

Электромеханическое реле

Назначение и виды реле

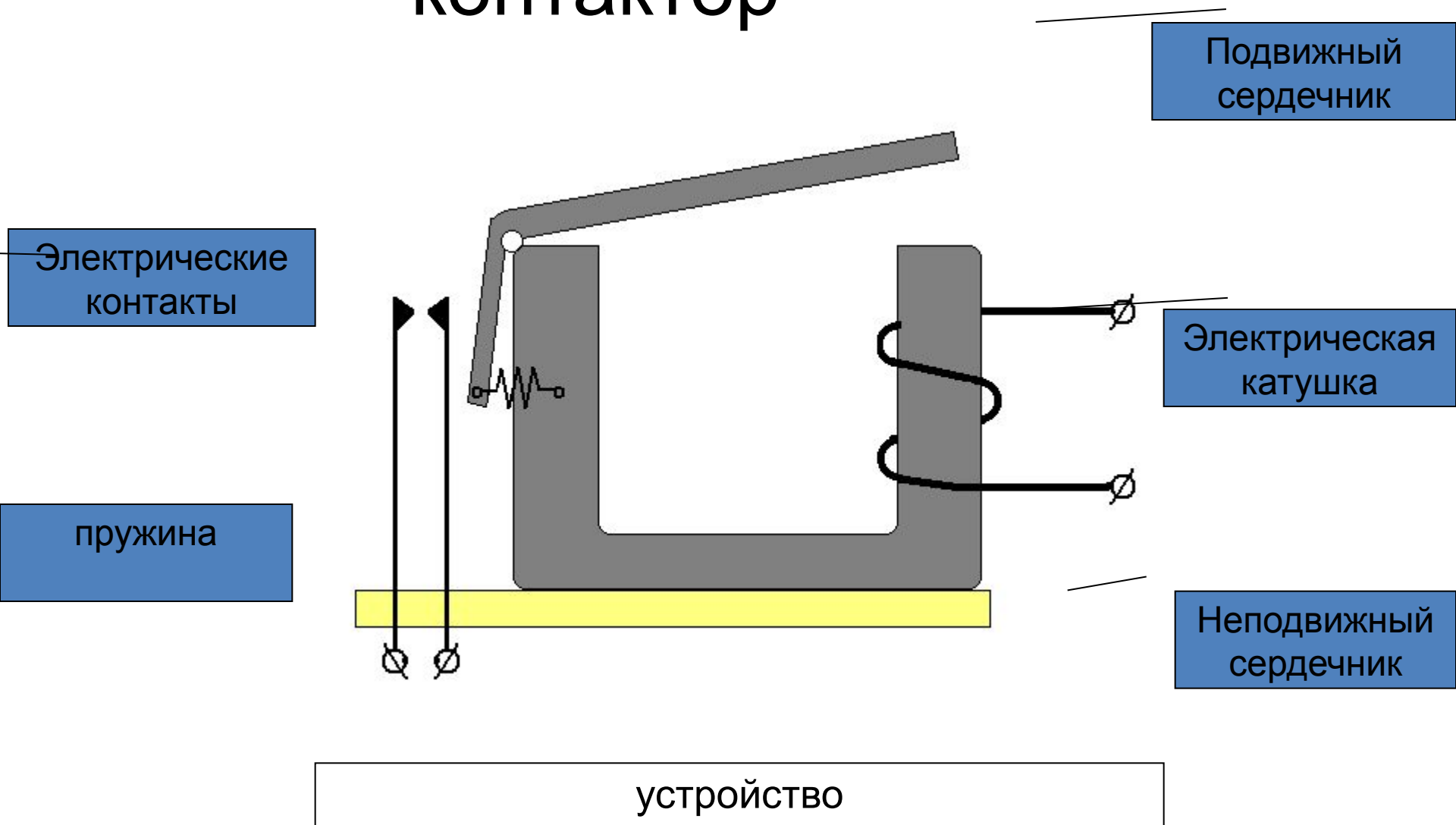
Реле - это автоматический аппарат , контролирующий значение какой-либо физической величины , называемой управляющей величиной, и изменяющий значение другой физической величины , называемой управляемой величиной.

Измерительные реле служат в качестве измерительного органа и делятся по роду контролируемой величины на реле тока, напряжения, мощности, сопротивление, частоты и др.

Виды реле : измерительные реле и логические реле.

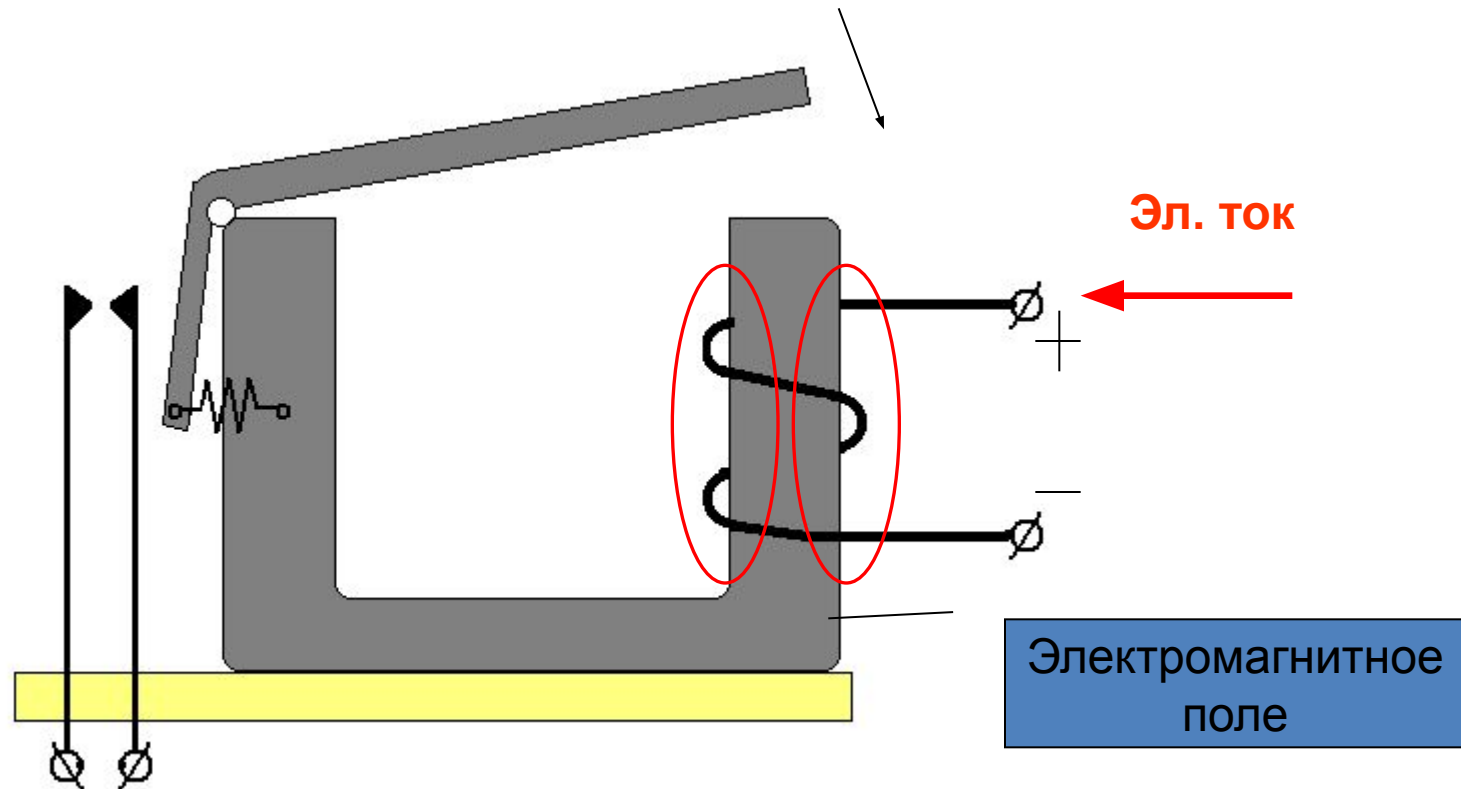
Измерительные реле служат в качестве измерительного органа и делятся по роду контролируемой величины на реле тока , напряжения , мощности , сопротивления , частоты и др.

