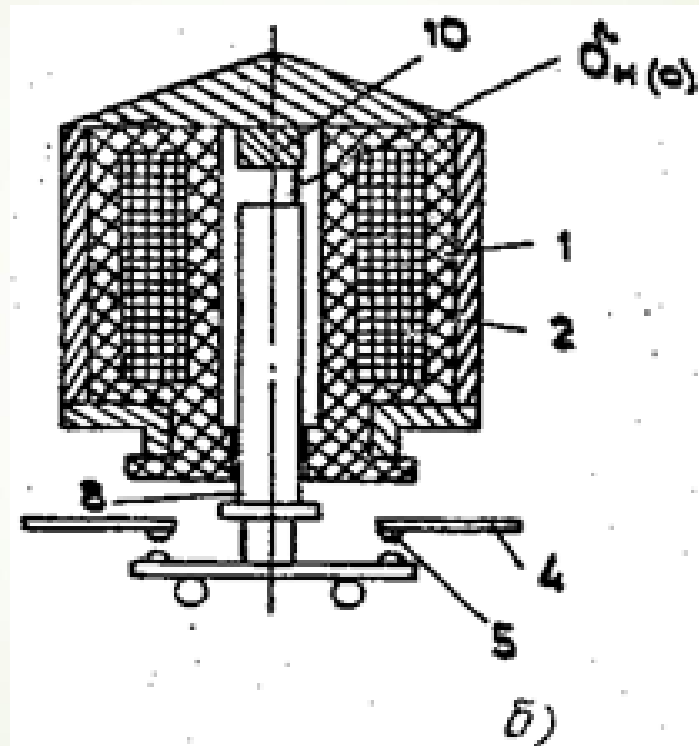


# Электромагнитное реле



# ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ РЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Из группы электромеханических реле широкое применение получили электромагнитные реле. Если электромагнитные реле используются для переключения **мощных цепей** тока, то они называются **контакторами**. Реле и контакторы являются устройствами прерываемого действия.

Электромагнитные реле **по роду** используемого **тока** делятся на:

- реле постоянного;
- реле переменного тока.

Реле постоянного тока делятся на:

- нейтральные реле;
- поляризованные реле.

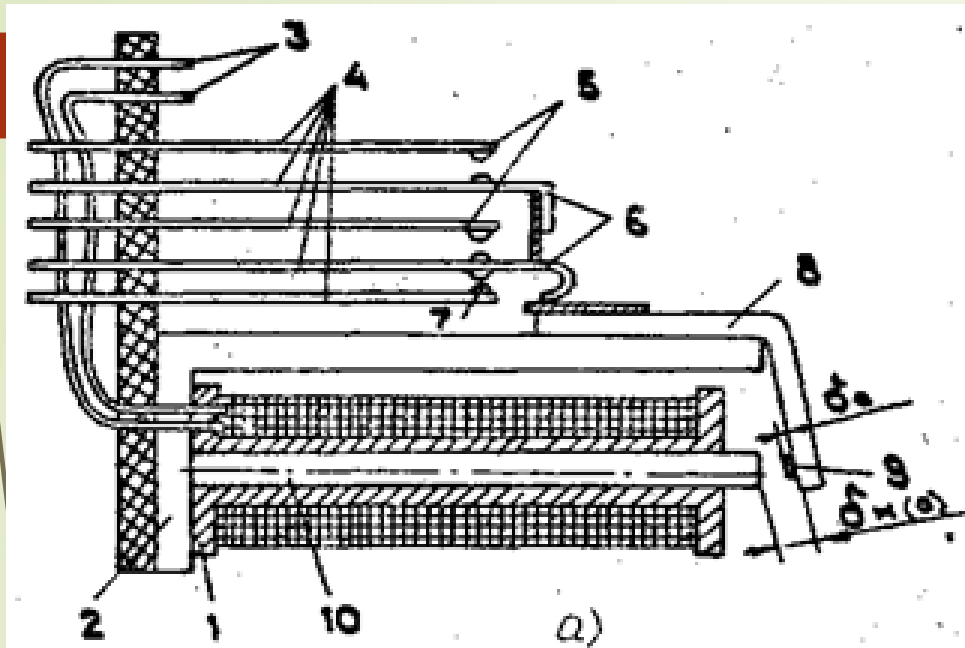
Нейтральные реле одинаково реагируют на постоянный ток обоих направлений.

Поляризованные реле реагируют на полярность сигнала.

