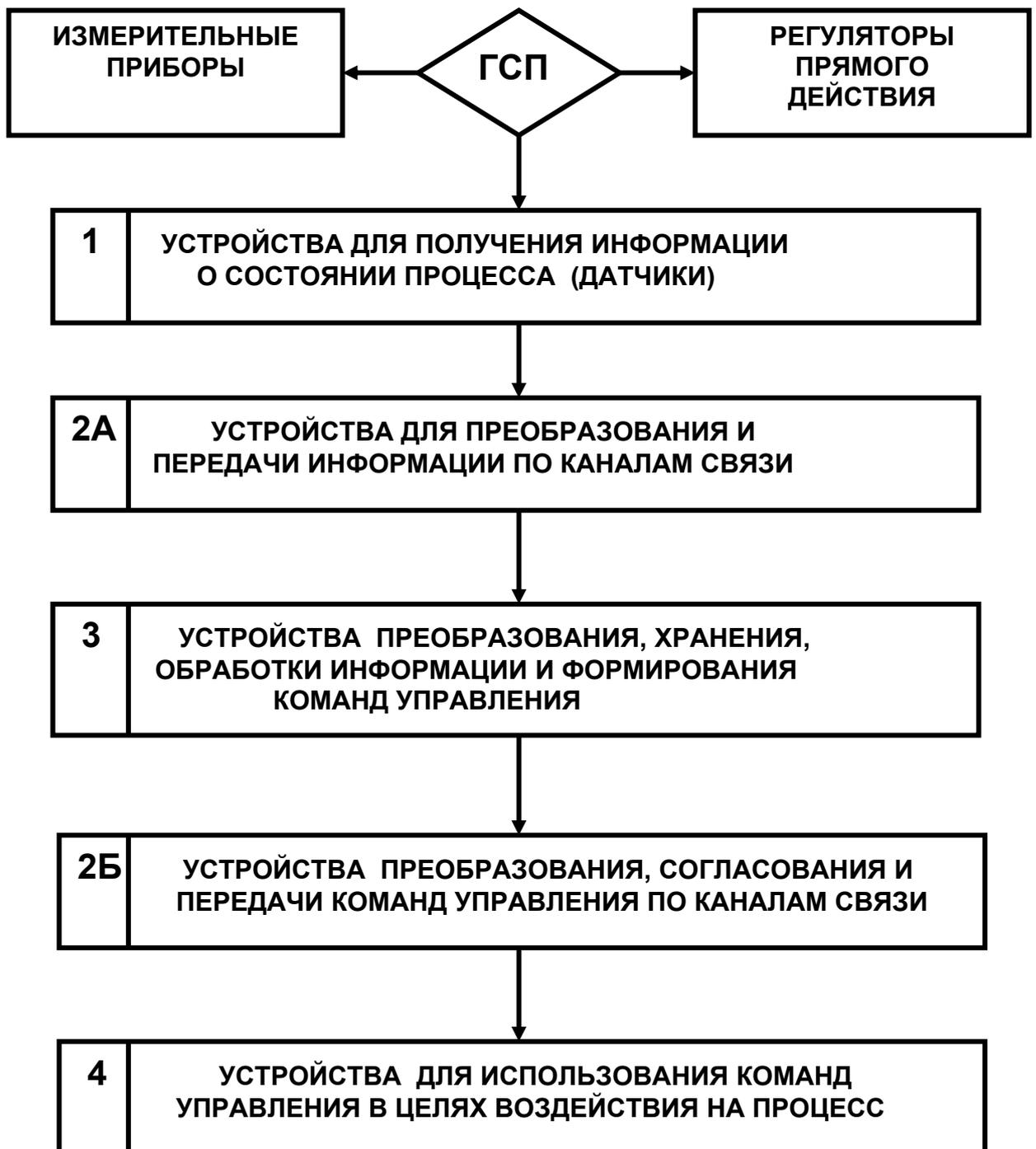


Рис.1.2. Структурная схема Государственной системы приборов и средств автоматизации

В эту группу входят первичные измерительные преобразователи, нормирующие преобразователи и собственно датчики.

9

Первичный измерительный преобразователь переводит контролируемый параметр в некоторую физическую величину – **естественный выходной сигнал** (перемещение, механическое напряжение; электрическое сопротивление, напряжение, ток). Нормирующий преобразователь переводит естественный выходной сигнал в **унифицированный электрический**.

Если на выходе первичного измерительного преобразователя естественный выходной сигнал является электрическим, то нормирующий преобразователь обычно представляет собой отдельное самостоятельное устройство [3]. Если же первичный преобразователь выдает сигнал в виде механической физической величины, то измерительный и нормирующий преобразователи конструктивно объединяются в один прибор, например, датчик давления (рис. 1.3).

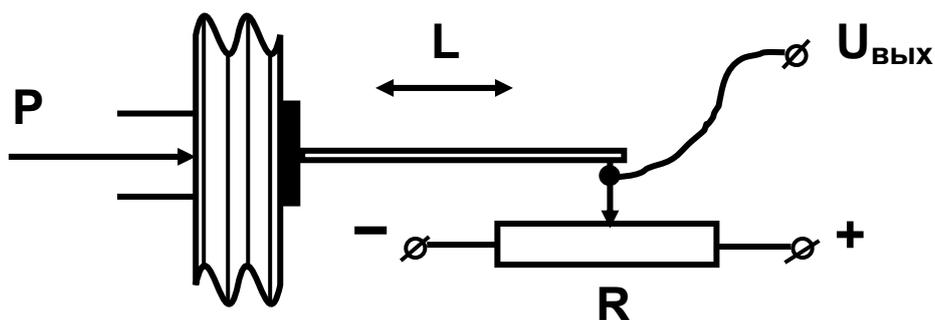


Рис.1.3. Схема датчика давления

Как видно из представленной схемы, давление P (например, в гидравлической системе автогрейдера) преобразуется **сильфоном** в линейное перемещение толкателя $L = f(P)$ – первичное преобразование, а затем с помощью потенциометра (нормирующее преобразование) в электрическое напряжение $U = f(P)$.

Вторая группа – группа устройств, предназначенная для передачи информационных сигналов и команд управления по каналам связи. В эту группу входят усилители, шифраторы, дешифраторы, а также специальные устройства телемеханики. В некоторых системах автоматизации в рамках данной группы дополнительно приме-

няют логические преобразователи, контактные и бесконтактные электронные коммутаторы.

10

Третья группа – средства преобразования обработки, хранения информации и формирования команд управления образуют центральную часть ГСП. К ней относятся анализаторы сигналов, функциональные и операционные преобразователи, логические устройства, устройства памяти, задатчики, управляющие микропроцессорные комплексы. Логические устройства этой группы варьируются от простейших стандартных до специально разрабатываемых логических автоматов комбинационного или последовательностного типа.

В рамках данного учебного пособия методология построения логических автоматов рассматривается в минимальном объеме, поскольку, во-первых, учебное пособие по указанной тематике имеется в библиотеке МАДИ [4], а, во-вторых, для студентов специальности «Автоматизация технологических процессов» введен специальный курс «Логические автоматы», программа которого предполагает передачу студентам практически исчерпывающую информацию по данному вопросу.

Четвертую группу составляют устройства использования команд управления – исполнительные устройства. Исполнительное устройство, в общем случае, состоит из усилителя, обеспечивающего необходимую мощность выходного сигнала, и исполнительного механизма, осуществляющего силовое воздействие на объект управления или регулирования. В состав Государственной системы приборов и средств автоматизации входят электрические, электро-механические, гидравлические, электрогидравлические, пневматические и электропневматические исполнительные механизмы. При автоматизации предприятий строительной индустрии, как правило, применяют электропневматические и электро-механические исполнительные механизмы, при автоматизации мобильных объектов – электрогидравлические и электро-механические с напряжением питания 12 или 24 В постоянного тока.

2. УСТРОЙСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

2.1. Контактные датчики

В качестве контактных датчиков используют различные по конструкции и исполнению концевые выключатели и микропереключатели.

Концевые выключатели, в основном, предназначены для использования в составе систем автоматического управления, имеющих напряжение питания 220/380 В для определения положения в пространстве крупногабаритных узлов агрегатов или исполнительных механизмов.

По конструктивным особенностям концевые выключатели подразделяются на устройства нажимного (рис.2.1,а) и поворотного (рис.2.1,б) действия.

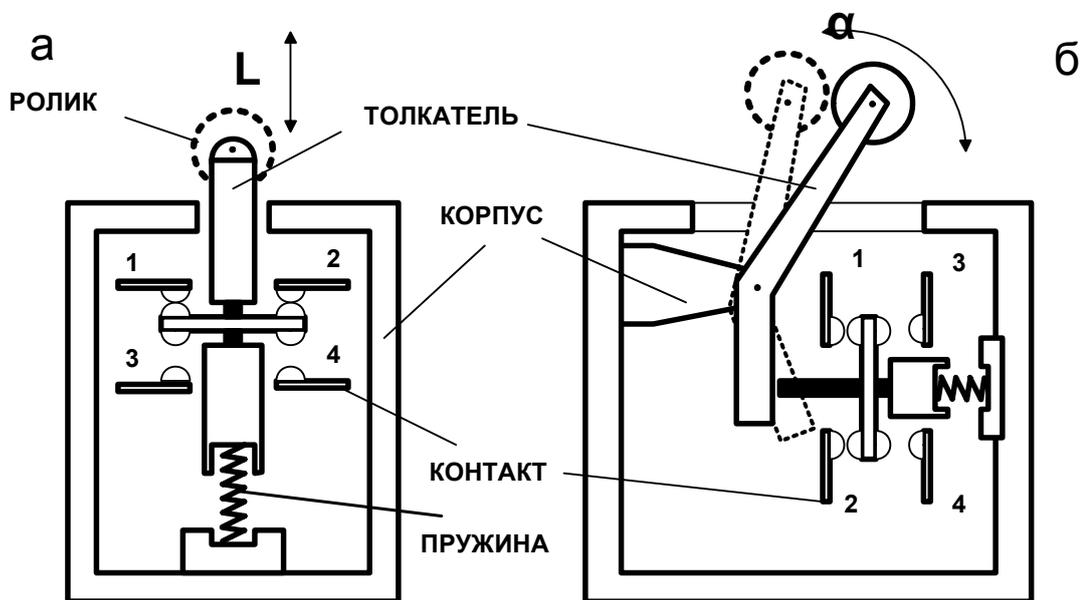


Рис.2.1. Конструкции концевых выключателей нажимного и поворотного действия

Анализ конструктивных особенностей концевых выключателей показывает, что при линейном или угловом перемещении толкателя

12

сначала размыкается контакт «1-2», а затем после некоторого дополнительного перемещения ΔL или $\Delta \alpha$ замыкается контакт «3-4» (рис.2.2). Такое исполнение концевых выключателей обусловлено тем, что подобные устройства, как правило, используют для замыкания и размыкания высоковольтных цепей (напряжением до 380 В), в которых полное электрическое расцепление наступает лишь при амплитуде размыкания контактов не менее 2 мм.

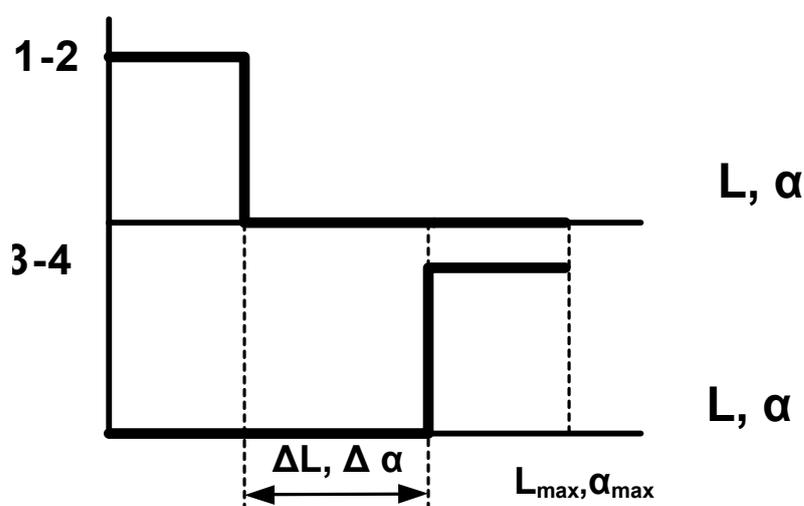


Рис.2.2. Диаграмма работы концевого выключателя

Микропереключатели в соответствии со своим названием имеют миниатюрное исполнение с габаритными размерами от 10 x 5 x 3 мм до 30 x 15 x 20 мм. Эти устройства предназначены для работы в системах автоматического контроля и управления с напряжением питания не более 30 В. Коммутируемые токи при указанном напряжении в зависимости от типа микропереключателя могут достигать 15 А.

Конструктивно микропереключатели существенно отличаются от концевых выключателей. Основное отличие заключается в применении пружинного подвижного контакта в совокупности с фигурной возвратной пружиной. При перемещении толкателя подвижной контакт, опирающийся свободным концом на фигурную пружину,

сначала прогибается в своей центральной части, и только после преодоления сопротивления пружины осуществляет переключение

13

(рис.2.3). Таким образом, происходит удаление неопределенности в состоянии контактов, характерной для концевых выключателей. Подобное исполнение микропереключателей обеспечивает повышение точности позиционирования при автоматическом управлении подвижными объектами.

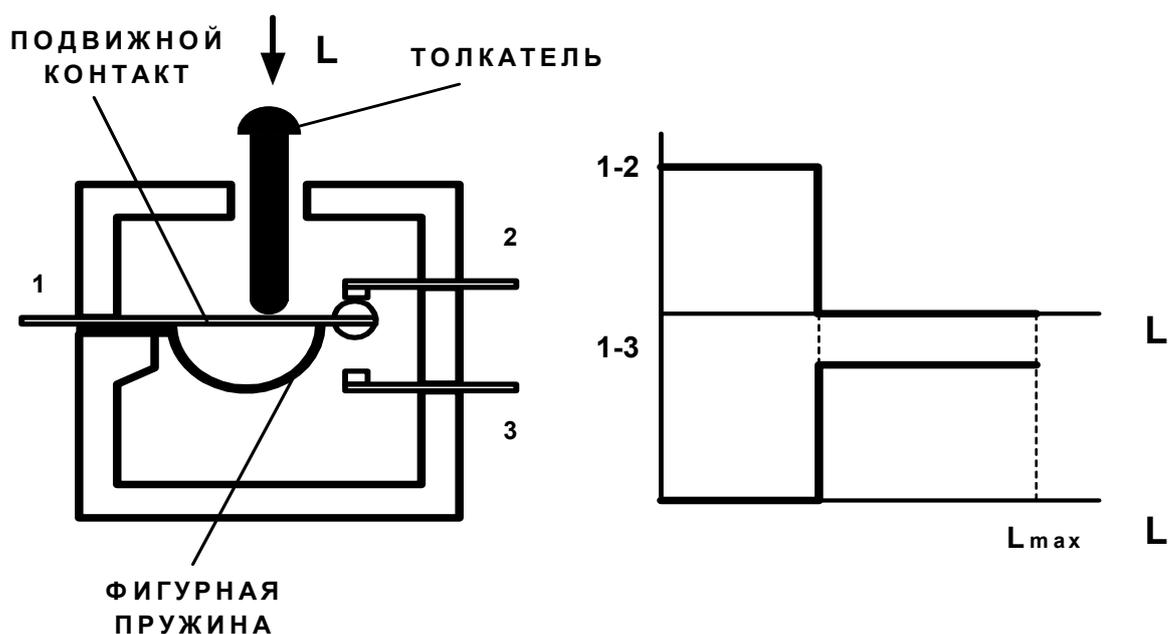


Рис.2.3. Конструкция и диаграмма работы микропереключателя

Микропереключатели применяют в качестве самостоятельных датчиков линейных и угловых перемещений (рис.2.4), а также нормирующих сигнальных преобразователей в составе датчиков, предназначенных для преобразования других физических величин (рис.2.5).

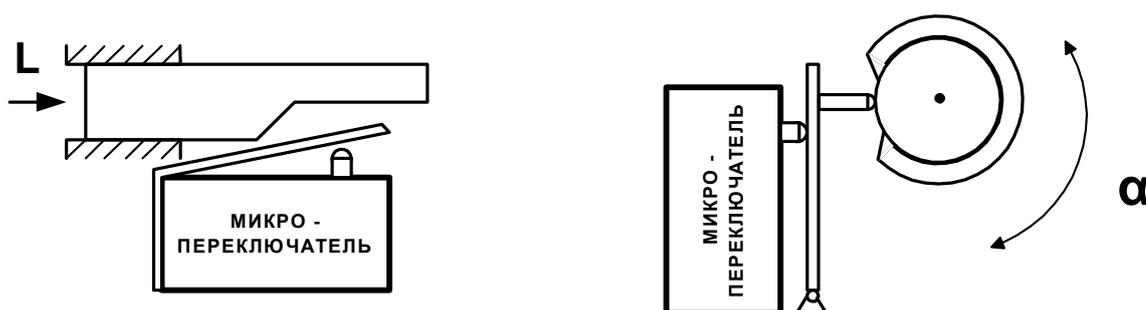


Рис.2.4. Дискретные датчики перемещений

14

В составе датчика давления (см. рис.2.5) микропереключатели устанавливаются с возможностью поперечного перемещения и последующей фиксации. Это позволяет фиксировать предельные значения во всем возможном диапазоне изменения давления.

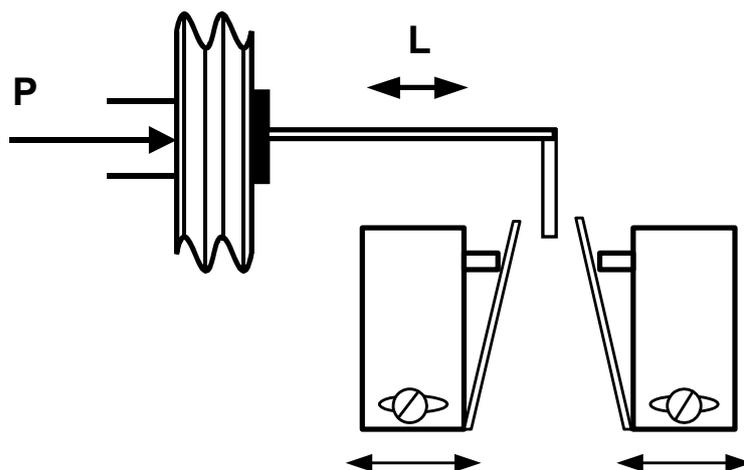


Рис.2.5. Микропереключатели в составе датчика давления

Наряду с доступностью, простотой и легкостью эксплуатации контактные датчики имеют существенный недостаток – **дребезг контактов** при срабатывании – многократное замыкание контактной группы вследствие механического колебания пружинного подвижного контакта. Длительность «дребезга» составляет $n \cdot 10^{-6}$ с. При работе контактных датчиков в автоматических системах, выполненных на реле, указанное явление не имеет какого-либо значения, поскольку время срабатывания электромагнитного реле составляет $n \cdot 10^{-3}$ с. Однако при работе контактных датчиков в системах, выполненных на основе интегральных микросхем и микропроцессоров, имеющих длительность переключения $n \cdot 10^{-9}$ с и менее, «дребезг контактов» может вызвать **ложные срабатывания**. Например, при подсчете частоты вращения вала с помощью микропереключателя, подключенного к счетчику-делителю [5], содержимое счетчика после каждого срабатывания микропереключателя будет увеличиваться

не на единицу, а на некоторое **непостоянное** число. Для исключения влияния «дребезга» в указанных системах используют специальные нормирующие преобразователи, например, RS-триггеры [5].

15

2.2. Датчики с преобразованием активного сопротивления

В основе работы преобразователей данного типа лежит способность проводников изменять электрическое сопротивление в зависимости от изменения одного или нескольких параметров.

$$R = \rho \frac{l}{S}, \text{ Ом} \quad (2.1)$$

где l – длина проводника, м;

S – площадь сечения проводника, м²;

ρ – удельное сопротивление проводника, Ом·м.

Значения удельного сопротивления металлов, применяемых в приборостроении, представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Удельное сопротивление некоторых проводников

Металл	ρ , Ом·м	Металл	ρ , Ом·м
Серебро	0,016	Платина	0,107
Медь	0,0178	Манганин	0,43
Золото	0,022	Константан	0,5
Алюминий	0,0287		

2.2.1. Потенциометрические датчики

Потенциометрические или реостатные датчики как таковые служат для преобразования линейных или угловых перемещений в изменение электрического сопротивления. В таких преобразователях используют переменные резисторы из манганиновой или константановой проволоки, намотанной на каркас из изоляционного ма-

териала. По рабочему участку обмотки, зачищенному от изоляции, перемещается подвижная щетка (подвижной контакт), закрепленная на рычаге, который совершает поступательное или вращательное движение (рис.2.6).

16

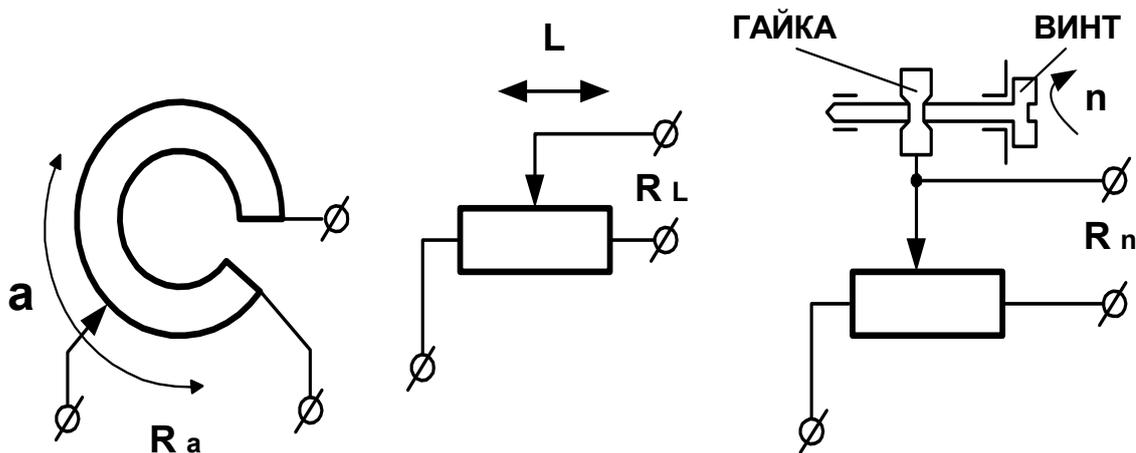


Рис.2.6. Основные конструкции потенциметрических преобразователей

Если каркас переменного резистора имеет одинаковое сечение по всему периметру, величина сопротивления изменяется линейно в зависимости от перемещения подвижного контакта. Чтобы получить нелинейную (квадратичную, логарифмическую или другую) зависимость, каркасу придают соответствующую форму.

Часто потенциометры используют в качестве нормирующих электрических преобразователей в составе датчиков, предназначенных для преобразования других физических величин, например, температуры (рис.2.7). В этом случае переменный резистор включают по схеме делителя напряжения и с выхода датчика снимают сигнал в виде электрического напряжения, пропорционального значению измеряемой физической величины, в данном случае – температуры.

Датчик температуры – электрический термометр - состоит из тонкостенной металлической ампулы, соединенной с сильфоном, и потенциометра. Чувствительный элемент датчика (ампула) заполнен летучей жидкостью, пары которой имеют высокий коэффициент

объемного расширения. При нагревании ампулы, установленной, например, в системе охлаждения дизеля трактора, объем пара увеличивается, что приводит к перемещению задней подвижной стенки

17

сильфона. Толкатель, установленный на стенке сильфона, с помощью переда точного механизма перемещает подвижной контакт потенциометра на угол, пропорциональный изменению температуры.

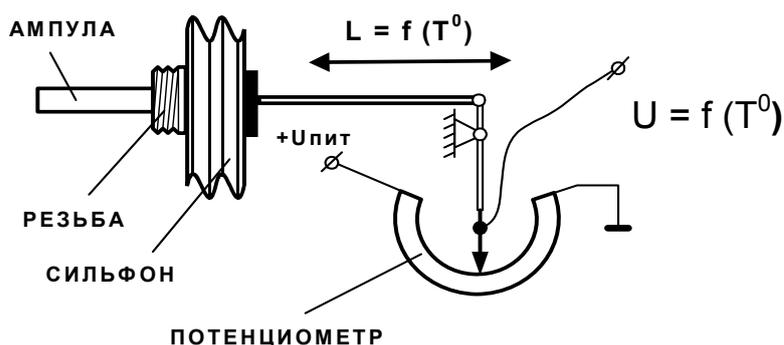


Рис.2.7. Электрический термометр

2.2.2. Тензорезисторы

В основе работы тензорезисторов заложен принцип изменения сопротивления проводника при изменении его длины и сечения в результате растяжения или сжатия. Это явление, известное под названием **тензоэффекта**, широко используется для измерения деформаций всевозможных конструкций, а также для определения механических усилий, давлений, крутящих моментов и других механических величин.

Тензорезисторы изготавливают из тонкой константановой проволоки или фольги (решетка), которую клеивают между двумя слоями изоляционной пленки – основы тензорезистора (рис.2.8).

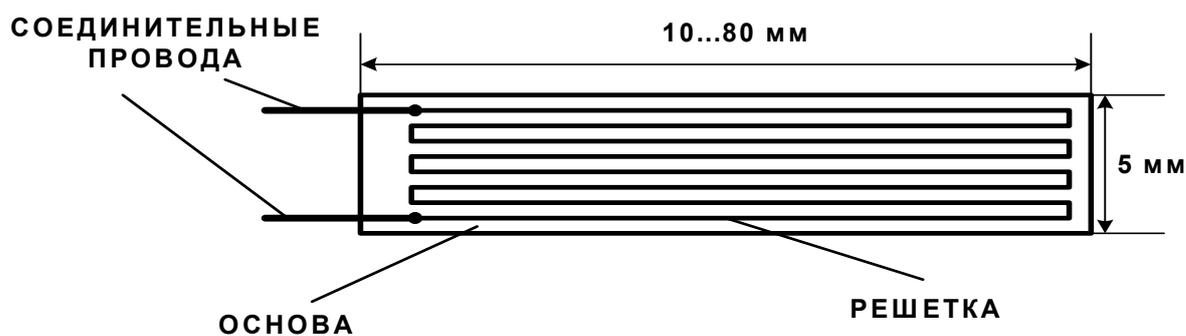


Рис.2.8. Конструкция проволочного тензорезистора

18

Тензорезисторы приклеивают к поверхностям деталей, подвергаемым деформации (рис.2.9).

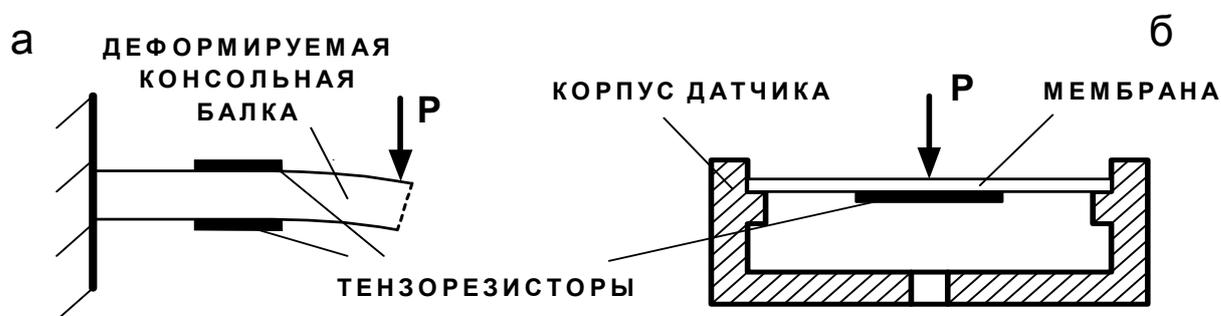


Рис.2.9. Установка тензорезисторов

При деформации детали, например консольной балки, под воздействием внешней силы ее верхняя поверхность растягивается, нижняя – сжимается (рис.2.9,а). Следовательно, сопротивление верхнего тензорезистора будет увеличиваться, а нижнего – уменьшаться пропорционально амплитуде деформации.

В датчиках давления сыпучих материалов или жидкостей (рис.2.9,б) применение верхнего тензорезистора невозможно в принципе. Что касается тензорезистора, наклеенного на нижнюю сторону мембраны, то его сопротивление будет увеличиваться при росте внешней силы.

Способность тензорезистора изменять собственное сопротивление при деформации характеризуется значением коэффициента тензочувствительности.

ΔR

$$K = \frac{\Delta R}{R \epsilon}, \quad (2.2)$$

где R – сопротивление тензорезистора, Ом;

ΔR – изменение сопротивления, Ом;

ϵ – относительная деформация тензорезистора.

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0}, \quad (2.3)$$

где L_0 и L_1 – соответственно длина тензорезистора до и после деформации, м.

19

Проволочные тензорезисторы, применяемые в системах автоматизации, имеют значение коэффициента тензочувствительности $K_{\text{пров.}} = 2,0$.

В настоящее время широкое применение находят полупроводниковые тензорезисторы – *гедисторы*, имеющие коэффициент тензочувствительности $K_{\text{гед.}} = 200$, что позволяет производить измерение незначительных усилий и деформаций. Однако ввиду своей хрупкости гедисторы не могут быть использованы при измерении значительных относительных деформаций.

Для обработки сигналов тензометрических датчиков применяют *тензоусилители* – биполярные усилители постоянного тока, имеющие высокостабильные параметры питания и усиления и обеспечивающие возможность подключения тензодатчиков по полумостовой (рис.2.10,а) или по мостовой схеме (рис.2.10,б).

а

б

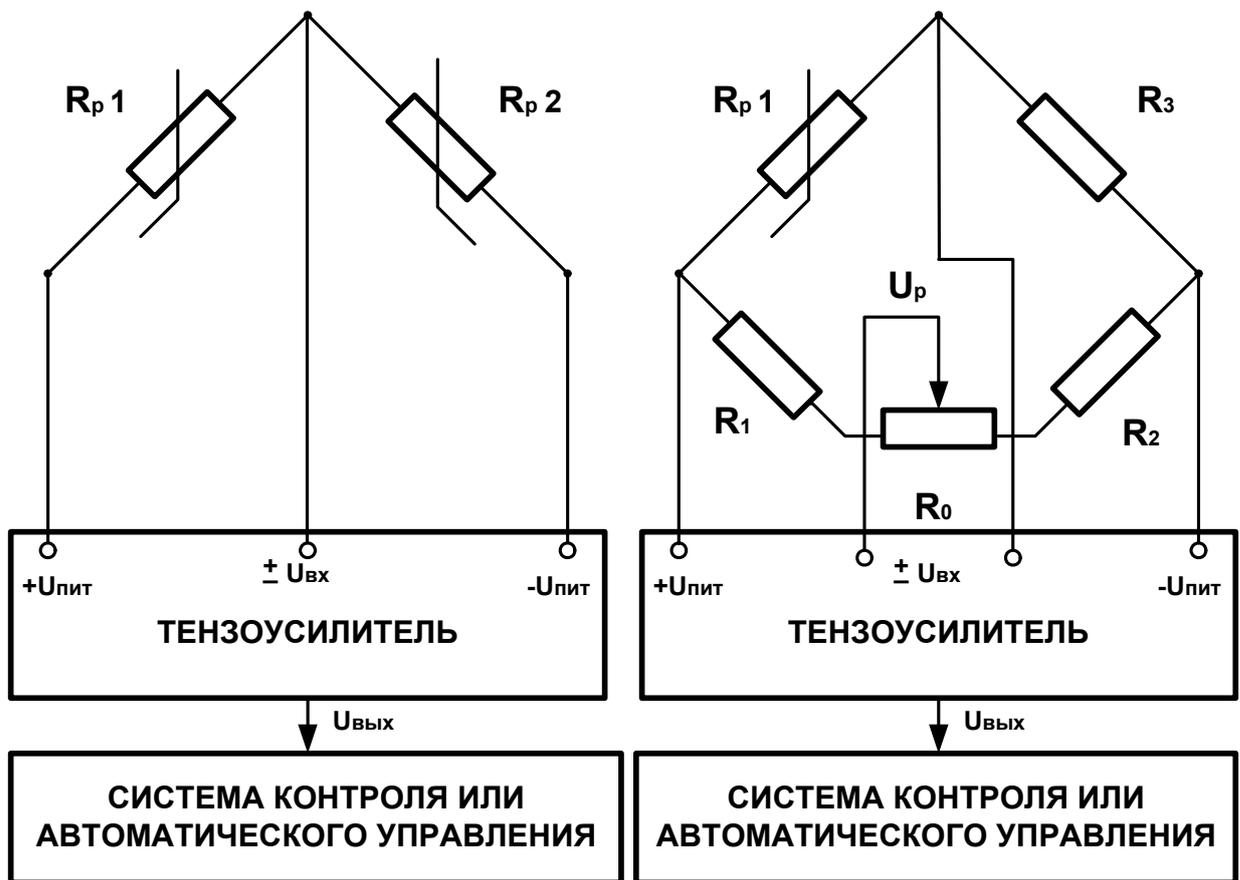


Рис.2.10. Схемы подключения тензометрических датчиков

20

2.2.3. Термометры сопротивления

Термометры сопротивления предназначены для измерения температуры контактным способом и бывают металлическими и полупроводниковыми.

Принцип действия металлических термометров сопротивления основан на зависимости сопротивления проводника от температуры.

$$R_{t_1} = R_{t_0} [1 + \alpha (t_1 - t_0)], \text{ Ом}, \quad (2.3)$$

где R_{t_0} – сопротивление проводника при температуре t_0 , Ом;

t_1 – значение измеряемой температуры, °С;

α – температурный коэффициент сопротивления, °С⁻¹.

Величина сопротивления полупроводниковых терморезисторов (так называемых *термисторов*) в зависимости от температуры составляет

$$R = A \cdot e^{B/T}, \text{ Ом}, \quad (2.4)$$

где **A** и **B** – коэффициенты, зависящие от материала и размеров термистора;

T – абсолютная температура, °К.

С ростом температуры сопротивление металлических терморезисторов увеличивается, а полупроводниковых – уменьшается. Значения температуры определяют по величине напряжения в диагонали уравновешенного моста, в одно из плеч которого установлено термосопротивление (рис.2.10, б).