Электромагнитное реле - контактор



Принцип работы

1

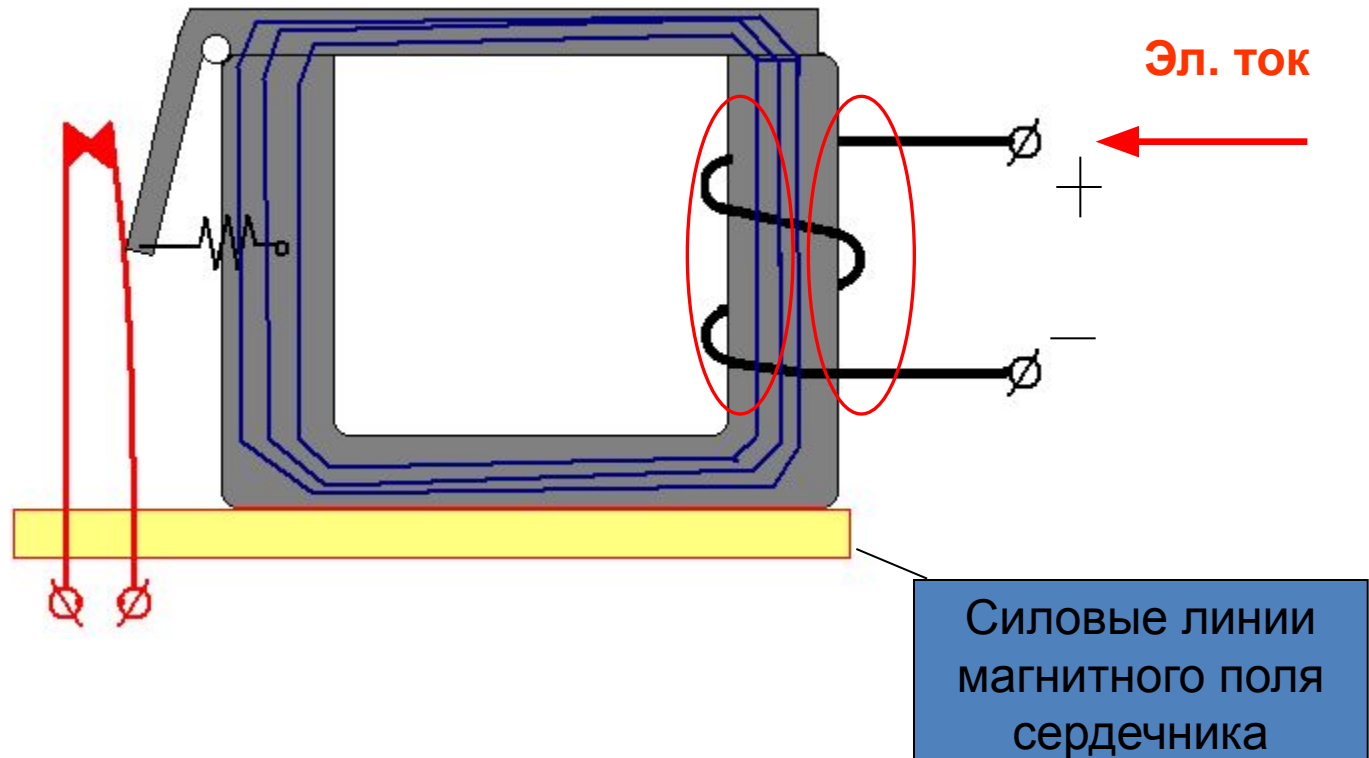


На катушку подается электрический ток. Электрический ток в катушке создает электромагнитное поле, которое намагничивает сердечник.

Принцип работы

2

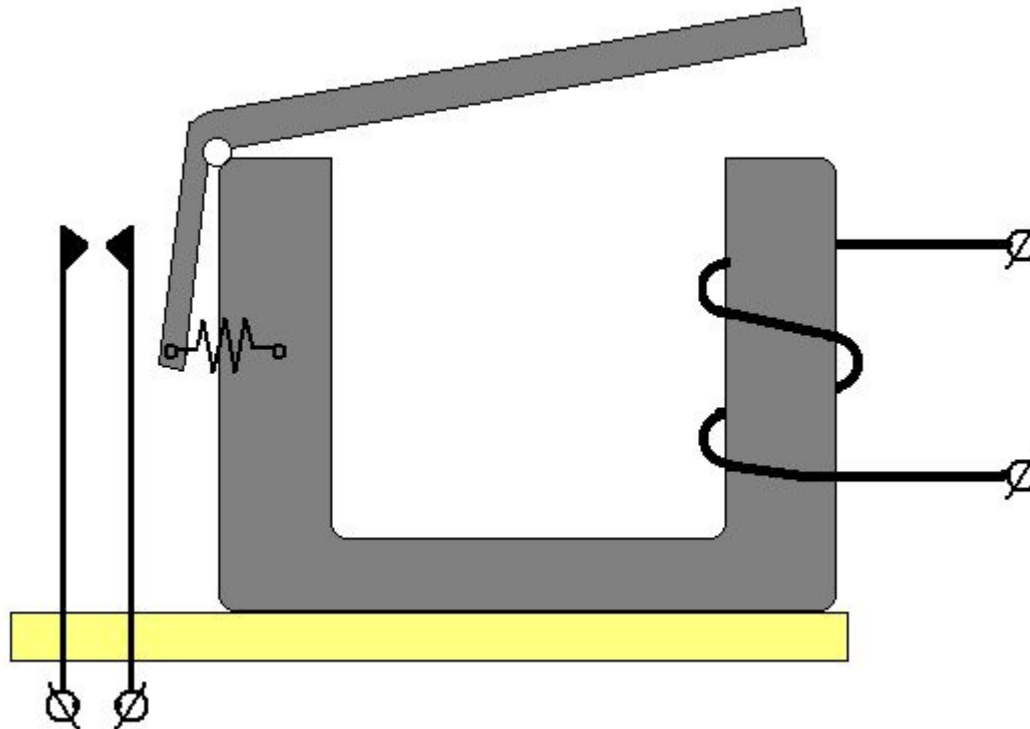
Вторичная
электрическая
цепь замкнута



Ток в катушке прерывается.
Электромагнитное поле исчезает.

