

## Тема №2 : ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И РЕЛЕЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Учебные вопросы:

1. Индуктивные датчики. Емкостные датчики. Индукционные датчики. Вихретоковые датчики. Пьезоэлектрические датчики. Тензометрические датчики (тензорезисторы).
2. Понятие релейного элемента, виды реле.
3. Электромагнитные реле постоянного и переменного тока.
4. Путевые переключающие устройства. Реле времени.
5. Электромагнитные контакторы и магнитные пускатели.

## Индуктивные датчики

Принцип работы **индуктивных** датчиков (ИД) основан на изменении индуктивности или взаимоиндуктивности обмотки с магнитопроводом вследствие изменения магнитного сопротивления магнитной цепи датчика под воздействием измеряемой величины.

Простейший **одинарный (однотактный) ИД линейного перемещения** (рис. 2.1, а) с переменным воздушным зазором  $\delta$ , значение которого является измеряемой величиной, состоит из сердечника 1, подвижного якоря 2, связанного с контролируемым объектом  $X$ , и обмотки питания 3, которая является одновременно измерительной обмоткой.

$$I = \frac{U_n}{Z} = \frac{U_n}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} \approx \frac{U_n}{\omega L}, \quad (2.1)$$

где  $U_n$  — напряжение питания;  $R$  — активное сопротивление обмотки;  $\omega$  — циклическая частота напряжения питания;  $L$  — индуктивность обмотки.

Таким образом, с учетом сделанных допущений расчетная статическая характеристика  $I = f(\delta)$  одинарного индуктивного датчика будет линейной (пунктирная линия на рис. 2.1, б). Реальная харак-

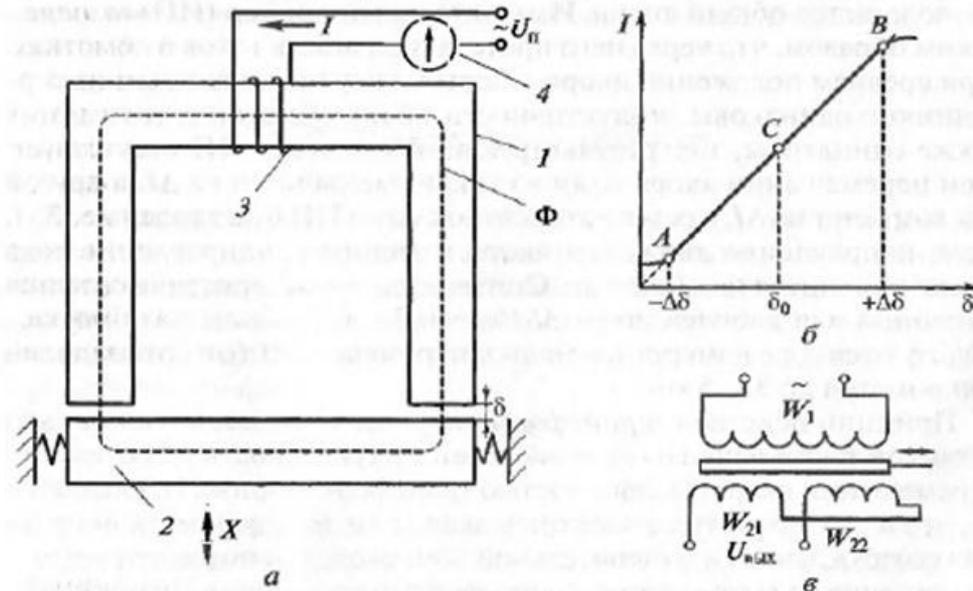
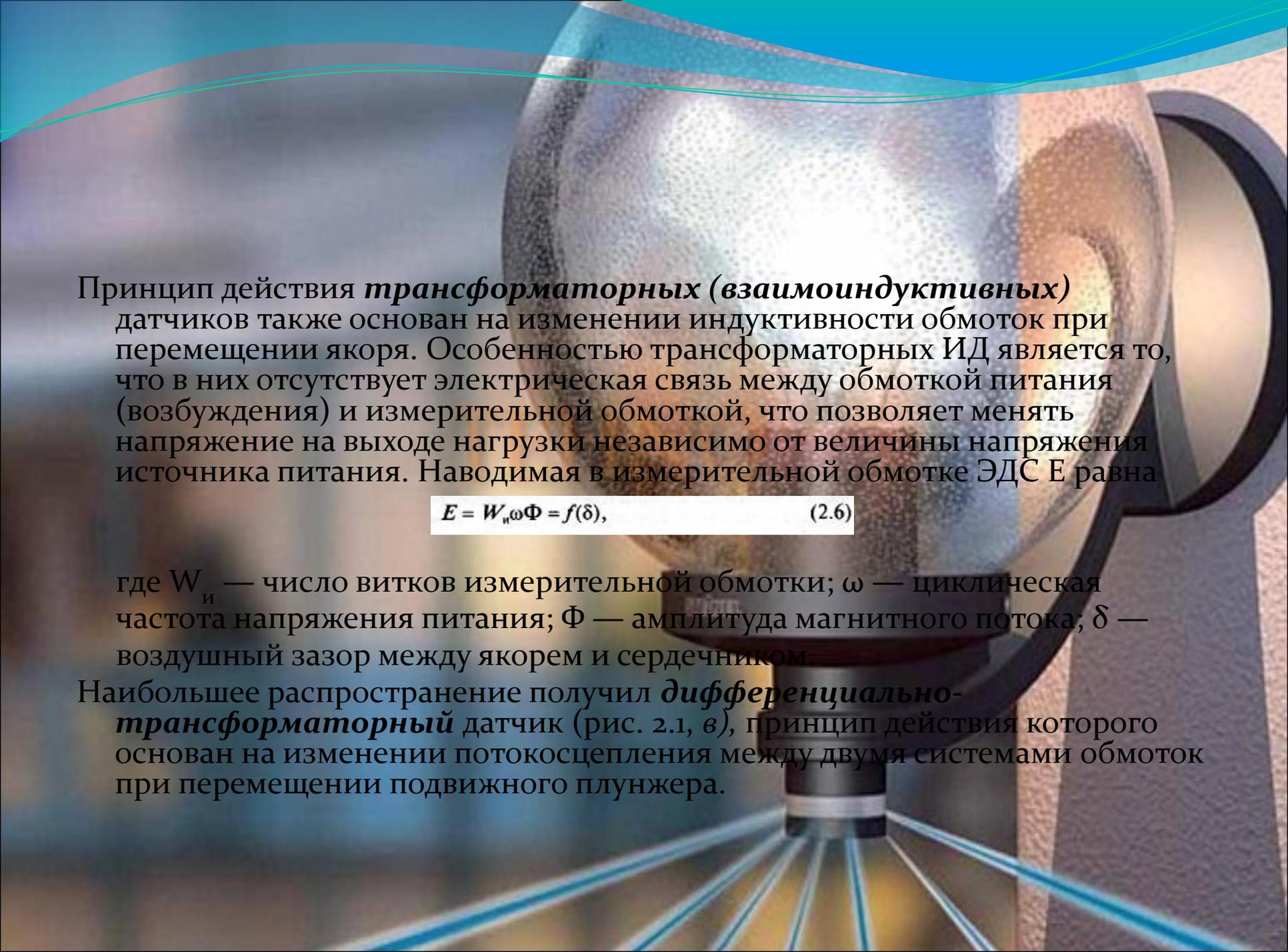