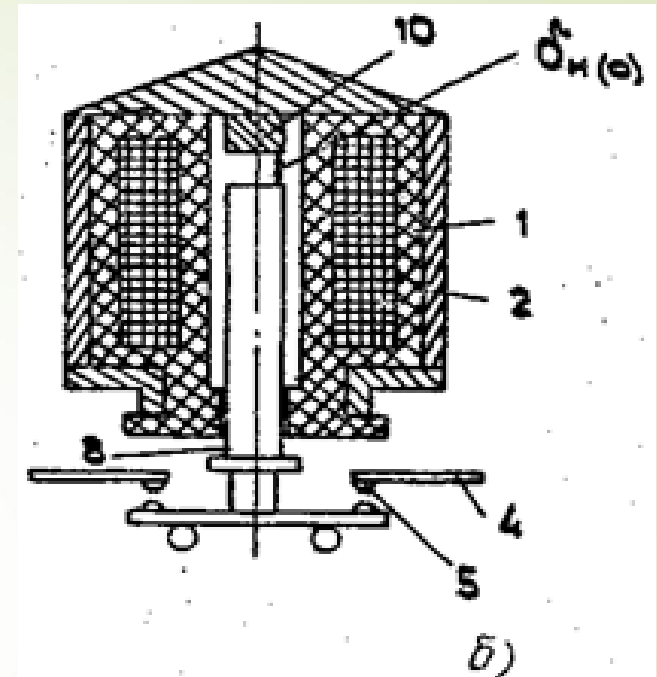
По **характеру движения якоря** электромагнитные нейтральные реле подразделяются на :

- с угловым движения якоря;
- с втяжным якорем.

## Схемы электромагнитных реле клапанного типа



с угловым движением якоря



с втягиваемым внутрь катушки якоря

1 – каркас с обмоткой; 2 – ярмо; 3 – выводы обмотки; 4 – контактные пружины; 5 – замыкающий контакт (ЗК); 6 – подвижные контакты; 7 – размыкающий контакт (РК); 8 – якорь; 9 – штифт отмыкания; 10 – сердечник.

### Основные части электромагнитное реле:

- *контактная система* (контактные пружины выполнены из материала нейзильбера);
- *магнитопровод* (ярмо, сердечник, якорь, выполненные из мягкой стали);
- *обмотки* (катушки).

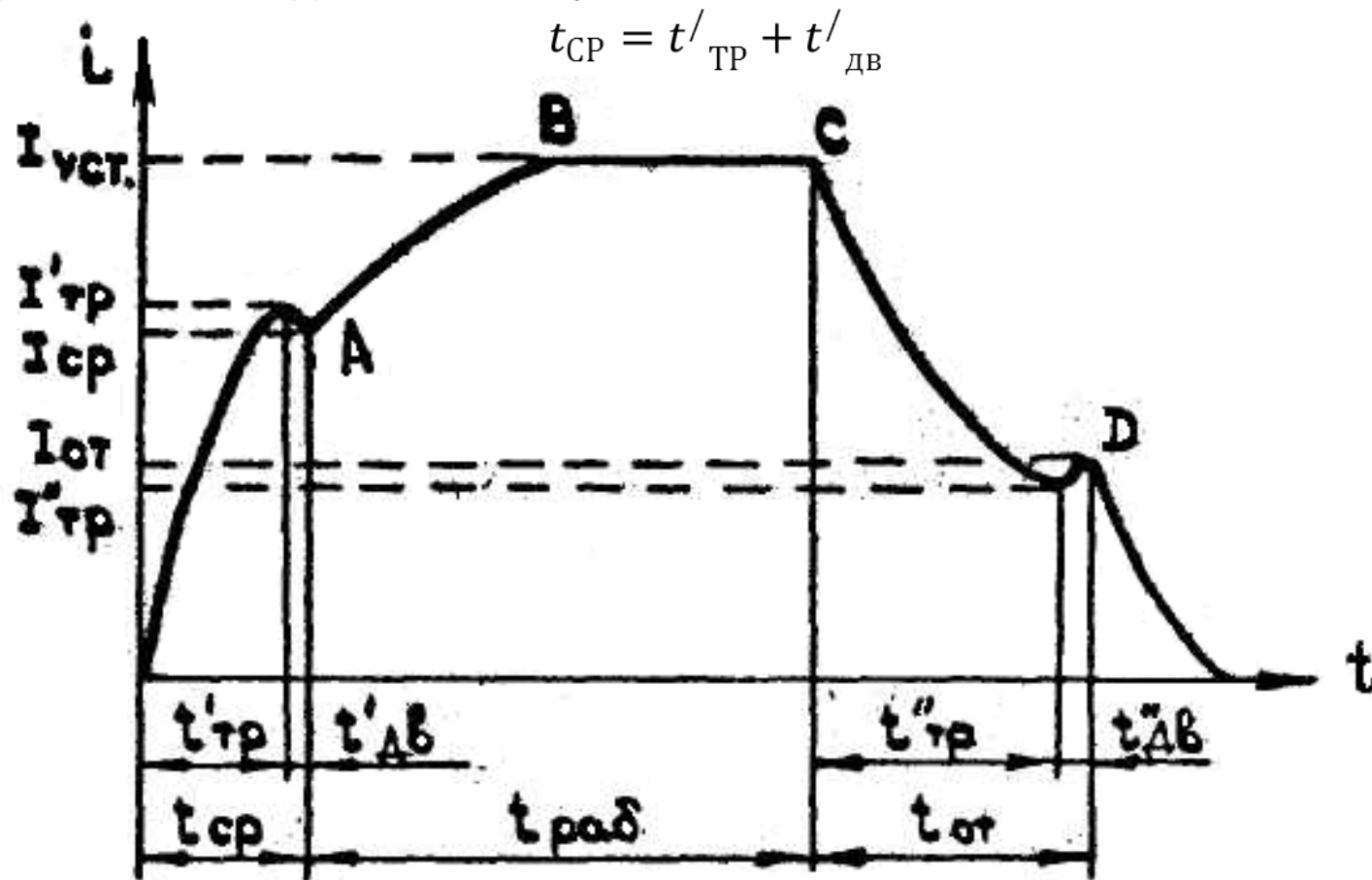
Магнитную цепь составляют сердечник, якорь, ярмо и воздушный зазор между якорем и сердечником.