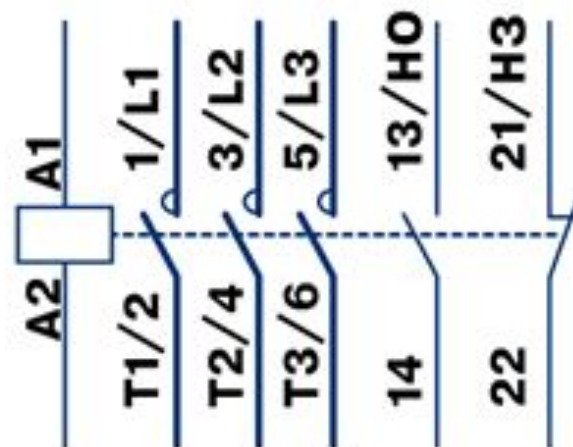
3

Вторичная
электрическая
цепь разомкнута



Пружина возвращает подвижный сердечник в исходное состояние.
Контакты вторичной цепи размыкаются

Пример – контактор КМ1



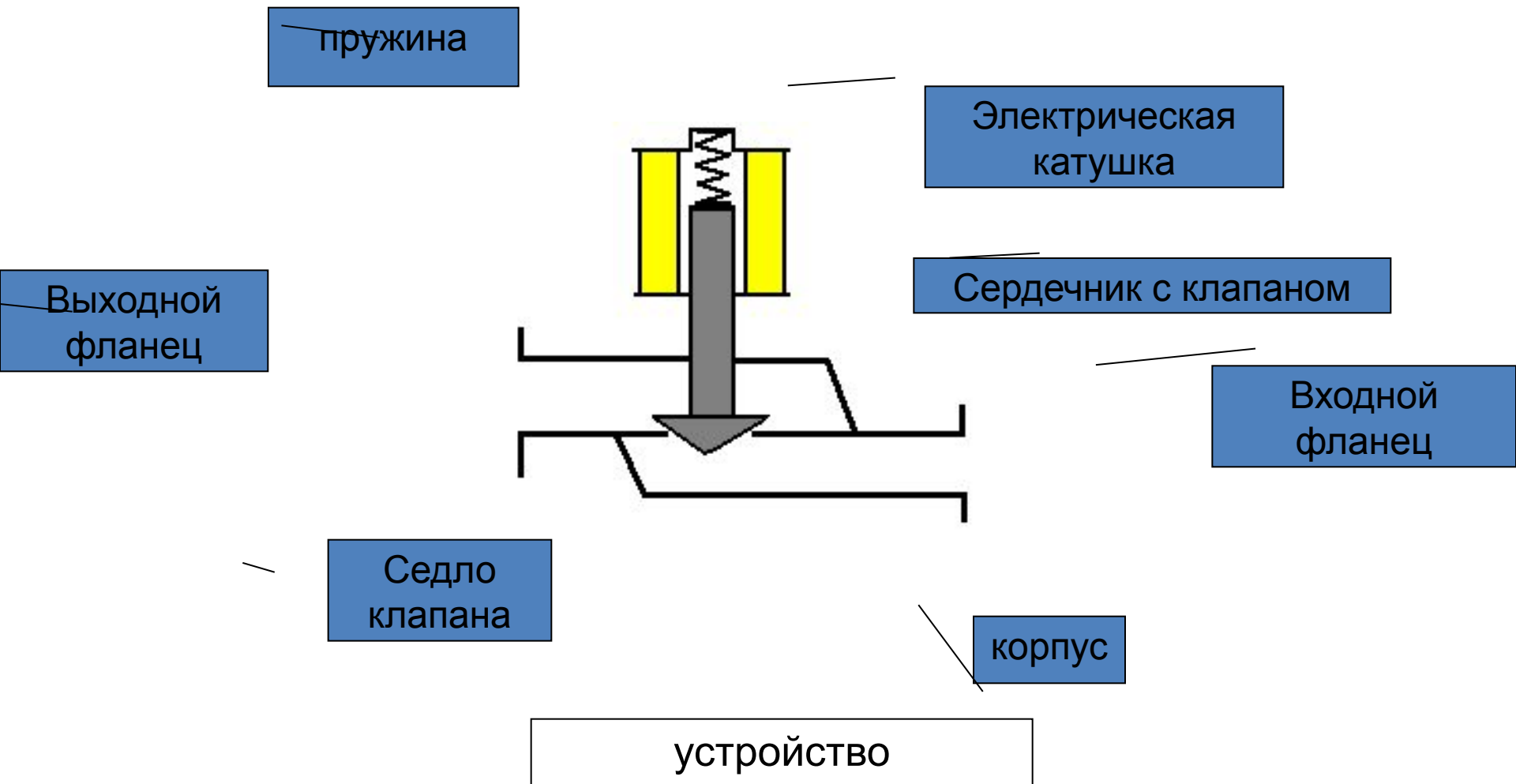
Широкая область применения

- Широкий диапазон рабочих температур от -40° до $+50^{\circ}\text{C}$
- Удобство замены втягивающей катушки
- Варианты исполнения на 12 номинальных токов: 9, 12, 18, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 95, 115, 150 A
- Срок службы не менее 15 лет

Промышленные реле и контакторы



Электромагнитный клапан

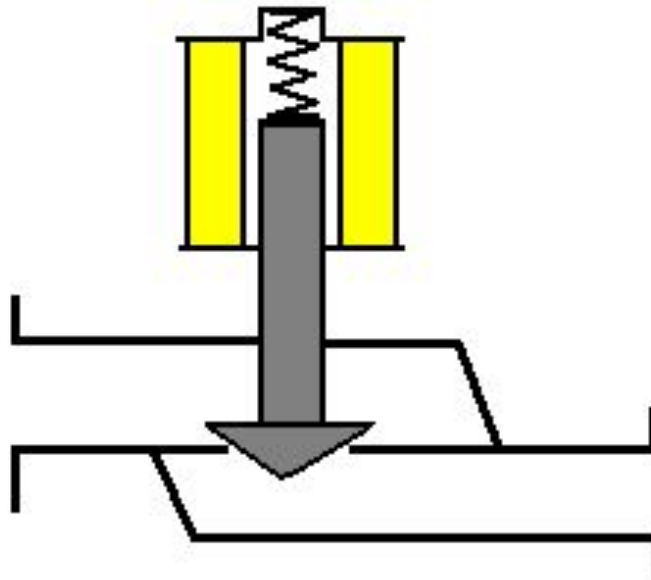


Принцип работы

1

Исходное положение.

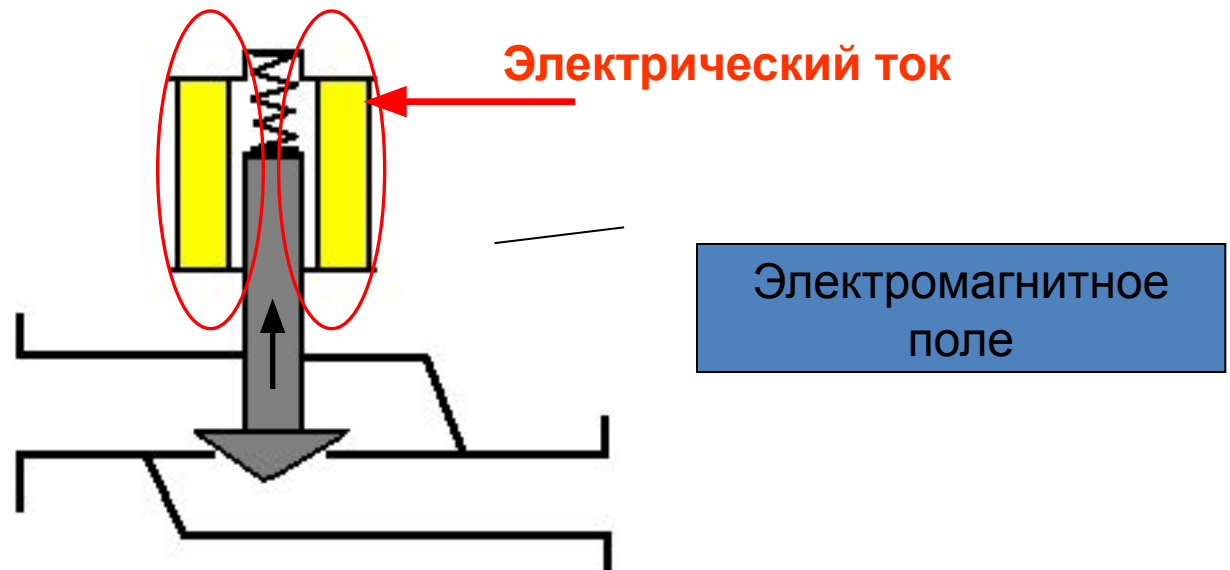
Ток в катушке не протекает.



Пружина прижимает сердечник с клапаном к седлу.
Проход закрыт.