Рис. 2.1. Индуктивные датчики:

*а* — конструкция одинарного индуктивного датчика с переменным воздушным зазором; *б* — его статическая характеристика; *в* — дифференциально-трансформаторный датчик; *1* — сердечник; *2* — подвижный якорь; *3* — обмотка питания (измерительная обмотка); *4* — измерительный прибор; *X* — перемещение контролируемого объекта;  $\delta$  — воздушный зазор;  $\Phi$  — магнитный поток;  $U_n$  — напряжение питания;  $I$  — ток в обмотке;  $U_{\text{вых}}$  — выходное напряжение;  $\tilde{W}_1$  — первичная обмотка;  $W_{21}$  и  $W_{22}$  — вторичные обмотки



Принцип действия **трансформаторных (взаимоиндуктивных)** датчиков также основан на изменении индуктивности обмоток при перемещении якоря. Особенностью трансформаторных ИД является то, что в них отсутствует электрическая связь между обмоткой питания (возбуждения) и измерительной обмоткой, что позволяет менять напряжение на выходе нагрузки независимо от величины напряжения источника питания. Наводимая в измерительной обмотке ЭДС  $E$  равна

$$E = W_{\text{и}} \omega \Phi = f(\delta), \quad (2.6)$$

где  $W_{\text{и}}$  — число витков измерительной обмотки;  $\omega$  — циклическая частота напряжения питания;  $\Phi$  — амплитуда магнитного потока;  $\delta$  — воздушный зазор между якорем и сердечником.

Наибольшее распространение получил **дифференциально-трансформаторный** датчик (рис. 2.1, в), принцип действия которого основан на изменении потокосцепления между двумя системами обмоток при перемещении подвижного плунжера.



*Достоинства ,индуктивных датчиков:*

- простота конструкции и надежность в работе;
- большая выходная мощность, позволяющая во многих случаях обойтись без усилителя;
- высокая чувствительность и разрешающая способность;
- безынерционность (при условии, что частота изменения измеряемого перемещения гораздо меньше частоты источника питания);
- наличие на статической характеристике большого линейного участка; возможность работы непосредственно от сети переменного тока.

## Емкостные датчики

Принцип действия *емкостных* датчиков основан на изменении емкости конденсатора под воздействием измеряемой величины.

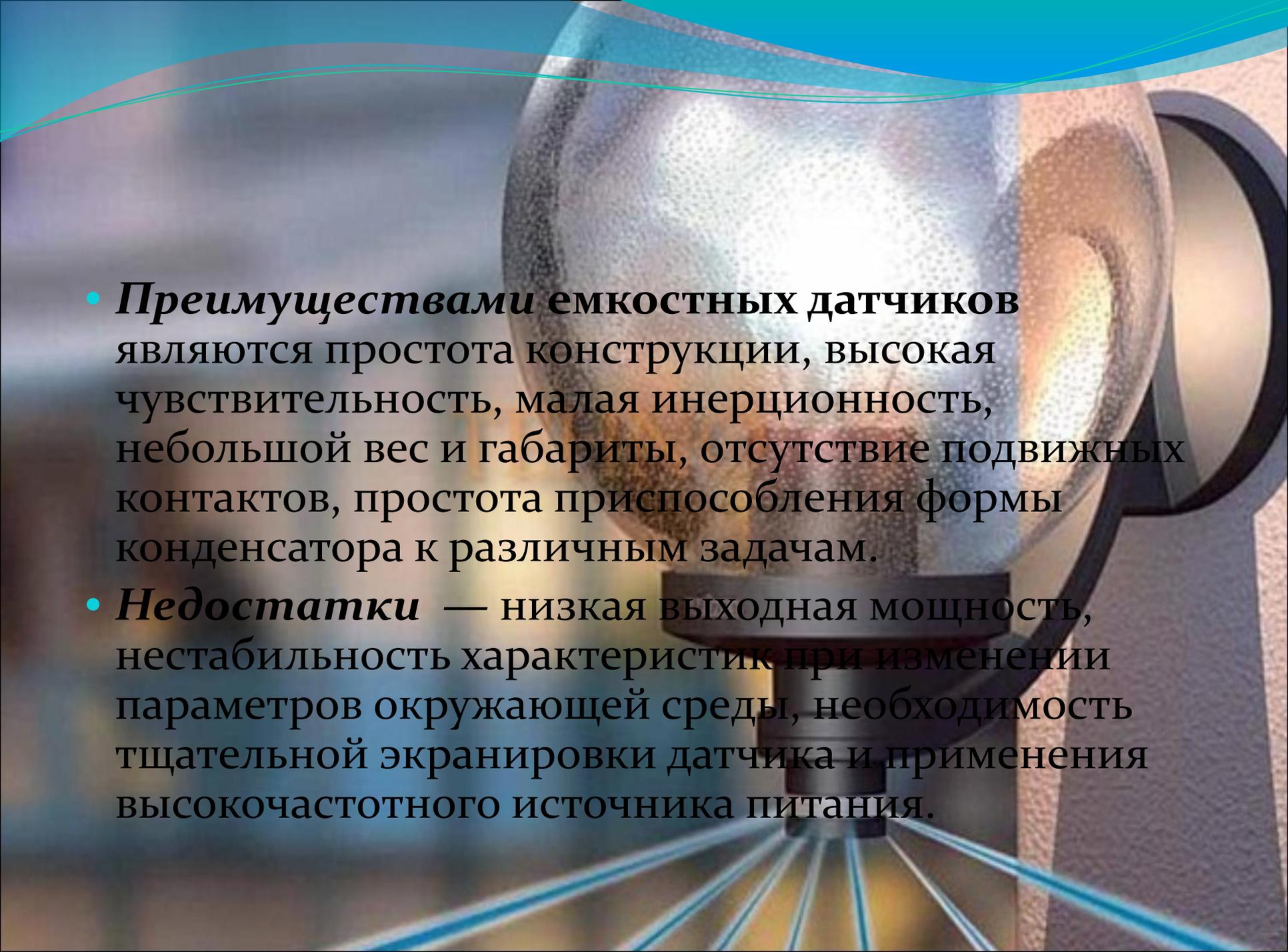
Емкость  $C$  плоского ЕД определяется по формуле

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{\delta}, \quad (2.7)$$

где  $\epsilon_0$  — электрическая постоянная;  $\epsilon$  — относительная диэлектрическая проницаемость среды между пластинами;  $S$  — площадь пластин;  $\delta$  — расстояние (зазор) между пластинами.