Широкое распространение находят металлические термометры сопротивления, выполненные в виде капсул из фторопласта или керамики, внутрь которых помещены медные или платиновые спирали (рис.2.11, табл.2.2). Капсулы имеют герметичные крепления, позволяющие устанавливать их в объекты, температуру содержания которых необходимо измерить. Место установки датчиков в объекте определяют обычно экспериментальным путем по наиболее достоверному термическому состоянию объекта.

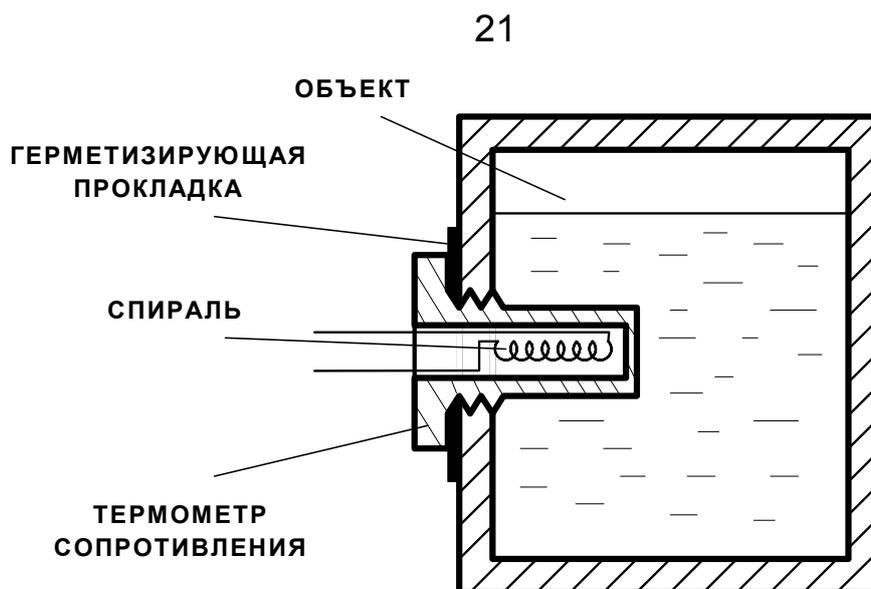


Рис.2.11. Термометр сопротивления

Таблица 2.2

Основные параметры металлических терморезисторов

Материал терморезистора	Температурный коэффициент сопротивления α , °C ⁻¹	Диапазон измеряемых температур, °C	Температура плавления, °C
Медь	0,0038	-50...+180	1083
Платина	0,0039	-260...+1300	1769

2.2.4. Магниторезисторы

Для преобразования перемещений используют эффект изменения электрического сопротивления полупроводников и металлов в магнитном поле. Приборы, выполненные на основе этого эффекта, называют магнитоомическими преобразователями или **магниторезисторами** [6,7].

22

Пластины для преобразователей изготавливают либо из кристаллов, разрезая их на пластинки толщиной 0,1...0,2 мм, либо в случае применения композиционных материалов – в виде пленок толщиной 1...10 мкм, получаемых методом испарения в вакууме на слюдяную основу.

Магнитное поле в магниторезисторных преобразователях создается как постоянными магнитами, так и электромагнитами. В обоих случаях наблюдается рост сопротивления преобразователя пропорционально повышению напряженности магнитного поля (рис.2.12).

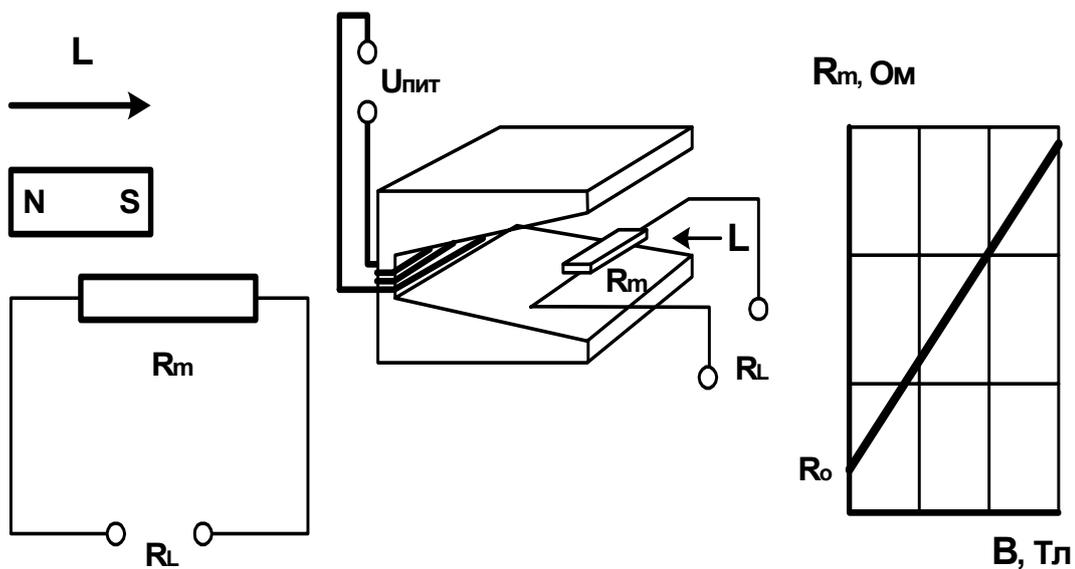


Рис.2.12. Принцип действия магниторезисторов

$$R_m = R_0 (1 + S B), \text{ Ом} \quad (2.5)$$

где $S = \frac{\Delta R/R_0}{B}$, Тл^{-1} – коэффициент магнитной чувствительности,

B – магнитная индукция, Тл.

Значения магнитной чувствительности существенно зависят от формы преобразователя (рис.2.13)

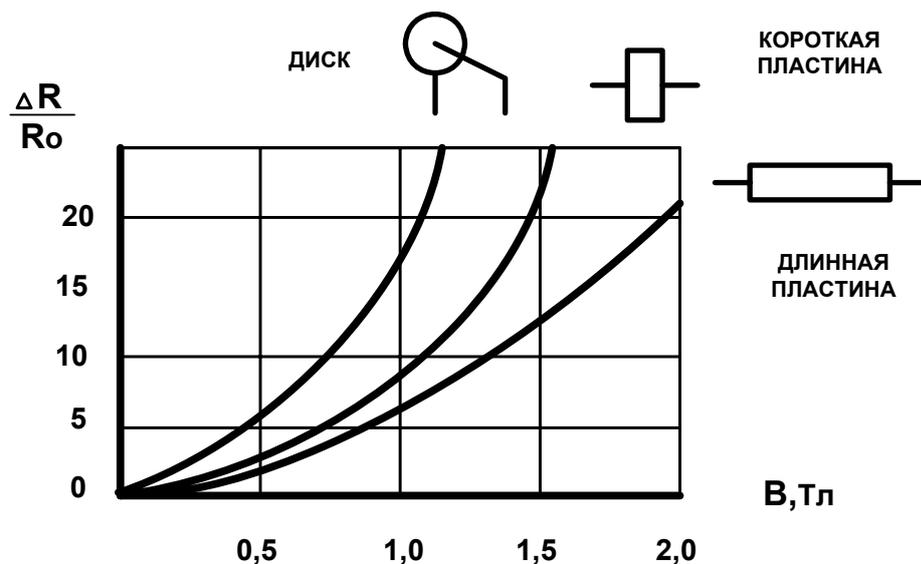


Рис.2.13. Зависимость магнитной чувствительности от формы преобразователя

В качестве исходных материалов для изготовления магниторезисторов применяют германий, кремний, висмут, а также композиции типа: ртуть-селен, ртуть-теллур, индий-сурьма и другие (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Удельное сопротивление материалов магниторезисторов

Материал	ρ , Ом·см	Материал	ρ , Ом·см
Ge	40...50	HgSe	$2,5 \cdot 10^{-3}$
Si	$6 \cdot 10^{-5}$	HgTe	$0,8 \cdot 10^{-3}$
Bi	10^{-4}	InSb	$7 \cdot 10^{-3}$

2.3. Датчики с преобразователем индуктивного типа

Основным элементом индуктивных преобразователей линейных или угловых перемещений в электрический сигнал является переменная индуктивность или трансформатор с переменным коэффициентом взаимной индукции.

Широкое распространение при измерении различных физических величин получили дифференциальные трансформаторы с подвижным сердечником, а также магнитоупругие трансформаторные преобразователи.

2.3.1. Дифференциально-трансформаторные преобразователи

Дифференциально-трансформаторный преобразователь состоит из цилиндрического каркаса, внутри которого перемещается ферромагнитный сердечник. На каркасе по всей его длине равномерно размещена первичная обмотка W_1 . Вторичные обмотки W_2 и W_3 намотаны поверх первичной обмотки симметрично, относительно ее середины, и подключены встречно, т.е. начала каждой обмотки соединены между собой, а концы – выведены наружу.

Разберем принцип действия подобного преобразователя на примере датчика уровня жидкости (рис.2.12).

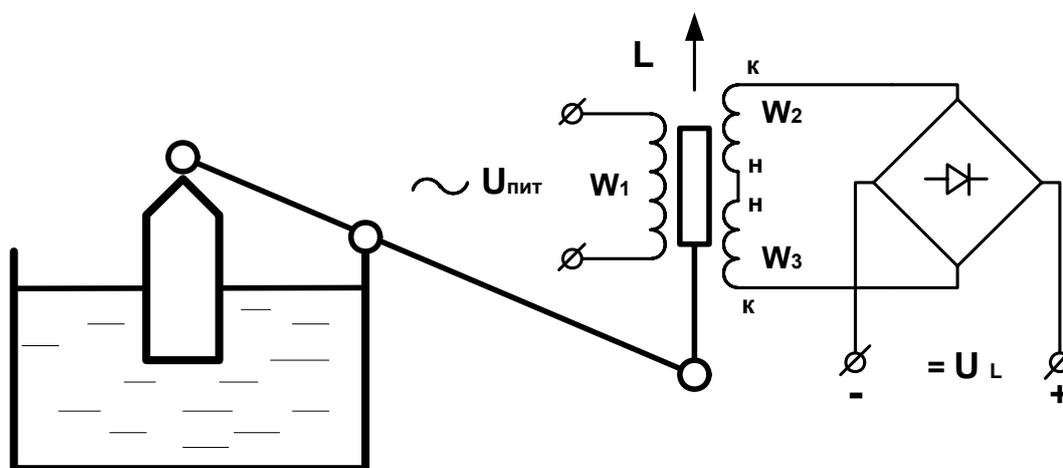


Рис.2.12. Датчик уровня с дифференциальным трансформатором

При изменении уровня жидкости в баке изменяется положение поплавка и положение сердечника в датчике. До тех пор пока сердечник находится в средней части дифференциального трансформатора, в обеих вторичных обмотках W_2 и W_3 индуцируются равные э.д.с.

Но так как обмотки подключены встречно, разность потенциалов на выходе трансформатора равна нулю. При уменьшении уровня жидкости в баке поплавков будет опускаться, а сердечник, наоборот, подниматься. Вследствие этого ЭДС, индуцируемая в обмотке W_2 увеличится, а ЭДС в обмотке W_3 уменьшится и на выходе трансформатора появится сигнал переменного напряжения, пропорциональный понижению уровня жидкости в баке. Для сопряжения датчика с системами автоматического контроля и управления применяют выпрямительный мост, с выхода которого снимают сигнал постоянного напряжения, чей уровень также пропорционален амплитуде контролируемой величины.

2.3.2. Магнитоупругие преобразователи

Принцип действия магнитоупругих преобразователей основан на изменении магнитной проницаемости μ ферромагнитных тел в зависимости от возникающих в них механических напряжений (магнитоупругий эффект), вследствие воздействия механических усилий P (сжатия, растяжения, изгиба или скручивания).

Различают две основные группы магнитоупругих преобразователей [6].

К первой группе относятся преобразователи, в которых используют изменение магнитной проницаемости чувствительного элемента в одном направлении. Магнитный поток в этих устройствах направлен в большей части магнитопровода вдоль направления усилия. В преобразователях данной группы под действием измеряемого усилия изменяется индуктивность обмотки (рис.2.14,а) или индуктивность между обмотками (рис.2.14, б).

В первом случае реализуется следующая цепь преобразований:

$$P \rightarrow \delta \rightarrow \mu \rightarrow Z_m \rightarrow L \rightarrow Z$$

Усилие - механическое напряжение – магнитная проницаемость – магнитное сопротивление – индуктивность – полное сопротивление обмотки.

Во втором случае:

$$P \rightarrow \delta \rightarrow \mu \rightarrow Z_M \rightarrow M \rightarrow E_2$$

Усилие - механическое напряжение – магнитная проницаемость – магнитное сопротивление – магнитный поток – ЭДС вторичной обмотки.

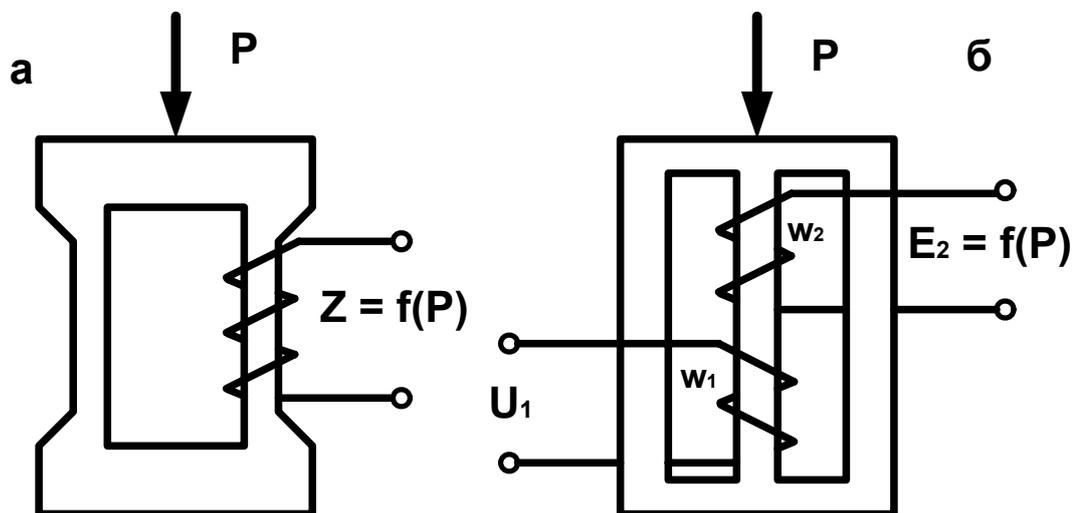


Рис.2.14. Конструкции магнитоупругих преобразователей первой группы

Ко второй группе относятся преобразователи, в которых изменение магнитной проницаемости происходит одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях (**магнитная анизотропия** материала чувствительного элемента). В таких преобразователях магнитный поток направлен под углом 45° к линии действия измеряемого усилия (рис.2.15, а).

При отсутствии внешней нагрузки (рис.2.15, б) силовые линии магнитного поля первичной обмотки расположены симметрично и не «сцеплены» с вторичной обмоткой, в результате чего ЭДС вторичной обмотки равна нулю.

В результате приложения внешнего усилия, вследствие изменения магнитной проницаемости преобразователя, магнитные силовые линии «вытягиваются» в направлении большей проницаемости и «сжимаются» в направлении меньшей проницаемости, обеспечивая «сцепление» с вторичной обмоткой и индуцирование в ней ЭДС, пропорциональной приложенному усилию (рис.2.15, в).

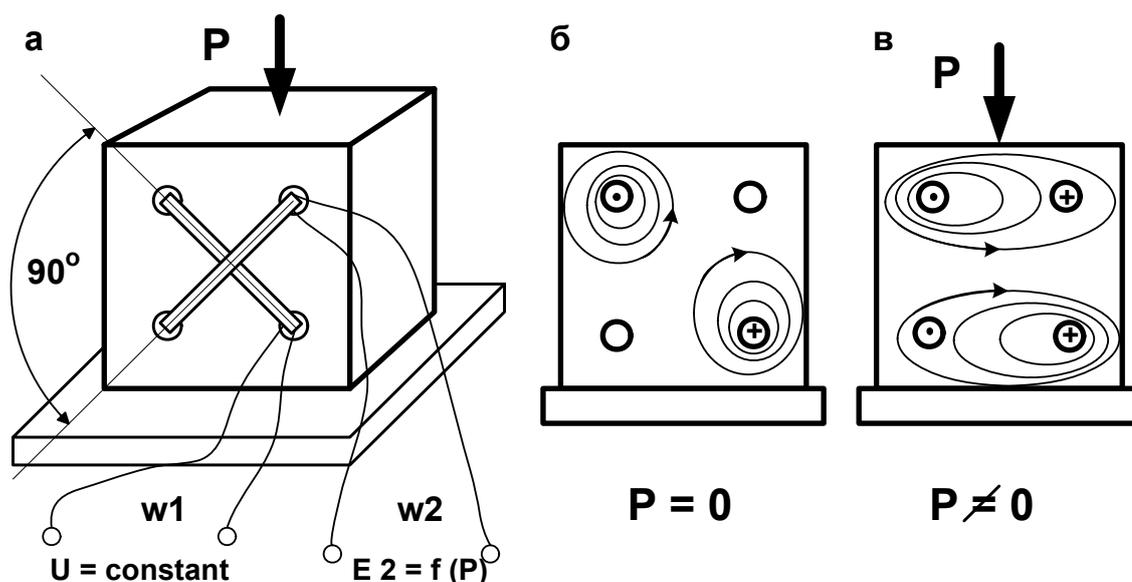


Рис.2.15. Магнитоанизотропный преобразователь

2.3.3. Бесконтактные концевые выключатели

Бесконтактные концевые выключатели представлены двумя группами электронных устройств, преобразующих конечное перемещение объекта в потенциальный сигнал высокого уровня.

К первой группе относятся преобразователи, в которых в качестве чувствительного элемента используют трансформатор, имеющий три обмотки, две из которых намотаны на общем сердечнике с воздушным зазором относительно третьей обмотки. Фиксация конечного состояния объекта производится при введении в зазор между обмотками металлического экрана («флажка»), закрепленного на объекте. Эта группа представлена выключателями БК-А (рис.2.16,а), ВКБ (рис.2.16,б) и КВД (рис.2.16,в), в которых чувствительный элемент и электронный блок смонтированы в одном корпусе.

Ко второй группе принадлежат так называемые **торцевые выключатели** с чувствительным элементом, выполненным в виде миниатюрной катушки, удаляемой от электронного блока на расстояние до одного метра. В этих устройствах определение конечного состояния происходит при приближении к сердечнику катушки

на расстояние *менее двух миллиметров стального предмета массой не менее одного грамма.*

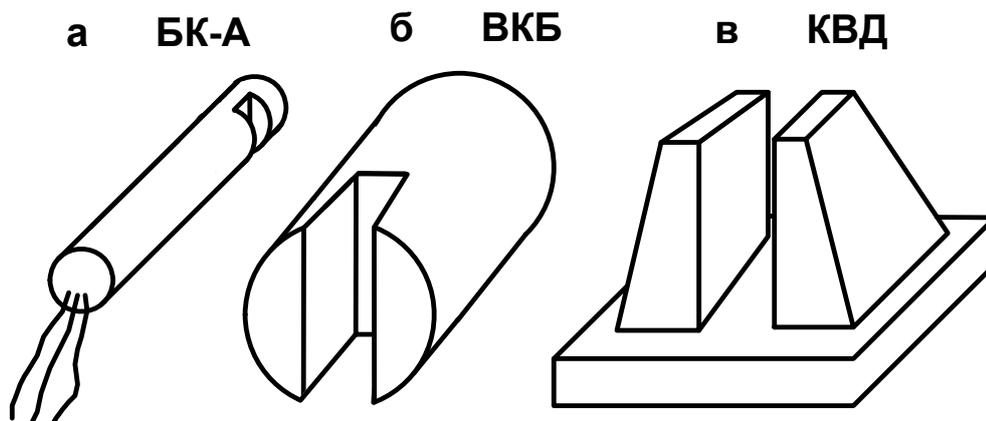


Рис.2.16.Бесконтактные концевые выключатели

Принципиальная схема датчиков первой группы (рис.2.17) содержит генератор синусоидальных сигналов, выполненный на базе транзистора VT1, в контуре обратной связи которого установлены обмотки L1 и L2; вторичную обмотку трансформатора L3; однополупериодный выпрямитель VD1 и двухкаскадный транзисторный усилитель VT1, VT2, организованный в виде триггера Шмитта. Сопротивление нагрузки на выходе датчиков должно быть не менее 1,2 кОм.

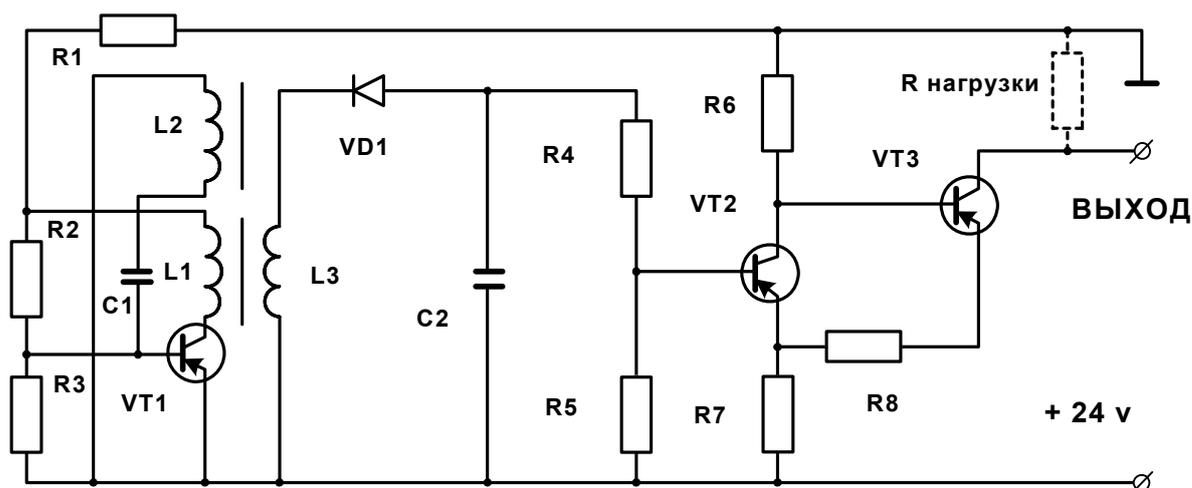


Рис.2.17. Принципиальная электрическая схема бесконтактных концевых выключателей БК-А, ВКБ, КВД

Если металлический экран, установленный на перемещаемом объекте, не введен в прорезь преобразователя (рис.2.18,а), генератор работает в штатном режиме и на обмотке **L3** индуцируется синусоидальный сигнал, который после прохождения однополупериодного выпрямителя и емкостного фильтра поступает в виде отрицательного потенциального сигнала на базу транзистора **VT2**, полностью открывая его. При этом на базу транзистора **VT3** подается положительный потенциальный сигнал, вызывающий полное закрытие этого транзистора. В результате уровень выходного сигнала преобразователя равен нулю.

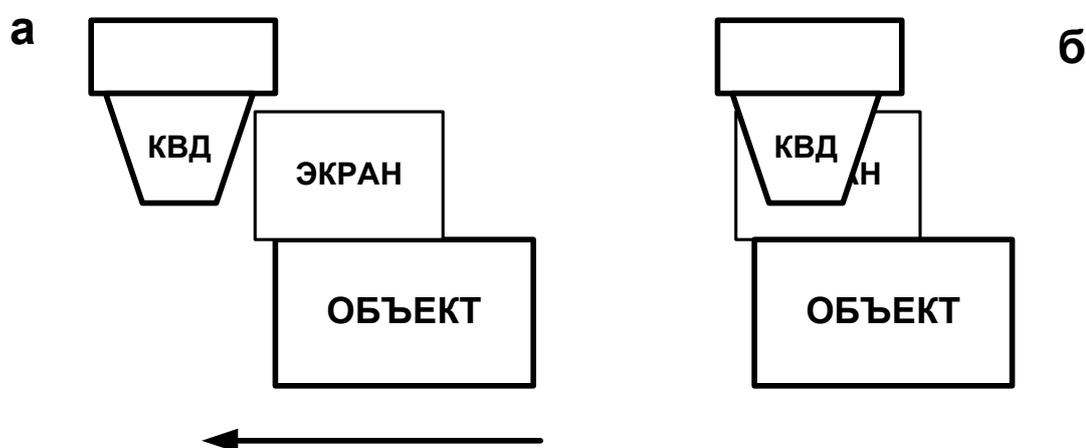


Рис.2.18. Взаимодействие экрана с чувствительным элементом бесконтактного концевого выключателя

При введении металлического экрана в зазор между обмотками **L1** и **L2** (рис.2.18, б) происходит срыв колебаний генератора, что приводит соответственно к закрытию транзистора **VT2** и открытию транзистора **VT3**. На выходе преобразователя при этом устанавливается потенциальный сигнал с уровнем напряжения питания.

Принципиальная схема торцевого преобразователя (рис.2.19) выполнена аналогично схеме датчиков первой группы с некоторым изменением генератора синусоидальных сигналов, при котором связь между генератором и выпрямителем осуществлена не через трансформатор, а с помощью конденсатора **C2**.

При удалении стального объекта от измерительной обмотки **L1** более чем на 2 мм генератор работает в штатном режиме и на выходе преобразователя присутствует сигнал нулевого уровня. При приближении объекта к обмотке **L1** на расстояние срабатывания добротность контура **C1 – L1** снижается, что приводит к срыву колебаний генератора.

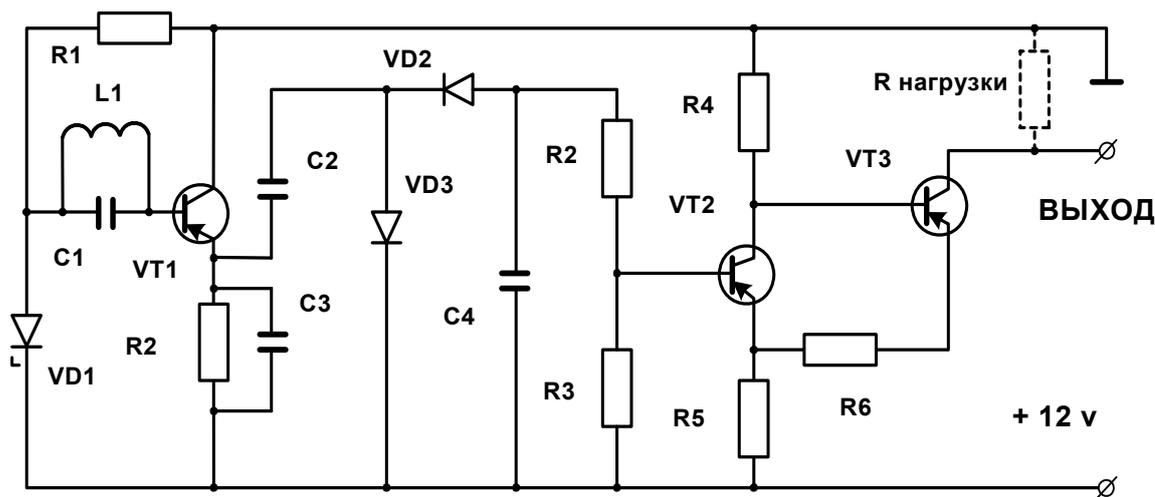


Рис.2.19. Принципиальная электрическая схема торцевого преобразователя

В результате, по аналогии с описанием предыдущей схемы, на выходе преобразователя устанавливается сигнал с уровнем напряжения питания.

2.4. Емкостные преобразователи

Принцип действия емкостных преобразователей основан на изменении значения емкостного реактивного сопротивления в зависимости от изменения электрической емкости чувствительного элемента – конденсатора

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \text{ , Ом,} \quad (2.6)$$

где $C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$ - электрическая емкость конденсатора, Ф;

$\omega = 2\pi f$ - угловая частота электрического тока, рад. Гц;

f - частота электрического тока, Гц.

ϵ - диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

S - площадь пластин, м²;

d - расстояние между пластинами, м.

Принимая во внимание, что значение электрической емкости, а значит и емкостного сопротивления определяется значениями ϵ , S и d , все преобразователи этого типа разделены на три группы.

К первой группе относятся датчики, использующие эффект изменения емкости в зависимости от изменения диэлектрической проницаемости. Подобные устройства могут быть как дискретного, так и аналогового действия.

Широкое применение находят так называемые электронные сигнализаторы уровня сыпучих материалов в бункерах предприятий строительной индустрии (рис.2.20,а), а также аналоговые датчики уровня жидкостей в резервуарах (рис.2.20,б). В обеих модификациях расстояния между пластинами конденсатора и площадь пластин остаются постоянными.

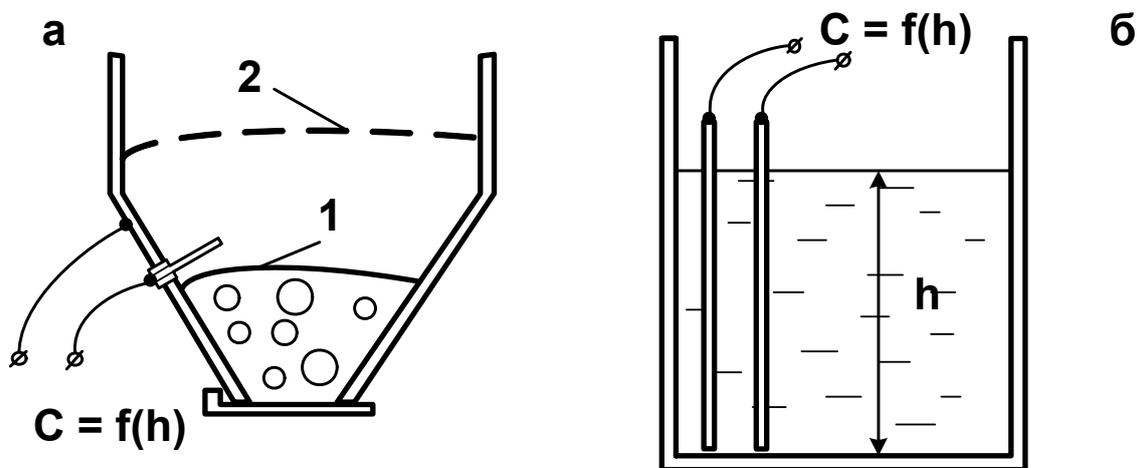


Рис.2.20. Емкостные датчики уровня

Во второй группе емкостных преобразователей (рис.2.21,а) используют способность конденсаторов изменять электрическую емкость в зависимости от вариации расстояния между пластинами, имеющими постоянную площадь взаимодействия. Как правило, подобные преобразователи применяют для измерения микро перемещений.

В третьей группе используют эффект изменения электрической емкости в зависимости от изменения площади взаимодействия пластин конденсатора при постоянном расстоянии между пластинами (рис.2.21,б). В основном такие датчики служат для определения углового перемещения объектов.

Точность измерения при использовании преобразователей второй и третьей групп существенно зависит от стабильности диэлектрических свойств окружающей среды.

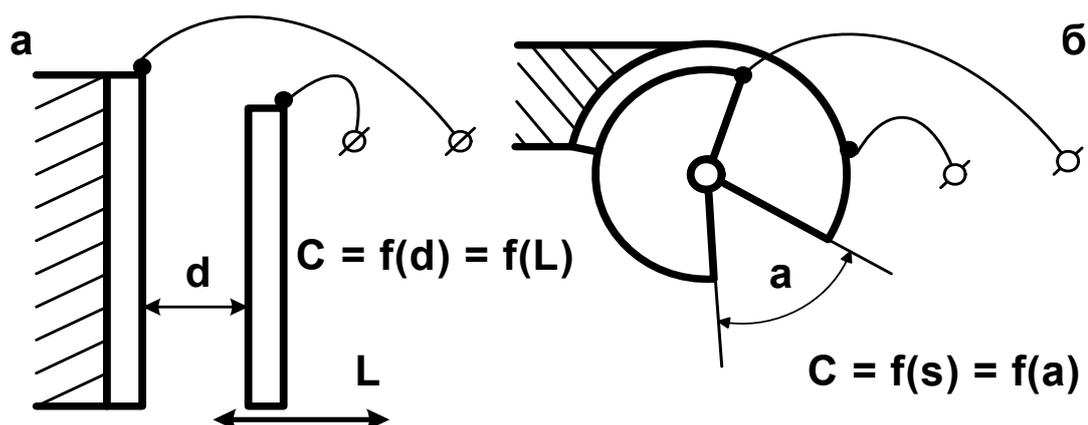


Рис.2.21. Емкостные преобразователи для измерения линейных и угловых перемещений

Первичные преобразователи – конденсаторы во всех рассмотренных случаях устанавливают в электрический мост переменного тока в качестве одного из плеч. Снимаемый с измерительной диагонали моста потенциальный сигнал, пропорциональный изменению емкости конденсатора, выпрямляют с помощью двухполупериодного выпрямителя и направляют либо на аналоговый компаратор и далее на сигнальный преобразователь (рис.2.22), либо на измерительный преобразователь (рис.2.23).

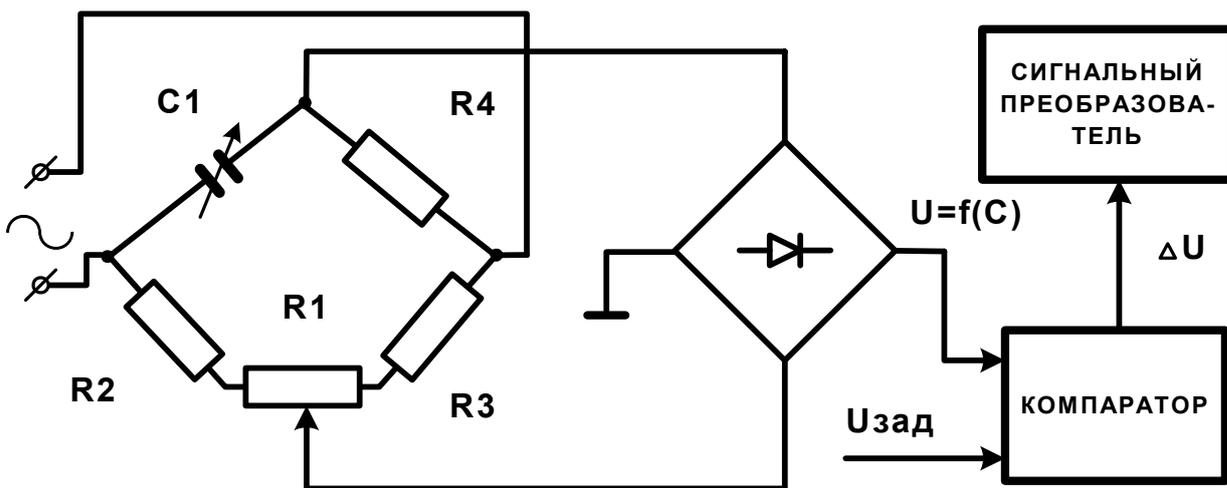


Рис.2.22. Емкостной датчик с сигнальным преобразованием

Сигнальное преобразование применяют для определения только конечных состояний объекта при его перемещении или для фиксирования какого-либо события, например, наличия сыпучего материала в бункере.