Принцип работы

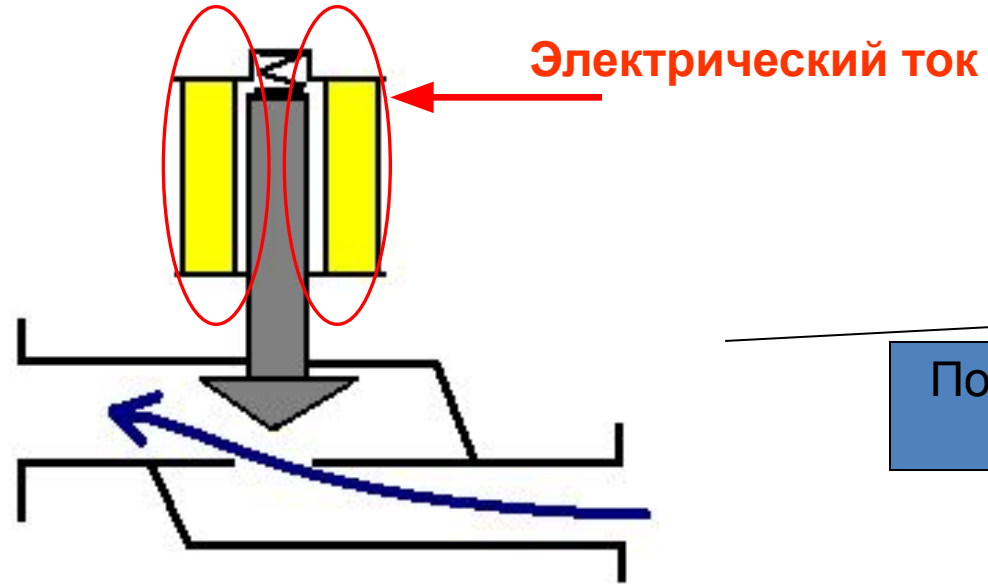
2



Когда на катушку подается электрический ток, в ней возникает электромагнитное поле, которое намагничивает сердечник и сердечник втягивается в катушку сжимая пружину.

Принцип работы

3

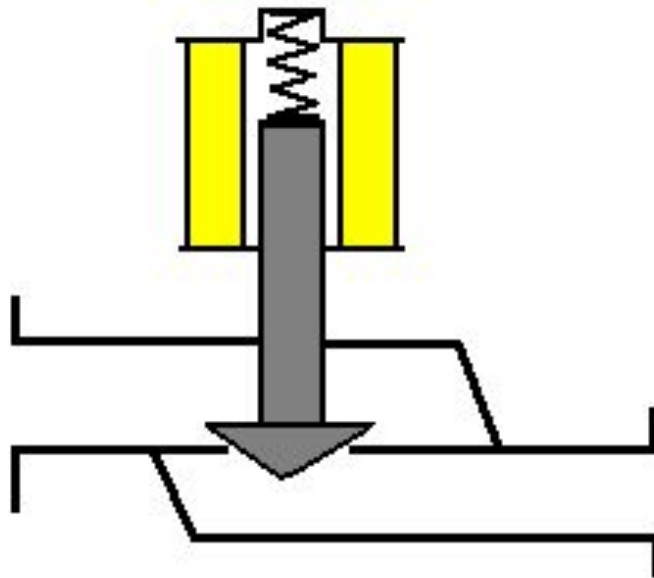


Поток жидкости
или газа

Открывается проход потоку жидкости или газа

Принцип работы

4



При обесточивании катушки электромагнитное поле исчезает и пружина опускает клапан на седло. Проход закрывается.

Примеры электромагнитных клапанов

Burkert тип131



2-х ходовой самоподпирающийся клапан
Ду -15 до 50мм, давление 0,5-6 бар,
температура от 0°C до +70°C
Среда: щелочи, кислоты,
окислители, солевые растворы,
загрязненное масло

Burkert тип142

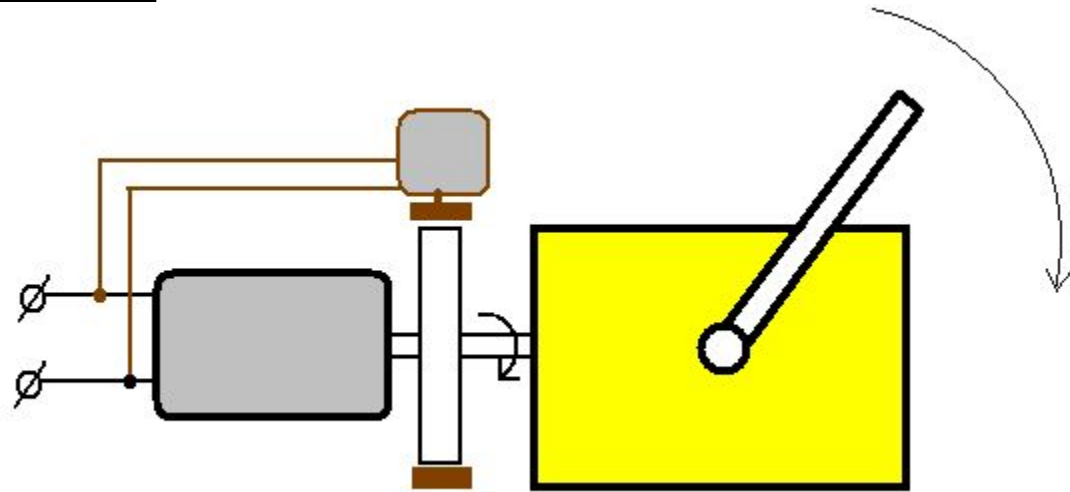


2-х и 3-х ходовые клапаны прямого действия
Ду от 10 до 20мм, давление 0-1 бар,
температура от -10°C до +70°C
Среда: сжатый воздух, бытовой газ,
вода, гидравлическое масло,
загрязненные масло и жир, щелочи,
кислоты, окислители, солевые
растворы