## Принцип действия реле.

При подаче тока в обмотку создается магнитный поток, который, проходя через воздушный зазор  $\delta_{H(0)}$  создает механическое усилие, притягивающее якорь к сердечнику. Якорь воздействует на **контактные пружины**: контакты ЗК замыкаются, а РК размыкаются. Количество **контактных пружин** в разных конструкциях реле 2...16 и более. Рабочий “ход” контактных пружин (максимально возможного перемещения из основного положения в положения “замкнуто” или “разомкнуто”) для различных конструкций реле составляют 2,0...3,5 мм и не зависит от числа контактных пружин. Перемещению якоря по направлению к сердечнику в процессе притяжения противодействуют силы упругих элементов реле возвратной пружины и контактных пружин. Упругость (натяжение) контактных пружин определяется конструкцией реле и составляет от 8 до 12 г для одной пружины, поэтому сила, которую нужно приложить, чтобы задействовать все пружины, должна быть пропорциональна их количеству. Контактные пружины по силе натяжения поделены на группы **А** и **В**. Натяжение пружин для группы **А** – **10 г**, для **В** – **12 г**.

## Этапы работы реле

Этап 1 – срабатывание реле. Длительность этого этапа – время полного срабатывания  $t_{CP}$  т.е. от момента подачи напряжения на катушку реле до момента надежного замыкания контактов (точка A);  $I'_{TP}$  – величина тока, при котором начинается движение якоря;  $t'_{TP}$  – время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря;  $I_{CP}$  – ток, при котором срабатывает реле;  $t'_{ДВ}$  – время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря



Этап 2 – работа реле ( $t_{РАБ}$  - время работы реле). После того как реле сработает, ток в обмотке продолжает увеличиваться (участок А-В), пока не достигнет установившегося значения. Участок А-В необходим для того, чтобы обеспечить надежное притяжение якоря к сердечнику, исключаящее вибрацию якоря при сотрясениях реле. Впоследствии величина тока в обмотке реле остается неизменной. Отношение установившегося тока  $I_{УСТ}$  к величине тока срабатывания  $I_{СР}$  называется коэффициентом запаса реле по срабатыванию  $K_{ЗАП}$ . Данный коэффициент определяется коэффициентом усиления  $K_{У}$  и равен

$$K_{ЗАП} = \sqrt{K_{У}},$$

где:  $K_{У} = \frac{F_{Э}}{F_{Н}}$

$F_{Э}$  - электромагнитное усиление;

$F_{Н}$  - критическое механическое усиление.

Значение тока  $I_{УСТ}$  не должно превышать допустимого для обмотки реле по условиям ее нагрева.

Этап 3 – отпускание реле. Этот период начинается с момента прекращения подачи рабочего напряжения (точка С) до момента, когда ток уменьшится до значения тока отпускания  $I_{ОТ}$  (точка D), при котором происходит полное размыкание контактов. Отношение тока отпускания к току срабатывания называется коэффициентом возврата  $K_{В} = I_{ОТ}/I_{СР} < 1$ , обычно в пределах  $K_{В} = 0,4 \dots 0,8$ .

В соответствии с изложенным различают время трогания при отпускании  $t''_{ТР}$  и время движения якоря  $t''_{ДВ}$ . Длительность данного периода (время отпускания  $t_{ОТ}$ ) равна

$$t_{ОТ} = t''_{ТР} + t''_{ДВ}$$

Этап 4 – покой реле. Это отрезок времени от момента размыкания контактов реле (точка D) до нового момента начала движения якоря. При быстром следовании управляющих сигналов друг за другом работа реле характеризуется максимальной частотой срабатывания (количество срабатывания реле в единицу времени).