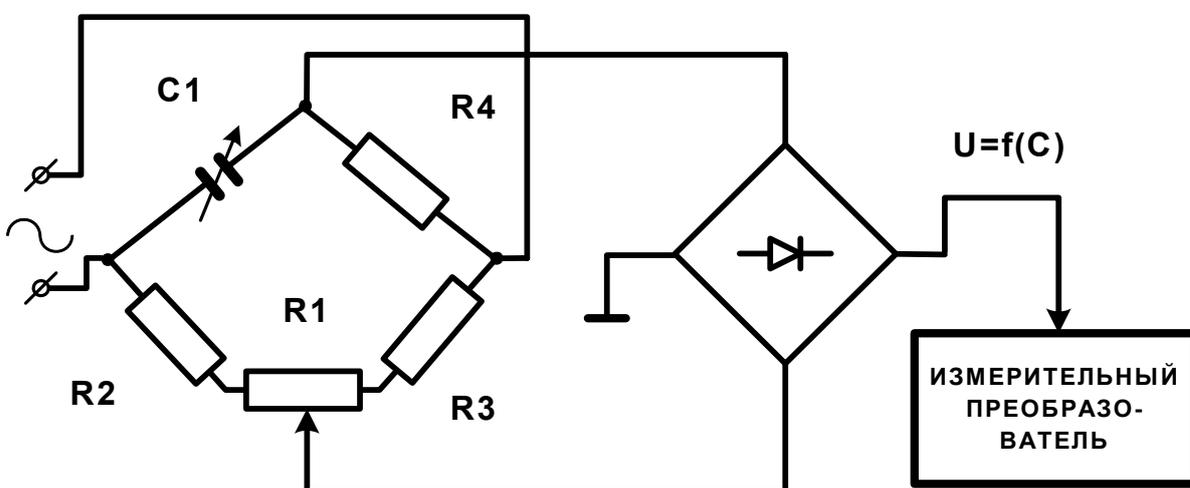


Рис.2.23. Емкостной датчик с измерительным преобразованием

Измерительное преобразование применяют в случае необходимости определения текущего значения измеряемого параметра, например, уровня жидкости в технологической емкости.

2.5. Датчики скорости

Датчики скорости – устройства, предназначенные для получения информации о значении частоты вращения валов стационарных и мобильных агрегатов.

Эти устройства разделены на три группы: механические, электрические и электронные.

В свою очередь, устройства каждой группы, за исключением первой, могут обеспечивать три вида преобразования: аналоговое, дискретное и цифровое.

Механические датчики скорости – **тахометры** - применяют для ручного и автоматического контроля частоты вращения валов. Различают **центробежные и магнитные тахометры**.

В центробежных тахометрах (рис.2.24) в качестве измерительного преобразователя применяют либо стрелку, перемещаемую скользящей муфтой (ручной контроль), либо потенциометр (автоматический контроль). Для сигнального преобразования используют микропереключатель.

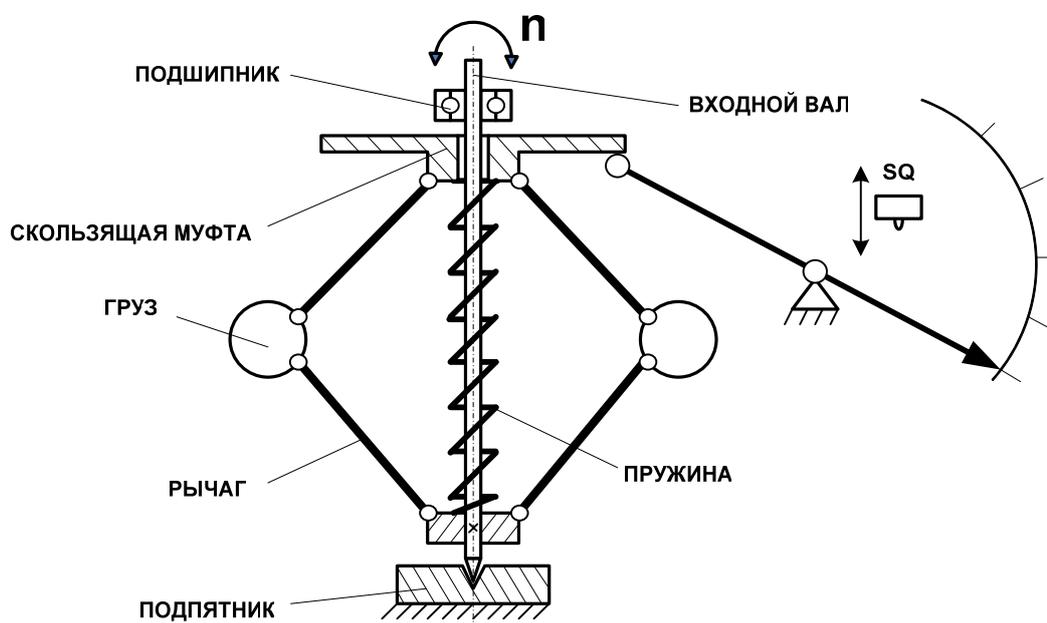


Рис.2.24. Центробежный тахометр

Перемещение скользящей муфты «вниз» обеспечивается расхождением грузов при принудительном вращении вала. Амплитуда

указанного перемещения пропорциональна частоте вращения вала. При снижении угловой скорости скользящая муфта под воздействием пружины перемещается «вверх». Центробежные тахометры, оснащенные сигнальными преобразователями, часто применяют при автоматизации поточно-транспортных систем на предприятиях строительной индустрии.

В магнитных тахометрах (рис.2.25) перемещение стрелки осуществляется с помощью подпружиненного ротора, поворачивающегося под воздействием вращающегося постоянного магнита, закрепленного на входном валу. Угол поворота ротора также пропорционален частоте вращения вала. Магнитные тахометры находят применение в составе «спидометров» не очень современных автомобилей.

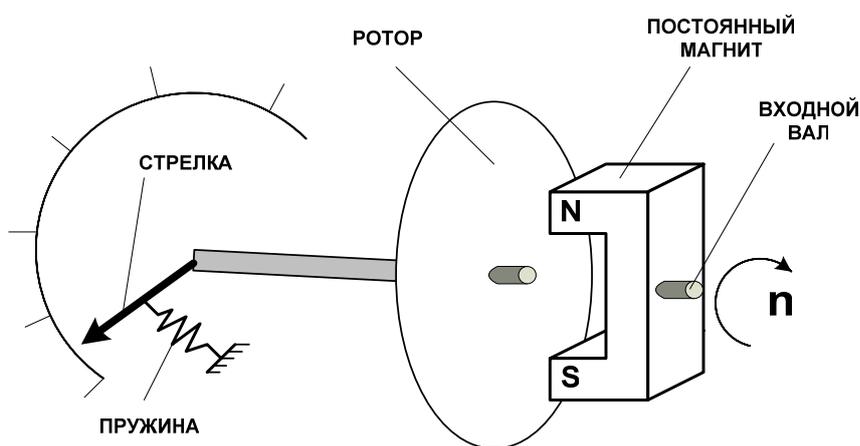


Рис.2.25. Магнитный тахометр

Электрические датчики скорости представлены так называемыми тахогенераторами.

Тахогенераторы – устройства, предназначенные для получения **аналоговой информации** о текущем значении частоты вращения каких-либо валов, например, коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания.

Тахогенератор представляет собой электрическую машину постоянного или переменного тока, работающую в режиме генератора. В обоих типах устройств амплитуда генерируемого напряжения пропорциональна частоте вращения ротора.

Тахогенераторы постоянного тока (рис.2.26,а) позволяют определять не только частоту, но и **направление** вращения (рис.2.26, б) за счет изменения полярности сигнала. Недостатком электрических машин постоянного тока, в том числе и тахогенераторов, является наличие **коллекторного токосъема**, обуславливающего **«искрение»** между коллектором и щетками. При подаче сигнала тахогенератора на прибор с достаточной инерционностью, например вольтметр, проградуированный в единицах углового вращения, проблем не возникает. Однако при использовании для измерения параметров вращения микроэлектронных устройств, таких, как аналого-цифровые преобразователи или аналоговые компараторы, возникает необходимость в изготовлении специальных согласующих устройств.

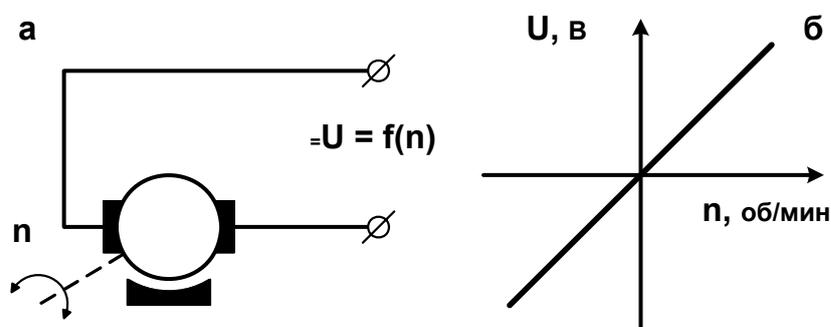


Рис.2.26. Тахогенератор постоянного тока

Тахогенераторы переменного тока представлены асинхронными и синхронными электрическими машинами, не использующими коллектор, а значит, не имеющими недостатков, присущих тахогенераторам постоянного тока.

Асинхронные тахогенераторы имеют полый короткозамкнутый ротор и две обмотки, установленные в статоре под углом в 90 градусов. На одну обмотку (обмотку возбуждения) подают переменное напряжение постоянной амплитуды и частоты. Со второй выходной обмотки снимают сигнал переменного тока, амплитуда напряжения которого пропорциональна частоте вращения ротора. Такие устройства, как правило, применяют при автоматизации стационарных предприятий, где имеется разветвленная сеть переменного тока.

При автоматизации мобильных объектов, например, дорожных машин применяют синхронные тахогенераторы.

Синхронный тахогенератор содержит магнитный ротор, поле которого воздействует на одну, чаще на три обмотки, установленные в статоре. Таким образом, на выходе тахогенератора формируется трехфазный сигнал переменного напряжения, амплитуда которого пропорциональна частоте вращения ротора.

Для согласования такого тахогенератора с измерительным или сигнальным преобразователями, выполненными на базе интегральных микросхем, снимаемый сигнал переменного тока выпрямляют с помощью трехфазного диодного моста и пропускают через **RC** - фильтр для устранения пульсаций (рис.2.27, а).

В отличие от устройств постоянного тока, тахогенераторы переменного тока не обеспечивают определение направления вращения (рис.2.27, б).

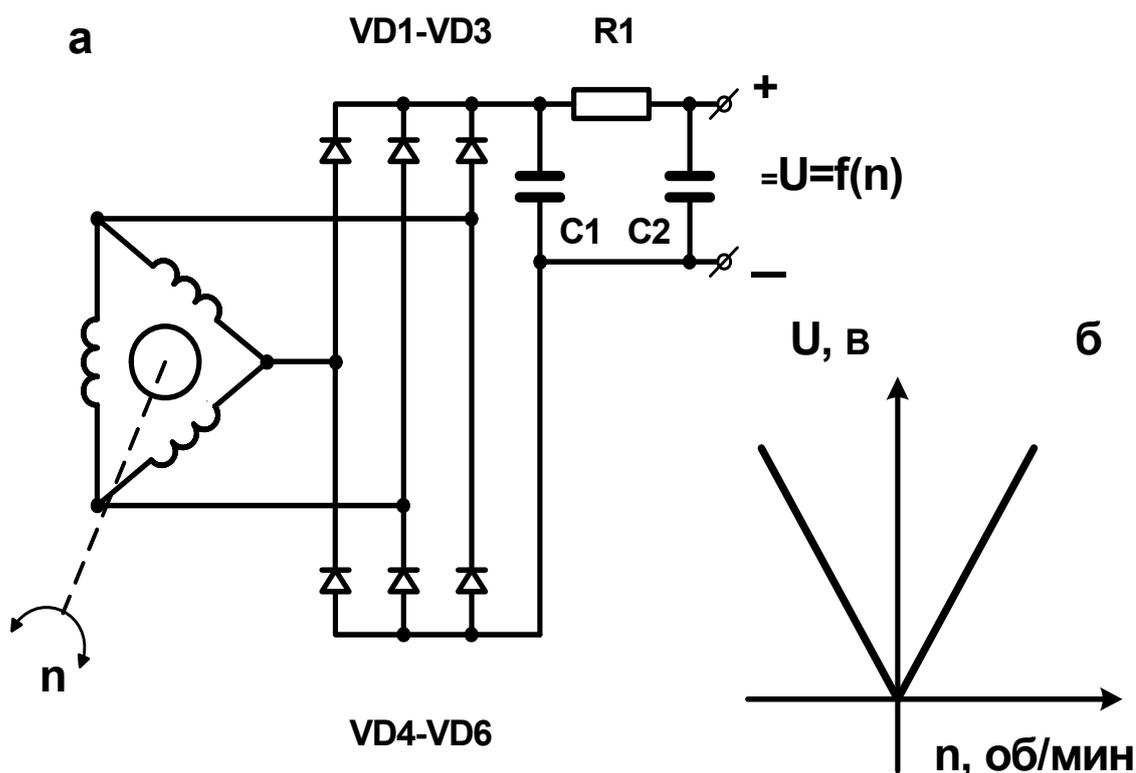


Рис.2.27. Синхронный тахогенератор переменного тока

Недостатком тахогенераторов является низкий уровень полезного сигнала при малой частоте вращения исследуемого вала ($n < 100$ об/мин).

Для получения точной информации о частоте вращения во всем возможном диапазоне применяют электронные импульсные датчики, выполненные на основе **эффекта Холла**.

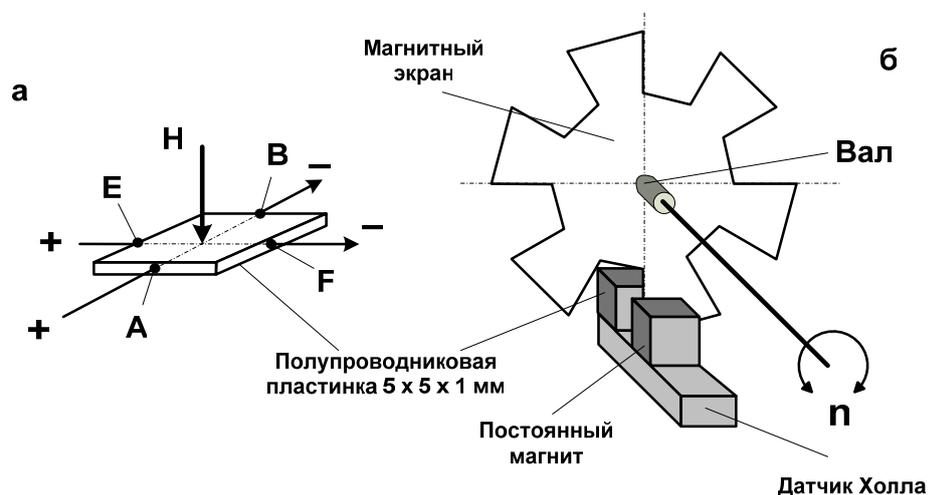


Рис.2.28. Датчик Холла

Если к точкам А и В полупроводниковой пластинки размером 5х5 мм (рис.2.28,а) подключить постоянное напряжение, а к центру пластинки поднести постоянный магнит, то между точками Е и F возникнет разность потенциалов (ЭДС Холла). Возникающая поперечная ЭДС имеет напряжение на 3 В меньше, чем напряжение питания.

Если между магнитом и полупроводником поместить перемещающийся экран с прорезями (рис.2.28,б), получим импульсный генератор Холла.

Частота следования импульсов определяется из соотношения

$$F = k n, \text{ Гц,} \quad (2.7)$$

где **k** – количество прорезей в магнитном экране;

n – частота вращения вала, об/с.

Датчики Холла обеспечивают высокую точность определения скорости вращения валов при частоте следования импульсов от 0 до 10 кГц.

3. УСИЛИТЕЛИ

3.1. Усилители исследуемых сигналов

При получении информации о значениях контролируемых параметров с помощью датчиков-преобразователей, рассмотренных выше, уровень сигнала датчика в ряде случаев бывает недостаточен для его транслирования по проводным каналам связи даже на незначительные расстояния, например $U_{\text{дат}} = n \cdot 10^{-2} \dots n \cdot 10^{-1}$, В.

При транслировании потенциальных сигналов высокого уровня ($U_{\text{дат}} = n \cdot 10^1$, В) на значительные расстояния ($S > n \cdot 10^1$, м) уровень полезного сигнала также может снизиться до недопустимого значения за счет падения напряжения на проводном участке линии связи.

В обоих случаях для исключения **падения напряжения на участке электрической цепи** применяют всевозможные электронные усилители.

3.1.1. Транзисторный усилитель

Классическим примером однокаскадного транзисторного усилителя является устройство, представленное на рис.3.1.

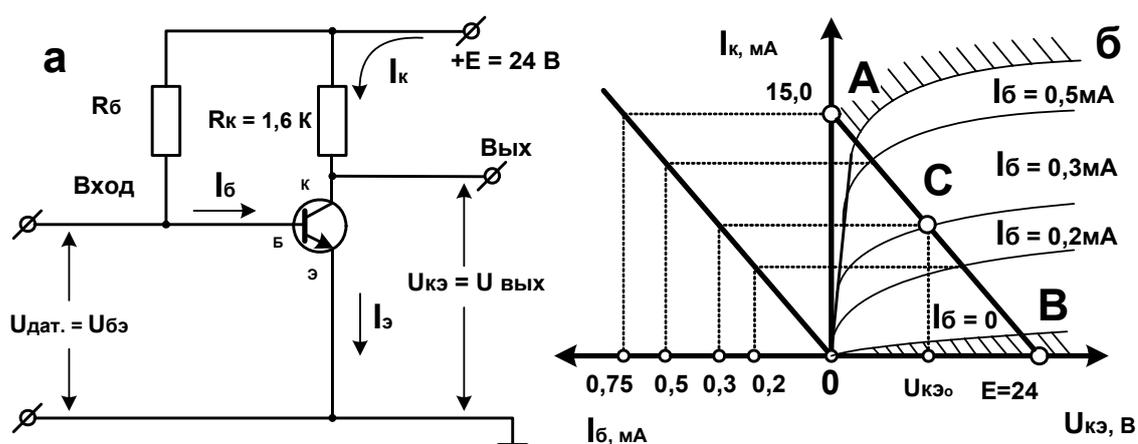


Рис.3.1. Однокаскадный транзисторный усилитель

Для анализа работы транзисторного усилителя, выполненного по схеме **с общим эмиттером** (рис.3.1,а), обычно используют **выходную характеристику** (рис.3.1,б). Точка «**А**» соответствует полному открытию транзистора, точка «**В**», - полному закрытию, точка «**С**» - средняя **рабочая точка**. Для устранения искажений усиленного сигнала датчика-преобразователя усилитель предварительно выводят на рабочую точку путем подачи на базу транзистора положительного **смещения**.

В соответствии с законом Кирхгофа $\Sigma I_{вх} = \Sigma I_{вых}$. Тогда из анализа схемы (рис.3.1,а) следует:

$$I_k + I_6 - I_3 = 0, \quad (2.7)$$

$$I_k = I_3 - I_6, \quad (2.8)$$

То есть с ростом I_6 значение I_k должно снижаться. Однако значение I_3 при **E = constant** определяется степенью открытия транзистора, пропорциональной значению I_6 . В свою очередь, значение I_k является функцией I_3 и I_6 (2.8).

Исследования полупроводниковых транзисторов позволили установить соотношение

$$\frac{I_k}{I_3 - I_k} = \beta, \quad (2.9)$$

где β – коэффициент усиления по току.

Для практического использования обычно применяют выражение

$$I_k = \beta I_6 \quad (2.10)$$

Современные транзисторы малой и средней мощности имеют, как правило, **$\beta = 20...100$** .

Из анализа выходной характеристики видно, что с ростом I_6 , связанным с увеличением уровня входного сигнала $U_{дат}$, транзистор все более открывается, I_k возрастает и на R_k падает все большее напряжение. При этом амплитуда выходного сигнала $U_{вых}$ снижается.

Таким образом, однокаскадный транзисторный усилитель является аналоговым инвертором. Для получения усиленного неинвертированного сигнала применяют двухкаскадные транзисторные усилители.

Недостатком транзисторных усилителей является наличие в усиленном сигнале постоянной составляющей $U_{кэо}$.

3.1.2. Операционный усилитель

Операционные усилители, в соответствии со своим названием, предназначены для осуществления арифметических операций, сигнального преобразования и пропорционального усиления исследуемых аналоговых сигналов. В основе работы операционного усилителя лежит наличие дифференциального входного каскада, двухтактного выходного каскада и двуполярного питания.

Дифференциальный входной каскад (рис.3.2; рис.3.3, блок А) выполнен в виде равновесного измерительного моста, два плеча которого содержат вместо обычных резисторов встречно включенные транзисторы.

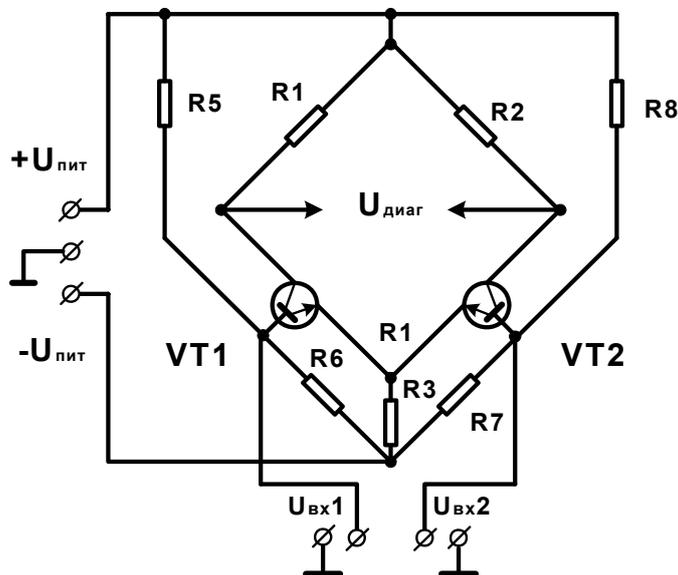


Рис.3.2. Дифференциальный входной каскад

Оба транзистора с помощью делителей напряжения **R5-R6** и **R7-R8** выведены на рабочие точки своих выходных характеристик.

При равенстве уровней входных сигналов $U_{вх1} = U_{вх2}$ степень открытия транзисторов одинакова, мост сбалансирован и напряжение, снимаемое с измерительной диагонали, равно нулю. В том случае, когда один из входных сигналов превышает по уровню другой $U_{вх1} > U_{вх2}$ или $U_{вх1} < U_{вх2}$, степень открытия и сопротивление переходов эмиттер-коллектор транзисторов изменяются, и в диагонали моста наводится напряжение, полярность которого определяется знаком разности уровней входных сигналов. Таким образом, к дальнейшему преобразованию принимается разность напряжений, подаваемых на входы операционного усилителя $\Delta U = U_{вх1} - U_{вх2}$.

Двухтактный выходной каскад выполнен на основе **комплементарной пары** транзисторов, имеющих одинаковые параметры усиления, но разную проводимость (рис.3.3, блок Б). Подобное схемотехническое решение выходного каскада позволяет получать усиленный сигнал как положительной, так и отрицательной полярности, относительно «нуля».

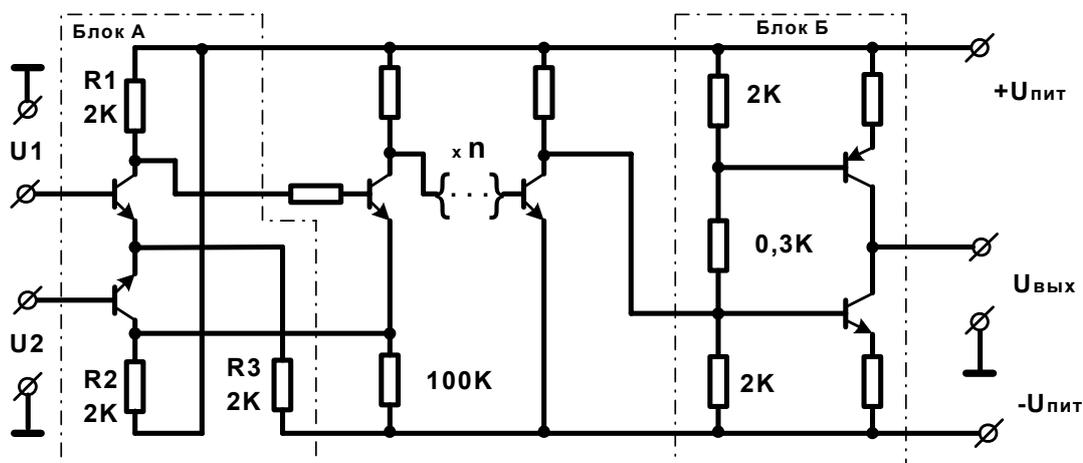


Рис.3.3. Упрощенная схема операционного усилителя

В современной микроэлектронике существует достаточное количество различных операционных усилителей [8]. В данном учебном пособии в качестве примера предложена микросхема **К140УД701**, работающая в диапазоне питающего напряжения ($U_{пит} = \pm 5... \pm 15V$) и не требующая использования **корректирующих цепочек**.

3.1.2.1. Операционный усилитель в режиме масштабного усиления

Коэффициент усиления по напряжению операционного усилителя достигает $K_{uc} = 120000$. Но поскольку усилению подлежит разность входных сигналов, то даже при минимальном значении этой разности, например $\Delta U = n10^{-3}В$, уровень выходного сигнала усилителя будет равен уровню питающего напряжения. Поэтому выходной сигнал подают через сопротивление R_{oc} на инверсный вход усилителя (рис.3.4,а), организовав тем самым обратную связь, повышая при этом значение $U_{вх2}$, а значит, снижая значение ΔU .

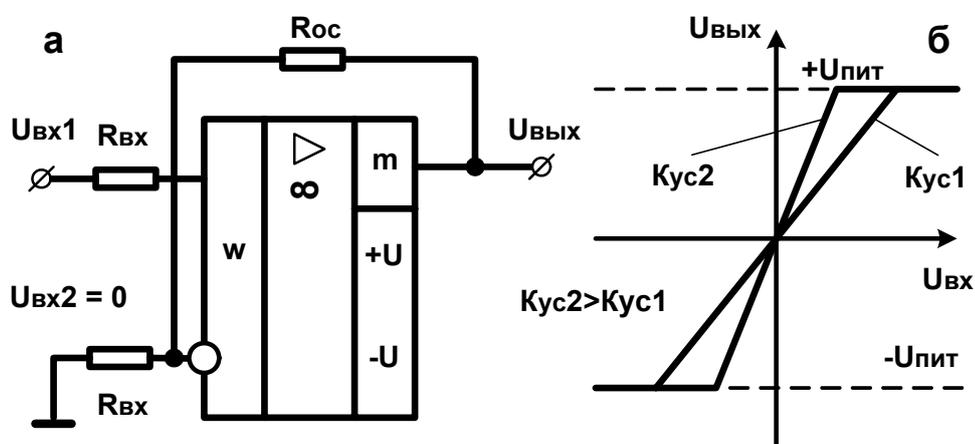


Рис.3.4. Прямое масштабное усиление

Значение выходного сигнала определяется соотношением

$$U_{вых} = K_{uc} U_{вх1}, \quad (2.11)$$

где $K_{uc} = \frac{R_{oc}}{R_{вх}}$ - коэффициент усиления.

Данная схема включения операционного усилителя обеспечивает устойчивую работу усилителя при незначительном усилении исследуемого сигнала $K_{uc} = n10^1$.

При дальнейшем повышении K_{uc} усилитель теряет устойчивость и может перейти в **режим автоколебаний**. Поэтому для обеспечения устойчивости операционный усилитель, как правило, включают по схеме **инвертирующего усиления** (рис.3.5,а). Это

достигается тем, что исследуемый сигнал $U_{вх1}$ подают через входной резистор на инверсный вход, а прямой вход усилителя непосредственно соединяют с шиной питания «0В».

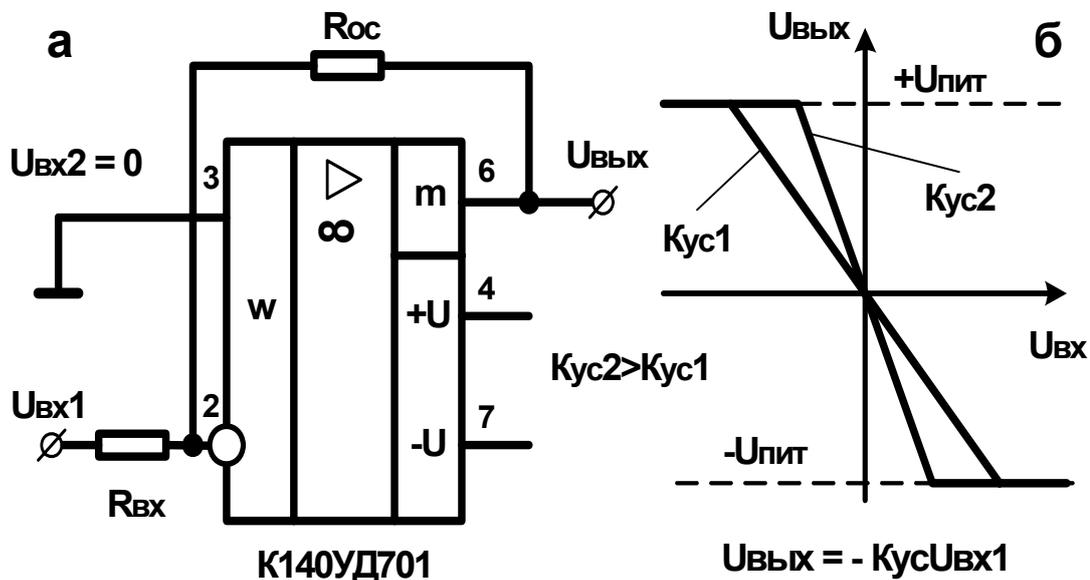


Рис.3.5. Инвертирующий масштабный усилитель

Поскольку усилению подлежит разница сигналов, поступающих на прямой и инверсный входы, т.е. $\Delta U = 0 - U_{вх1}$, то при положительных значениях $U_{вх1}$, ΔU становится меньше нуля, а значит, и $U_{вых}$ приобретает отрицательную полярность (рис.3.5,б). Соединение выхода усилителя с инверсным входом через $R_{ос}$ создает **отрицательную обратную связь**, обеспечивающую устойчивую работу операционного усилителя во всем диапазоне усиления.

Получение неинвертированного усиленного сигнала достигается повторной инверсией, при которой выход данного усилителя соединяют с инверсным входом другого инвертирующего усилителя, имеющего $R_{ос} = R_{вх}$, а значит, коэффициент усиления, равный единице.

3.1.2.2. Операционный усилитель в режиме сумматора

При автоматизации технологических процессов одной из проблем является согласование датчиков-преобразователей с управляющим модулем. Например, при решении задачи автоматического

горизонтирования опорной платформы автомобильного крана информацию об истинном значении угла наклона платформы к горизонтальной плоскости можно определять с помощью датчика **ДКБ** [1], имеющего линейную характеристику (рис.3.6,а). Но поскольку опорная платформа может иметь крен как в одну, так и в другую сторону от горизонта, представляется рациональным иметь иную характеристику датчика (рис.3.6,б), при которой полярность выходного сигнала меняется в зависимости от «знака» крена платформы.

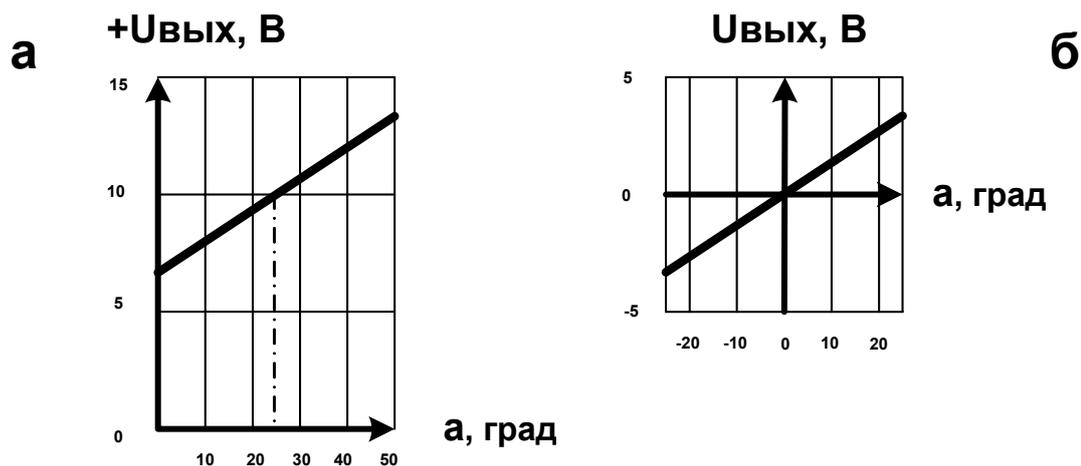


Рис.3.6. Существующая и требуемая характеристики бесконтактного коромыслового датчика ДКБ

Анализируя обе характеристики нетрудно заметить, что первая функция (рис.3.6,а) описывается выражением $U_{\text{вых}} = K_{\alpha} + U_0$, где U_0 – уровень сигнала датчика в отсутствие «положительного» крена. При этом данный датчик ввиду своего схемотехнического исполнения в принципе не может измерять «отрицательный» наклон платформы.