электропривод

Тормоз
электрический

Рабочий рычаг

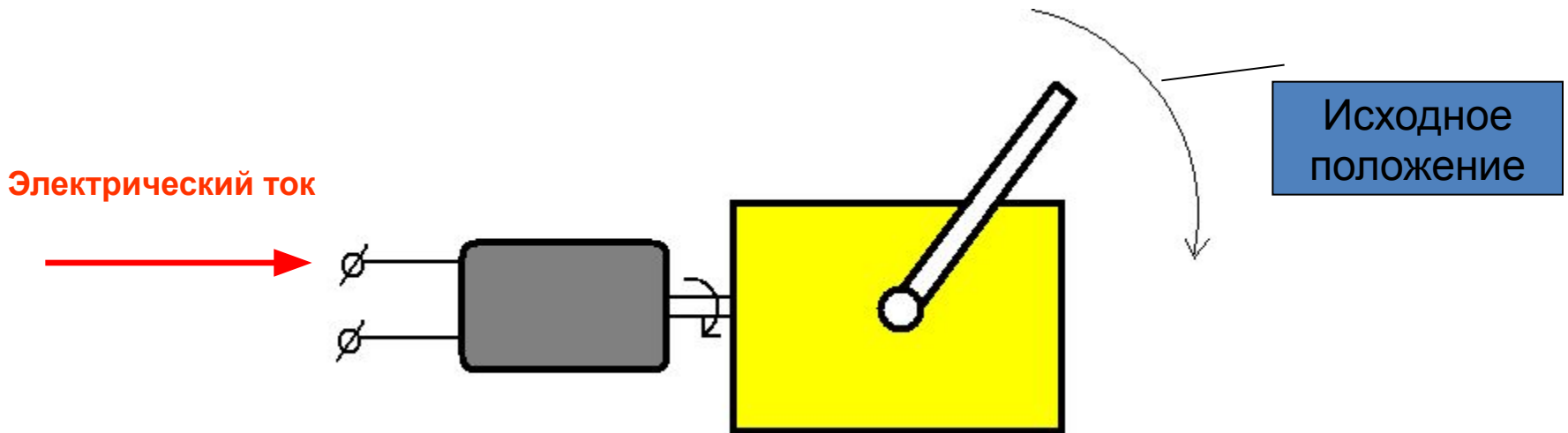


электродвигатель

редуктор

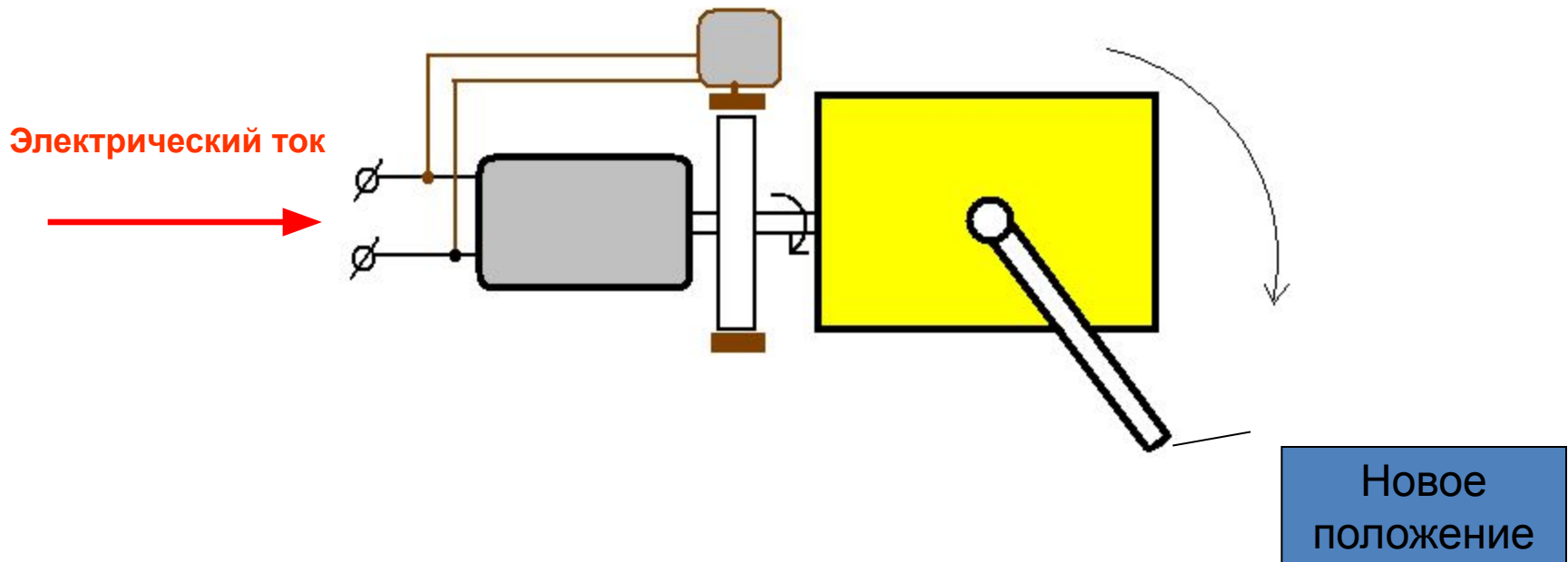
устройство

Принцип работы



На двигатель подается электрический ток.
Двигатель вращается и вращает первичный вал редуктора.

Принцип работы



Рычаг, закрепленный на выходном валу редуктора, поворачивается и перемещает рабочий орган.

Пример электропривода

МЭО-40/10-0,25-99

Состав механизма:

- электродвигатель синхронный
- тормоз механический
- редуктор червячный
- ручной привод
- блок сигнализации положения реостатный БСПР, индуктивный БСПИ, токовый БСПТ или блок концевых выключателей БКВ
- рычаг
- блок конденсаторов



Основные технические характеристики

Крутящий момент на выходном валу	- 40 Нм
Время полного хода выходного вала	- 19 с
Значение полного хода выходного вала	- 0,25 рад
Потребляемая мощность	- 240 Вт

Пример сервопривода

Управляющее
устройство
сервопривода



Входы для
подключени
я датчиков
положения

Электродвигате
ль

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.

Измерительные реле прямого действия

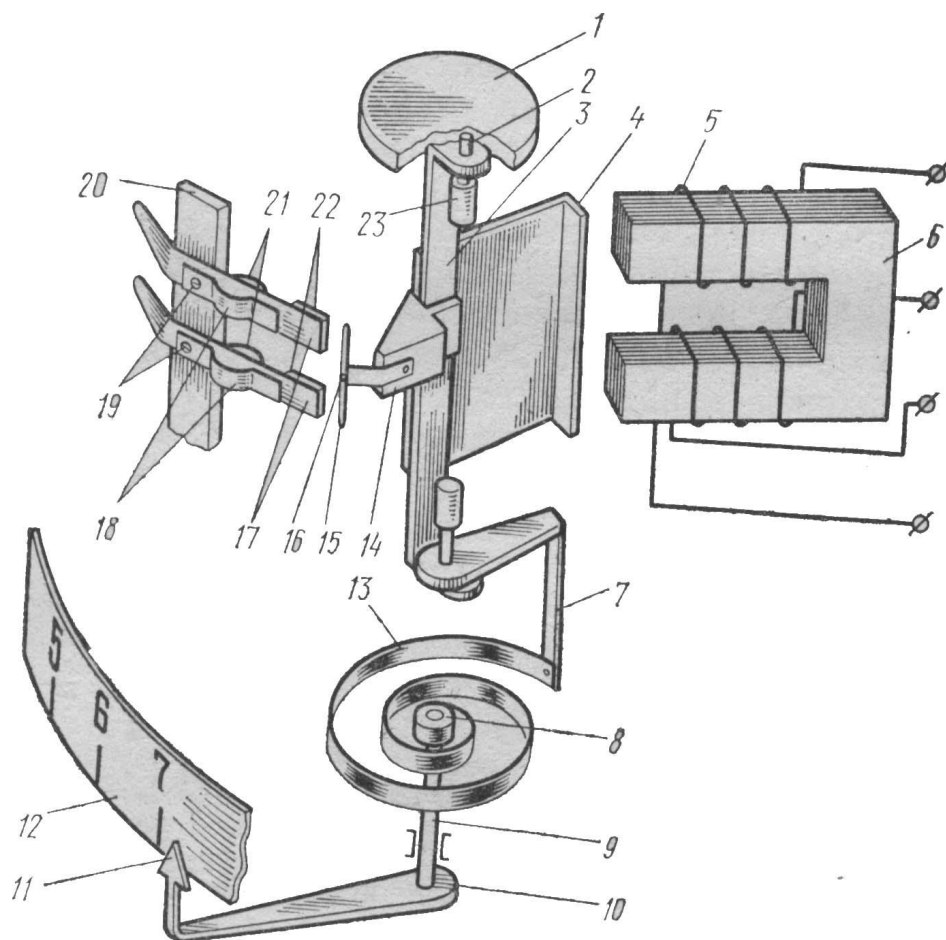
Измерительные первичные реле прямого действия, в которых воспринимающая часть включена непосредственно в контролируемую силовую цепь, получили наиболее широкое распространение в рассмотренных ранее автоматах для электроустановок напряжением до 100 В.

Вторичные реле прямого действия используют в приводах высоковольтных выключателей с ручным или пружинным приводом.