### Тяговая характеристика электромагнитного реле.

Важным параметром при расчете реле являются **электромагнитное усиление**  $F_{\text{Э}}$ . Реле можно представить из соединенных последовательно активного и индуктивного сопротивлений катушки. Часть полученной от источника энергии расходуется на нагревание обмотки, а остальная (большая часть) запасается в магнитном поле реле. Энергия магнитного поля состоит из энергии, которая сосредоточивается в воздушном зазоре  $\delta_{\text{H}(0)}$ , и энергии, распределенной в остальных частях магнитопровода. При уменьшении зазора магнитный поток увеличивается. Половина полученной энергии из сети запасается в магнитном поле, а вторая половина - расходуется на создание механической работы при перемещении якоря под действием силы  $F_{\text{Э}}$ .

Для практических расчетов **электромагнитное (тяговое) усиление (силу притяжения)** удобно рассчитывать из формулы Максвелла

$$F_{\text{Э}} = \frac{\Phi_{\delta}^2}{2\mu_0 S_{\delta}} = \frac{B_{\delta}^2 S_{\delta}}{2\mu_0} = 4 \cdot 10^5 B_{\delta}^2 S_{\delta} = 4 \cdot 10^5 \frac{\Phi_{\delta}^2}{S_{\delta}}$$

где:  $\Phi_{\delta}$  - магнитный поток, Вб;

$S_{\delta}$  - площадь сечения воздушного зазора, м<sup>2</sup>;

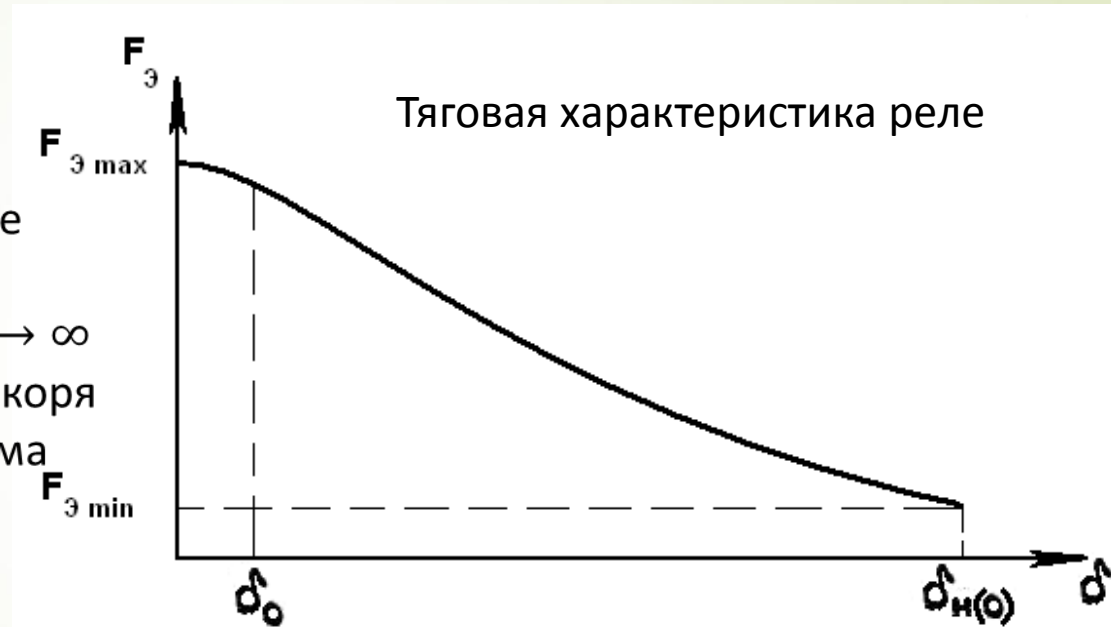
$B_{\delta}$  - магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл;

$\mu_0$  - постоянная, характеризующая магнитные свойства вакуума,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

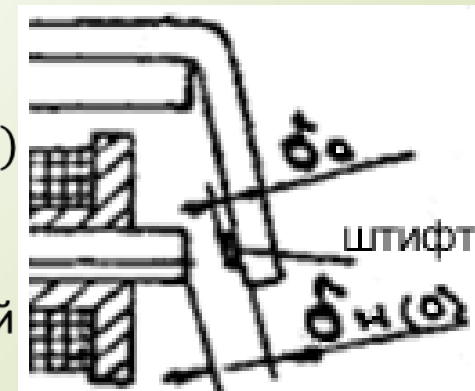
Электромагнитное усиление прямо пропорционально квадрату магнитного потока и обратно пропорционально площади воздушного зазора.

В процессе срабатывания реле изменяется длина воздушного зазора, следовательно, изменяется и электромагнитное усиление на якоре. Зависимость электромагнитного усиления от величины воздушного зазора между якорем и сердечником называется **тяговой характеристикой** электромагнитного реле  $F_{\text{Э}} = f(\delta)$ . При малых значениях зазора  $\delta$  сопротивление резко уменьшается и становится сравнимым с  $R_{\text{МСТ}}$  поэтому электромагнитное усилие не может иметь бесконечно большое значение. Практически оно достигает некоторого значения  $F_{\text{Э max}}$ .