Вторая функция (рис.3.6,б) описывается как $U_{\text{вых}} = K_{\alpha}$, причем началу координат второй функции соответствует точка первой функции с амплитудой выходного сигнала 10 В. Таким образом, для преобразования штатной выходной характеристики датчика в требуемую достаточно из значения выходного сигнала преобразователя постоянно вычитать 10 В. Подобное арифметическое действие осуществляется операционным усилителем путем параллельной подачи на прямой вход усилителя постоянного отрицательного опорного напряжения с уровнем «-10 В» (рис.3.7). При этом в каче-

стве всех входных сопротивлений подбираются резисторы с одинаковым электрическим сопротивлением.

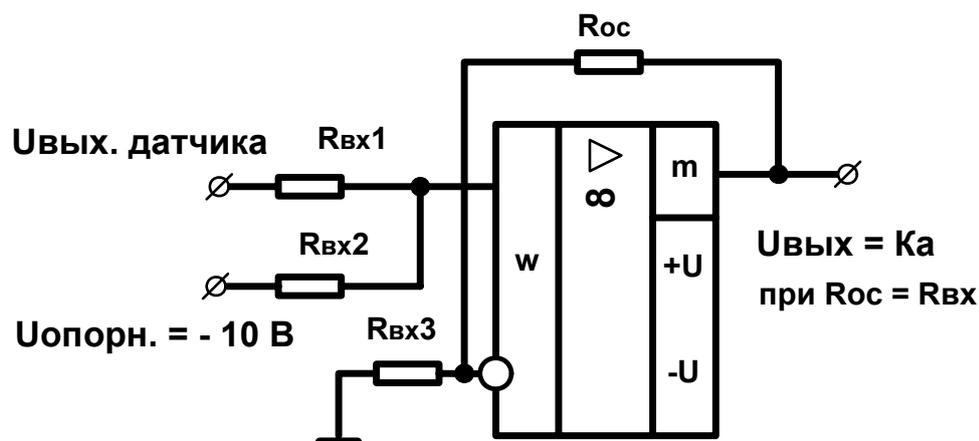


Рис.3.7. Операционный усилитель в режиме сумматора

В целях сохранения функции $U_{\text{вых}} = K_{\alpha}$ коэффициент усиления операционного усилителя устанавливают равным единице путем использования во входных цепях и в цепи обратной связи сопротивлений, имеющих одинаковые значения $R_{oc} = R_{vx}$. Увеличение или снижение крутизны характеристики $U = f(\alpha)$ достигается соответственно увеличением или уменьшением значения сопротивления обратной связи по отношению к значению входных сопротивлений.

3.1.2.3. Операционный усилитель в режиме компаратора

Компаратор – сравнивающее пороговое устройство, формирующее на выходе потенциальный сигнал с уровнем напряжения питания в том случае, когда разница потенциальных уровней входных сигналов отличается от нуля.

Для реализации компараторов с помощью операционных усилителей следует учитывать следующие требования:

- необходимо определять **знак разницы** уровней сравниваемых сигналов;
- уровень выходных сигналов независимо от знака разницы входных сигналов должен быть положительным;

· компаратор должен обладать возможностью регулирования порога срабатывания при сравнении исследуемого сигнала с эталонным.

Операционный усилитель, работающий по схеме прямого масштабного усиления и не имеющий контура обратной связи, отвечает первому требованию. Однако полярность выходного сигнала будет определяться знаком разницы сравниваемых напряжений, т.е. второе требование остается невыполненным. Для устранения этого недостатка при практической реализации компаратор формируют из двух операционных усилителей (рис.3.8,а).

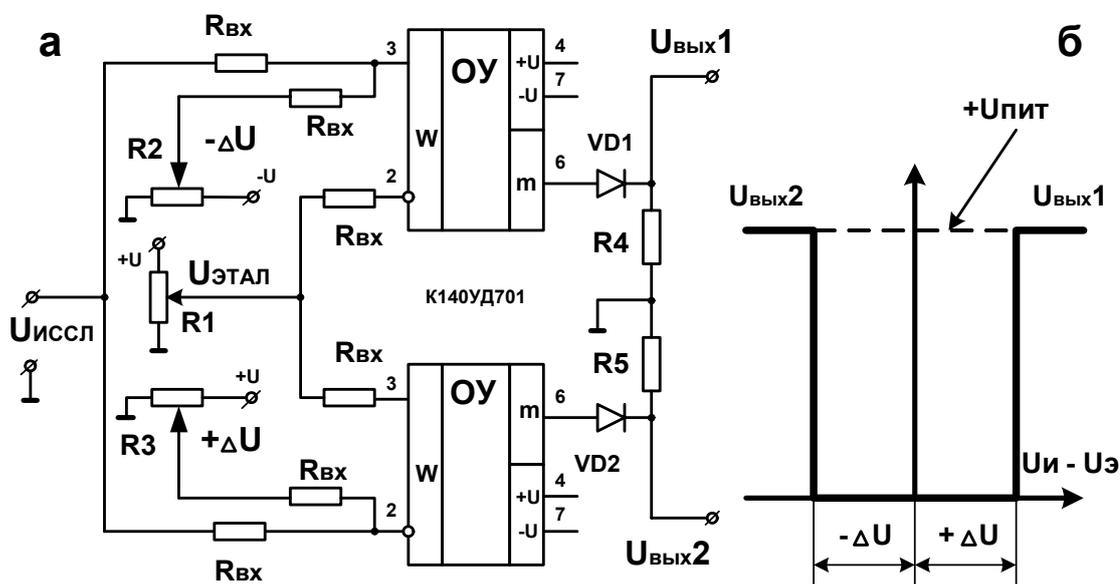


Рис.3.8. Операционный усилитель в режиме компаратора

Причем исследуемый сигнал одновременно подают на **прямой вход первого** усилителя и **инверсный вход второго**, а эталонный сигнал – на инверсный вход первого усилителя и прямой вход второго. Поскольку каждый усилитель **усиливает разницу уровней между прямым и инверсным входами**, то первый будет иметь на выходе «**+Uпит**» при положительной разности, а второй – при отрицательной разности уровней исследуемого и эталонного сигналов (рис.3.8,б).

Для удовлетворения третьему требованию на прямой вход первого усилителя параллельно исследуемому сигналу подают отрицательное опорное напряжение с амплитудой, соответствующей положительной области зоны нечувствительности. На инверсный

вход второго усилителя подают положительное опорное напряжение с амплитудой, соответствующей отрицательной области зоны нечувствительности.

Для регулирования амплитуды всей зоны нечувствительности, а, в случае необходимости и ее положительной или отрицательной составляющих опорные сигналы формируют с помощью делителей напряжения R_2 и R_3 . Уровень эталонного сигнала так же регулируют с помощью делителя напряжения R_1 .

В том случае, когда уровень входного сигнала меньше уровня эталонного, на выходе первого усилителя формируется сигнал высокого уровня отрицательной полярности «-Упит». В том случае, когда уровень входного сигнала выше уровня эталонного, сигнал с уровнем «-Упит» формируется на выходе второго усилителя.

Для исключения подачи отрицательного напряжения на входы последующих устройств автоматики применяют диодные развязки **VD1** и **VD2**.

3.2. Усилители мощности

Формирователи команд управления (ФКУ), как правило, не обладают мощностью, достаточной для включения исполнительных механизмов и сервоприводов. Кроме этого подавляющее большинство исполнительных устройств выполнены на основе электромагнитов или электродвигателей, имеющих напряжение питания, существенно превышающее уровень выходных сигналов ФКУ. Поэтому в системах автоматизации применяют специальные усилительные устройства, различные по исполнению и назначению.

3.2.1. Транзисторный усилитель с гальванической развязкой

Усилители мощности с гальванической развязкой (рис.3.9) применяют для согласования по уровню электронных управляющих модулей, выполненных на интегральных микросхемах, с исполнительными механизмами. Гальваническая развязка, реализованная с

помощью **оптотранзисторной пары** АОТ 128А, обеспечивая СВЯЗЬ

49

по управлению, изолирует по питанию приводы, обладающие высокой индуктивностью, и управляющий модуль.

Управляющий элемент исполнительного устройства, например, электромагнит гидравлического распределителя, устанавливают между клеммами «Вых» и «+24В», обеспечивая включение привода при поступлении на вход усилителя сигнала высокого уровня.

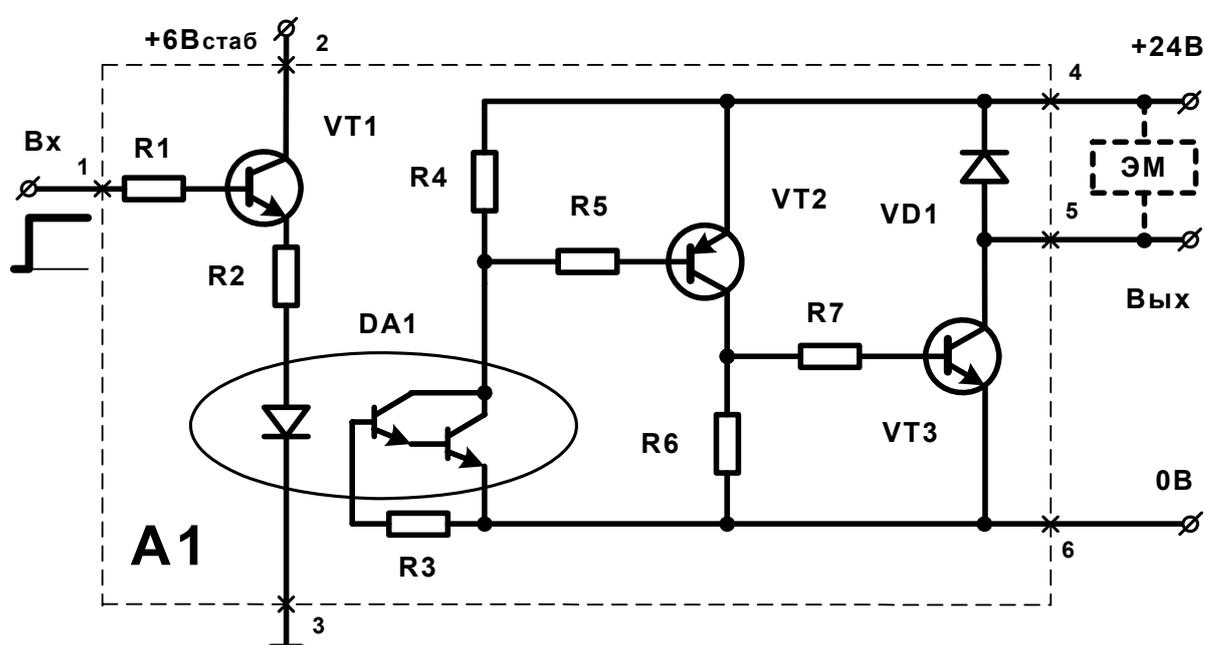


Рис.3.9. Транзисторный усилитель с гальванической развязкой

Управляющий элемент исполнительного устройства, например, электромагнит гидравлического распределителя, устанавливают между клеммами «Вых» и «+24В», обеспечивая включение привода при поступлении на вход усилителя сигнала высокого уровня.

Для управления реверсивными исполнительными механизмами, например, манипулятором возвратно-поступательного действия, выполненным на базе электрического механизма МП-100, применяют два усилителя (рис.3.10).

Необходимо отметить, что шина питания «Общ.» относится к стабилизированному источнику питания управляющего модуля и

50

электрически не связана с шиной питания «0В», являющейся «массой» аккумуляторной батареи автоматизируемой дорожной машины.

Представленный усилитель при использовании транзисторов VT2 – KT502В и VT3 – KT819Г обеспечивает управление исполнительными устройствами, потребляющими ток нагрузки до 5 А.

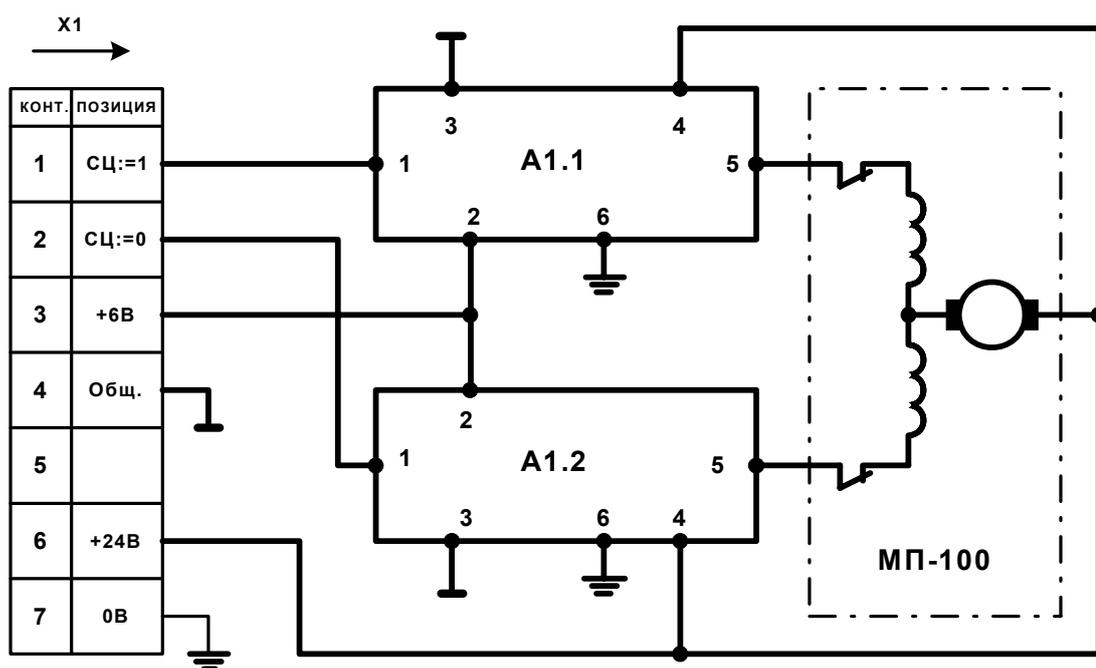


Рис.3.10. Управление манипулятором рычага сцепления

3.2.2. Тиристорный усилитель

Тиристор представляет собой полупроводниковый управляемый вентиль, открывающийся при поступлении на управляющий электрод положительного напряжения, амплитуда которого определяется током открытия данного тиристора [9]. При питании схемы постоянным не пульсирующим напряжением запираение вентилля осуществляют путем подачи на катод встречного тока с амплитудой, превышающей прямой ток нагрузки. При питании постоянным пульсирующим напряжением запираение вентилля произойдет при снятии с управляющего электрода положительного смещения.

С учетом этих свойств при автоматизации строительных машин, имеющих бортовое питание от аккумуляторов, в схему усилителя (рис.3.11) устанавливают третий запирающий тиристор **VT3**,

51

открывающийся при одновременном отсутствии управляющих команд на главных вентилях **VT1** и **VT2** и обеспечивающий их запираение в результате встречного разряда одного из конденсаторов **Cк**.

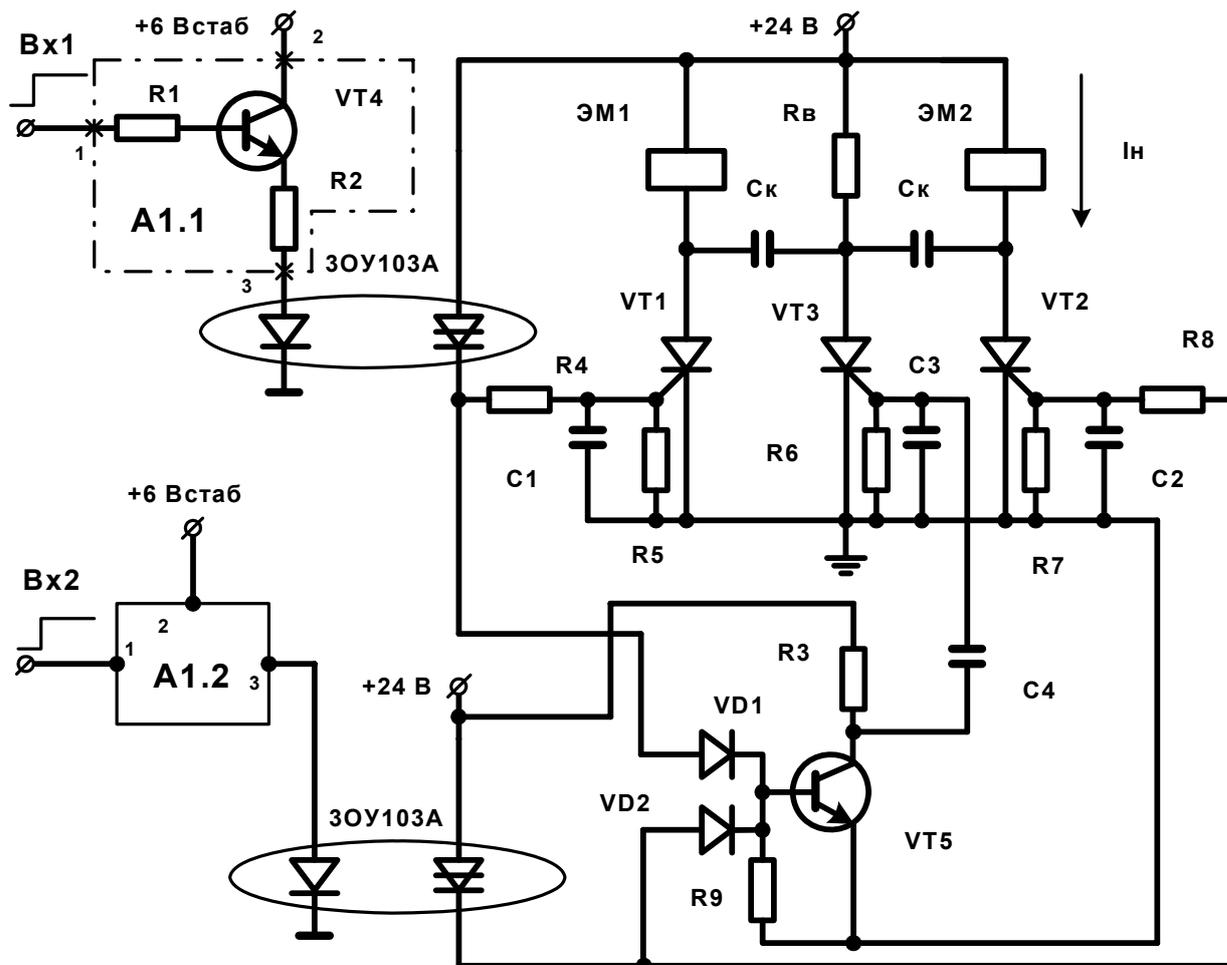


Рис.3.11. Двухканальный тиристорный усилитель

Расчет параметров конденсаторов **Cк** и добавочного сопротивления **Rв** для тиристоров **KУ201В**, **KУ202В**, имеющих максимальный ток нагрузки соответственно 2 и 10 А, производится по следующей методике:

t_{IH}

$$C_k = \frac{t}{U_{пит}}, \text{ мкф} \quad (3.1)$$

где $t = 35$ мкс – время переключения тиристора;

52

I_n – ток нагрузки, А;

$U_{пит}$ – напряжение питания, В.

$$R_v \leq \frac{U_{пит}}{I_{уд}}, \text{ Ом} \quad (3.2)$$

где $I_{уд} = 0,15$ А – ток удержания тиристора.

Для гальванической развязки управляющего модуля и исполнительных устройств применяют оптотиристорные пары **DA1** и **DA2** марки **ЗОУ103А** или **АОУ103А**, имеющие $I_{вых} = 100$ мА.

При поступлении управляющей команды на тиристор **VT1** одновременно со срабатыванием электромагнита **ЭМ1** происходит заряд конденсатора **Cк1**, который разрядится по цепи **Cк1 - VT3 - VT1** после открытия тиристора **VT3**, обеспечивая встречный ток, запирающий вентиль **VT1**.

Устройство, собранное на диодах **VD1**, **VD2** и транзисторе **VT5**, представляет собой логический элемент «ИЛИ-НЕ», мощность выходного сигнала которого обеспечивает открытие вентиля **VT3** в том случае, когда оба входных сигнала **Vх1** и **Vх2** имеют низкий уровень.

При реализации управляющего модуля на маломощных микросхемах, например, серии **K561** входные сигналы **Vх1** и **Vх2** усиливают с помощью однокаскадных транзисторных усилителей **A1.1** и **A1.2**. В тех случаях, когда управляющие команды формируют более мощные устройства, например, бесконтактные концевые выключатели типа **БК-А**, необходимость в предварительном усилении команд отпадает.

4. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Основным назначением исполнительных устройств в системах автоматизации является преобразование управляющих команд в физическое воздействие на объект управления или регулирования. Подавляющее число видов воздействий сводится к механическим:

53

изменению величины, направления и скорости линейного или поступательного перемещения, а также изменению значения усилия.

Выбор исполнительного устройства для решения конкретных задач автоматизации определяется видом дополнительной энергии, применяемой в системе, величиной и характером необходимого физического воздействия, допустимой инерционностью и точностью позиционирования, ограничениями по массе и габаритам, надежностью.

Исполнительные устройства разделяют на электромеханические, электрогидравлические и электропневматические.

4.1. Электромеханические исполнительные устройства

Электромеханические исполнительные [13] устройства осуществляют непосредственное преобразование электрической энергии в механическую и, в свою очередь, подразделяются на электромагнитные механизмы и устройства, использующие в качестве преобразователей энергии электрические двигатели постоянного и переменного тока.

4.1.1. Электромагнитные исполнительные устройства

Основой электромагнитных исполнительных механизмов являются электромагниты, как правило, **соленоиды**, в которых перемещение (втягивание) металлического якоря производится электромагнитным полем, создаваемым обмоткой электромагнита (рис.4.1). При этом возможно осуществление двух видов управления: дискретного - «открыть-закрыть» и аналогового – обеспечить перемещение или создать усилие, пропорциональные уровню управляющей команды.

Усилие F , развиваемое электромагнитом, пропорционально произведению числа витков n обмотки на значение тока I , протекающего в обмотке. В свою очередь, значение тока определяется уровнем напряжения, подаваемого на обмотку

54

$$F = k \cdot n \cdot I, \text{ Н} \quad (4.1)$$

где K – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции электромагнита, Н/А.

Электромагнитные исполнительные механизмы представлены достаточно широким рядом устройств.

Электромагнитные тормоза служат для обеспечения точности позиционирования других исполнительных механизмов, например, электрических приводов грузоподъемных лебедок или шиберных затворов накопительных бункеров.

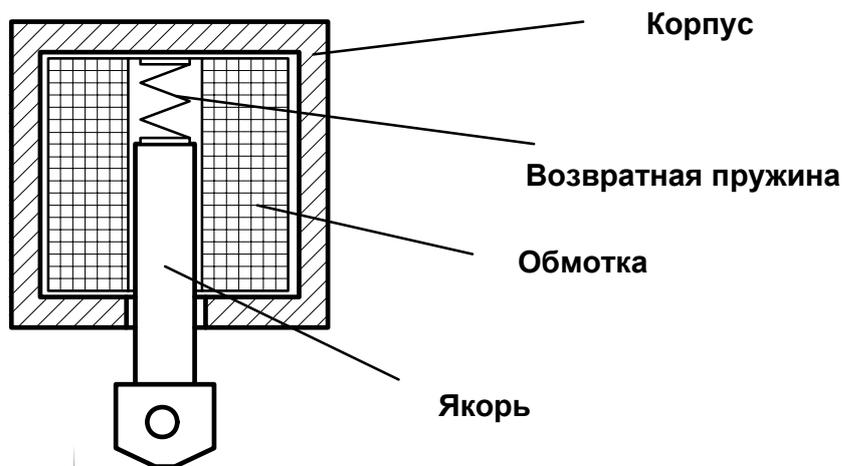


Рис.4.1. Электромагнитный управляющий элемент

Электромагнитные тормоза служат для обеспечения точности позиционирования других исполнительных механизмов, например, электрических приводов грузоподъемных лебедок или шиберных затворов накопительных бункеров промышленных предприятий.

Простейший электромагнитный тормоз (рис.4.2,а) содержит собственно электромагнит, к якорю которого прикреплен один конец

фрикционной ленты, огибающей тормозной барабан, установленный на валу электродвигателя. Второй конец ленты жестко закреплен к станине лебедки. **Торможение вала электродвигателя происходит при включении магнита ЭМ.**

55

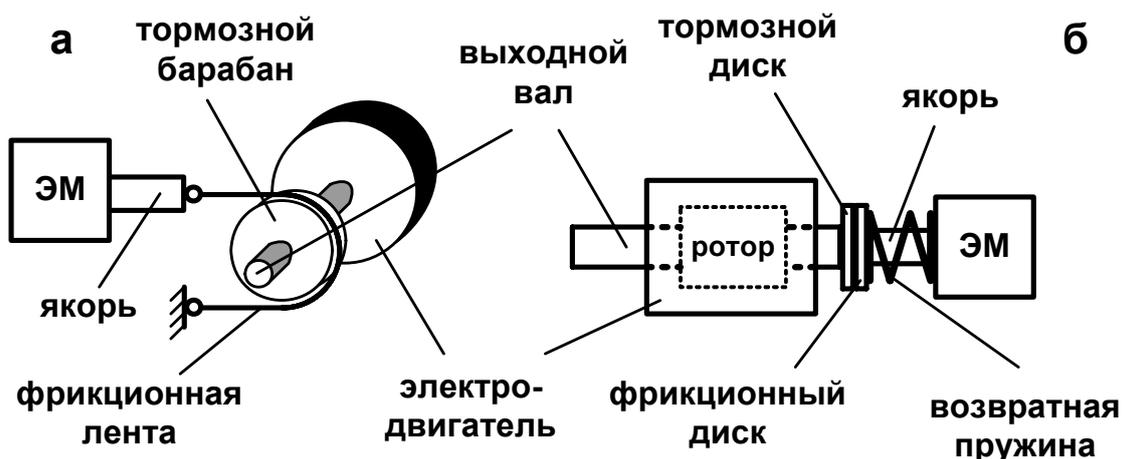


Рис.4.2. Электромагнитные тормоза

Торцевые электромагнитные тормоза (рис.4.2,б), как правило, применяют для остановки валов маломощных (до 100 Вт) электродвигателей постоянного тока, имеющих повторно-кратковременный режим включения. **Торможение вала осуществляется при отключении электромагнита ЭМ** и прижимании возвратной пружины фрикционного диска, установленного на якоре, к тормозному диску двигателя. Включение и отключение электромагнита производятся одновременно с включением и отключением электродвигателя.

Широкое применение в различных системах автоматизации находят **электромагнитные муфты**, обеспечивающие как фрикционное, так и зубчатое соединение ведущего и ведомого валов. По принципу действия они аналогичны торцевым электромагнитным тормозам, но в отличие от последних соединение валов в муфтах происходит при срабатывании управляющего электромагнита.

Одна из сторон якоря (рис.4.3) с помощью шлицевого соединения введена в зацепление с ведомым элементом, на который не-

обходимо передавать вращающий момент от выходного вала ка-кого-либо двигателя.

Другая сторона якоря снабжена фрикционным или зубчатым диском, взаимодействующим с аналогичным диском, установленным на торце вала двигателя.

56

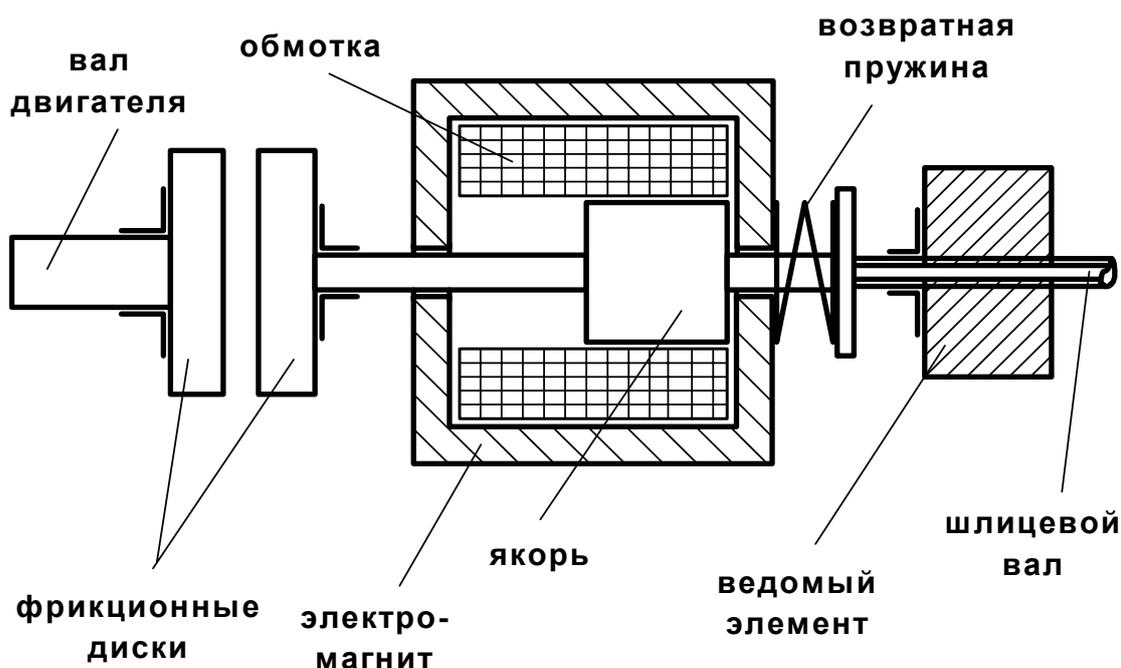


Рис.4.3. Электромагнитная соединительная муфта

В современных дизельных транспортных средствах – тракторах и автомобилях - для штатной и аварийной остановки двигателя применяют электромагнитные клапаны топливопроводов. Эти устройства, как правило, устанавливают в непосредственной близости от топливных насосов высокого давления.

Электромагнитные клапаны также устанавливают в пневматических магистралях предприятий строительной индустрии для обеспечения импульсной подачи сжатого воздуха в различные пневматические механизмы, например, в сопла систем обрушения зависаний сыпучих материалов в расходных бункерах.

Электромагнитный клапан (рис.4.4) содержит собственно электромагнит, якорь которого, являясь запирающим элементом, перекрывает соответствующую магистраль под действием возвратной

пружины при снятии управляющей команды с обмотки электромагнита.

Открытие магистрали осуществляется при срабатывании электромагнита.

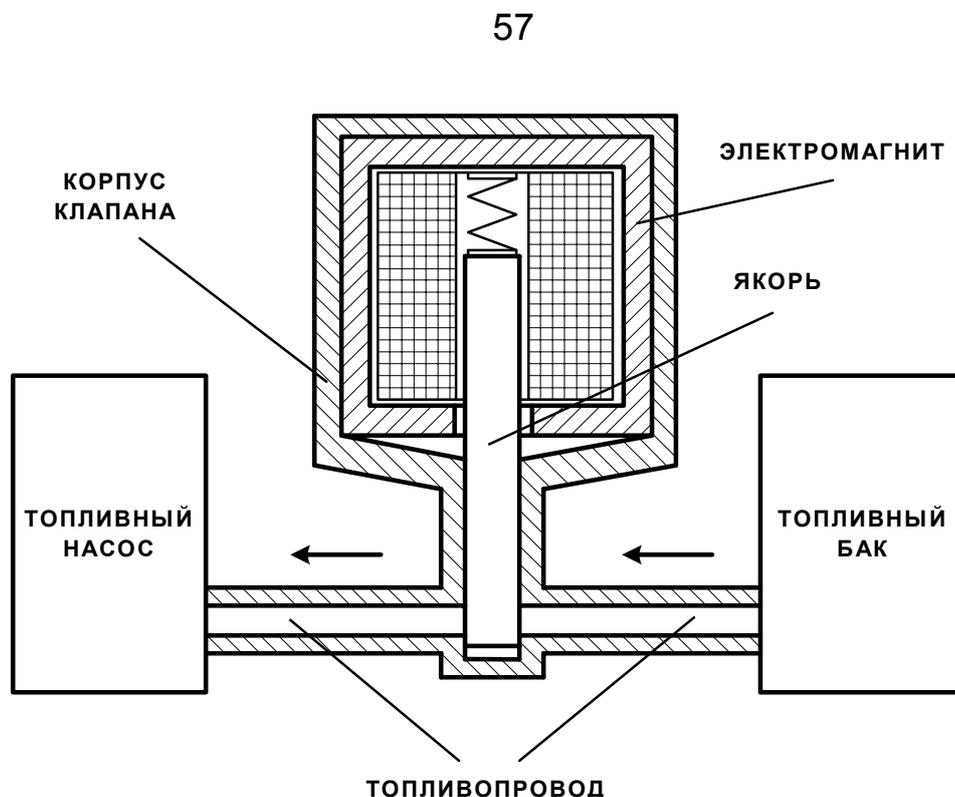


Рис.4.4. Электромагнитный клапан топливпровода

Электромагниты также широко применяют при создании гидравлических распределителей с электрическим управлением, обеспечивающих объемное и дроссельное регулирование гидравлических двигателей.

4.1.2. Исполнительные устройства и механизмы на основе электрических двигателей

В общем случае (рис.4.5) механизмы данной группы содержат электрический двигатель переменного или постоянного тока, цилиндрический, планетарный или комбинированный понижающий редуктор, передаточное устройство, преобразующее вращательное движение в угловое или возвратно-поступательное перемещение вы-

ходного элемента. Кроме этого, как правило, подобные исполнительные устройства содержат блок концевых выключателей или микропереключателей, прекращающих подачу питания на электродвигатель при достижении выходным элементом заданного линейного или углового перемещения.