Поскольку емкость датчика зависит от трех параметров ( $S$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ), то существуют ЕД **трех типов**:

- 1) датчики с переменной площадью перекрытия пластин — для измерения линейных и угловых перемещений, усилий;
- 2) датчики с переменным зазором  $\delta$ , которые используются для измерения малых перемещений, быстропеременных параметров, таких как вибрация, ускорение;
- 3) датчики с переменной диэлектрической проницаемостью среды  $\epsilon$  — для измерения уровня, влажности, концентрации, в охранной сигнализации и др.

- 
- **Преимуществами емкостных датчиков** являются простота конструкции, высокая чувствительность, малая инерционность, небольшой вес и габариты, отсутствие подвижных контактов, простота приспособления формы конденсатора к различным задачам.
  - **Недостатки** — низкая выходная мощность, нестабильность характеристик при изменении параметров окружающей среды, необходимость тщательной экранировки датчика и применения высокочастотного источника питания.

## Индукционные датчики

Индукционный датчик относится к генераторным датчикам и представляет собой устройство, состоящее из обмотки и магнитной системы, осуществляющее преобразование контролируемой скорости линейных или угловых перемещений в ЭДС. Принцип действия основан на зависимости ЭДС, индуцируемой в обмотке при изменении магнитного потока, пронизывающего ее витки, от скорости его изменения в соответствии с законом электромагнитной индукции Фарадея.

Эта ЭДС  $e$  определяется выражением

$$e = -W \frac{d\Phi}{dt}, \quad (2.10)$$

где  $W$  — число витков обмотки;  $\Phi$  — магнитный поток.

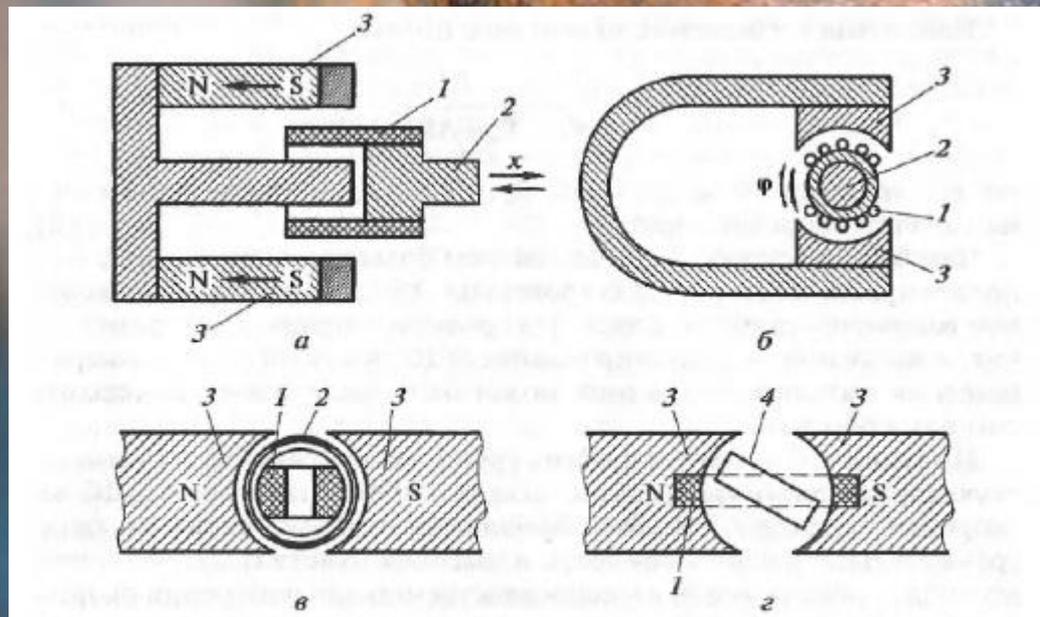


Рис. 2.2. Индукционные датчики скорости перемещений:  
 $a, в$  — линейных;  $б, г$  — угловых; 1 — обмотка; 2 — источник перемещений; 3 — магниты; 4 — якорь

Магнитный поток в обоих случаях постоянен и равен  $\Phi$ . ЭДС  $E$  на выходе датчика равна

$$E = K_n \Phi \frac{dx}{dt}, \text{ или } E = K_n \Phi \frac{d\varphi}{dt}, \quad (2.11)$$

Где  $K_n$  — коэффициент пропорциональности, определяемый конструктивными параметрами датчика;  $x$ ,  $\varphi$  — линейное и угловое перемещение соответственно.

Наибольшее изменение магнитного потока

$$\Delta\Phi = \frac{F}{R_m} - \frac{F}{R_m + \Delta R_m}, \quad (2.12)$$

где  $F$  — намагничивающая сила;  $R_m$  и  $R_m + \Delta R_m$  — крайние значения магнитного сопротивления.

Чем больше скорость вращения, тем больше изменение магнитного сопротивления и индуцированная ЭДС.

**Достоинства** - сравнительно высокая точность и высокая чувствительность, что позволяет использовать их непосредственно для измерения скорости без усилителей и других промежуточных элементов.

**Недостатки** — влияние величины нагрузки на точность преобразования, а также наличие момента, действующего на вал, скорость которого измеряется.

## Вихретоковые датчики

**Вихретоковый** метод контроля основан на анализе взаимодействия внешнего электромагнитного поля с электромагнитным полем вихревых токов, наводимых им в электропроводящем объекте контроля. В качестве источника электромагнитного поля чаще всего используется индуктивная катушка (одна или несколько), называемая вихретоковым преобразователем (ВТП).

Особенность вихретокового контроля в том, что его можно проводить без контакта преобразователя и объекта. Их взаимодействие происходит на расстояниях, достаточных для свободного движения преобразователя относительно объекта.