Логические реле

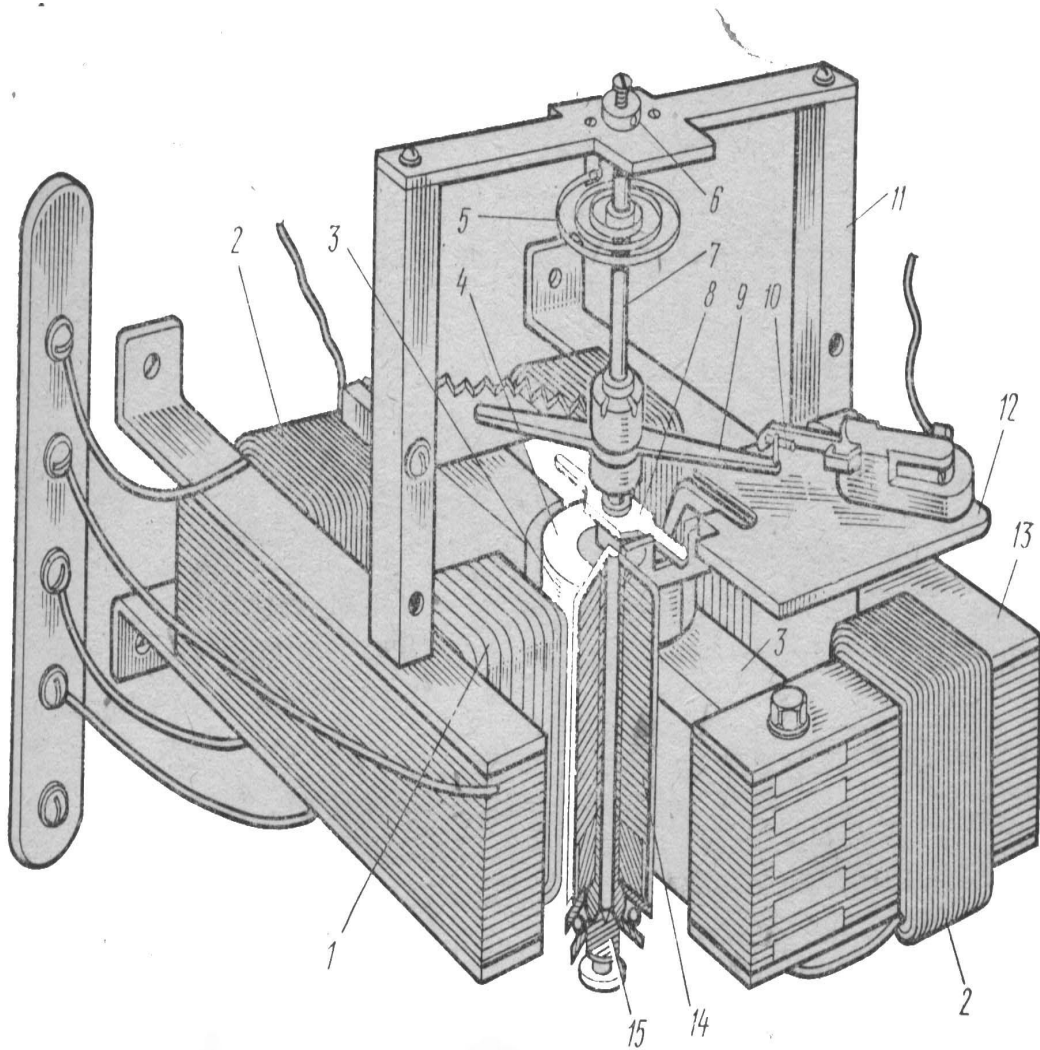
Логические реле служат для размножения импульсов , полученных от основных реле , усиления этих импульсов и передачи команд другим аппаратам , создания выдержек времени между отдельными операциями и для регистрации действия как самих реле , так и других вторичных аппаратов.

Измерительные реле



1. Демпфер
2. Цапфа
3. Планка
4. Якорь
5. Обмотка
6. Сердечник
7. Поводок
8. Втулка
9. Ось
10. Поводок
11. Свободный конец
12. Шкала
13. Пружина
14. Пластмассовая колодка
15. Подвижный контактный мостик
16. Ось
17. Контактные пружины
18. Задний упор
19. Винты
20. Пластмассовая колодка
21. Передние упоры
22. Контактная пластина
23. Оправка

Реле мощности.



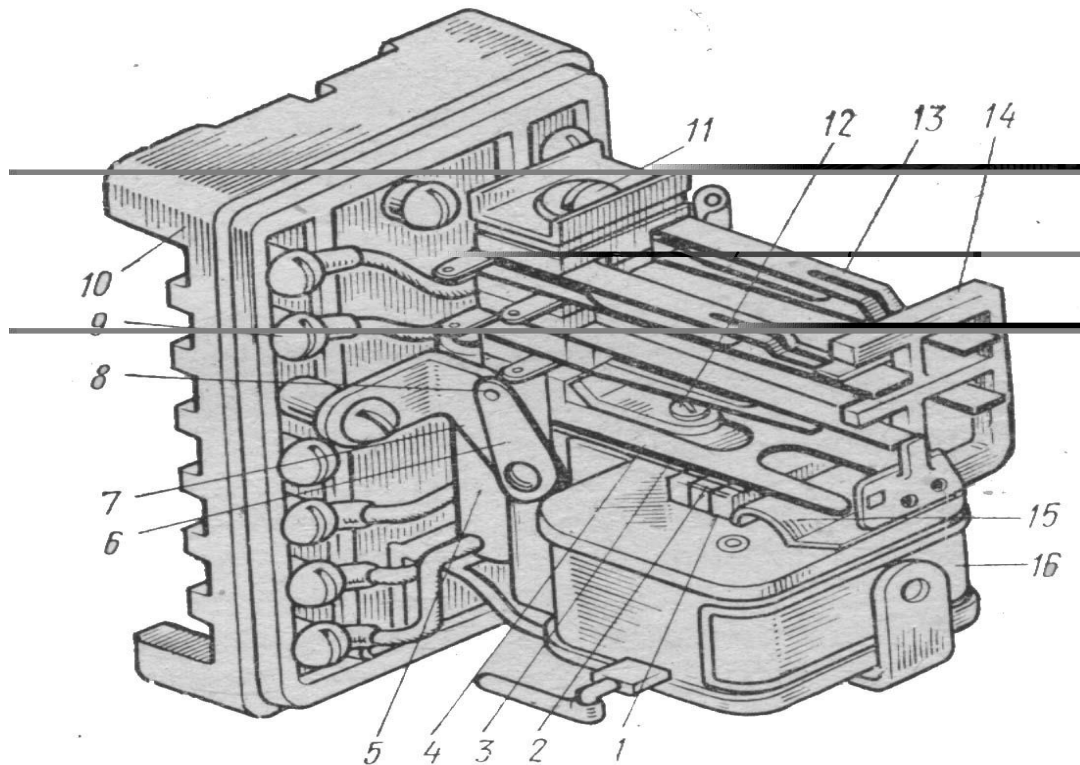
1. Обмотка
2. Обмотка напряжения
3. Выступающие внутрь полюса
4. Алюминиевый ротор
5. Спиральная пружина
6. Подпятник
7. Ось
8. Ограничитель
9. Подвижный контакт
10. Неподвижный контакт
11. Стойка
12. Специальная площадка
13. Замкнутый ярм
14. Сердечник
15. Подпятник

Промежуточные реле

Они относятся к разряду логических ,куда входят также сигнальные реле, реле времени и другие , характеризующиеся срабатыванием или возвратом при дискретном изменении воздействующей величины.

Промежуточные реле обычно используют в устройствах релейной защиты, когда требуется размножить сигнал, полученный от измерительных реле, и обеспечить большую мощность выходного.