58

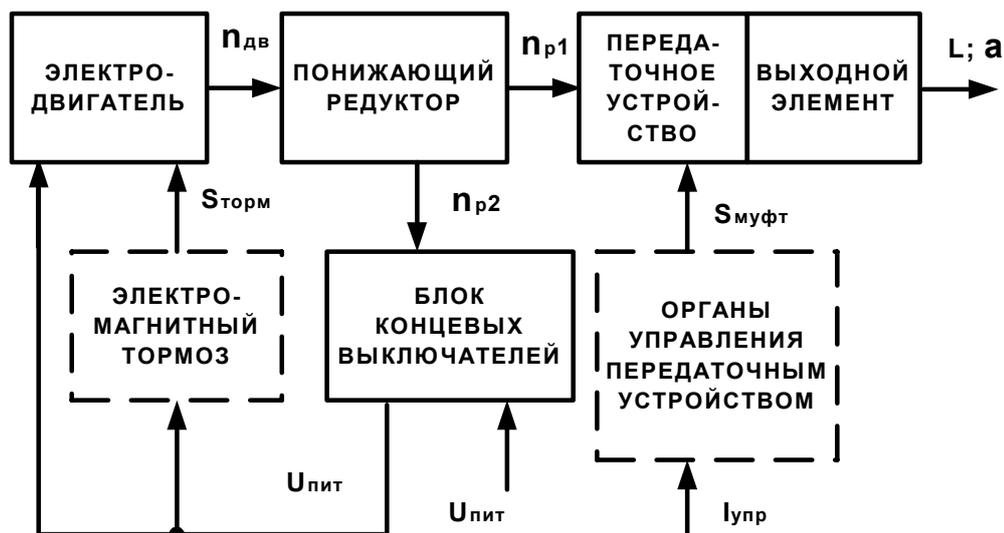


Рис.4.5. Обобщенная схема исполнительного механизма, выполненного на основе электрического двигателя

Многие исполнительные механизмы данной группы содержат электромагнитный тормоз (рис.4.2,б), предотвращающий «выбег» выходного элемента после снятия команды управления. Некоторые специальные исполнительные механизмы снабжены органами управления передаточным устройством, обеспечивающими механическое разъединение редуктора и выходного элемента или изменение его направления движения без электрического реверсирования электродвигателя. Подобные органы управления, как правило, представляют собой комплект электромагнитных муфт (рис.4.3).

4.1.2.1. Исполнительные механизмы постоянного тока

При решении задач автоматического и дистанционного управления дорожными и строительными машинами широкое применение находят исполнительные механизмы МПК-13А-5 и МП-100М, выполненные на базе электрических двигателей постоянного тока.

Исполнительный механизм МПК-13А-5 (рис.4.6) содержит электрический двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением 1 и многоступенчатый планетарный редуктор 2, выходной элемент 3 которого имеет паз для установки шлицевого вала. Регулировку угла поворота выходного элемента и отключение электро-

59

двигателя при превышении противодействующим моментом установленного предельного значения осуществляют с помощью двух комплектов микропереключателей 4 (SQ1, SQ2) и 5 (SQ3, SQ4).

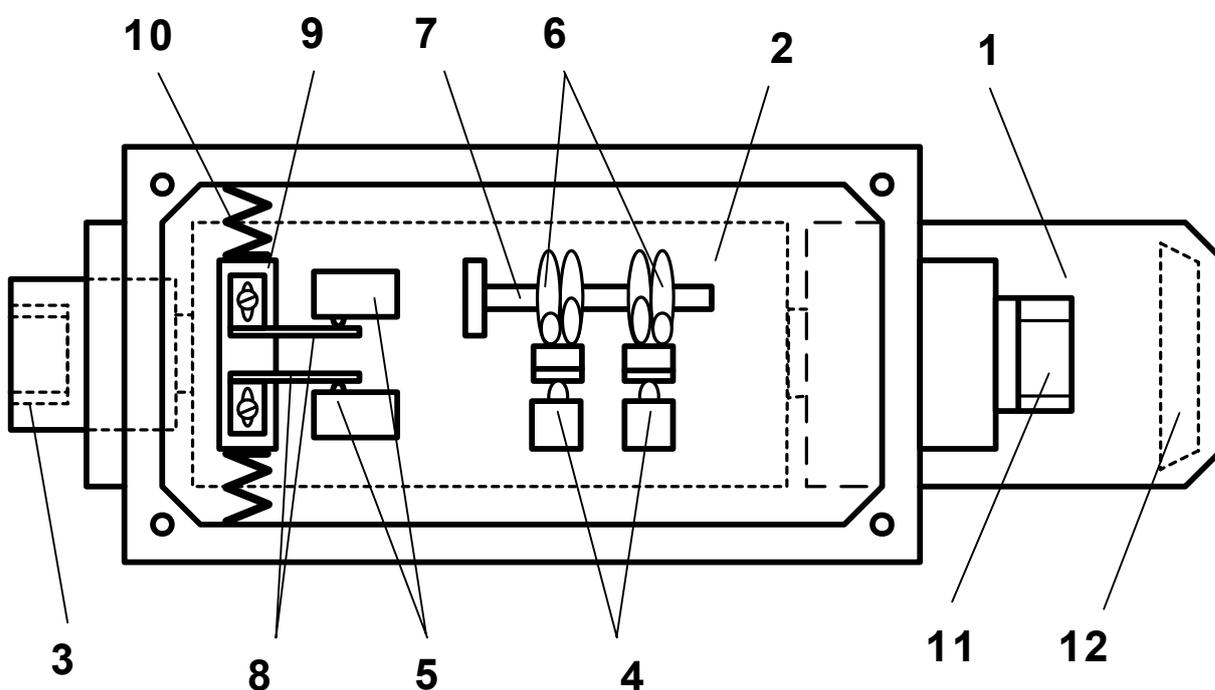


Рис.4.6. Структура исполнительного механизма МПК-13А-5

Регулировку угла поворота выходного элемента производят с помощью сдвоенных кулачков 6, установленных на оси 7, вращающейся синхронно с выходным элементом. Установку заданного значения противодействующего момента выполняют настройкой положения толкателей 8, установленных на кулисе 9, взаимодействующей с пружинами предельного момента 10. Электрическое соединение исполнительного механизма с управляющим модулем осуществлено с помощью штепсельного разъема 11. Для повышения точ-

ности позиционирования выходного элемента ротор двигателя снабжен торцевым электромагнитным тормозом 12.

Остановка двигателя при достижении выходным элементом максимального угла поворота против часовой стрелки осуществляется с помощью микропереключателя SQ1, по часовой стрелке – с помощью SQ2 (рис.4.7).

60

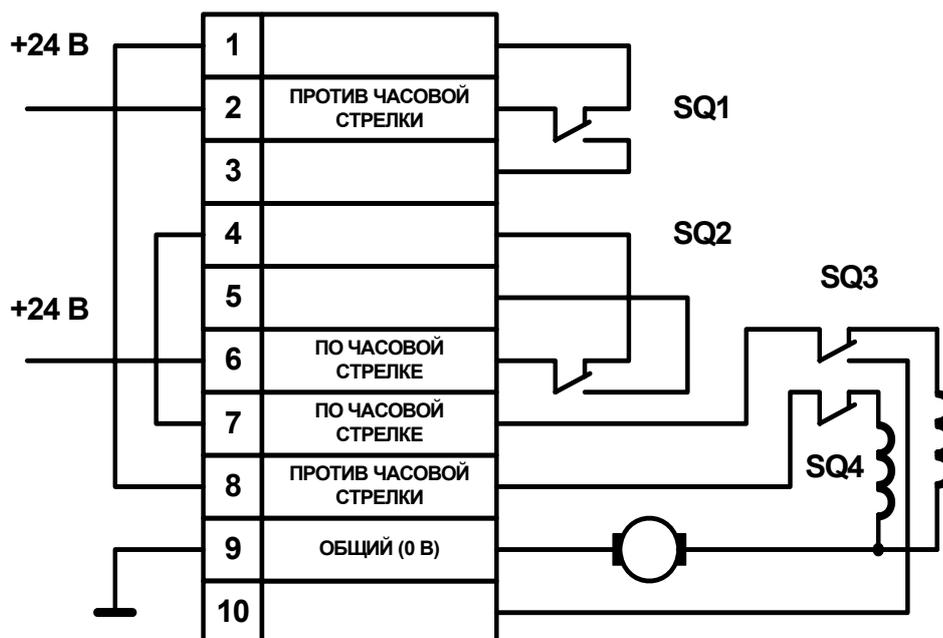


Рис.4.7. Электрическая схема механизма МПК-13А-5

Основные технические характеристики механизма МПК-13А-5

Напряжение питания, постоянный ток, В	27 ± 2,7
Потребляемый ток, А, не более	1,7
Регулируемый противодействующий момент, Н·М	24,5...49,0
Время поворота выходного звена на угол 180° С	11 ± 2,2
Регулируемый угол поворота выходного звена, град.	2...360
Режим работы - повторно-кратковременный:	

Под номинальной нагрузкой (24,5 Н·М) поворот на 180° и обратно. Перерыв 30 с. Таких мини-циклов 5. Перерыв 30 мин. Таких циклов 8000. Ремонт.

Исполнительный механизм возвратно-поступательного действия МП-100М (рис.4.8) содержит электрический двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением 1, четырехступенчатый планетарный редуктор 2 и передаточное устройство 3, выполненное в виде винтовой пары. Выходной элемент - шток 4 имеет резьбовой паз для установки соединительного кронштейна. Регули-

61

ровку хода штока осуществляют с помощью кулачков 5, взаимодействующих с толкателями микропереключателей 6 (SQ1, SQ2). Информацию о среднем положении штока снимают с микропереключателя 7 (SQ3). Все микропереключатели размещены на оси 8, полный оборот которой соответствует максимальному выпуску штока.

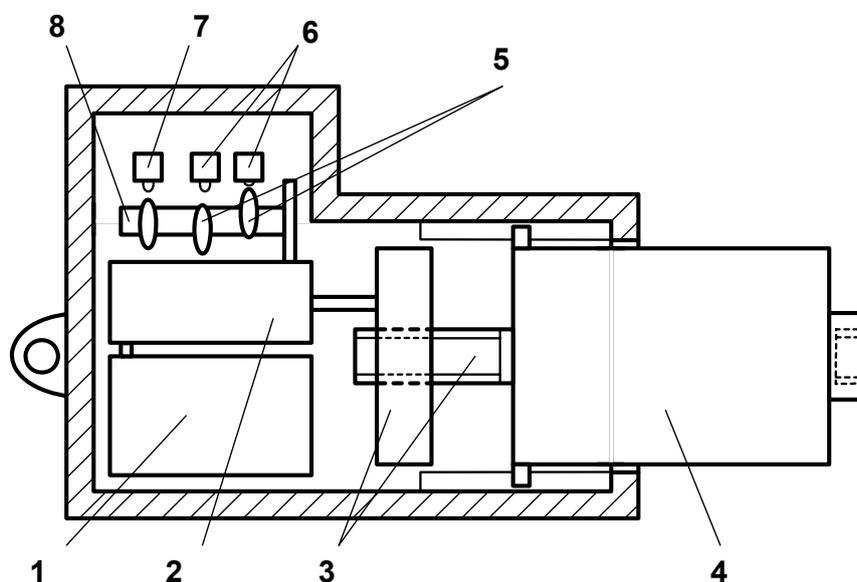


Рис.4.8. Структура исполнительного механизма МП-100М

Остановка двигателя исполнительного механизма при достижении выходным элементом заданного выдвижения осуществляется с помощью микропереключателя SQ1, заданного втягивания – с помощью SQ2 (рис.4.9).

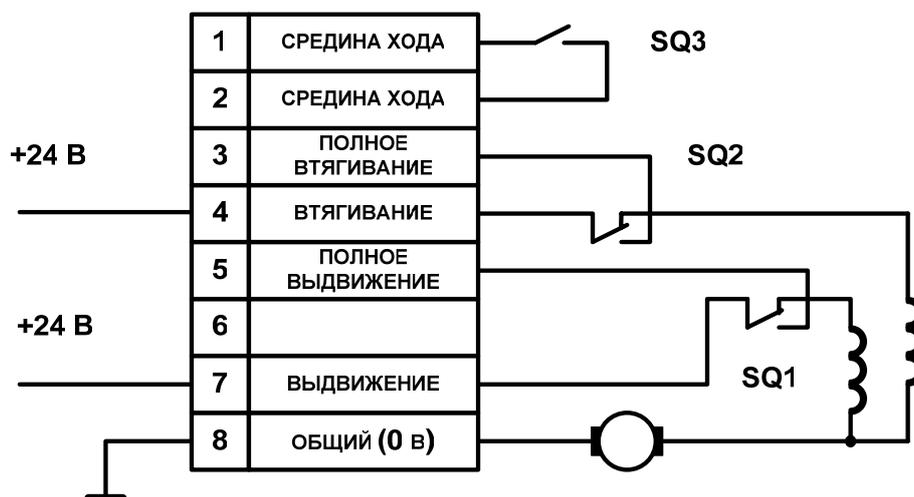


Рис.4.9. Электрическая схема механизма МП-100М

62

Основные технические характеристики механизма МП-100М

Напряжение питания, В	27 ± 2,7
Потребляемый ток, А, не более	2,3
Нагрузка на шток, Н	
номинальная	980
максимальная	1470
Ход штока, мм	10...80
Скорость хода штока, мм/с	2,5

Режим работы повторно-кратковременный

Под номинальной нагрузкой полный выпуск и полное втягивание. Перерыв 1 минута. Таких мини-циклов 6. Перерыв 30 минут. Таких циклов 4000. Ремонт.

4.1.2.2. Реверсивные электрические исполнительные механизмы переменного тока

При автоматизации технологических процессов промышленных предприятий, например объектов строительной индустрии, имеющих неограниченный доступ к сетям переменного тока, применяют исполнительные механизмы, выполненные на базе однофазных и трехфазных электрических двигателей переменного тока.

Мощность механизмов на основе однофазных электродвигателей не превышает 1 кВт, механизмов с трехфазными электродвигателями - практически не ограничена.

Обе группы исполнительных механизмов по своей структуре и принципу преобразования вращательного движения ротора двигателя в поворотное или возвратно-поступательное перемещение выходного элемента аналогичны исполнительным механизмам, основанным на электродвигателях постоянного тока.

Исполнительные механизмы с однофазными двигателями (рис. 4.10) имеют ограниченный поворот (до 90°) и выпуск (до 50 мм) выходного элемента, поэтому концевые выключатели, ограничивающие перемещение последнего, конструктивно размещены в корпусах соответствующих механизмов.

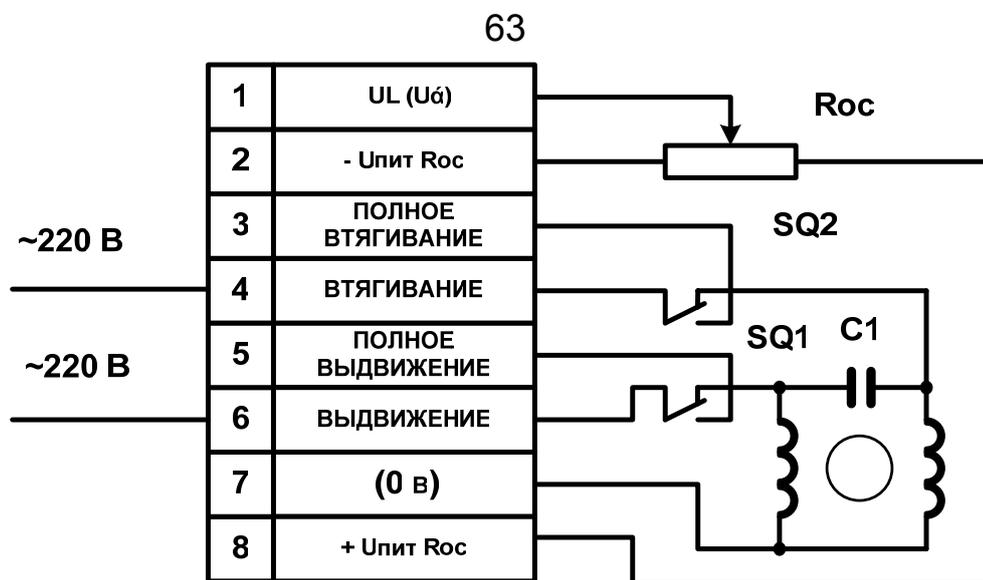


Рис.4.10. Электрическая схема однофазного исполнительного механизма МЭО-0,63

Дополнительно в механизмах такого типа могут быть установлены потенциометры обратной связи **Roc**, обеспечивающие непрерывный контроль за положением выходного элемента.

Для создания замкнутого магнитного потока между обмотками статора устанавливают **фазосдвигающий конденсатор C1** емкостью 3,0 мкФ.

Реверсирование хода выходного элемента осуществляют реверсированием электродвигателя путем подачи питания на соответствующую обмотку статора.

Основные технические характеристики механизма МЭО-0,63

Напряжение питания, В	220 ± 10 %
Потребляемая мощность при номинальной нагрузке, Вт	65
Угол поворота выходного элемента, град.	90
Номинальный крутящий момент, Н·м	5,174
Угловая скорость, град./с	9,0
Или:	
Полный выпуск штока, мм	20
	64
Усилие на штоке, Н	294
Скорость хода штока, мм/с	2,0

Режим работы - повторно-кратковременный реверсивный с количеством включений до 300 в час со следующим повторением не менее чем через 3 часа.

Наиболее широкое применение в промышленности находят исполнительные механизмы с возвратно-поступательным перемещением выходного элемента, выполненные на основе трехфазных электродвигателей с короткозамкнутым ротором. Как правило, такие механизмы используют в качестве приводов шиберных затворов или заслонок высокопроизводительных клапанов повышенного давления. Поскольку амплитуда перемещения затворов достигает 1 м и более, концевые выключатели, ограничивающие ход выходного элемента, конструктивно вынесены за пределы корпуса исполнительного механизма (рис. 4.11).

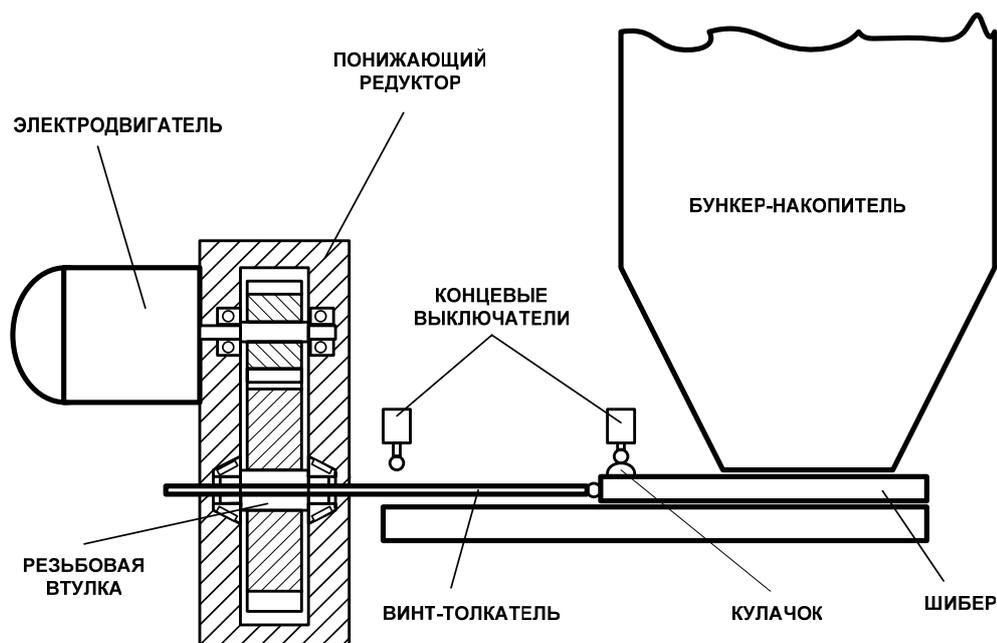


Рис. 4.11. Исполнительный механизм шибера затвора бункера-накопителя

Преобразование вращательного движения ротора электрического двигателя в возвратно-поступательное перемещение толкателя происходит следующим образом. Малая шестерня понижающего

65

редуктора передает вращающий момент ротора на большую шестерню, вращающуюся на запрессованной в нее втулке с внутренней прямоугольной резьбой, навинченной на толкатель. Поскольку большая ведомая шестерня защищена от продольного смещения упорными подшипниками, при ее вращении формируется поступательное перемещение толкателя, шарнирно соединенного с плитой шибера затвора.

Изменение направления движения шибера производят путем реверсирования электродвигателя. Остановку затвора при полном открывании и закрывании бункера-накопителя осуществляют с помощью двух концевых выключателей **SQ1** и **SQ2**, роликовые толкатели которых взаимодействуют с кулачком, установленным на нерабочей части плиты шибера (рис. 4.12).

Для обеспечения наладки и эксплуатации шибера затвора управление исполнительным механизмом производят в «местном» и дистанционно-автоматическом режимах.

В режиме местного управления команды на открывание, закрывание и промежуточную остановку подают с помощью кнопок **SB_{вп}**, **SB_{наз}**, и **SB_{стоп}** установленных на щите управления, размещенном в непосредственной близости от затвора. Данный режим применяют при установке нового и ремонте старого исполнительного механизма, а также при техническом обслуживании бункера-накопителя.

В дистанционно-автоматическом режиме команды управления подают с помощью контактов **КД_{вп}**, **КД_{наз}**, и **КД_{стоп}** выходных реле управляющей системы, обеспечивающей срабатывание этих реле в соответствии с принятым законом управления.

Собственно реверсирование трехфазного электродвигателя достигается за счет «перебрасывания» двух фаз на входных клеммах электрического двигателя.

Для защиты электродвигателя от перегрузок, которые могут возникнуть, например, при перекосе плиты шибера или при попадании каменных материалов между плитой и стенкой бункера, в двух линиях **Л1** и **Л2** питания двигателя установлены биметаллические пластины теплового реле **РТ**.

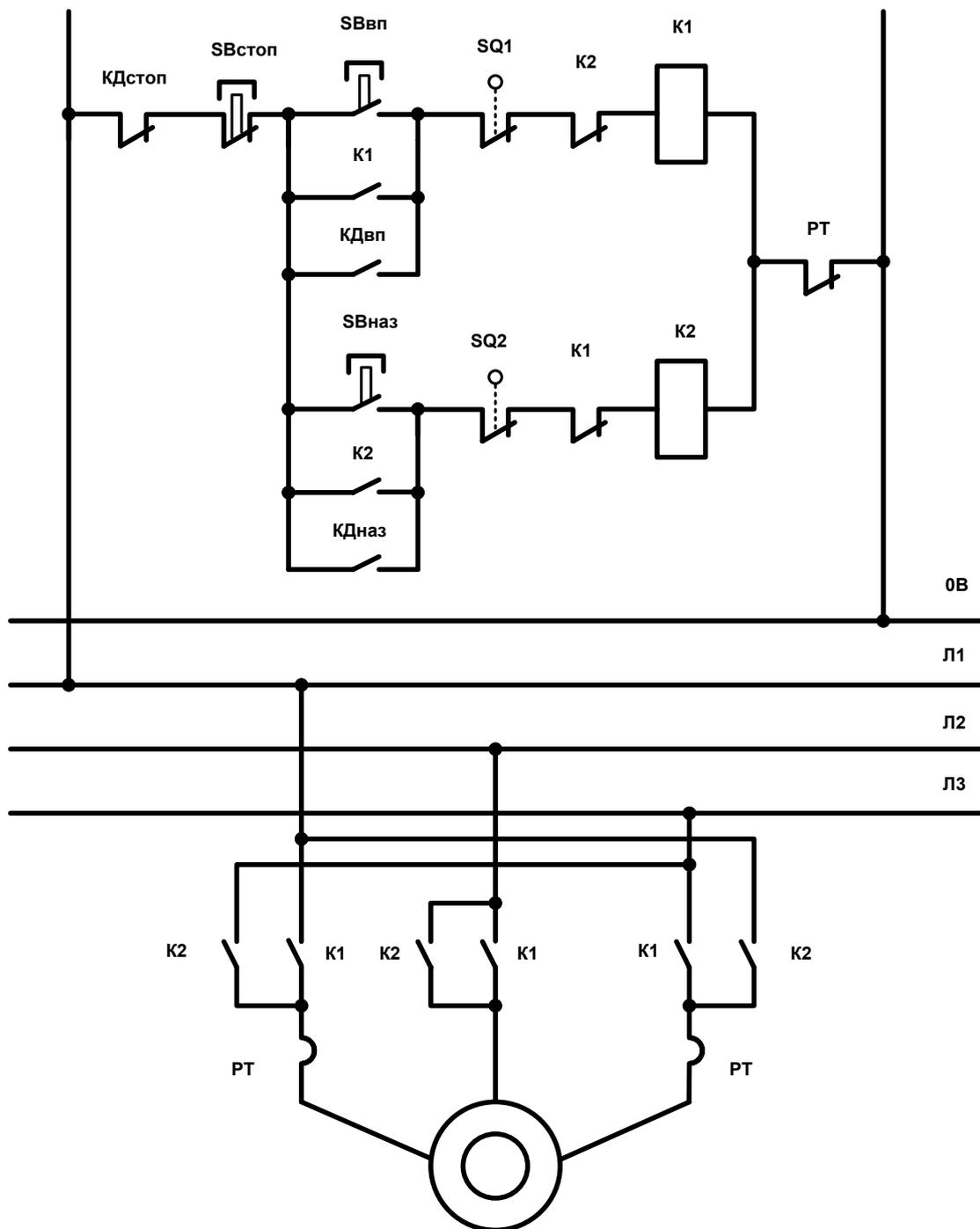


Рис. 4.12. Принципиальная электрическая схема управления шиберным затвором

При возникновении перегрузки падение напряжения на пластинах увеличивается, что приводит к их деформации и размыканию контакта **РТ**, установленного в цепи питания контакторов **К1** и **К2**,

вызывая остановку электродвигателя. Принцип действия теплового реле аналогичен контуру тепловой защиты автоматических выключателей [1].

Для предотвращения одновременного срабатывания контактов **K1** и **K2** при случайном одновременном нажатии на кнопки **SB_{вп}** и **SB_{наз}** или при сбоях в управляющей системе в цепь питания обмотки контактора **K1** установлен размыкающий контакт **K2**, а в цепь питания обмотки **K2**, - размыкающий контакт контактора **K1**. Подобная блокировка исключает возможность возникновения короткого замыкания в цепях питания электрического двигателя при одновременном срабатывании обоих контакторов.

4.2. Электрогидравлические исполнительные механизмы

В общем случае электрогидравлические исполнительные механизмы (ЭГИМ) представляют собой совокупность управляемых электромагнитов, гидравлического распределителя и гидравлического двигателя [11] (рис. 4.13). Рабочее тело – масло - подают в ЭГИМ с помощью масляного насоса, имеющего электрический или механический привод.

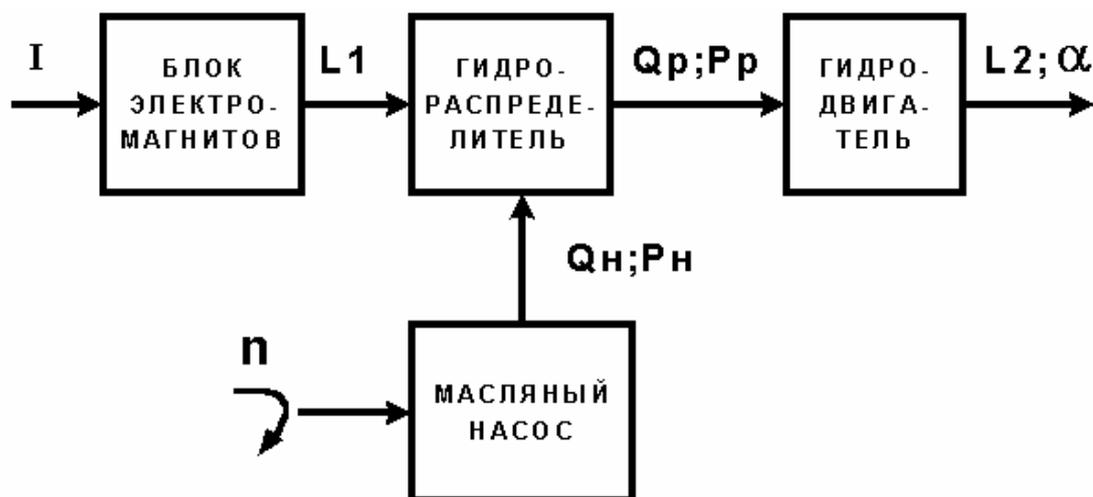


Рис. 4.13. Функциональная схема электрогидравлического исполнительного механизма

Различают ЭГИМ с дроссельным и объемным регулированием.

При **дроссельном регулировании** производительность насоса постоянна **$Q_n = \text{constant}$** , а производительность гидравлического распределителя является функцией значения тока, протекающего через электромагнит **$Q_p = \text{var} = f(I)$** .

В случае **объемного регулирования** постоянной величиной является производительность распределителя **$Q_p = \text{constant}$** , а производительность масляного насоса пропорциональна частоте вращения привода насоса **$Q_n = \text{var} = K_n$** .

При автоматизации управления положением рабочих органов дорожно-строительных машин применяют электрогидравлические исполнительные механизмы с объемным регулированием. Для автоматического управления скоростью машин, имеющих гидромеханическую трансмиссию, используют ЭГИМ с дроссельным регулированием.

4.2.1. Гидравлические двигатели

Для обеспечения линейного перемещения объектов в качестве гидравлических двигателей применяют гидроцилиндры, для углового перемещения или вращения - гидромоторы [12].

Гидроцилиндры подразделяют на две группы – двустороннего и одностороннего действия. Механизмы первой группы (рис. 4.14) имеют принудительное выдвигание и втягивание штоков, обеспечивая тем самым силовое воздействие на объект в обоих направлениях.

В гидроцилиндрах, имеющих один шток, усилие при выдвигании превышает значение усилия при втягивании. При этом скорость втягивания будет выше скорости выталкивания. В двуштоковых гидравлических цилиндрах усилия и скорости в обоих направлениях одинаковы.

Гидроцилиндры второй группы (рис. 4.15) обеспечивают силовое воздействие на объект только в одном направлении, как правило, при выталкивании штока.

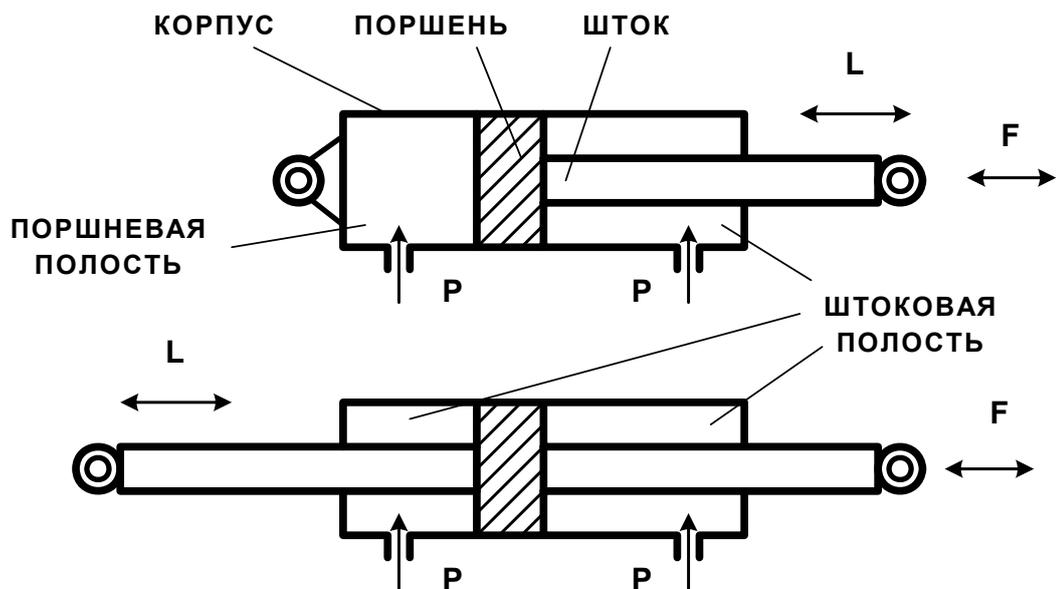


Рис. 4.14. Гидравлические цилиндры двустороннего действия

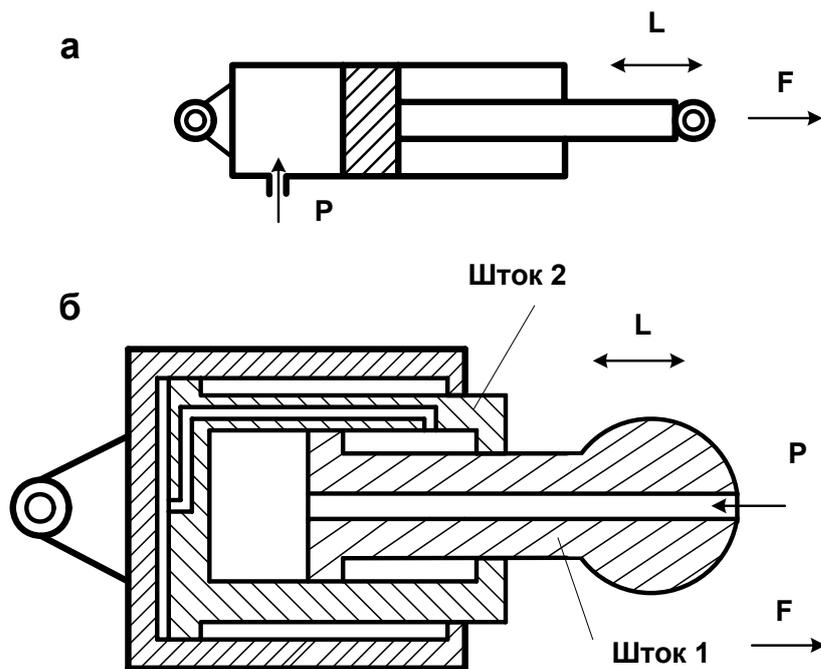


Рис. 4.15. Гидравлические цилиндры одностороннего действия

Втягивание штока происходит под действием внешних сил. На практике гидроцилиндры одностороннего действия применяют в качестве **опрокидывающих механизмов** кузовов автосамосвалов.

Гидроцилиндры первой группы и одноштоковые цилиндры второй группы (рис.4.15,а) имеют длину выпуска $L_{в} \cong 0,6$ габаритно-го размера L_0 . У телескопических гидроцилиндров (рис. 4.15.б) длина выпуска в зависимости от количества штоков достигает $L_{в} = 1,5 L_0$ (рис. 4.16).

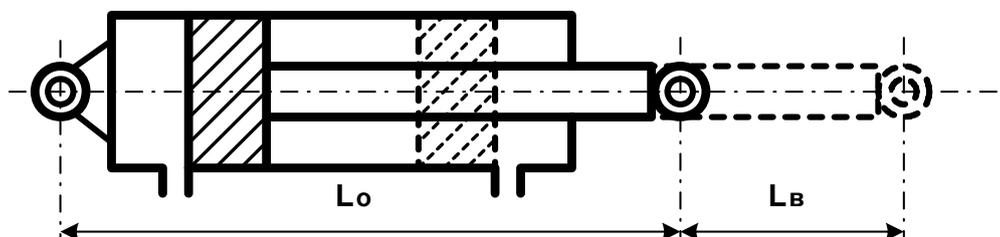


Рис.4.16. Выпуск штоков гидравлических цилиндров

Гидравлические моторы представлены многочисленными **обратимыми объемными гидравлическими машинами** [12]. В настоящее время наибольшее применение находят аксиально-плунжерные гидромоторы, имеющие отлаженную технологию изготовления и более высокие технические показатели (такие как к.п.д. и надежность) по сравнению с другими типами гидравлических моторов.