Вихретоковые датчики (ВТД) используются для бесконтактного измерения вибрации, перемещения и частоты вращения электропроводящих объектов. Они применяются для диагностики состояния промышленных турбин, компрессоров, электромоторов.

**Вихретоковый датчик** состоит из вихревого пробника 2 и электронного блока 1, соединенных кабелем 3 (рис. 2.3, а). В торце диэлектрического наконечника 5 вихревого пробника находится катушка индуктивности 6 (одна или несколько). Электронный блок возбуждает в ней электромагнитные колебания, в результате чего возникает электромагнитное поле, взаимодействующее с материалом контролируемого объекта. Если материал обладает электропроводностью, на его поверхности наводятся вихревые токи, которые, в свою очередь, изменяют параметры катушки — ее активное и индуктивное сопротивление.

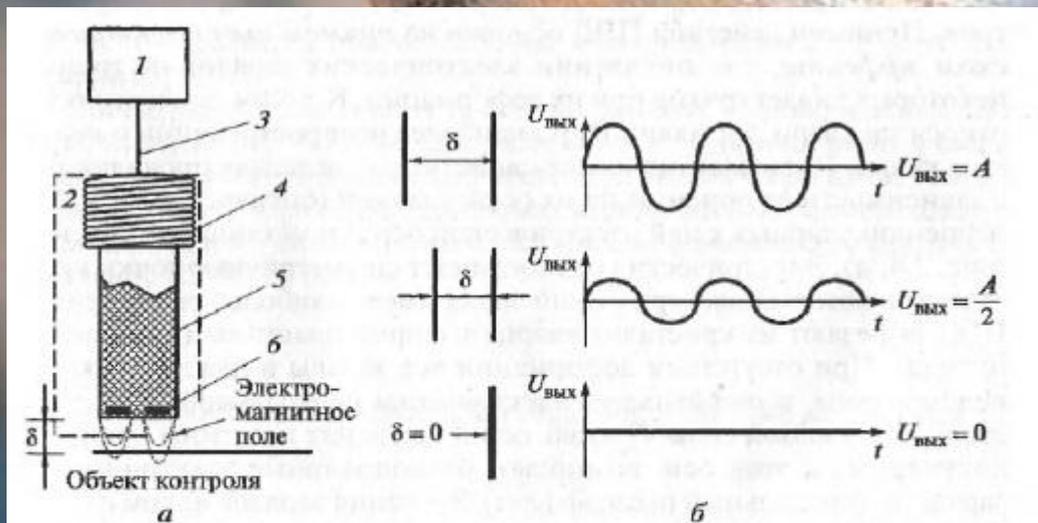


Рис. 2.3. Вихретоковый датчик:

а — конструкция; б — изменение выходного напряжения в зависимости от зазора; 1 — электронный блок; 2 — вихревой пробник; 3 — соединительный кабель; 4 — металлический цилиндрический корпус с резьбой; 5 — диэлектрический наконечник; 6 — плоская катушка индуктивности; А — амплитуда; δ — измеряемый зазор; U<sub>вых</sub> — выходное напряжение

## Пьезоэлектрические датчики

**Пьезоэлектрическим датчиком (ПЭД)** называется устройство, использующее пьезоэлектрический эффект для преобразования переменных механических усилий в количество электричества (заряд).

**Принцип действия** ПЭД основан на *прямом пьезоэлектрическом эффекте*, т. е. появлении электрических зарядов на гранях некоторых диэлектриков при их деформации.



**Достоинства ПЭД:** возможность измерения быстропеременных величин (с частотой изменения до 7... 100 кГц), малые габариты, простота устройства; **недостатки:** невысокая чувствительность, невысокая мощность выходного сигнала, непригодность к измерению статических величин, так как после снятия нагрузки заряды через некоторое время исчезают.

## Тензометрические датчики (тензорезисторы)

**Принцип действия тензорезисторов (ТР)** основан на явлении *тензоэффекта* — изменении активного электрического сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов при деформации под воздействием механических усилий.

Они используются в основном для измерения деформаций и напряжений в механических конструкциях.

К **достоинствам проводниковых** тензорезисторов относятся: простота конструкции, малые габариты, возможность измерения механических параметров статических и динамических процессов;

К **недостаткам**

- невысокая чувствительность
- большая температурная погрешность, требующая специальных схем компенсации
- Одноразовость использования (при снятии с детали тензорезистор разрушается).

**Полупроводниковые** тензорезисторы имеют преимущество перед проводниковыми - гораздо большую чувствительность (в 50... 60 раз).

# Понятие релейного элемента. Виды реле

Реле являются одним из наиболее распространенных элементов в системах автоматики, предназначенных для автоматической коммутации электрических цепей по внешнему сигналу.

Любое релейное устройство состоит из релейного элемента с двумя состояниями устойчивого равновесия и группы электрических контактов, которые замыкаются или размыкаются при изменении состояния релейного элемента. Это устройство является промежуточным элементом, назначение которого — инициировать управляемую цепь при получении некоторого сигнала от управляющей цепи (рис. 10.1, а).