После отключения реле часть магнитопровода сохраняют некоторое намагничивание, обусловленное **коэрцитивной силой**. Поэтому при  $\delta \rightarrow \infty$  возможно “залипание” притянутого якоря под действием остаточного магнетизма стали.



Для исключения “залипания” применяют немагнитный штифт (наклейки или прокладки), который закрепляется на вертикальной части якоря против оси сердечника. С помощью штифта ( $\delta_0 = 0,2$  мм) создается некоторый минимальный воздушный зазор  $\delta > \delta_0$  при притянутаом якоре, что облегчает отход якоря при выключении тока (создается магнитное сопротивление, которое уменьшает остаточный магнитный поток до минимального значения).

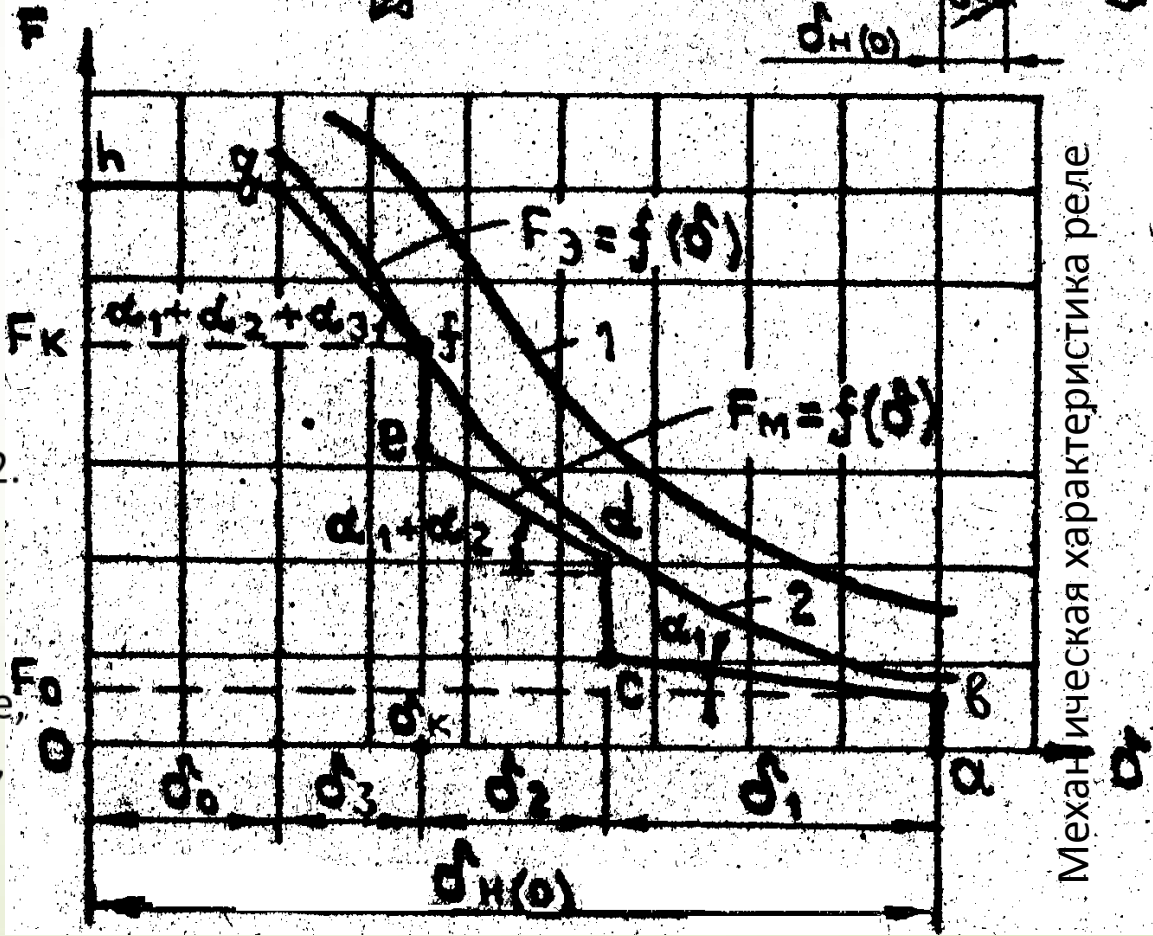
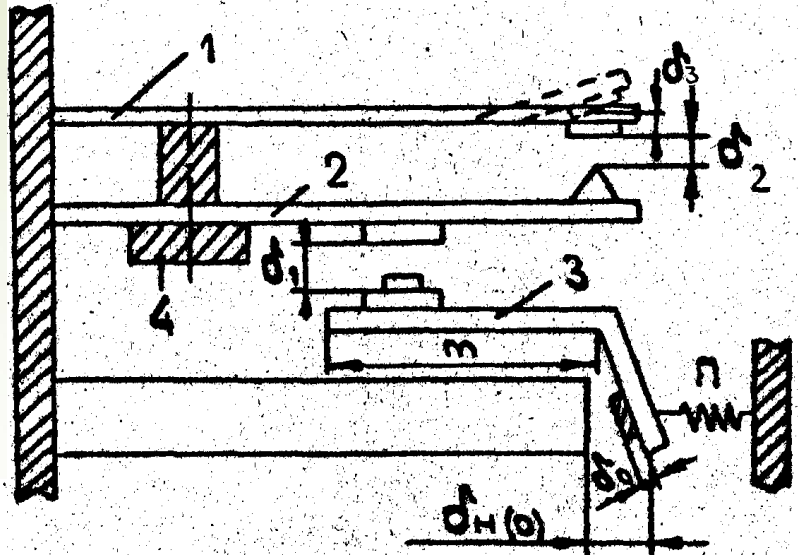