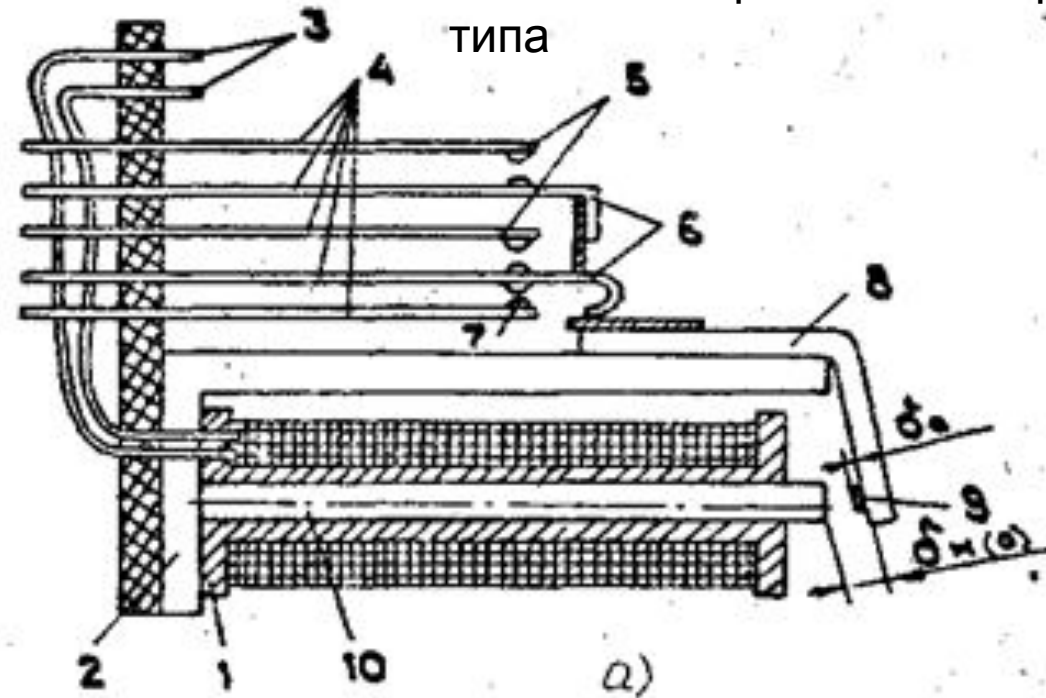
Промежуточное реле



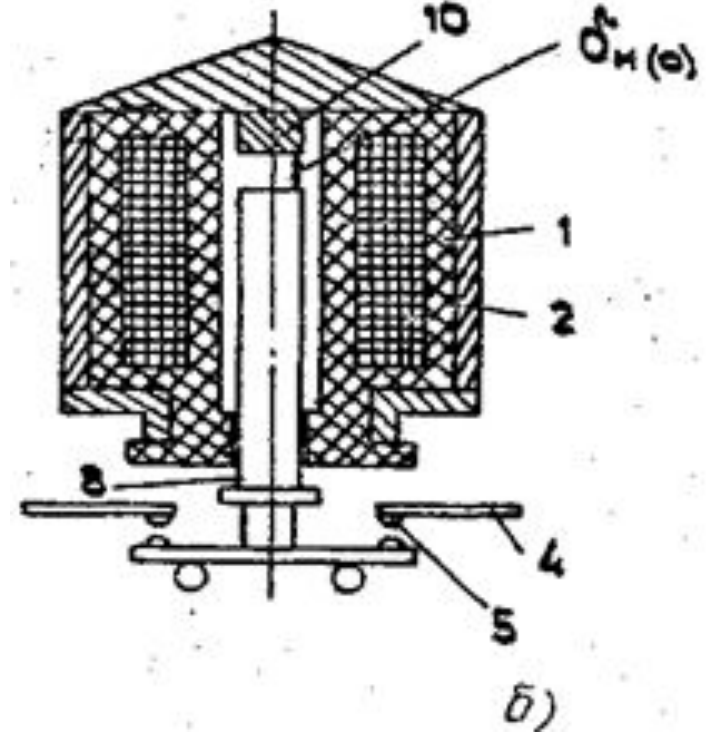
1. Сердечник
2. Медная пластина
3. Якорь
4. Поводок
5. Резистор
6. Пластинка оси
7. Скоба
8. Ось
- 9,11,и 12. Винты
10. Основание
13. Контактные пластины
14. Изоляционная рамка
15. Пластинка для закрепления каркаса обмотки на сердечнике магнитопровода
16. Обмотка

Схемы электромагнитных реле клапанного типа

типа



а)



б)

с угловым движением

с втягиваемым внутрь катушки

якоря

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.

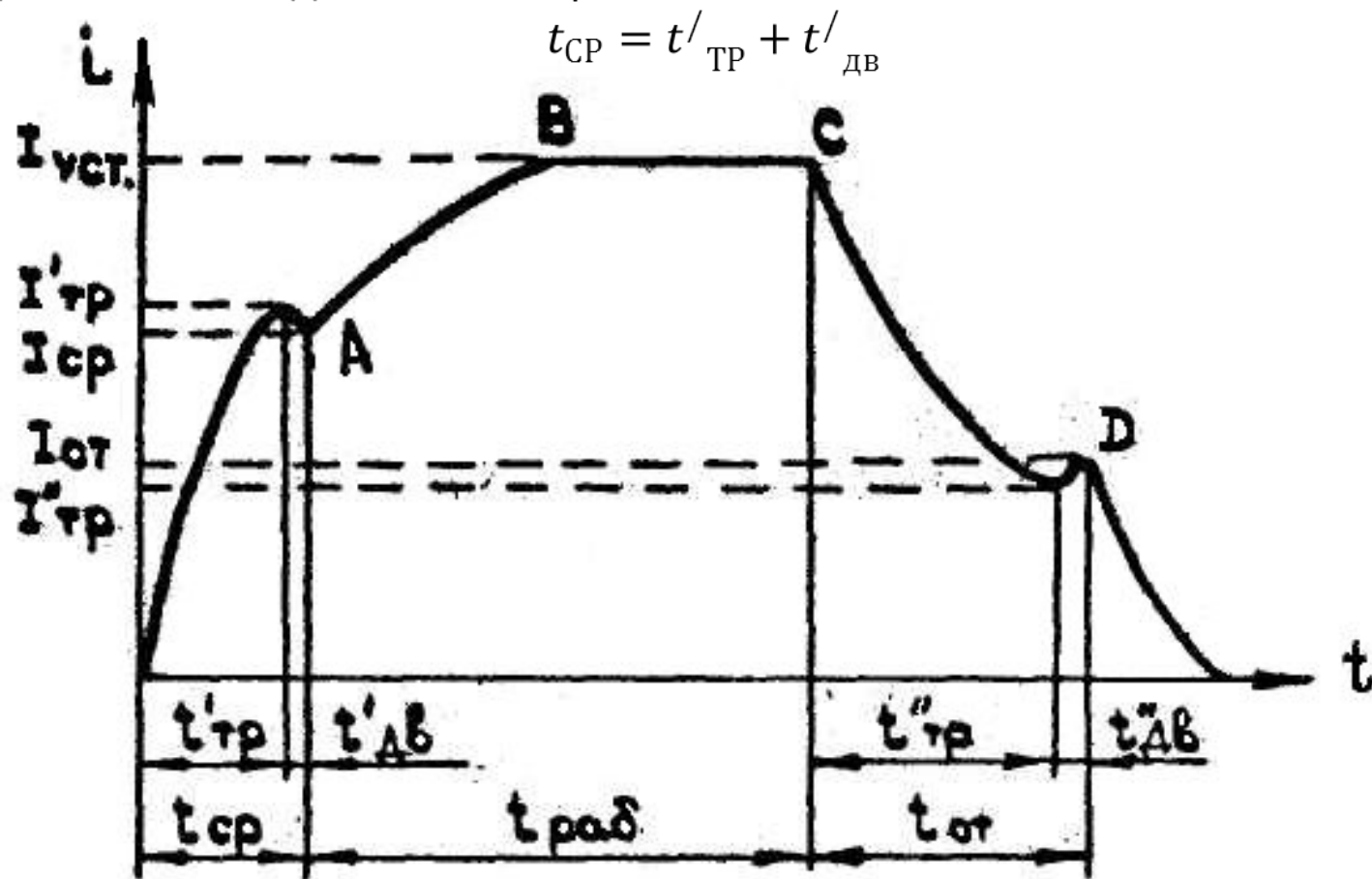
Количество **контактных пружин** в разных конструкциях реле 2...16 и более. Рабочий “ход” контактных пружин (максимально возможного перемещения из основного положения в положения “замкнуто” или “разомкнуто”) для различных конструкций реле составляют 2,0...3,5 мм и не зависит от числа контактных пружин. 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 **A** и **B**. Натяжение пружин для группы **A** – **10 г**, для **B** – **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 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 А); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток соответствующий началу движения якоря; I_{CP} - ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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 А); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; I_{CP} - ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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).