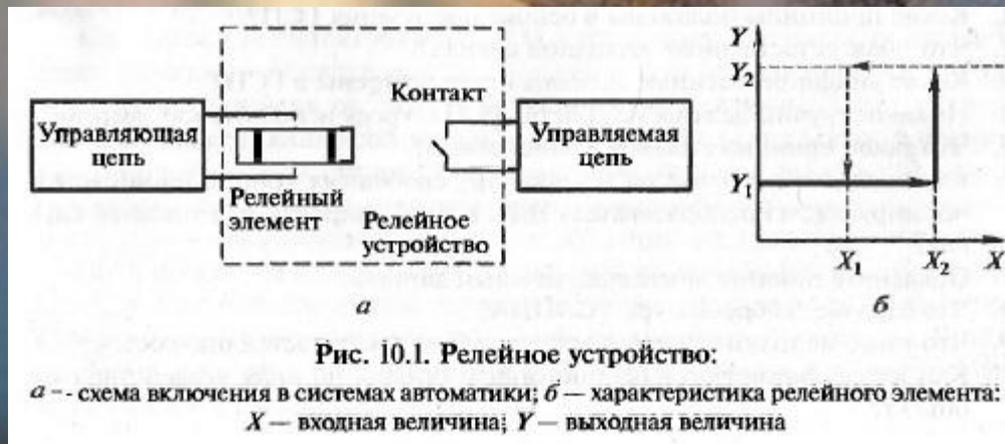
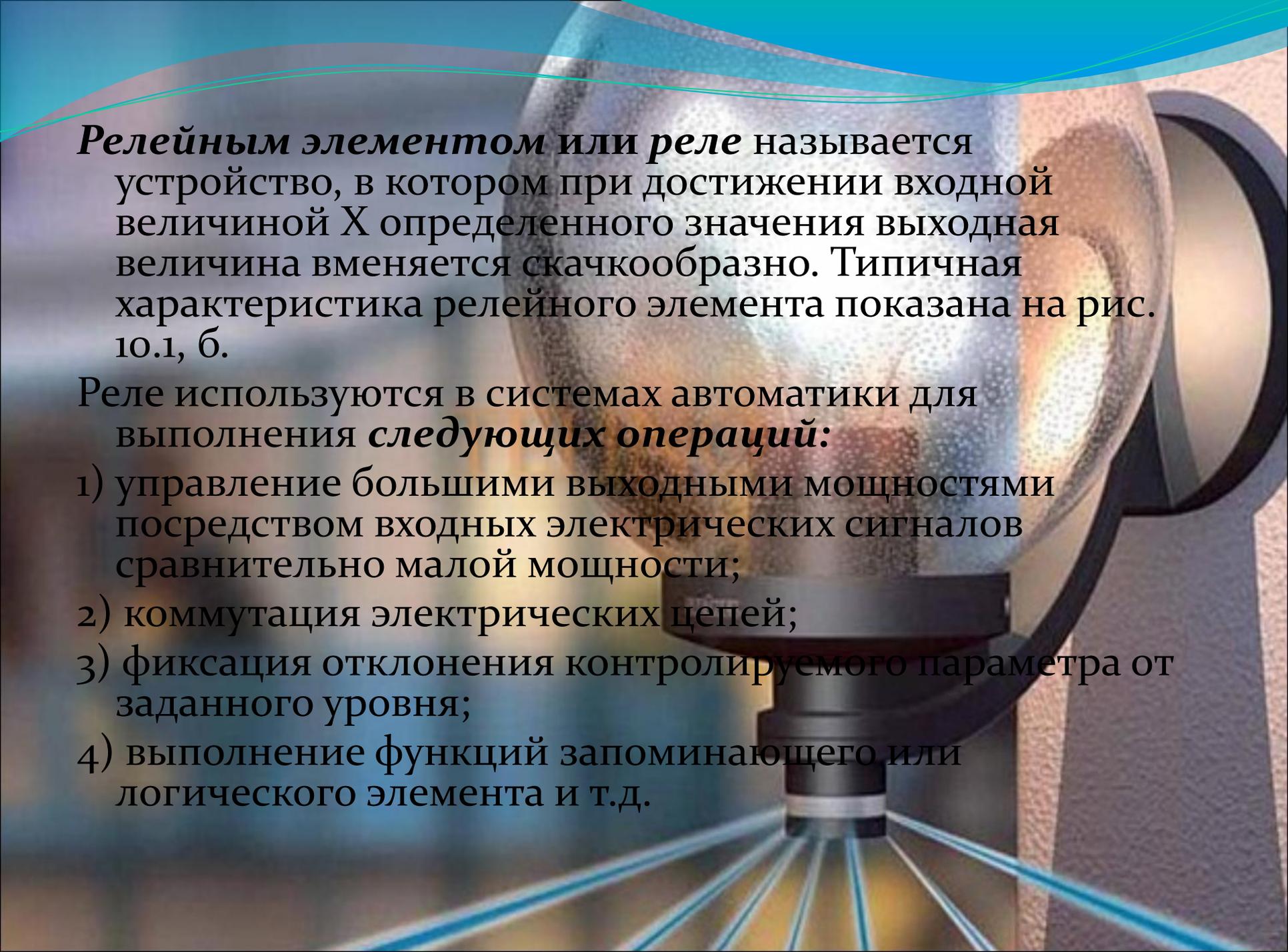


Рис. 10.1. Релейное устройство:

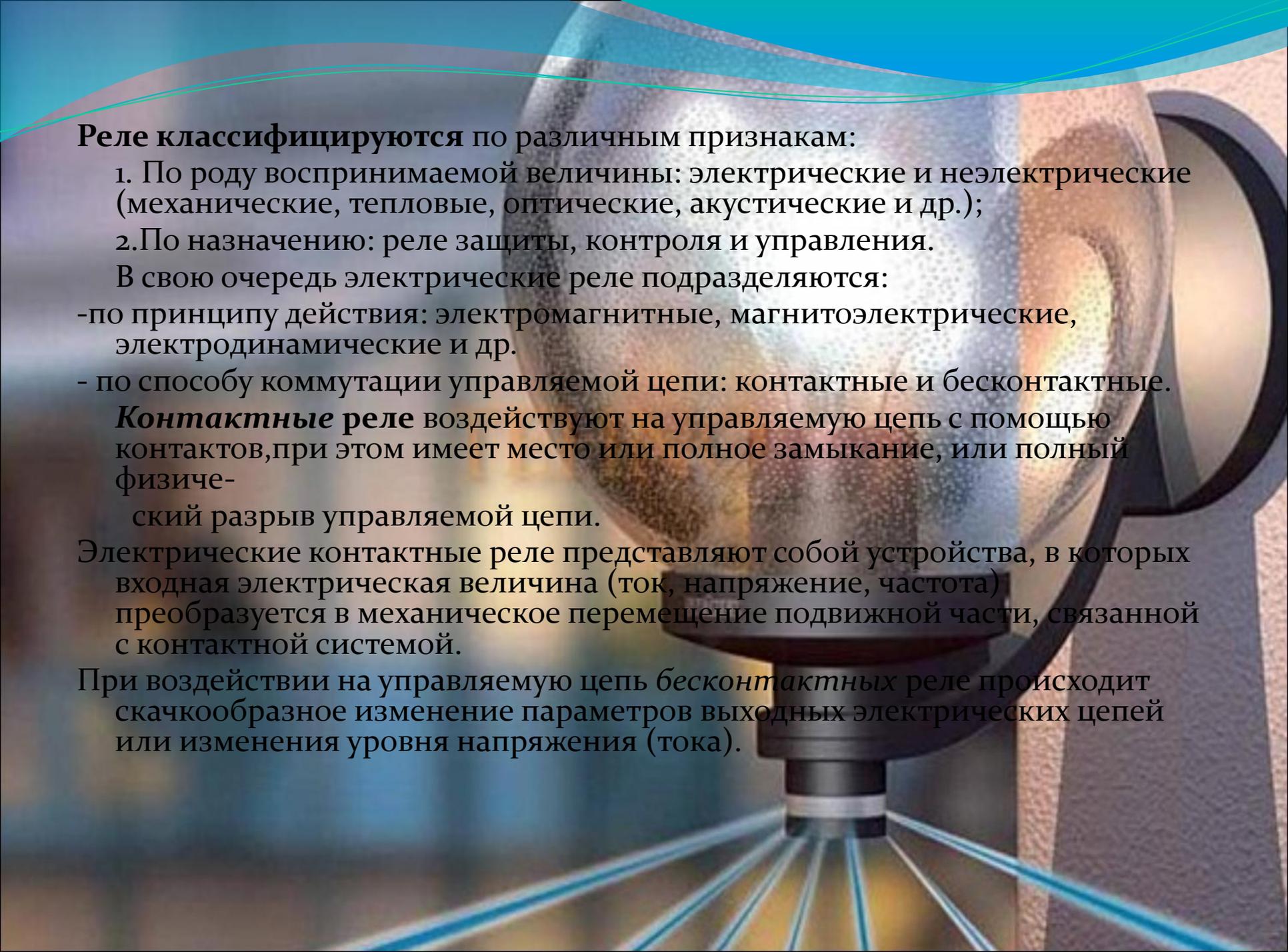
а — схема включения в системах автоматики; б — характеристика релейного элемента:  
X — входная величина; Y — выходная величина