# Механическая характеристика электромагнитного реле.

При разных положениях якоря величина противодействующих сил зависит от величины воздушного зазора  $\delta$ . Зависимость противодействующих сил от величины зазора между якорем и сердечником называются **механической характеристикой реле**  $F_M = f(t)$ . Силы, преодолеваемые якорем реле при его перемещении, изображаются в виде ломанных линий.

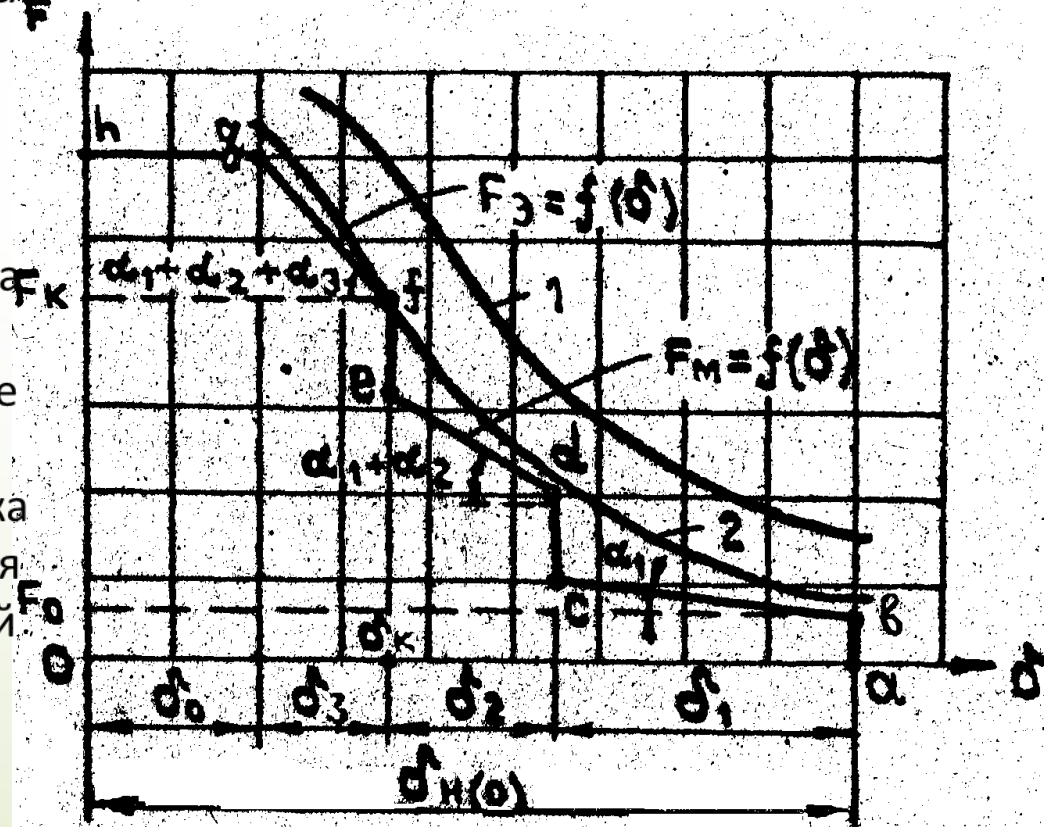
В процессе работы реле якорь 3 сначала преодолевает натяжение спиральной пружины П, а затем его мостик  $m$  после подъема на расстояние  $\delta_1$ , являющееся холостым ходом, производит замыкание контактных пружин 1 и 2. На горизонтальной оси в виде отрезка  $0a$  отложено расстояние  $\delta_{H(0)}$  между торцом сердечника и якорем в нерабочем состоянии реле, равное сумме холостого хода якоря, рабочего его хода  $\delta_2 + \delta_3$  и длине штифта отлипания  $\delta_0$ .