В общем случае аксиально-плунжерные гидромоторы (рис. 4.17)

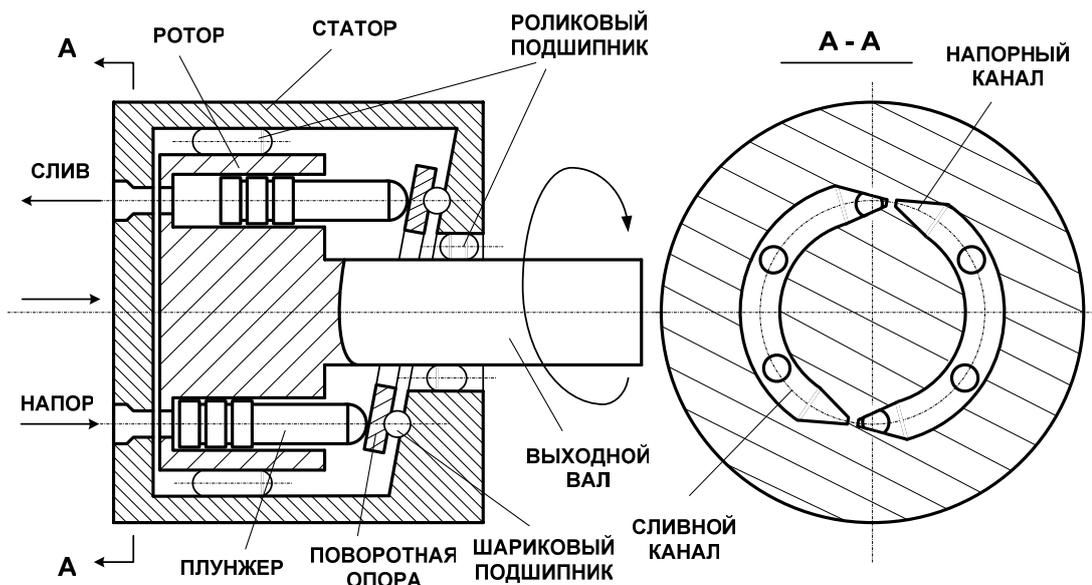


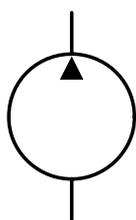
Рис. 4.17. Условная схема аксиально-плунжерного гидромотора

содержат статор, снабженный полукольцевыми **напорным** и **сливным** каналами, соединенными с **гидравлическим распределителем**, и ротор, установленный внутри статора на роликовых подшипниках и имеющий нечетное количество плунжеров (7 или 9).

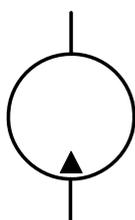
Внешние торцы плунжеров опираются на поворотную опору, установленную под углом к продольной оси ротора. Рабочее тело, поступающее через напорный канал в цилиндры «правых» плунжеров, вынуждает последние выдвигаться, что становится возможным лишь при повороте ротора. При этом масло, находящееся в «левых» цилиндрах, будет вытесняться в сливной канал. Для изменения направления вращения ротора достаточно переключить направление подачи рабочего тела с помощью **гидрораспределителя**.

Очевидно, что в процессе принудительного вращения выходного вала ротора с помощью двигателя внутреннего сгорания или электрического двигателя описанная гидравлическая машина начинает выступать в роли гидравлического насоса.

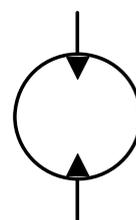
В принципиальных гидравлических схемах гидромоторы и гидронасосы имеют следующие обозначения.



Гидронасос



Гидромотор
неперевсивный



Гидромотор
реверсивный

4.2.2. Гидравлические распределители с электромагнитным управлением

Управление гидравлическими двигателями осуществляют с помощью гидравлических распределителей с ручным и электрическим управлением. Устройства второй группы имеют две модификации: распределители с электромагнитным и электрогидравлическим управлением.

При автоматизации легких автогрейдеров, бульдозеров и других машин, имеющих диаметр гидроцилиндров менее 100 мм, применяют распределители **У4690.4171** с электромагнитным управлением, упоминаемые в некоторых литературных источниках под наименованием «**ЗСУ-8**». Эти распределители обеспечивают расход рабочего тела $Q_{\text{ном}} = 8 \text{ л/мин}$ при номинальном давлении в гидравлической системе машины $P_{\text{ном}} = 160 \text{ кгс/см}^2$.

Гидравлический распределитель этого типа (рис. 4.18) работает следующим образом.

В том случае, когда электромагниты **ЭМ** обесточены, возвратные пружины устанавливают **золотник** в положение, указанное на рисунке. При этом масло транзитом проходит через распределитель по линии «напор-слив 1» в масляный бак.

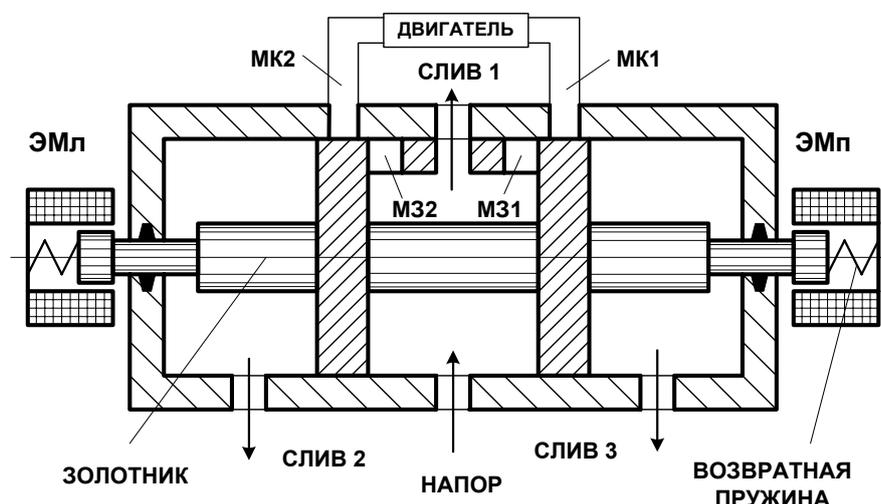


Рис. 4.18. Распределитель с электромагнитным управлением

При этом масло транзитом поступает через распределитель по линии «напор-слив 1» в масляный бак. При срабатывании электромагнита **ЭМп** золотник перемещается вправо, совмещая отверстие **М31** с магистралью **МК1**, обеспечивая доступ рабочего тела под давлением в гидравлический двигатель, выходной элемент которого, например шток, начинает перемещение в одном из возможных направлений. Избыток масла, находящийся в двигателе, поступает по линии «МК2-слив 2» в масляный бак. При срабатывании электромагнита **ЭМл** перемещение выходного звена двигателя происходит в обратном направлении.

Для обеспечения возможности как ручного, так и автоматизированного управления применяют последовательно соединенные распределители с ручным и электромагнитным управлением. Гидравлический двигатель подключают к распределителям по параллельной схеме. Золотник распределителя с ручным управлением перемещают специальным рычагом, золотник распределителя с электромагнитным управлением – электромагнитами. Распределители этих групп организованы таким образом, что в отсутствие усилия на рычаге и управляющих команд на электромагнитах золотники распределителей под действием возвратных пружин перемещаются в среднее положение, называемое «заперто» (рис. 4.19). В режиме ручного управления оба электромагнита должны быть обесточены.

В автоматическом режиме воздействие на рычаг ручного управления не допускается.

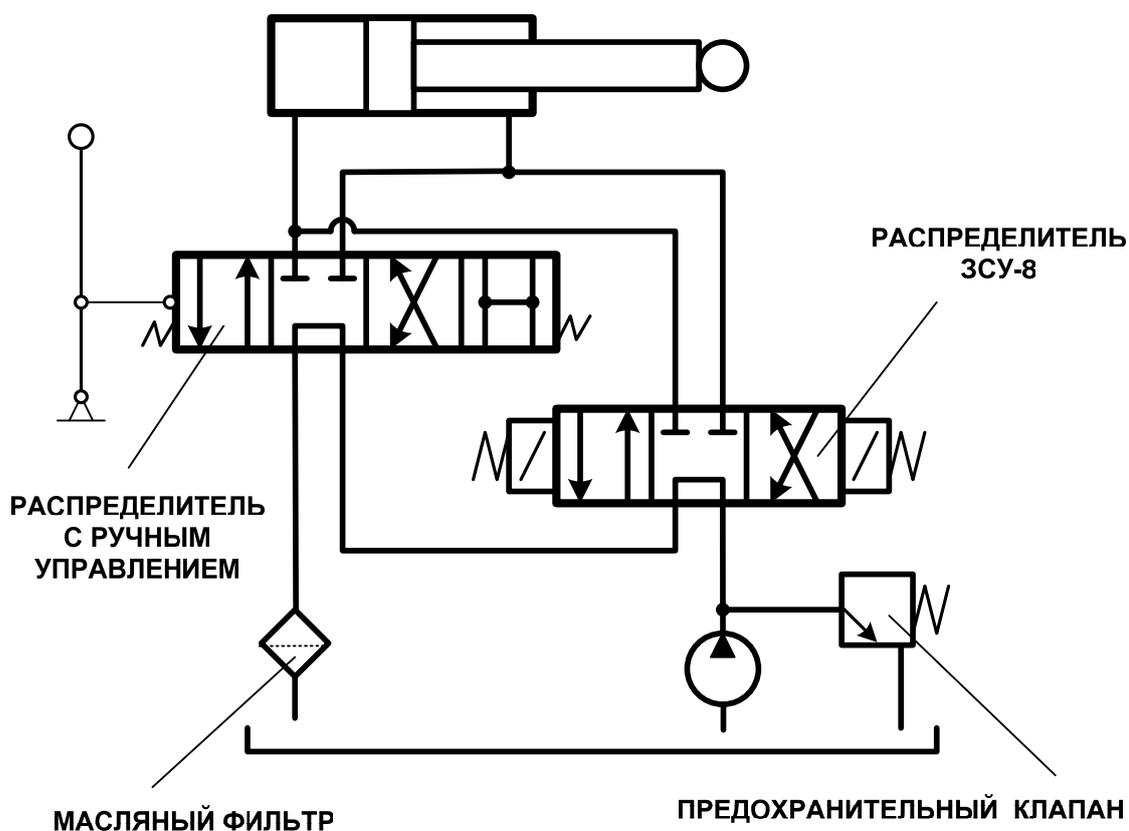


Рис.4.19. Принципиальная гидравлическая схема комбинированного управления гидроцилиндром

4.2.3. Гидравлические распределители с электрогидравлическим управлением

При автоматизации тяжелых автогрейдеров, бульдозеров и других машин, имеющих диаметр гидроцилиндров более 120 мм, применяют распределители **У4690.6144** с электрогидравлическим управлением, называемые также «**ЗСУ-5**». Эти распределители обеспечивают расход масла $Q_{\text{ном}} = 70 \text{ л/мин}$ при номинальном давлении в гидравлической системе машины $P_{\text{ном}} = 100 \text{ кгс/см}^2$.

В подобных гидрораспределителях присутствует двухступенчатое управление потоками рабочего тела (рис. 4.20). На первом этапе срабатывает распределитель с электромагнитным управлением «*пилот*», направляя масло под давлением на соответствующий торец золотника силового гидрораспределителя. На втором этапе происходит переключение силового распределителя и рабочее тело поступает в соответствующую полость гидравлического двигателя.

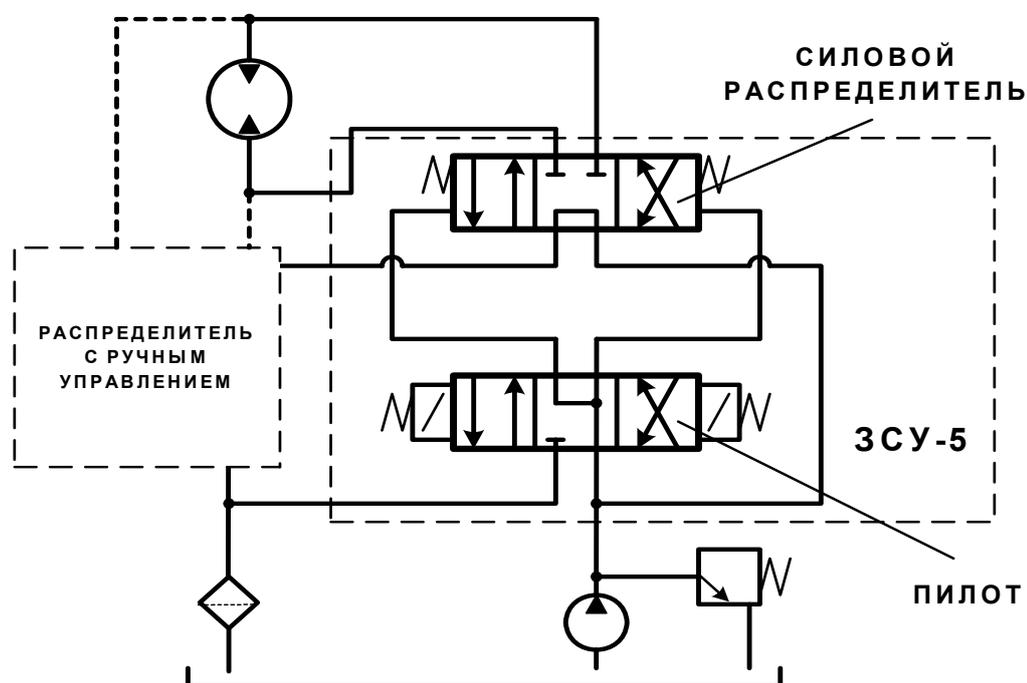


Рис. 4.20. Принципиальная гидравлическая схема распределителя с электрогидравлическим управлением

4.3. Электropневматические исполнительные механизмы

При автоматизации стационарных объектов, например, предприятий строительной индустрии, имеющие значительные производственные площади и практически не ограниченные электроэнергетические мощности, наряду с электромеханическими, широко применяют электropневматические исполнительные механизмы (ЭПИМ).

ЭПИМ по своей организации и принципу действия аналогичны электрогидравлическим исполнительным механизмам. Однако в отличие от последних в качестве рабочего тела используют сжатый воздух, циркулирующий по разомкнутой схеме.

Чаще всего в качестве двигателей используют пневматические цилиндры, управляемые **двухпозиционными** электropневматическими распределителями и перемещающие в пространстве всевозможные устройства **поточно-транспортных систем**: секторные и челюстные затворы расходных бункеров (рис. 4.21), плужковые сбрасыватели, поворотные воронки и др.

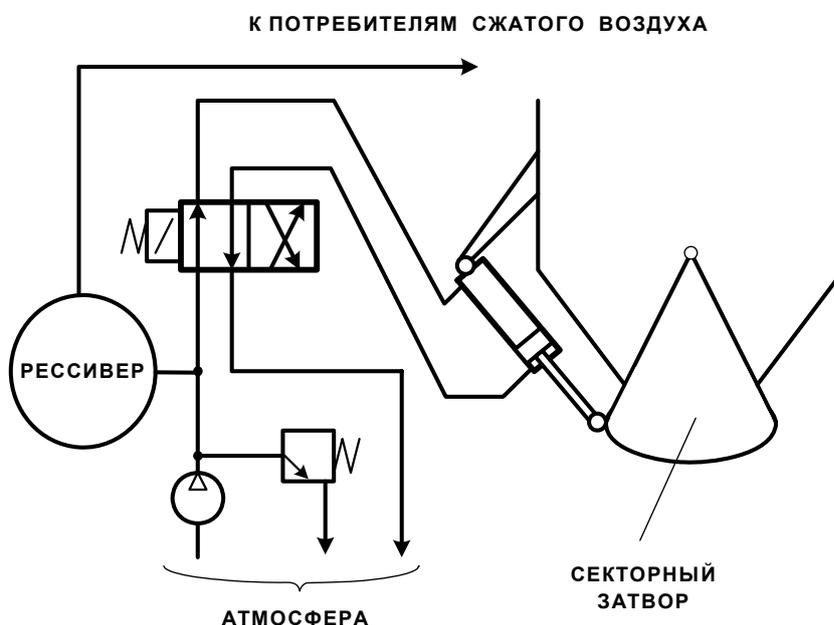


Рис. 4.21. Принципиальная пневматическая схема управления секторным затвором расходного бункера

5. ЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ

Данные устройства, предназначенные для построения логических автоматов, выполненных на основе **контактных** и **бесконтактных логических элементов**, а также специальных **программируемых устройств**.

К первой группе относятся электромагнитные реле, кнопки и переключатели. Вторая группа содержит диодно-транзисторные сборки и интегральные микросхемы минимальной и малой степени интеграции. В третью группу входят программируемые логические матрицы, контроллеры и микропроцессоры.

Анализ устройств третьей группы предполагает необходимость в специальной теоретической подготовке [14,15] и в данном пособии не рассматривается.

5.1. Релейно-контактные логические устройства

Основой данной группы являются электромеханические коммутационные устройства – **электромагнитные реле**.

Для создания логических автоматов применяют собственно **коммутационные** реле, имеющие несколько **переключающих** контактов, **поляризованные** реле, выполняющие функцию аналоговых компараторов, **шаговые искатели**, играющие роль **десятичных счетчиков**, и **дистанционные переключатели**, предназначенные для одновременной коммутации цепей в нескольких линиях управления, не связанных между собой электрически.

Все перечисленные устройства состоят из одного или двух электромагнитов, как правило, постоянного тока, передаточного устройства и контактных групп, содержащих неподвижные и перемещаемые контакты.

В зависимости от области применения электромагнитные реле имеют открытое, закрытое и герметичное исполнение. Количество контактов также варьируется от одного замыкающего или размыкающего до десятков переключающих контактов. Кроме этого электромагнитные реле различают по напряжению питания (от 1,5 до 220 В) и по значению коммутируемого тока (от 20 мА до 5 А).

5.1.1. Конструкция и принцип действия электромагнитных коммутационных реле

Традиционно электромагнитное коммутирующее реле содержит электромагнит постоянного или переменного тока и контактную группу, изменяющую свое состояние под воздействием якоря электромагнита (рис. 5.1.)

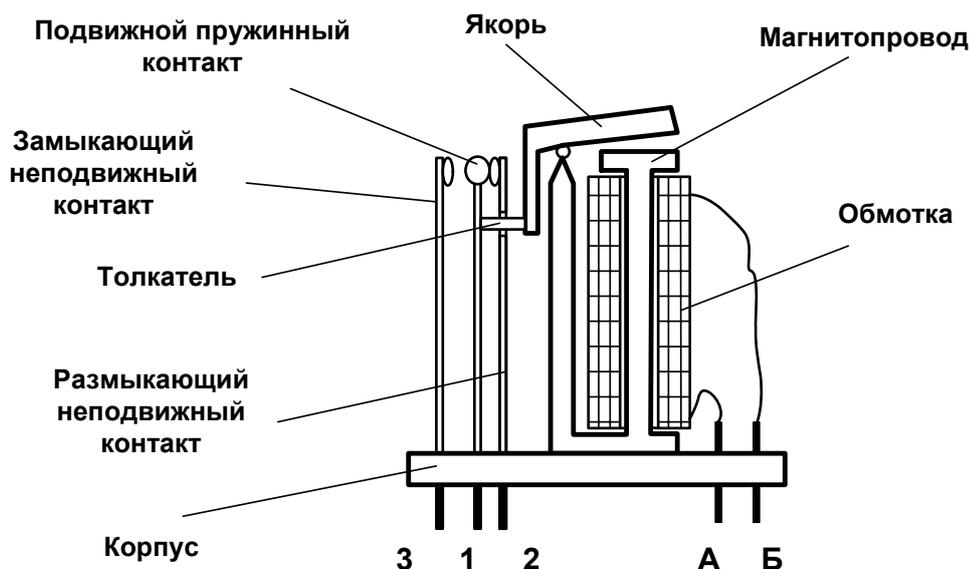


Рис. 5.1. Конструкция электромагнитного реле

Коммутационные реле содержат замыкающие, размыкающие и переключающие контактные группы. Для создания логических автоматов применяют электромагнитные реле, имеющие, чаще всего, только переключающие контакты и реже специальные комбинации упомянутых контактных групп.

При подаче на обмотку (контакты **А** и **Б**) напряжения, достаточного для преодоления механического сопротивления пружинного контакта, якорь электромагнита притягивается к вершине магнитопровода и своим толкателем, выполненным из изоляционного материала, перемещает подвижной контакт 1, разрывая его электрическое соединение с контактом 2, и замыкая электрическую цепь с контактом 3.

Значение напряжения, при котором происходит переключение контактов, называют **напряжением срабатывания** реле. Обратное переключение контактов происходит не только при полном отключении обмотки от источника питания, но и при снижении напряжения до некоторого значения, которое имеет название **напряжение отпущения**.

Технические характеристики некоторых реле [16], применяемых при автоматизации технологических процессов, представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Технические характеристики наиболее распространенных реле

Характеристики реле	Марка реле			
	РЭС10	РЭС22	РЭС32	МКУ48
Габаритные размеры, мм	16,7x11,15 x26,5	30,0x20,0 x39,2	30,5x20,5 x43,5	98,0x29,0 x87,0
Напряжение, В номинальное срабатывания отпущения	9,0	24,0	12,0	220,0
	6,0	12,35	6,3	187,0
	0,84	2,6	1,2	91,0
Сопrotивление обмотки, Ом	120	650	175	1900
Номинальный коммутируемый ток, А	0,2	0,3	1,0	5,0
Количество срабатываний при номинальном токе	$2 \cdot 10^4$	10^5	10^5	$25 \cdot 10^5$
Количество контактных групп	1п	4п	4п	2з;2п

5.1.2. Поляризованные реле

Представленные выше коммутационные реле постоянного тока имеют одну степень свободы якоря и срабатывают независимо от полярности питающего напряжения. Якорь поляризованного реле (рис. 5.2) имеет две степени свободы. В отсутствие питающего напряжения якорь под воздействием возвратных пружин находится в нейтральном положении.

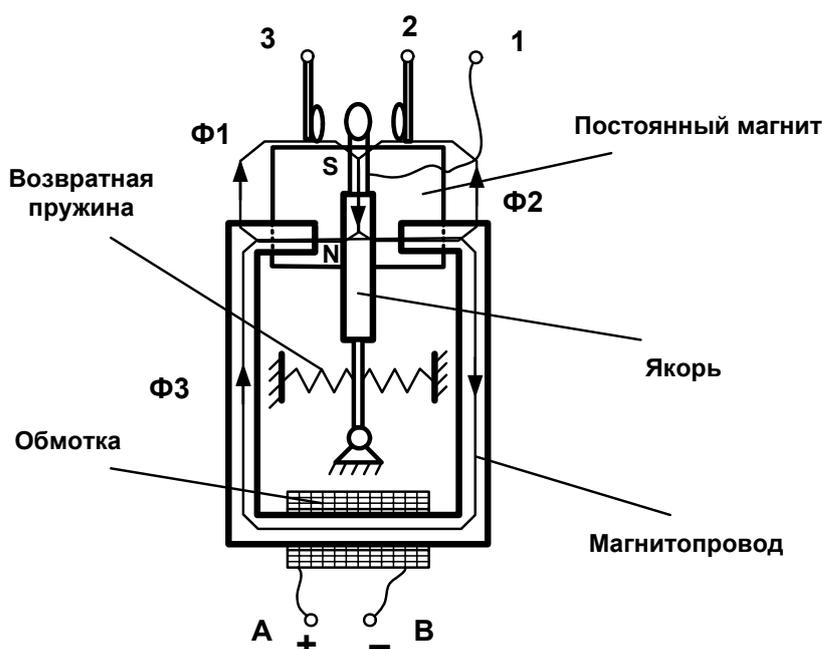


Рис. 5.2. Конструкция поляризованного реле

При подаче на обмотку реле напряжения, достаточного для его срабатывания с полярностью, указанной на рисунке, в магнитопроводе создается магнитный поток Φ_3 , который компенсирует поток Φ_1 и суммируется с потоком Φ_2 постоянного магнита. В результате якорь поляризованного реле перемещается вправо, увлекая за собой подвижной контакт 1, который замыкает электрическую цепь с неподвижным контактом 2. При изменении полярности питающего напряжения магнитный поток Φ_3 меняет свое направление, и подвижной контакт 1 замыкается с неподвижным контактом 3. При снижении потенциала на обмотке ниже напряжения отпускания подвижной контакт вновь принимает нейтральное положение.

Указанные свойства поляризованного реле позволяют использовать его в качестве **аналогового компаратора** при сравнении уровней исследуемого и эталонного потенциальных сигналов. Для достижения этой цели на клемму **A** обмотки реле подают потенциал, снимаемый, например, с **датчика**, а на клемму **B** - сигнал **задатчика** (рис. 5.3).

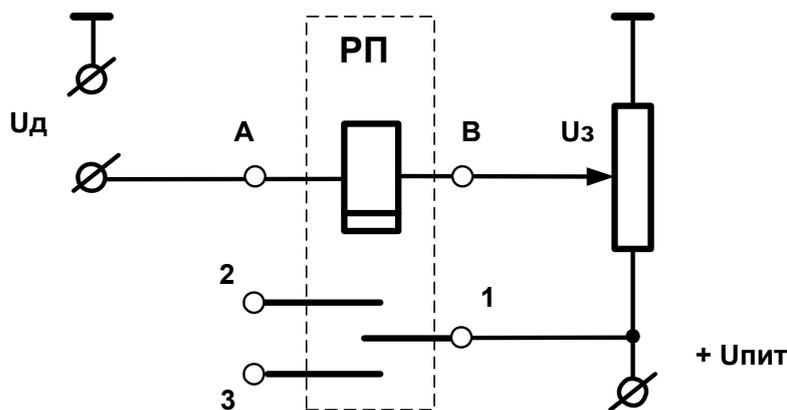


Рис. 5.3. Аналоговый компаратор на основе поляризованного реле

В том случае, когда $U_d > U_z$, подвижной контакт **1** замыкается с неподвижным контактом **2**. Если $U_d < U_z$, то - с контактом **3**. Точность измерения определяется напряжением срабатывания поляризованного реле.

В отсутствие возвратных пружин поляризованное реле становится **двухпозиционным**, т.е. его подвижной контакт может находиться либо в крайнем левом, либо в крайнем правом положении. Перемещение контакта происходит при подаче на обмотку питающего напряжения. Направление перемещения соответствует полярности напряжения, после отключения которого контакт остается в том же состоянии.

При наличии **одной возвратной пружины** (рис. 5.4), при подаче питающего напряжения с указанной на рисунке полярностью подвижной контакт перемещается «вправо», а после отключения питающего напряжения возвращается в левое положение и сохраняет это состояние при подаче на обмотку реле напряжения обратной полярности. Такие устройства называют **поляризованными реле с преобладанием**.

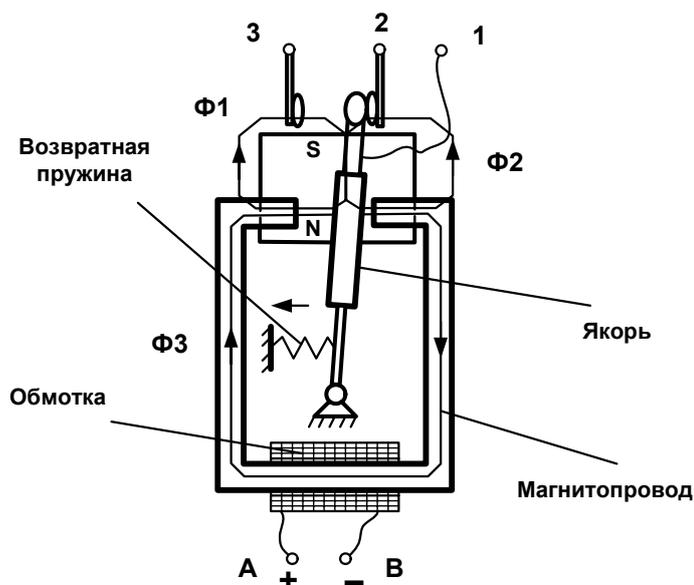


Рис. 5.4. Двухпозиционное поляризованное реле

Основные технические характеристики поляризованных реле представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Технические характеристики некоторых поляризованных реле

Характеристики реле	Марка реле			
	РПС5	РП4	РП5	РП7
Габаритные размеры, мм	44,0x44,0 x96,0	41,2x28,0 x96,0	41,2x28,0 x96,0	41,2x28,0 x96,0
Ток срабатывания, мА	0,04	0,1	0,06	0,15
Сопротивление обмотки, Ом	4000	8500	6000	7000
Номинальный коммутируемый ток, А	0,2	0,2	0,2	0,2
Количество срабатываний при номинальном токе	10^6	10^7	10^7	10^7
Положение якоря	Трехпозиционное	Двухпозиционное с нейтралью	Трехпозиционное	Двухпозиционное с преобладанием

5.1.3. Электромагнитные шаговые искатели

Электромагнитные шаговые искатели представляют собой многопозиционные щеточные переключатели с электромагнитным приводом и предназначены для коммутации слаботочных цепей постоянного тока.

Шаговые искатели в основном применяют при построении автоматических телефонных станций в тех случаях, когда использование электронных бесконтактных коммутаторов по каким-либо причинам не возможно. Также шаговые искатели применяют в качестве цифровых, в частности, десятичных счетчиков.

Классический шаговый искатель типа ШИ-11 (рис. 5.5) содержит поля контактных ламелей (статор), трехлучевые контактные щетки, закрепленные на зубчатом храповом колесе (ротор), движущий механизм, перемещающий храповик и электромагнит.

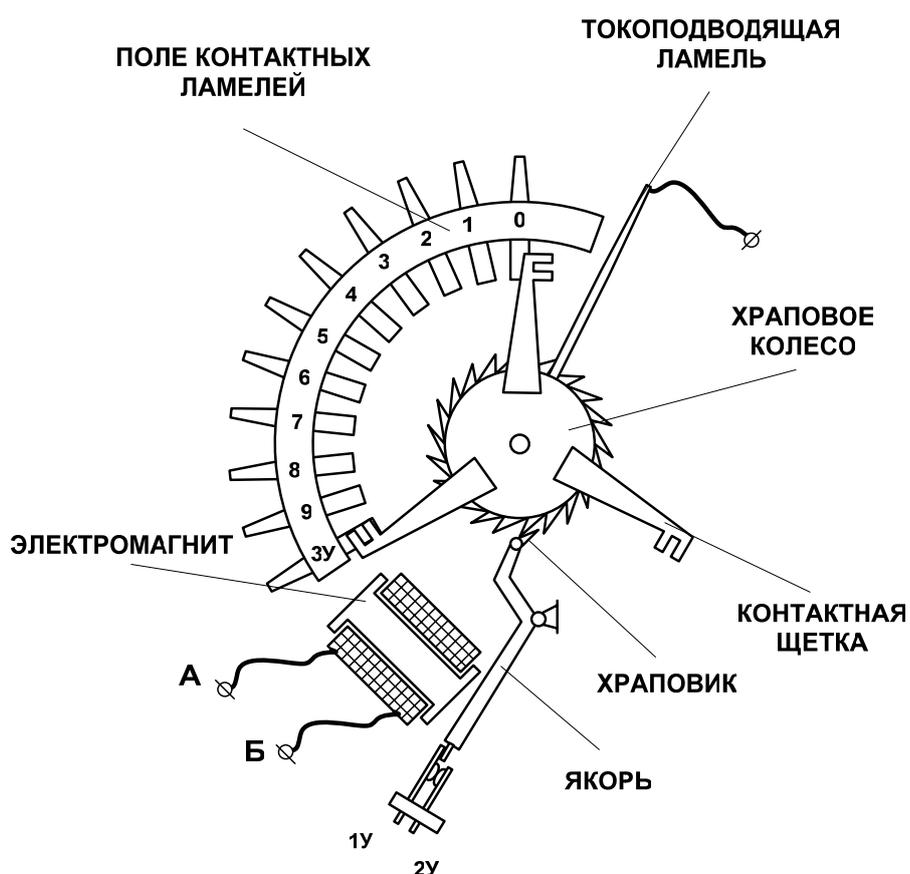


Рис. 5.5. Упрощенная конструкция шагового искателя ШИ-11

Управление шаговым искателем осуществляют либо непосредственной подачей на клеммы **А-Б** электромагнита импульсов постоянного тока, либо постоянного потенциального сигнала через самопрерывающиеся контакты **1У** и **2У**. Во втором случае схема управления строится таким образом, что при достижении контактной щетки ламели **3У** подача потенциального сигнала прекращается.

Шаговые искатели различают по количеству контактных ламелей, количеству контактных полей, рабочему напряжению, количеству и типу самопрерывающихся контактов.

Основные технические характеристики шаговых искателей представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Технические характеристики некоторых шаговых искателей

Характеристики искателей	Марка искателя			
	ШИ-11	ШИ-17	ШИ-25	ШИ-50
Количество ламелей/полей	11/4	17/4	25/4	25/8
Рабочее напряжение электромагнита, В	24	60	48	24
Сопротивление обмотки, Ом	25	60	60	40
Длительность, мс срабатывания отпускания	50	50	50	50
	25	25	25	25
Номинальный коммутируемый ток, А	0,2	0,2	0,2	0,2
Количество полных оборотов ротора	150000	225000	300000	200000
Количество и тип самопрерывающихся контактов	1 разм.	2 зам.	1 зам. 1 пер.	1 зам. 1 пер.

5.2. Простейшие интегральные микросхемы

В современной электроавтоматике бесконтактные диодно-транзисторные логические элементы практически не применяются. Основой для построения логических автоматов малой и средней сложности являются интегральные микросхемы различных серий, изготовленных по различным технологиям. Наибольшее распространение в области практического применения в настоящее время нашли интегральные микросхемы серий **K555** (ТТЛ - логика) и **K561** (КМОП - технология) [5]. Кроме технологических особенностей эти серии различаются по номенклатуре элементной базы.

В состав **серии K555** входят следующие основные микросхемы (рис.5.6).