**Релейным элементом или реле** называется устройство, в котором при достижении входной величиной  $X$  определенного значения выходная величина **вменяется скачкообразно**. Типичная характеристика релейного элемента показана на рис. 10.1, б.

Реле используются в системах автоматике для выполнения **следующих операций**:

- 1) управление большими выходными мощностями посредством входных электрических сигналов сравнительно малой мощности;
- 2) коммутация электрических цепей;
- 3) фиксация отклонения контролируемого параметра от заданного уровня;
- 4) выполнение функций запоминающего или логического элемента и т.д.



**Реле классифицируются по различным признакам:**

1. По роду воспринимаемой величины: электрические и неэлектрические (механические, тепловые, оптические, акустические и др.);
2. По назначению: реле защиты, контроля и управления.

В свою очередь электрические реле подразделяются:

- по принципу действия: электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические и др.
- по способу коммутации управляемой цепи: контактные и бесконтактные.

**Контактные реле** воздействуют на управляемую цепь с помощью контактов, при этом имеет место или полное замыкание, или полный физический разрыв управляемой цепи.

Электрические контактные реле представляют собой устройства, в которых входная электрическая величина (ток, напряжение, частота) преобразуется в механическое перемещение подвижной части, связанной с контактной системой.

При воздействии на управляемую цепь **бесконтактных** реле происходит скачкообразное изменение параметров выходных электрических цепей или изменения уровня напряжения (тока).

## Электромагнитные реле постоянного и переменного тока.

Принцип действия ЭМР основан на взаимодействии ферромагнитного якоря с магнитным полем обмотки, по которой протекает ток, в результате чего происходит механическое перемещение подвижной части, связанной с контактной системой.

*ЭМР выполняют следующие функции:*

- 1) гальваническая развязка между цепью управления и цепью нагрузки реле; 2) размножение одного управляющего сигнала на несколько выходных сигналов;
- 3) усиление мощности управляющего сигнала;
- 4) независимое одновременное управление несколькими выходными цепями с различными уровнями тока и напряжения;
- 5) разделение цепей с различными мощностями, а также цепей переменного и постоянного тока;
- 6) преобразование и нормирование уровней электрических сигналов.

По роду входного тока различают: реле постоянного тока и реле переменного тока.

Реле постоянного тока подразделяются на нейтральные и поляризованные.

По числу обмоток различают одно- и многообмоточные реле.

По числу контактных групп — мало- и многоконтактные реле.

**Нейтральные ЭМР постоянного тока** обычно выполняются с внешним притягивающимся якорем (рис. 10.2, а). Такое реле представляет собой электромагнитный механизм и ряд контактных групп, установленных на одном основании 5. Магнитопровод электромагнита состоит из ярма (корпуса) 11, сердечника 8 и якоря 6, выполненных из магнитомягкой стали. На сердечнике помещается каркас 9 с одной или несколькими обмотками 10.

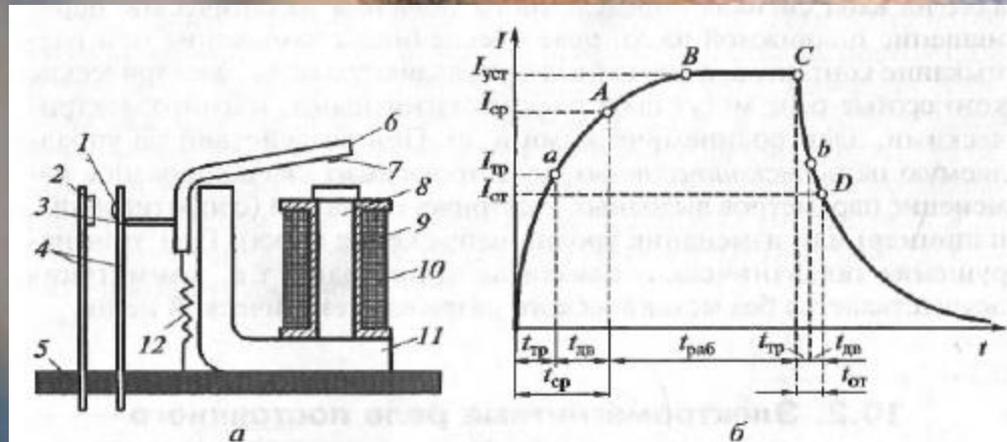
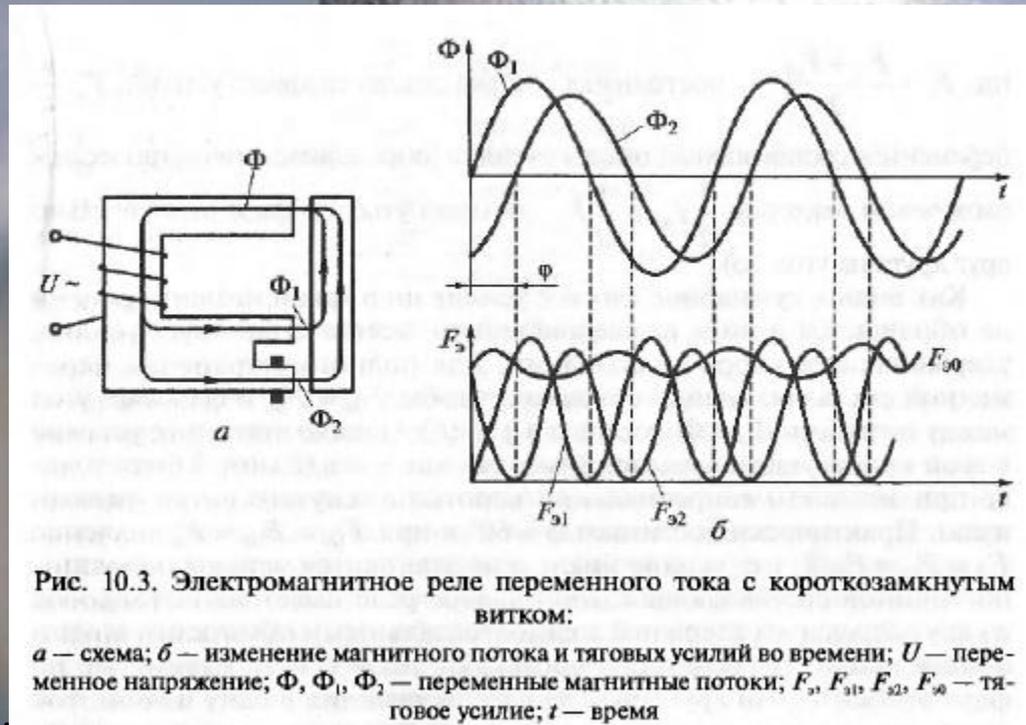