Механическая характеристика реле

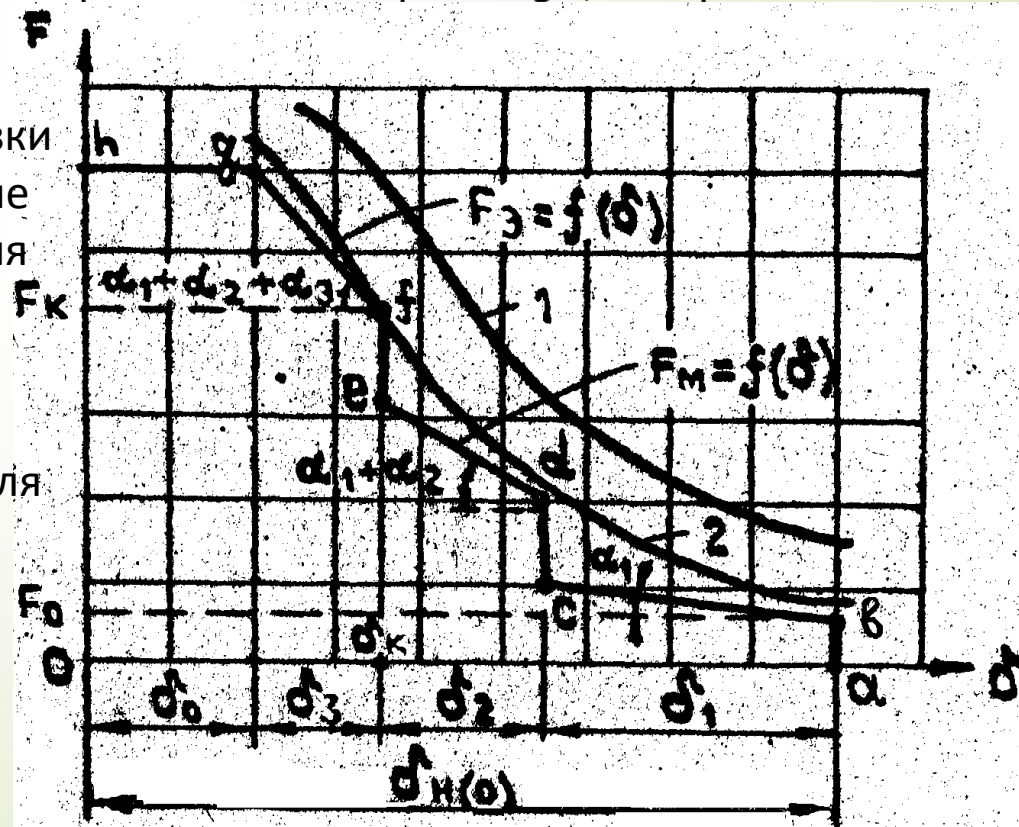
На оси ординат отложена нагрузка, которую преодолевает якорь при перемещении. В отпущенном положении якорь испытывает лишь натяжение возвратной спиральной пружины (точка В), а контактные пружины удерживаются колодкой 4 и прижимаются к нему силой предварительного натяжения, что устраняет вибрацию контактов при обратном ходе якоря. Ордината ав характеризует величину усилия  $F_0$  действующую на якорь в его исходном положении (для того чтобы сдвинуть якорь из начального положения). На протяжении холостого хода якоря (участок  $\delta_1$ ) происходит растяжение пружины П, причем нагрузка якоря изменяется равномерно по ординате вс. Угол наклона  $\alpha_1$  характеризуется упругими свойствами пружины П.

При соприкосновении упора, имеющегося на мостике т с нижней контактной пружиной 2 якорь преодолевает первоначальное натяжение этой пружины, несколько изгибая её (участок cd). В точке d нижняя контактная пружина отходит от колодки и якорь на участке de преодолевает совместное сопротивление двух пружин (возвратной спиральной и нижней контактной). Угол наклона участка de равен  $\alpha_1 + \alpha_2$ , где  $\alpha_2$  характеризуется упругими свойствами нижней контактной пружины. Перемещение якоря на этом участке характеризуется абсциссой  $\delta_2$ .