ЛИ2 «И» ЛИ3 «И» ЛИ6 «И» ЛЛ1 «ИЛИ» ЛН1 «НЕ»

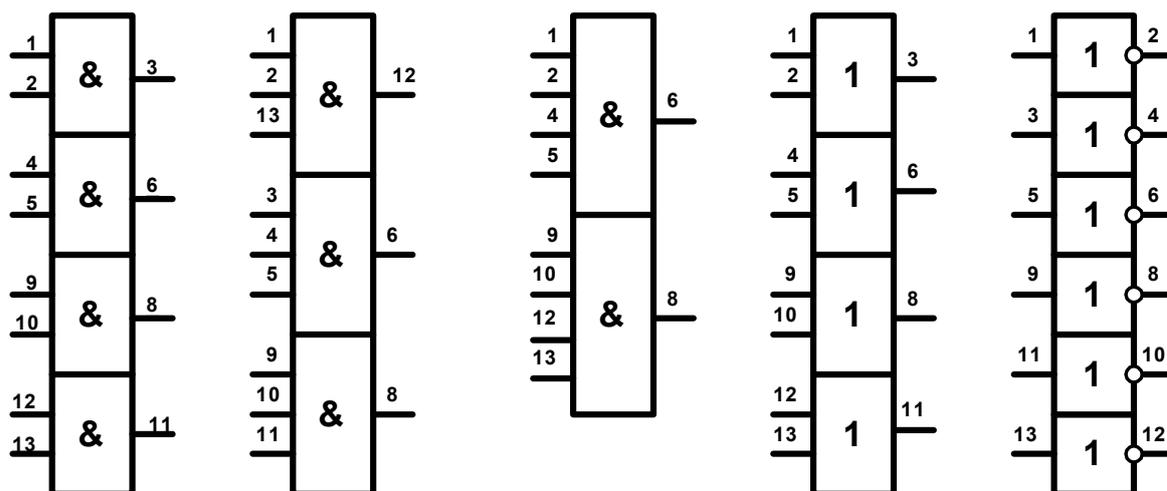


Рис.5.6. Состав и цоколевка некоторых микросхем серии K555

Микросхемы этой серии имеют повышенную выходную мощность (милливатты) и высокую частоту переключения (10...20 МГц). Уровни входных сигналов составляют соответственно: для «1» больше 2,4 В и для «0» меньше 0,4 В. Напряжение питания «+ $U_{пит}$ » = **5 В**. При монтаже выводы №14 указанных микросхем подключаются к шине питания «+ $U_{пит}$ », а выводы №7 - к шине питания «Общ» (**⊥**).

В состав **серии К561** входят следующие основные микросхемы (рис.5.7).

ЛА7«И-НЕ» **ЛА9«И-НЕ»** **ЛА8«И-НЕ»** **ЛИ1«И-НЕ»** **ЛН2«НЕ»**
ЛЕ5 «ИЛИ-НЕ» **ЛЕ10«ИЛИ-НЕ»** **ЛЕ6«ИЛИ-НЕ»** **плюс «НЕ»**

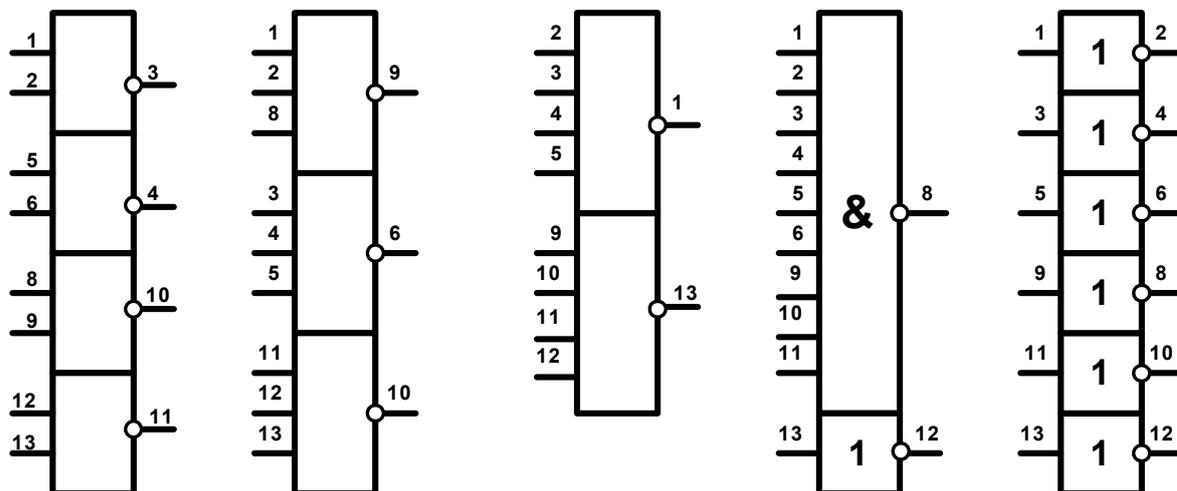


Рис.5.7. Состав и цоколевка некоторых микросхем серии К561

Микросхемы этой серии имеют меньшую выходную мощность (микроватты), а частоту переключения около 3 МГц. Уровни входных сигналов составляют соответственно: для «1» больше $0,5 U_{\text{пит}}$ и для «0» также менее 0,4 В. Напряжение питания «+ $U_{\text{пит}}$ » = **3...15 В**. При монтаже выводы №14 микросхем этой серии также подключаются к шине питания «+ $U_{\text{пит}}$ », а выводы №7 - к шине питания «Общ» (\perp).

Значительный диапазон питающего напряжения позволяет использовать микросхемы серии К561 совместно с микросхемами других серий, например К555 ($U_{\text{пит}} = + 5 \text{ В}$) или К176 ($U_{\text{пит}} = + 9 \text{ В}$), без использования дополнительных согласующих устройств [5].

Принцип действия основных логических элементов, входящих в состав микросхем, поясняется на примерах транзисторных усилителей, работающих в ключевом режиме.

Логический элемент **«НЕ» - инвертор** можно представить в виде однокаскадного усилителя (рис.5.8), на вход которого подаются сигналы либо низкого ($\underline{1}$), либо высокого ($+U_{пит}$) уровня.

В первом случае, пока микропереключатель еще не сработал ($X=0$), n-p-n - транзистор VT закрыт и, значит, на выходе усилителя устанавливается сигнал с уровнем $U_{пит}$, т.е. $Y = 1$. При срабатывании переключателя ($X = 1$) прямая связь базы транзистора с «землей» обрывается и на нее через резистор R_1 поступает положительный потенциал.

При этом транзистор открывается и на выходе усилителя устанавливается сигнал практически нулевого уровня, т.е. $Y = 0$.

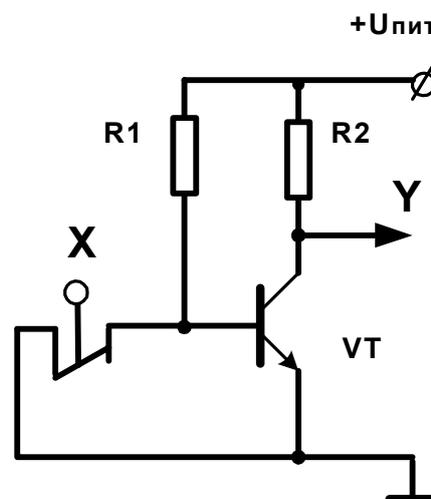


Рис.5.8. Инвертор

Логическая функция **«И-НЕ»**, имеющая название **«штрих Шеффера»**, объединяет две элементарные функции «И» и «НЕ». Обычно в литературе физический смысл конъюнкции поясняют на примере работы диодно-резисторной сборки (рис.5.9).

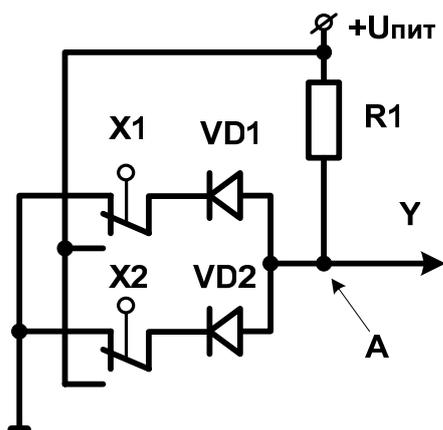


Рис.5.9. Элемент «И»

При анализе этой схемы предполагается, что переключатели меняют свое состояние мгновенно и не имеют промежуточных состояний. Очевидно, что если хотя бы один из переключателей находится в состоянии, указанном на схеме, то потенциал точки **A** будет $U_A=0$. Следовательно, и значение функции будет $Y=0$. И только в том случае, когда оба переключателя примут второе состояние ($X_1=1$ и $X_2=1$), потенциал точки **A** достигнет значения $U_A=U_{пит}$, т.е. $Y = 1$.

В действительности любой механический переключатель имеет некоторое запаздывание на срабатывание, т.е. в какой-то момент времени значение X_i не будет соответствовать ни «0», ни «1», что недопустимо для осуществления логических операций. Поэтому для исключения указанной некорректности следует осуществлять формирование входных сигналов с помощью размыкающих контактов, неподвижные части которых во избежание режима короткого замыкания подключаются к шине питания $+U_{пит}$ через балластные резисторы. Организованный таким образом логический элемент «И» подключается к инвертору, что позволяет создать искомый элемент «И-НЕ» (рис.5.10).

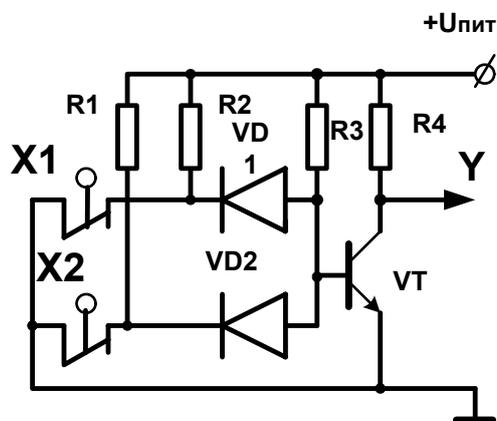


Рис.5.10. Эквивалентная схема логического элемента «И-НЕ»

Логическая функция «ИЛИ-НЕ», называемая также «*стрелкой Пирса*», как и в предыдущем примере, объединяет две элементарные функции «ИЛИ» и «НЕ».

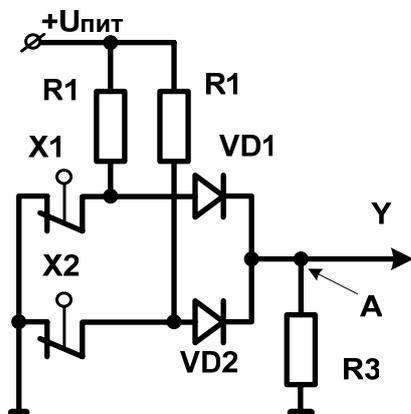


Рис.5.9. Элемент «ИЛИ»

Логическое сложение легко осуществляется с помощью параллельного прямого соединения диодов (рис.5.11). Если хотя бы один из переключателей сработает ($X_i=1$), потенциал точки **A** достигнет значения $U_A=U_{пит}$, поскольку встречное включение диодов исключает «стекание» тока на шину питания (\perp), т.е. $Y=1$.

Подключение рассмотренной схемы к входу инвертора позволяет реализовать логическую функцию «ИЛИ-НЕ» (рис.5.12).

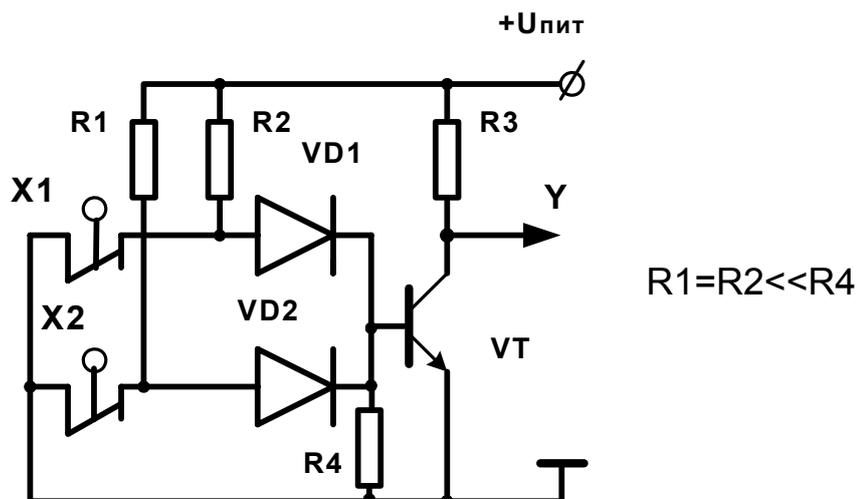


Рис.5.12. Эквивалентная схема логического элемента «ИЛИ-НЕ»

Следует отметить, что на практике диодные сборки для реализации логических функций «И» и «ИЛИ» применяются крайне редко ввиду их низкой нагрузочной способности. То есть выход такой сборки можно подключать одновременно не более чем к трем логическим элементам. Поэтому для реализации этих функций обычно применяют соответственно элементы «И-НЕ» или «ИЛИ-НЕ», последовательно соединенные с инверторами.

5.3. Некоторые популярные интегральные микросхемы

5.3.1. Триггерные схемы

К триггерам принято относить все устройства, имеющие два устойчивых состояния, и способные хранить **1 бит** данных.

В основе любого триггера находится кольцо из двух инверторов, изображаемое в виде так называемой защелки, не имеющей цепей управления (рис.5.13).

После подачи на защелку напряжения питания состояния инверторов равновероятны: либо $Q = 1$ и $\bar{Q} = 0$, либо наоборот.

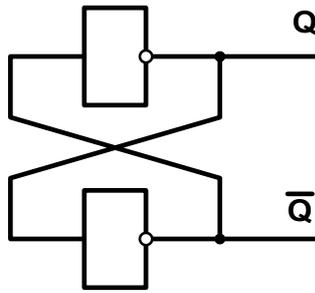


Рис.5.13. Структурная схема триггера-защелки

Однозначную запись информации в защелку можно осуществить, если снабдить ее цепями управления и запуска.

Наиболее распространенным при создании простейших систем автоматизации является **асинхронный RS-триггер**, имеющий два входа управления: **R** – reset (сброс) и **S** – set (установка).

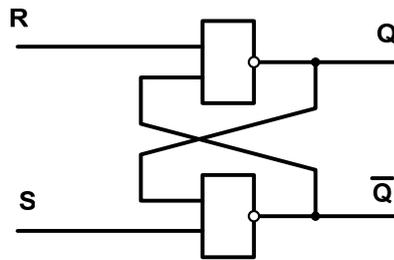


Рис.5.14. Структурная схема RS-триггера

Поскольку на каждый из входов можно подать напряжение низкого **Н** или высокого **В** уровней, то возможны четыре комбинации этих сигналов (рис.5.15).

ВХОДЫ		ВЫХОДЫ			
R	S	Логика И		Логика ИЛИ	
		Q	Q̄	Q	Q̄
0	0	Неопределенно		Без изменения	
0	1	1	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	1	Без изменения		Неопределенно	

Рис.5.15. Состояния RS-триггера

Состояние «Неопределенно» часто называют термином «Запрещенное состояние».

Поскольку основой RS-триггера является триггерная защелка, то при подаче на триггер напряжения питания состояния выходов равновероятны: либо $Q = 1$ и $\bar{Q} = 0$, либо наоборот. Поэтому для достижения однозначности исходного состояния триггера часто на его R – вход при включении питания по умолчанию подают импульсный сигнал высокого уровня (рис.5.16).

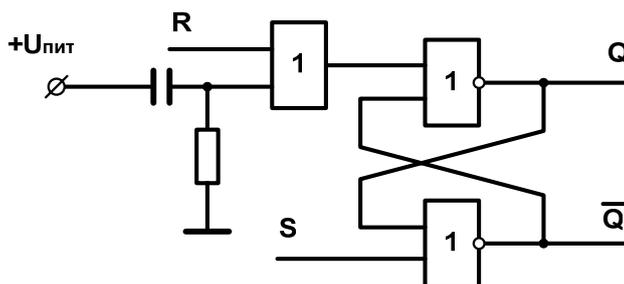


Рис.5.16. Предварительная установка RS-триггера

В составе серий ТТЛ имеется микросхема К555ТР2, содержащая четыре RS-триггера, выполненных на логике И-НЕ (управление низким уровнем). Два триггера имеют по два входа установки S (рис.5.17).

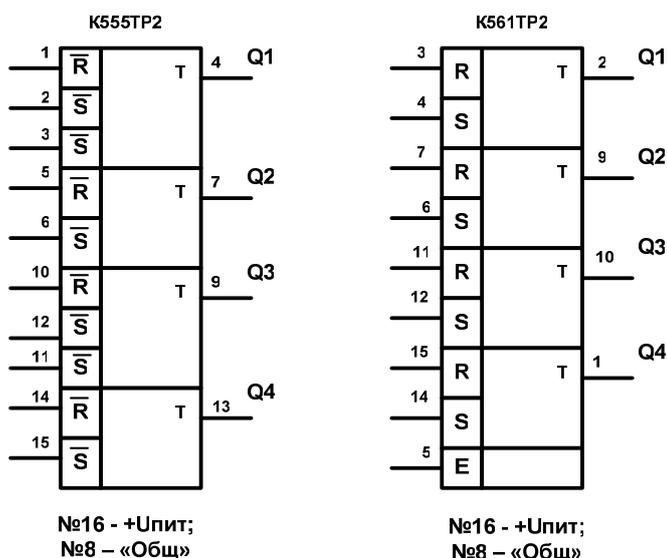


Рис.5.17. Цоколевка корпусов микросхем RS-триггеров

В КМОП серии есть микросхема К561ТР2, также содержащая четыре RS-триггера, но выполненная на логике ИЛИ-НЕ (управление высоким уровнем). Выходы каждого триггера имеют третье Z-состояние, при котором выходы триггеров размыкаются ($Q \neq 1$ и $Q \neq 0$). Это состояние достигается при подаче на дополнительный управляющий вход «Е» сигнала низкого уровня. При подаче на вход «Е» сигнала высокого уровня выходы триггеров принимают состояния, соответствующие представленной таблице (рис.5.15).

Для устранения неопределенности на выходах RS-защелки при одновременной подаче на входы сигналов высокого уровня организуют триггер с двумя дополнительными обратными связями, так называемый **JK-триггер** (рис.5.18). Входы J и K этого устройства соответствуют устанавливающему S- и сбрасывающему R-входам асинхронного RS-триггера.

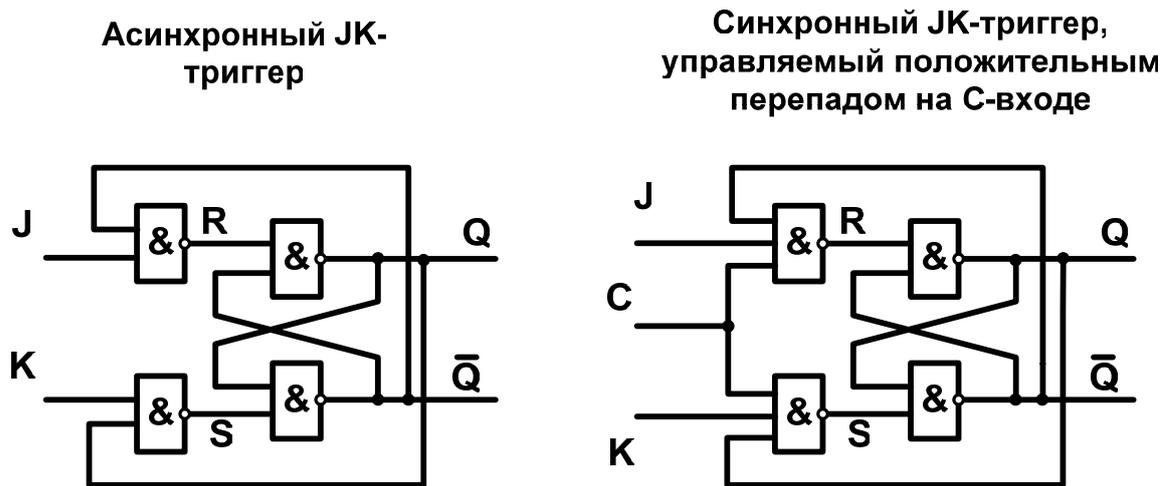


Рис.5.18. Структурная схема простейших JK-триггеров

При подаче на входы разноименных сигналов состояние выходов меняется так же, как и в RS-триггере. При подаче на оба входа сигналов высокого уровня состояния выходов меняются на противоположные. На практике применяют синхронные JK-триггеры, имеющие дополнительные R и S входы, обеспечивающие предварительную установку триггера (рис.5.19).

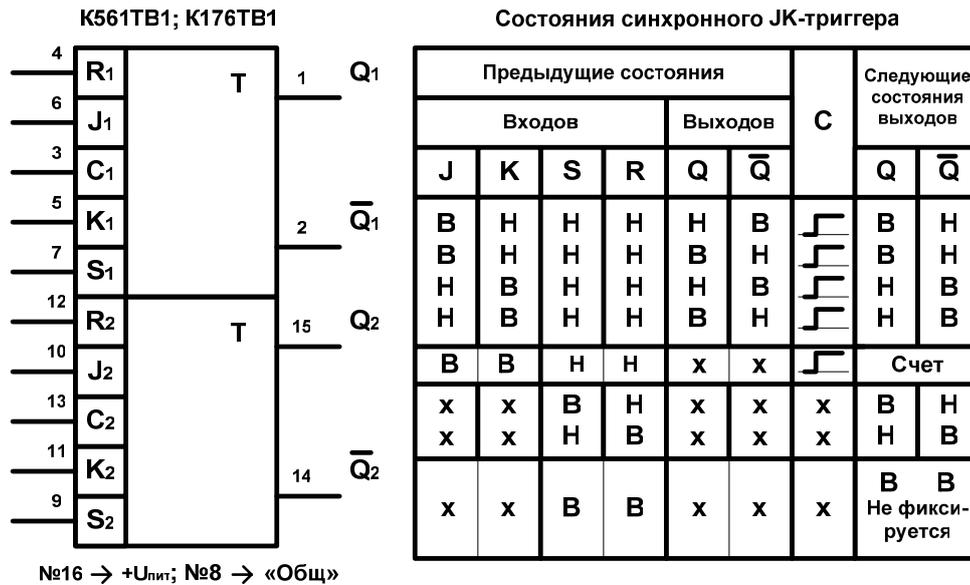


Рис.5.19. Цоколевка и таблица состояний промышленных JK-триггеров

Наиболее часто в цифровых интегральных микросхемах, а также в импульсных устройствах применяют триггеры с единственным входом данных D(data), так называемые D-триггеры.

В основе D-триггера находится синхронный RS-триггер, в котором S- и R-входы соединены через инвертор (рис.5.20).

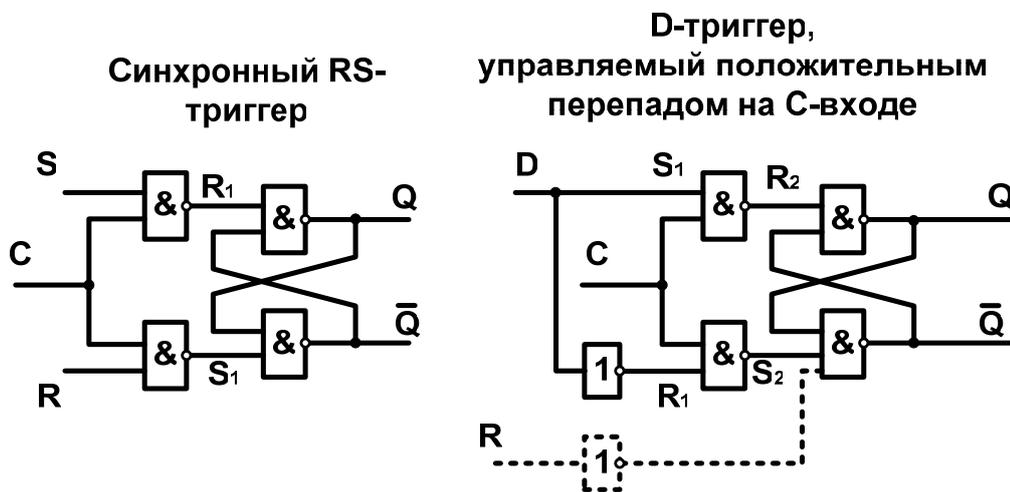


Рис.5.20. Организация D-триггера

Часто для обеспечения однозначности исходного состояния D-триггеры снабжают независимым входом сброса R или двумя независимыми установочными входами R и S (рис.5.21).

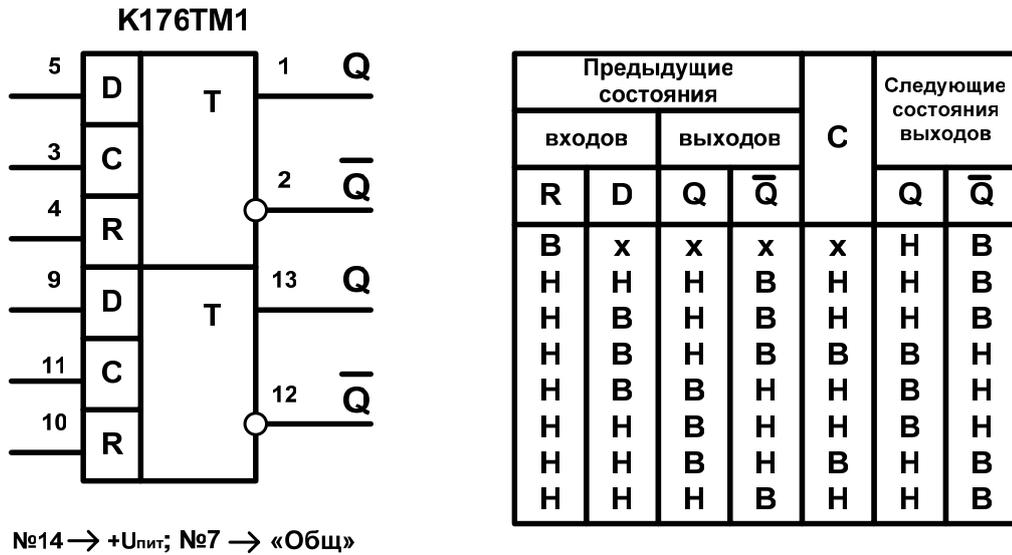


Рис.5.21. Два D-триггера в одном корпусе

5.3.2. Счетчики-делители

В основе счетчиков-делителей находится так называемый Т-триггер или триггер-делитель на два. Т-триггер может быть организован на базе синхронного RS-, JK- или D-триггера. Рассмотрим Т-триггер, выполненный на основе D-триггера (рис.5.22).

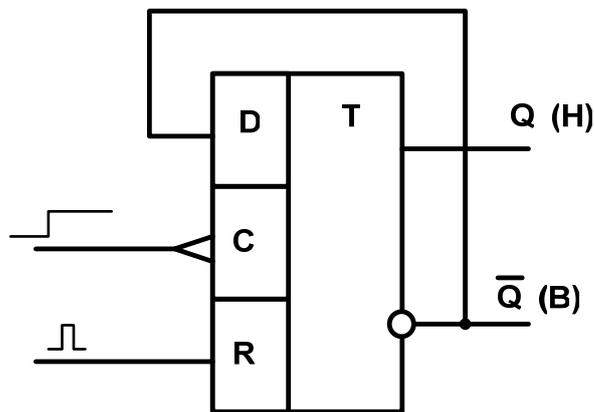


Рис.5.22. Т-триггер, управляемый уровнем

После предварительной установки, выполненной путем подачи на вход R кратковременного импульса, прямой выход триггера Q принимает низкий уровень, а инверсный выход - высокий. При этом

в соответствии с предложенной схемой на вход D также поступает сигнал высокого уровня. При поступлении на вход C сигнала высокого уровня происходит переключение триггера, т.е. на прямом выходе устанавливается сигнал высокого уровня, а на инверсном - низкого уровня. Это состояние триггера сохраняется и после снятия синхронизирующего сигнала с входа C. При повторной подаче синхронизирующего сигнала произойдет повторное переключение триггера, так как на вход D перед приходом синхросигнала уже поступает сигнал низкого уровня. Таким образом, на прямом выходе будут формироваться сигналы высокого уровня после прихода на вход C первого, третьего, пятого и т.д. синхронизирующих сигналов, т.е. будет наблюдаться «деление на два».

При практической реализации счетчиков используют T-триггеры управляемые задним фронтом синхронизирующего импульса, что обеспечивает подсчет целого числа завершившихся импульсов.

Для этого используют составной D-триггер, в котором синхронизирующий сигнал поступает на второй триггер через инвертор (рис.5.23).

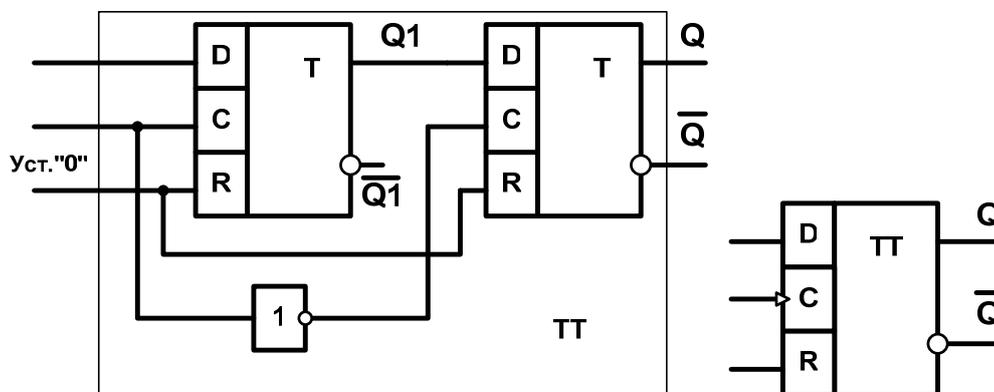


Рис.5.23. D-триггер, управляемый задним фронтом

В литературе составные триггеры часто имеют обозначение «ТТ», а управление фронтом обозначают треугольником, размещенным на входе C.

После подключения инверсного выхода составного D-триггера с его входом D получаем T-триггер, управляемый фронтом (рис.5.24).

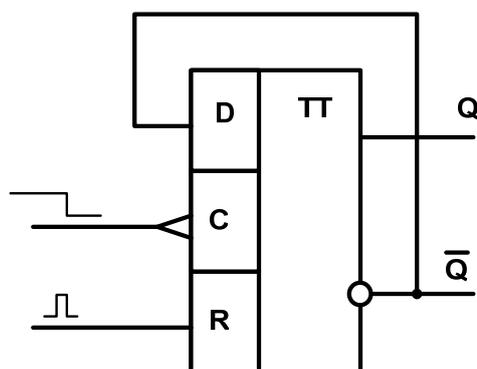


Рис.5.24. Т-триггер, управляемый задним фронтом

Простейший двоичный счетчик-делитель организуют путем последовательного соединения Т-триггеров (рис.5.25). При этом перенос информации с одного триггера на другой происходит «последовательно».

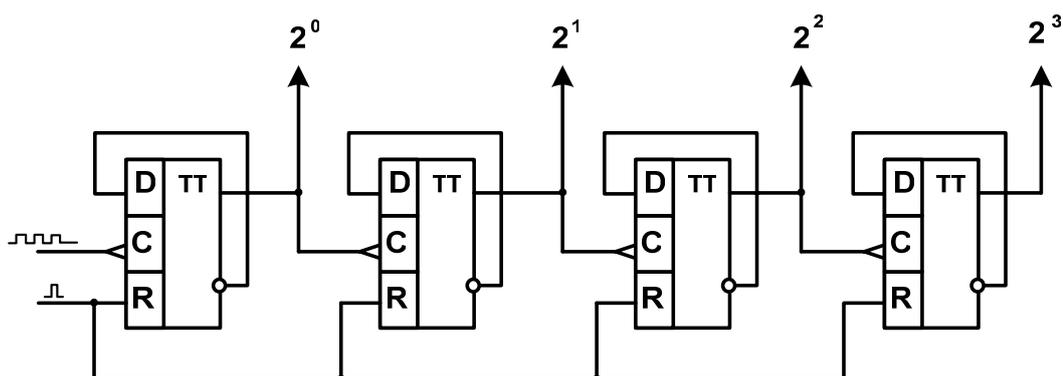


Рис.5.25. Упрощенная схема двоичного счетчика с последовательным переносом информации

Счетчики с последовательным переносом обладают относительно низким быстродействием, поскольку длительность переключения последующего разряда является суммой длительности переключений каждого предыдущего разряда. Поэтому при счете импульсов, поступающих с высокой частотой, показания счетчика будут ниже реального количества поступивших импульсов.

Для устранения указанного недостатка организуют счетчики-делители с параллельным переносом информации (рис.5.26).

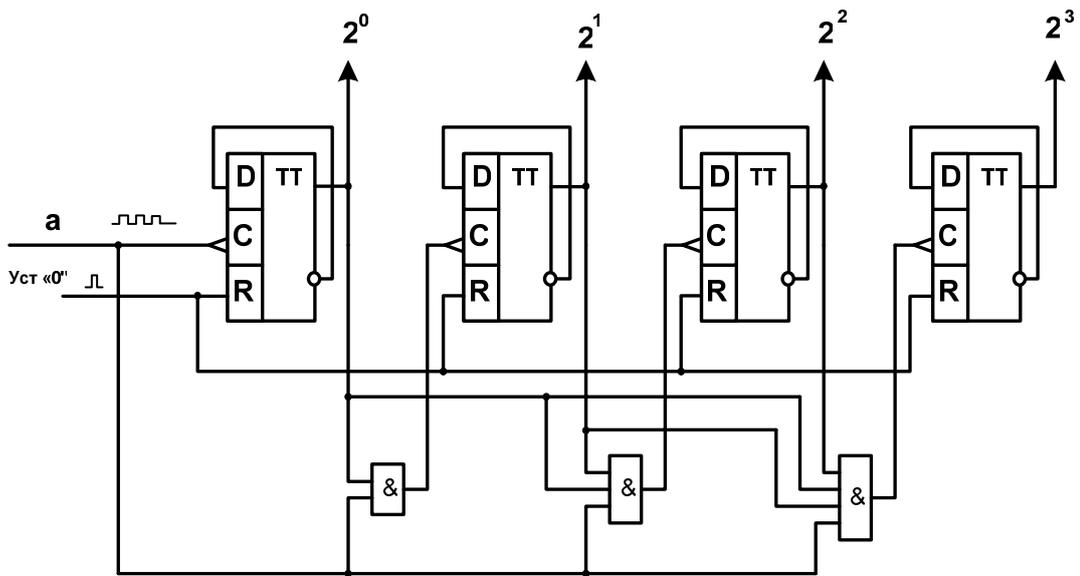


Рис.5.26. Упрощенная схема двоичного счетчика с параллельным переносом информации

В счетчиках с параллельным переносом информации переключение во всех разрядах происходит одновременно.