Рис. 10.2. Нейтральное электромагнитное реле клапанного типа:

а — конструкция; б — временная диаграмма работы; 1 — подвижный контакт; 2 — неподвижный контакт; 3 — непроводящий штифт; 4 — контактные пружины; 5 — основание; 6 — якорь; 7 — штифт отлипания; 8 — сердечник; 9 — каркас; 10 — обмотка; 11 — ярмо; 12 — возвратная пружина;  $I$  — ток в катушке реле;  $t$  — время;  $I_{от}$  — ток отпущения;  $I_{тр}$  — ток трогания;  $I_{сп}$  — ток срабатывания;  $I_{уст}$  — установившееся значение тока;  $t_{тр}$  — время трогания;  $t_{дв}$  — время движения;  $t_{роб}$  — время работы;  $t_{сп}$  — время срабатывания;  $t_{от}$  — время отпущения; А — точка срабатывания (момент замыкания контактов); В — точка устойчивой работы; С — точка снятия сигнала; D — точка отпущения (момент размыкания контактов); а, б — точки начала движения якоря

- 
- Работа реле делится на четыре этапа.
  - Этап I — срабатывание реле.
  - Этап II — работа реле (траб — время работы реле).
  - Этап III — отпускание реле.
  - Этап IV — покой реле.
  - *Электромагнитные реле переменного тока* по принципу действия в основном аналогичны реле постоянного тока. Однако переменный ток обуславливает некоторые особенности работы реле. Постоянное направление, изменяется (пульсирует) с частотой, равной удвоенной частоте  $2\omega$  приложенного напряжения. Поэтому якорь электромагнита будет вибрировать, периодически оттягиваясь от сердечника противодействующим усилием, что делает реле неработоспособным.

В реле с короткозамкнутым витком последний охватывает одну из двух частей разрезанного конца сердечника, обращенного к якору (рис. 10.3, а).



Протекающий по основной обмотке переменный ток создает переменный магнитный поток  $\Phi$ , который разветвляется в полюсе сердечника на два потока  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ ; при этом один поток проходит через свободную часть полюса, другой — через экранированную.

**Важнейшим элементом** любого реле являются **его контакты**. Именно они определяют его надежность и срок службы. По выполняемой функции контакты делятся на **з а м ы к а ю щ и е** (при отсутствии сигнала в обмотке реле они разомкнуты, а при его появлении замыкаются), **р а з м ы к а ю щ и е** (при отсутствии сигнала они замкнуты, а при появлении — размыкаются) и **п е р е к л ю ч а ю щ и е** (при отсутствии сигнала подвижный контакт замкнут с одним из неподвижных контактов, а при его появлении замыкается с другим неподвижным контактом).

Условные обозначения обмотки реле и контактов на схемах:



## **Магнитоуправляемые контакты (герконы)**

В последнее время все большее применение находят безъякорные реле, в которых для коммутации используется магнитное поле постоянного магнита или дополнительной обмотки, воздействующей на герметизированный контакт (геркон). Они называются **магнитоуправляемыми контактами (МУК)**.

**Герметизация контактов** от воздействия внешней среды значительно повышает надежность реле, его взрыво- и пожаробезопасность. Герконы, совмещающие в себе ряд преимуществ обычных (механических) контактов и полупроводниковых переключателей, занимают по своим характеристикам промежуточное положение между ними.

**Геркон** (рис. 10.5) состоит из миниатюрного стеклянного баллона 1 с впаянными внутри него двумя электродами 2 из ферромагнитного материала (пермаллоя), выполняющими одновременно роль контактных пружин и магнитопровода. На концы пружин наносят слой из хорошо проводящего материала (серебра, золота, родия) толщиной 2... 10 мкм, образующий контакты 3. Токоотводами 4 являются наружные концы электродов 2. Если геркон поместить в магнитное поле, созданное постоянным магнитом или током в обмотке, то в воздушном промежутке между контактами возникнет электромагнитное усилие  $F_3$ . Когда оно окажется больше противодействующих сил, созданных упругостью электродов, контакты замкнутся.



Рис. 10.5. Устройство геркона:

1 — стеклянный баллон; 2 — электроды из ферромагнитного материала; 3 — контакты;  
4 — токоотводы

## Путевые переключающие устройства

**Путевой выключатель** — это аппарат для замыкания и размыкания электрических цепей в системах автоматического управления электроприводами.

Он приводится в действие самим перемещающимся механизмом, который в отдельных точках своего пути вызывает замыкание или размыкание соответствующих контактов выключателя.

Если путевой выключатель действует только в конце пути, т. е. ограничивает путь передвижения механизма путем размыкания или замыкания цепи электропривода, он называется **конечным выключателем** или **ограничителем хода**.

Один из наиболее распространенных примеров использования конечных выключателей — в схеме управления электрофицированной задвижки для отключения электропривода при ее полном открытии или закрытии.

**По принципу действия путевые выключатели разделяют** на контактные (электромеханические) и бесконтактные (индуктивные, емкостные и др.). Контактные путевые выключатели: на одно- и многопредельные, в зависимости от количества пар рабочих контактов — одной или нескольких.