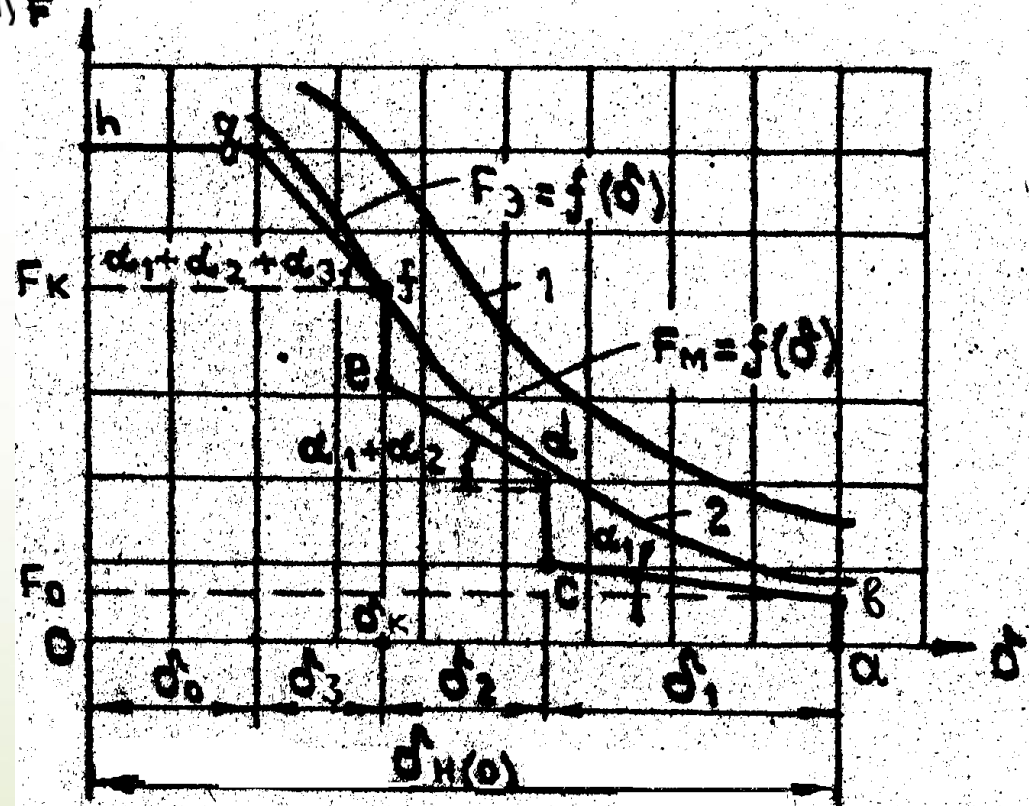


С момента снятия нижней пружины с колодки происходит подъем этой пружины до замыкания контакта между пружинами. После замыкания контакта (точка  $e$ ) якорь начинает преодолевать предварительное натяжение верхней контактной пружины – участок  $fe$ . В точке  $f$  верхняя пружина снимается с колодки и на участке  $fg$  якорь преодолевает противодействие трех пружин (двух контактных и одной спиральной). Угол наклона участка  $fg$  определяется суммой трех углов ( $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$ ), где  $\alpha_3$  характеризуется упругими свойствами верхней контактной пружины. Для надежности замыкания контактов, которое теоретически произойдет в точке  $f$ , якорь должен дополнительно переместиться на расстояние  $\delta_3$ , чтобы обеспечить необходимое контактное давление. От последней построенной точки  $g$  проведена горизонтальная прямая  $gh$ , которая определяет длину штифта отлипания  $\delta_0$ .

Из построения нетрудно понять, что отрезки ломаной линии характеризуют отдельные элементы работы пружин. Для притяжения якоря реле необходимо, чтобы электромагнитное усиление на всем пути движения якоря было больше сил, противодействующих движению якоря. Для обеспечения этого условия тяговая характеристика реле (кривая 1) должна располагаться выше его механической характеристики (кривая 2).



Однако слишком большое превышение электромагнитного усилия над противодействующими нежелательно, так как это может привести к сильным ударам якоря о сердечник и к вибрации контактов. Кроме того, ток в обмотке реле был бы чрезвычайно большим, что привело бы к недопустимому увеличению сечения проводов. Поэтому при расчете принимают расположение тяговой характеристики над механической с касанием её хотя бы в одной точке  $f$  (кривая 2). Координаты точки  $f$  ( $F_K$  и  $\delta_K$ ) называются критическими. Намагничивающая сила  $F_H$ , обеспечивающая указанное расположение характеристики и представляющая собой ампервитки ( $Iw$ ) срабатывания, рассчитывается по параметрам критического усиления  $F_K$  и расстоянию  $\delta_K \cong 0,2\delta_{H(0)}$ . Необходимо отметить, что при расчете электромагнитного усилия значение последнего выбирается по отношению к критическому  $F$  менее двух (обычно  $K_y = 2 \dots 4$ ).



Расчет начинается с определения рабочего магнитного потока.

Рабочий магнитный поток можно рассчитать из формулы Максвелла .

Намагничивающая сила  $F_H$  находится по закону полного тока

$$F_H = Iw = \sum H_i l_i.$$

Здесь:  $l_i$  - длина каждого из участков магнитной цепи;

$I$ - ток катушки;

$W$ - количество витков катушки.

Если для расчета обмотки задано рабочее напряжение  $U$  , то

$$F_H = Iw = \frac{U}{R_{об}} w.$$

Откуда

$$R_{об} = \frac{Uw}{F_H}.$$