Для практического использования в отечественной микроэлектронике представлены различные по назначению счетчики-делители.

Микросхема К561ИЕ10 содержит два синхронных двоичных счетчика (рис.5.27). Каждый счетчик основан на четырех двухтактных D-триггерах. Входами счетчика являются тактовая линия «С» и линия разрешения тактов « $\overline{СЕ}$ ». Обе линии взаимозаменяемы, но отличаются противоположными активными уровнями, что позволяет организовать счет по положительному и отрицательному перепаду тактового импульса.

Если на вход разрешения « $\overline{СЕ}$ » подавать напряжение высокого уровня, счет будет производиться по положительному фронту тактового импульса. Если тактовый вход «С» подключить к шине питания «Общ», то тактовым станет разрешающий вход, и счет будет производиться по отрицательному перепаду.

Рассмотренные счетчики можно каскадировать. Для этого вывод №6 следует подключить к выводу №9, а выходы №2 и №10 подключить к шине «+Упит».

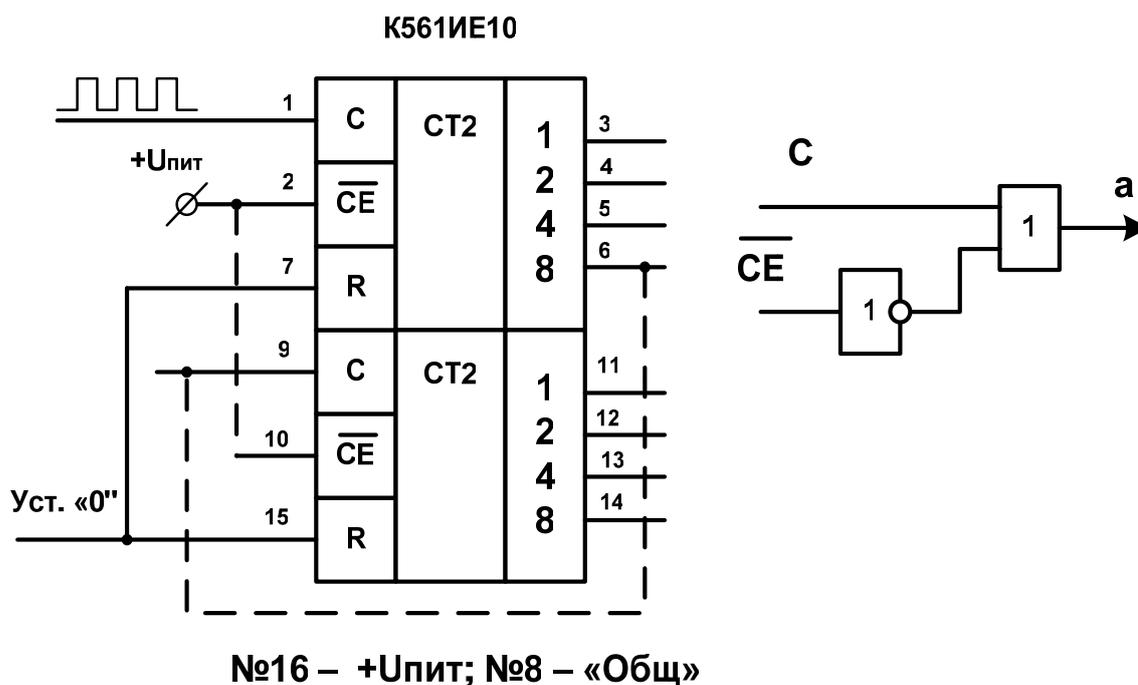


Рис.5.27. Два двоичных счетчика в одном корпусе

Сформированный таким образом 8-разрядный счетчик становится асинхронным, поскольку параллельный перенос информации производится только в пределах каждого 4-разрядного счетчика. Счет в счетчике будет производиться по положительному фронту.

При $U_{пит}=15V$ максимальная тактовая частота составляет 4МГц.

Для решения задач автоматизации управления широкое применение находит реверсивный счетчик, имеющий возможность занесения предварительного числа K561IE11 (рис.5.28).

Запускающий тактовый перепад «С» для данного счетчика - положительный. Счет производится, когда на входах «Р1», «S» и «R» поданы низкие уровни. При высоком уровне на входе «U» счет производится со знаком «плюс», при низком уровне - со знаком «минус». Если нет необходимости в установке предварительного числа, выходы 4, 12, 13 и 3 объединяют и подключают к шине питания «Общ».

Для реализации указанных задач используют, так называемые, **шифраторы** и **дешифраторы**.

Рассмотрим принцип работы шифратора, преобразующего десятичный код в диапазоне 0...4, формируемый пятипозиционным переключателем, в двоичный код (рис.5.29).

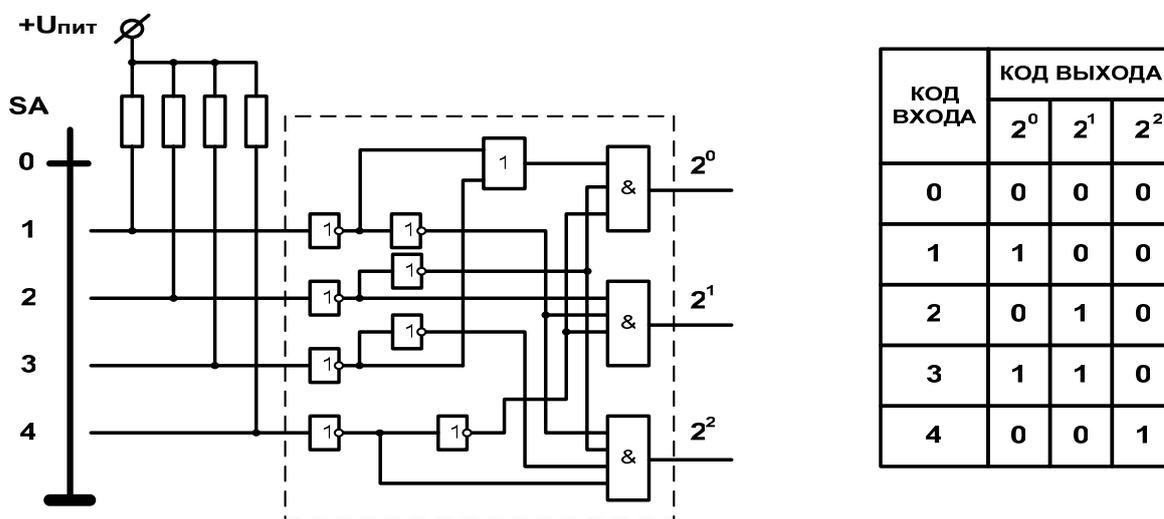


Рис.5.29. Принцип работы шифратора

Поскольку управляющими являются сигналы низкого уровня, то при входном десятичном коде «0» на выходе сформируется двоичный код «000». Вторые инверторы, установленные в линиях управления, блокируют те разряды двоичного кода, которые не соответствуют указанным десятичным кодам, одновременно подготавливая выходные элементы «И» к формированию сигналов высокого уровня в тех разрядах, которые соответствуют вводимым десятичным кодам.

Для практического использования в современной микроэлектронике предлагается шифратор К555ИВ3, имеющий девять инверсных входов и формирующий выходной четырехразрядный двоичный код (рис.5.30).

Поскольку данное устройство имеет на выходе низкие активные уровни, то для его согласования с микросхемами, использующими на входах высокие активные уровни, необходимо применять инверторы.

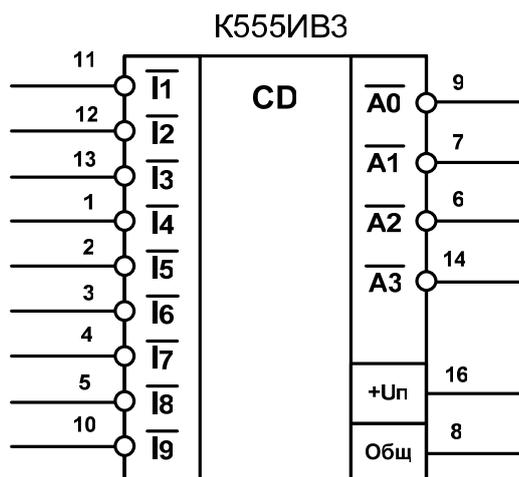


Рис.5.30. Обозначение и цоколевка шифратора K555IB3

Дешифраторы представляют собой микросхемы среднего уровня интеграции и позволяют преобразовывать четырехразрядные двоичные коды в десятичные, гексадецимальные, восьмеричные коды, а также непосредственно отображать данные на семи-сегментных индикаторах.

Принцип работы **дешифратора** поясняется схемой (рис.5.31), преобразующей двоичный код в десятичный, в диапазоне от 0 до 4

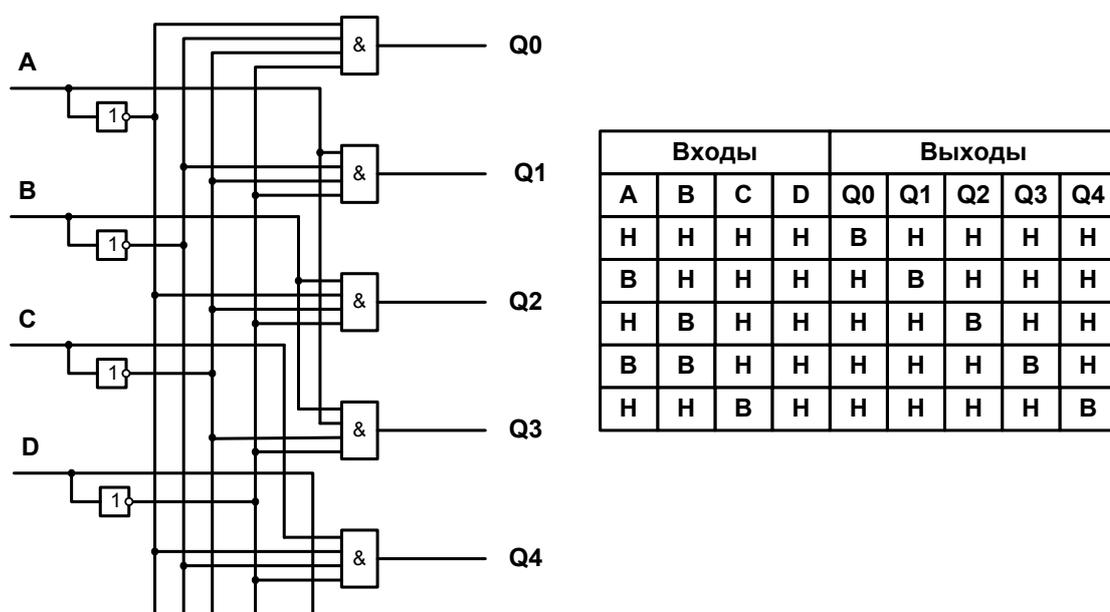


Рис.5.31. Принцип работы дешифратора

Для практического использования в современной микроэлектронике предлагается микросхема К561ИД1 – дешифратор, преобразующий входной четырехразрядный двоичный код в десятичный или октальный (рис.5.32). Для получения октального кода необходимы только три входа А,В,С. При этом вход D следует подключить к шине питания «Общ».

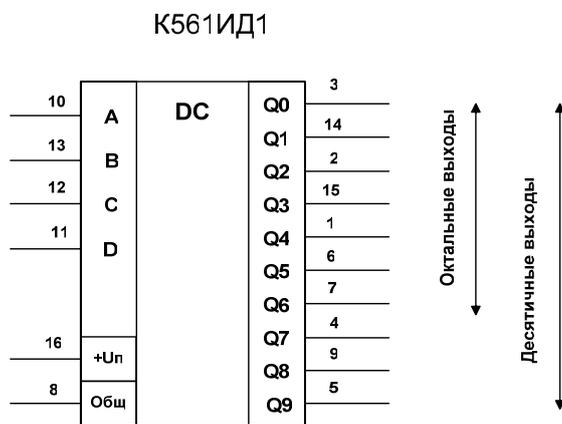


Рис.5.32. Универсальный дешифратор К561ИД1

Для получения гексадецимального, то есть шестнадцатеричного кода параллельно объединяют два дешифратора ИД1, используя только октальные выходы.

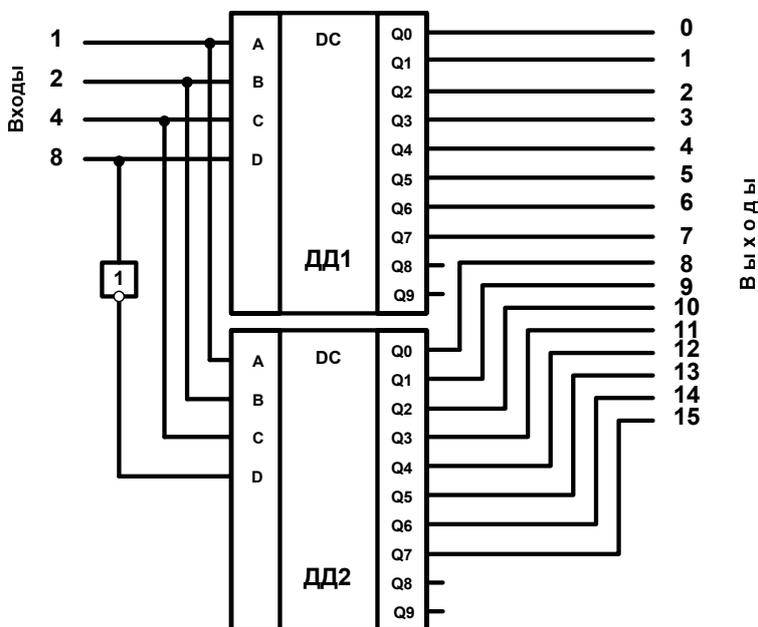


Рис.5.33. Шестнадцатеричный дешифратор на основе двух микросхем К561ИД1

5.3.4. Коммутаторы цифровых и аналоговых сигналов

Основой коммутаторов являются электронные контакты, выполненные на полевых транзисторах, открывающихся и закрывающихся при изменении управляющего потенциала и не потребляющих токов управления. Такие электронные контакты и цепи их нагрузки гальванически не связаны с источником управляющего потенциала.

Для практического использования предлагаются четырехканальные коммутаторы К561КТ3 и мультиплексор-демультиплексор К561КП2

Микросхема К561КТ3 (рис.5.34) содержит четыре электронных ключа двунаправленного действия, коммутирующих цифровые сигналы с амплитудой до $U_{пит}$, либо аналоговые сигналы с амплитудой $\pm 0,5 U_{пит}$. Частота коммутируемых сигналов не должна превышать 10 КГц.

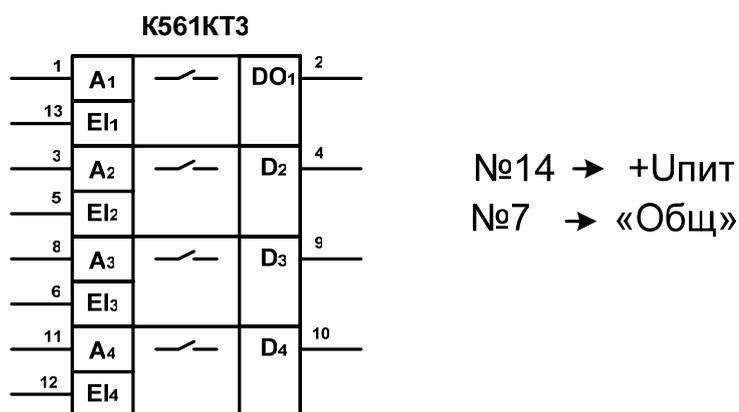


Рис.5.34. Четырехканальный коммутатор К561КТ3

При поступлении на управляющий вход EI_i сигнала высокого уровня происходит коммутация в канале $A_i - D_i$.

Мультиплексор-демультиплексор К561КП2 (рис.5.35) имеет восемь входов и один выход данных, а также вход разрешения EI. Если на входе разрешения присутствует сигнал высокого уровня, все каналы размыкаются. Номер включенного канала соответствует двоичному коду, поданному на входы управления А, В, С.

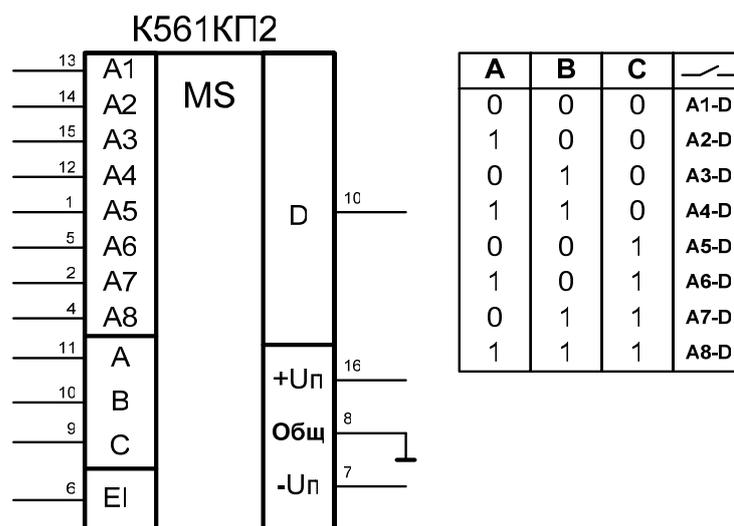


Рис.5.35. Мультиплексор-демультиплексор K561КП2

Двуполярное питание $\pm 3\text{В} \dots \pm 7,5\text{В}$ используют при коммутации знакопеременных аналоговых сигналов. При коммутации цифровых сигналов используют однополярное питание, объединяя вывод №7 с шиной питания «Общ».

Данная микросхема является двунаправленной. Исследуемый сигнал можно транслировать как от входов к выходу, так и, наоборот, от выхода к входу, номер которого соответствует двоичному коду управления.

5.3.5. Цифровой компаратор

Цифровые компараторы применяются для выявления нужного числа (слова) в цифровых последовательностях, для отметки времени в часовых приборах, для выполнения условных переходов в вычислительных устройствах, а также в адресных селекторах.

Цифровые компараторы (от английского *compare* — сравнивать) выполняют сравнение двух чисел А, В одинаковой разрядности, заданных в двоичном или двоично-десятичном коде. В зависимости от схемного исполнения компараторы могут определять равенство $A=B$ или неравенства $A < B$, $A > B$. Результат сравнения отображается в виде логического сигнала высокого уровня на одноименных выходах.

Рассмотрим принцип действия подобного устройства на примере одноразрядного цифрового компаратора, имея в виду следующее:

$$\left. \begin{array}{l} A = B, \text{ когда } A = 1 \text{ и } B = 1, \text{ или когда } A = 0 \text{ и } B = 0; \\ A > B, \text{ когда } A = 1 \text{ и } B = 0; \\ A < B, \text{ когда } A = 0 \text{ и } B = 1. \end{array} \right\} (5.1)$$

Схема, удовлетворяющая поставленным условиям (рис.5.36) содержит два инвертора, четыре элемента «И» и один элемент «ИЛИ-НЕ».

Поскольку на DD2.1 («И») поступают \bar{A} и B, на его выходе будет сформирован сигнал высокого уровня только в том случае, если $A = 0$ и $B = 1$, т.е. $A < B$.

Так как на DD2.2 («И») и DD2.3 («И») также поступают соответственно \bar{A} и B и A и \bar{B} , то в случае $A = B$ на выходах этих элементов будут одновременно присутствовать сигналы низкого уровня, при которых на выходе DD3.1 («ИЛИ-НЕ») сформируется сигнал высокого уровня.

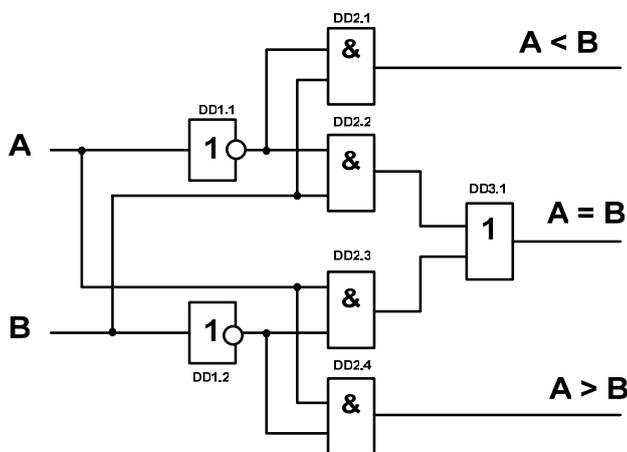


Рис.5.36. Одноразрядный цифровой компаратор

Используя предложенную методику, теоретически можно построить компаратор, рассчитанный на сравнение чисел, имеющих любое количество разрядов. Однако для практического применения электронная промышленность предлагает четырехразрядные компараторы К561ИП2, которые при необходимости можно многократно каскадировать.

Рассмотрим цифровой компаратор К561ИП2 в составе десятисекундного таймера (рис.5.37).

Заданное значение времени соответствует четырехразрядному двоичному коду, поступающему от шифратора на входы «В» компаратора. Текущее значение времени соответствует четырехразрядному двоичному коду, снимаемому с двоичного счетчика, подключенного к генератору секундных импульсов, и поступающему на входы «А» компаратора. Для более надежной фиксации равенства текущего значения времени заданному выход «А=» компаратора, как правило, подают на устанавливающий вход RS-триггера.

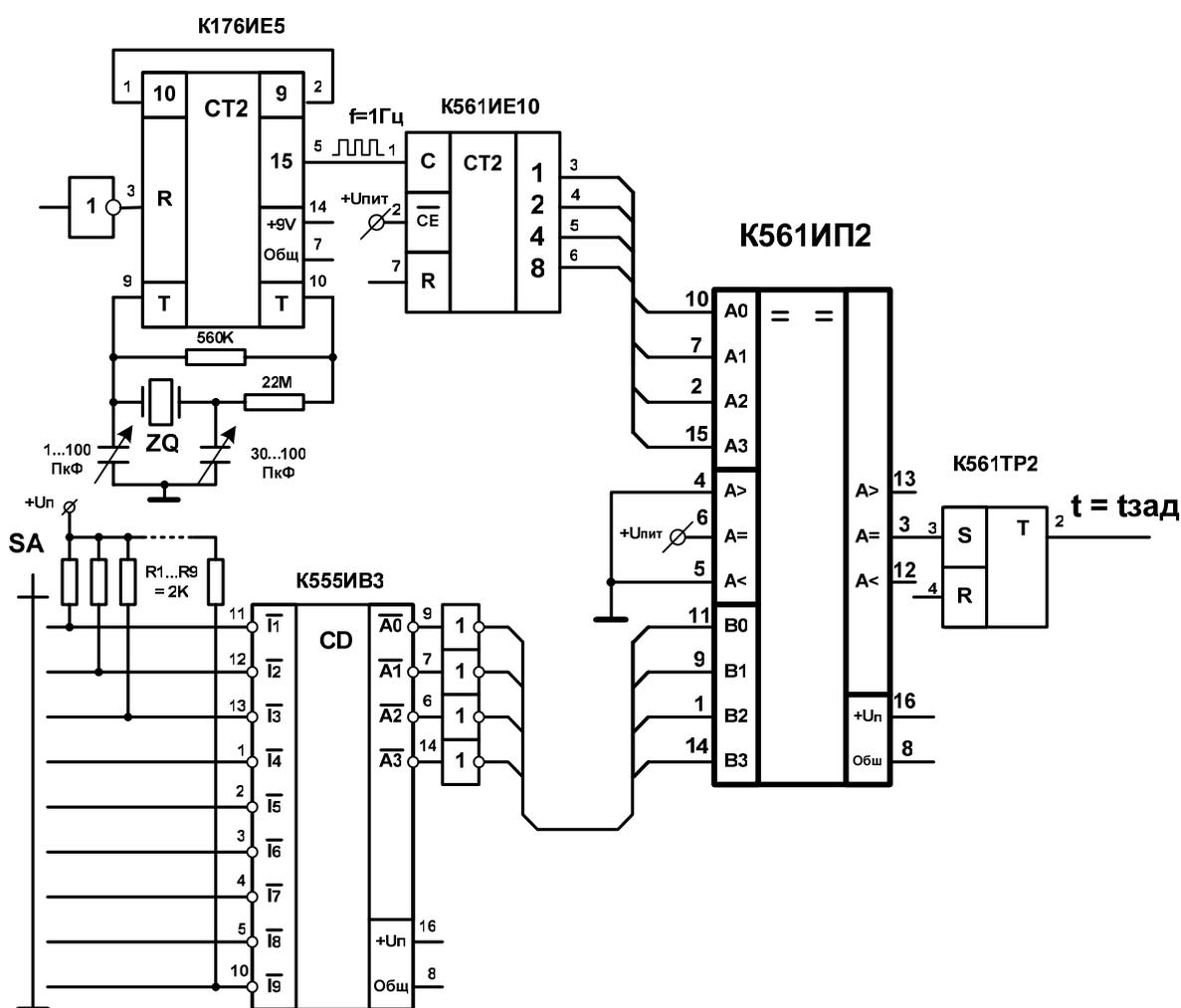


Рис.5.37. Цифровой компаратор К561ИП2 в составе десятисекундного таймера

Для сравнения двоичных чисел, имеющих пять разрядов и более, осуществляют каскадирование четырехразрядных компараторов путем подключения выходов предыдущего устройства с соответствующими входами последующей микросхемы. При этом четыре младших разряда исследуемого числа подают на входы A_i первого компаратора, следующие четыре разряда - на входы A_i второго компаратора и т. д.

В качестве примера может быть предложена схема регулирования температуры (рис.5.38), содержащая аналоговый датчик температуры, аналоговый задатчик температуры, два аналого-цифрового преобразователя и двухкаскадный цифровой компаратор.

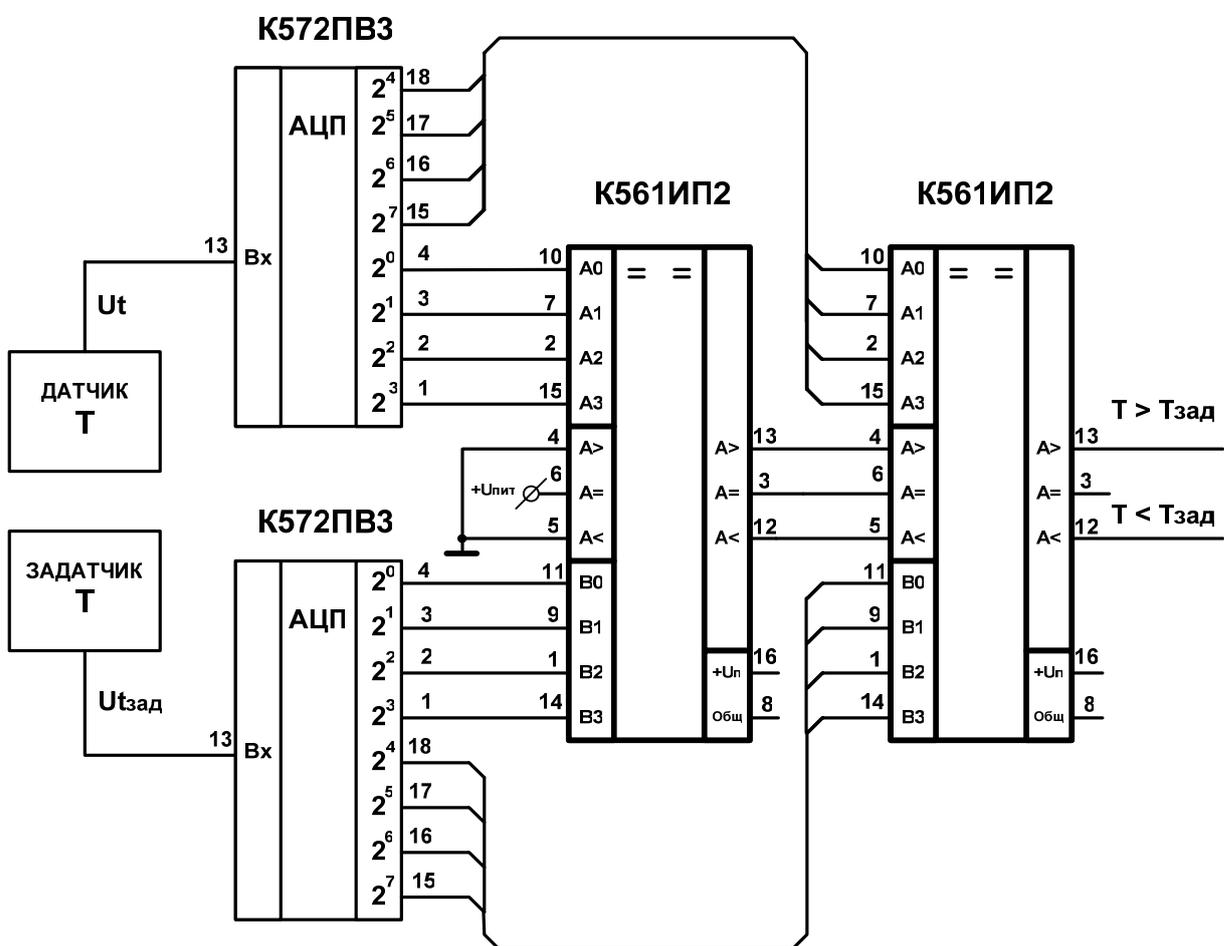


Рис.5.38. Каскадирование цифровых компараторов

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахворостов, С.А. Основы автоматизации: учеб. пособие/ С.А.Шахворостов. – М.: МАДИ, 2004. – 101 с.
2. Колышев, В.И. Основы автоматизации производственных процессов в дорожном строительстве/ В.И.Колышев [и др.]. - М.: Транспорт, 1987. – 224 с.
3. Малиновский, В.Н. Электрические измерения/ В.Н.Малиновский [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 416 с.
4. Илюхин, А.В. Логические автоматы. Булева алгебра как математическая система: учеб. пособие / А.В.Илюхин.— М.: МАДИ, 2001. – 64 с.
5. Шило, В.Л. Популярныe цифровые микросхемы: справочник. 2-е изд.,испр./ В.Л.Шило - Челябинск: Металлургия,1989.—352 с.
6. Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи/ Е.С.Левшина, П.В.Новицкий. - Ленинград: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
7. Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике/ К.Б.Клаассен. - М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
8. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: справочник / С.В. Якубовский [и др.]. – М.: Энергия, 1985. – 495 с.
9. Диоды и тиристоры: справочник. М.: Энергия, 1976. – 200 с.
10. Полупроводниковые приборы: справочник / А.Б. Гитцевич [и др.].— М.: Радио и связь, 1988. – 592 с.
11. Васильченко, В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: справочник/ В.А.Васильченко. – М.: Машиностроение, 1983. – 301 с.
12. Гидравлика, гидромашины и гидропневмопривод: учеб. пособие/ Т.В. Артемьева [и др.]. – М.: Академия, 2005. – 334 с.
13. Шишмарев, В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления: учебник/ В.Ю.Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.
14. Суворов, Д.Н. Структура и устройство микропроцессорных устройств управления: учеб. пособие/ Д.Н.Суворов. -М.: МАДИ, 1988. – 103 с.

15. Игловский, И.Г. Справочник по электромагнитным реле/
И.Г.Игловский, Г.В.Владимиров. - Л.: Энергия, 1975. – 480 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ	4
1.1. Основные понятия и определения.....	4
1.2. Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации.....	6
2. УСТРОЙСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ	11
2.1. Контактные датчики.....	11
2.2. Датчики с преобразованием активного сопротивления..	15
2.2.1.Потенциометрические датчики.....	15
2.2.2.Тензорезисторы.....	17
2.2.3.Термометры сопротивления.....	20
2.2.4 Магниторезисторы.....	21
2.3. Датчики с преобразователем индуктивного типа.....	23
2.3.1.Дифференциально-трансформаторные преобразова- тели.....	24
2.3.2.Магнитоупругие преобразователи.....	25
2.3.3.Бесконтактные концевые выключатели.....	27
2.4. Емкостные преобразователи.....	30
2.5. Датчики скорости.....	34
3. УСИЛИТЕЛИ	39
3.1. Усилители исследуемых сигналов.....	39
3.1.1.Транзисторный усилитель.....	39
3.1.2.Операционный усилитель.....	41
3.1.2.1.Операционный усилитель в режиме масштабного усиления.....	43
3.1.2.2.Операционный усилитель в режиме сумматора.....	44
3.1.2.3.Операционный усилитель в режиме компаратора.....	46
3.2. Усилители мощности.....	48
3.2.1.Транзисторный усилитель с гальванической развязкой.....	48
3.2.2.Тиристорный усилитель.....	50
4. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА	52

4.1.	Электромеханические исполнительные устройства.....
4.1.1.	Электромагнитные исполнительные устройства.....
4.1.2.	Исполнительные устройства и механизмы на основе электрических двигателей.....
4.1.2.1.	Исполнительные механизмы постоянного тока.....
4.1.2.2.	Реверсивные электрические исполнительные механизмы переменного тока.....
4.2.	Электрогидравлические исполнительные механизмы....
4.2.1.	Гидравлические двигатели.....
4.2.1.	Гидравлические распределители с электромагнитным управлением.....
4.2.1.	Гидравлические распределители с электрогидравлическим управлением.....
4.3.	Электропневматические исполнительные механизмы.....
5.	ЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИКИ.....
5.1.	Релейно-контактные логические устройства.....
5.1.1.	Конструкция и принцип действия электромагнитных коммутационных реле.....
5.1.2.	Поляризованные реле.....
5.1.3.	Электромагнитные шаговые искатели.....
5.2.	Простейшие интегральные микросхемы.....
5.3.	Некоторые популярные интегральные микросхемы.....
5.3.1.	Триггерные схемы.....
5.3.2.	Счетчики-делители.....
5.3.3.	Шифраторы и дешифраторы.....
5.3.4.	Коммутаторы цифровых и аналоговых сигналов.....
5.3.5.	Цифровой компаратор.....
	ЛИТЕРАТУРА.....

Сергей Александрович ШАХВОРОСТОВ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ

Учебное пособие

Редактор Н.П.Лапина