## Реле времени

*Реле времени* — устройство, контакты которого замыкаются (или размыкаются) с заданной временной задержкой после получения управляющего сигнала. Задержку можно регулировать произвольно, влияя на скорость изменения физической величины, воздействующей на релейный элемент реле времени от момента поступления сигнала до достижения порога срабатывания. Для создания выдержки времени применяются электрическая разрядная С-цепь, электромагнитное замедление посредством создания вихревых токов в короткозамкнутых гильзах, механические механизмы (анкерный и планетарный), пьезокерамические элементы и др.

Существуют также программные реле — это разновидность реле времени с несколькими контактами, имеющими различные, независимые друг от друга выдержки времени.

## **Электромагнитные контакторы и магнитные пускатели**

**Основным аппаратом**, производящим замыкание и размыкание главных цепей двигателя при автоматическом управлении, является электромагнитный контактор. Это двухпозиционный аппарат с самовозвратом, предназначенный для частых коммутаций токов и приводимый в действие двигательным приводом. По сути, он является

выключателем, включаемым и выключаемым при помощи электромагнита.

**Характерное отличие** контакторов от реле — допустимость частых включений и отключений при пуске, торможении и регулировании частоты вращения электроприводов.

Контакторы обычно применяют одновременно с различными реле.

**Магнитные пускатели** — это специальные пусковые устройства, состоящие из одного или двух контакторов, тепловых реле и кнопок управления, применяемые в основном при управлении пуском, реверсом, остановом трехфазных асинхронных электродвигателей. Их повсеместное распространение объясняется тем, что в этом случае, во-первых, кнопки «Пуск» и «Стоп» можно устанавливать в любом удобном месте.

## Типовые релейные схемы

Большинство релейных схем, используемых на объектах транспорта нефти и газа, представляют собой схемы управления нереверсивными и реверсивными электродвигателями (ЭД) различной мощности. Схема управления нереверсивным ЭД (рис. 10.6, а) работает следующим образом.

Задвижка с электроприводом (ЗЭП) — устройство массового применения на нефтебазах и нефтепроводах. Привод задвижки состоит из реверсивного электродвигателя, вращающего червячный редуктор, который через узел соединения поднимает или опускает «клин», перекрывающий проходное сечение задвижки. Схема управления реверсивным двигателем ЗЭП показана на рис. 10.6, б. Открытие задвижки обеспечивается нажатием кнопки «Открыть»  $SB_1$ , что приводит к срабатыванию магнитного пускателя (МП) КО. Своими контактами КО1... КО3 он включает ЭД в направлении, соответствующем открытию задвижки.

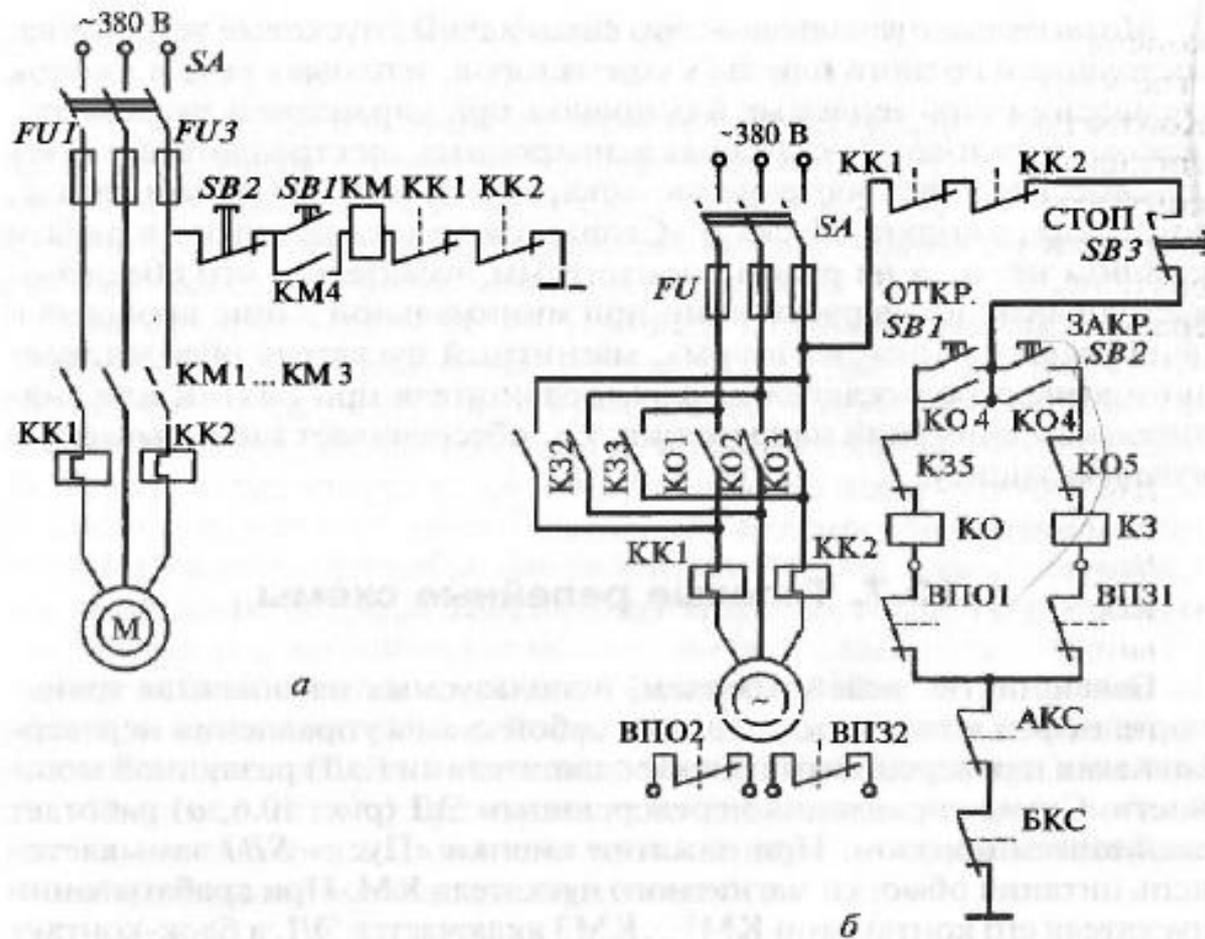


Рис. 10.6. Типовые релейные схемы управления:

*а* — трехфазным нереверсивным двигателем; *б* — задвижкой с электроприводом (трехфазным реверсивным двигателем); *FU* — предохранители; *SB* — кнопки; *KK* — тепловые реле; *KM*, *KO*, *K3* — магнитные пускатели; *SA* — рубильник; *ВПО*, *ВПЗ* — конечные выключатели