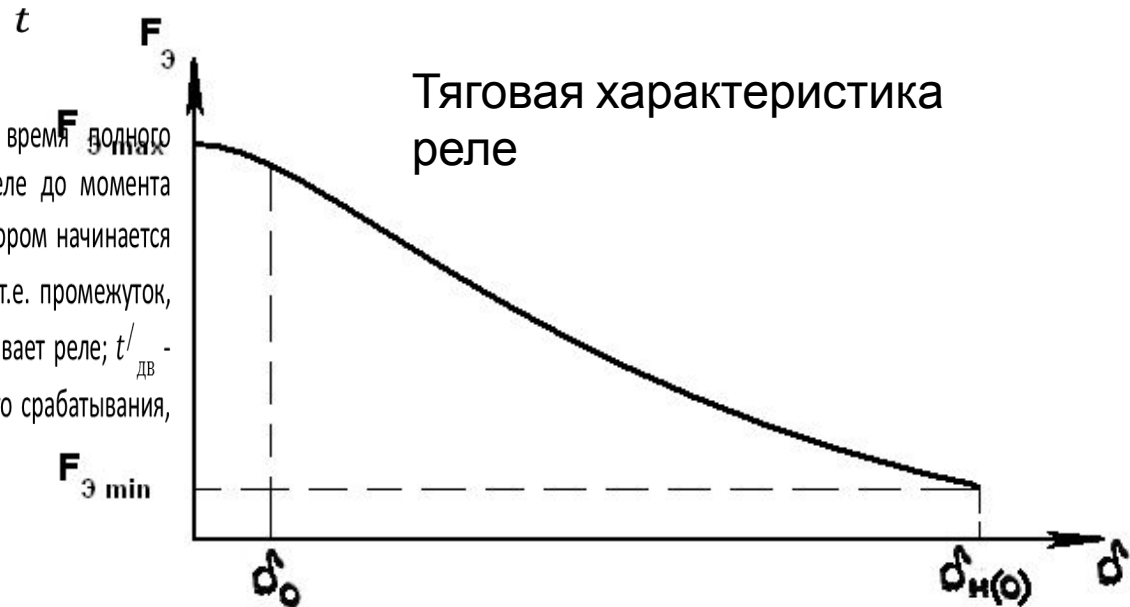
Этап 1 – срабатывание реле. Длительность этого этапа – время полного срабатывания t_{CP} т.е. от момента подачи напряжения на катушку реле до момента надежного замыкания контактов (точка A); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое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

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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 А); 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

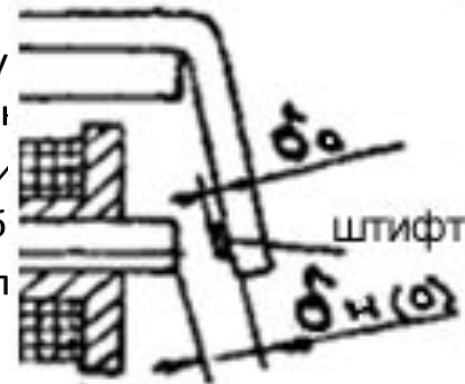
Этап 1 – срабатывание реле. Длительность этого этапа – время полного срабатывания t_{CP} т.е. от момента подачи напряжения на катушку реле до момента надежного замыкания контактов (точка А); I'_{TP} - величина тока, при котором начинается движение якоря; t'_{TP} - время, за которое ток достигает это 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

$$t_{CP} = t'_{TP} + t'_{лр}$$



Этап 1 – срабатывание реле. Длительность этого этапа срабатывания t_{CP} т.е. от момента подачи напряжения на катушку надежного замыкания контактов (точка А); 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

$$t_{CP} = t'_{TP} + t'_{лр}$$

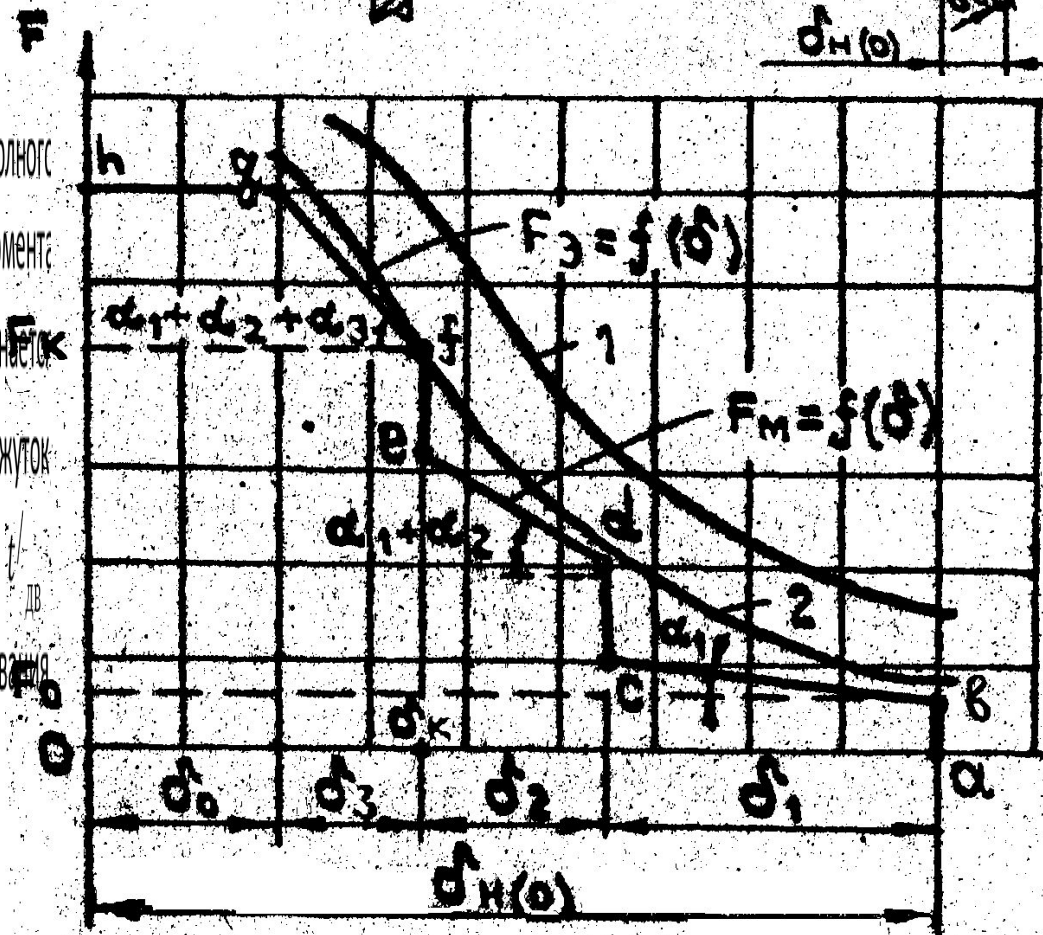
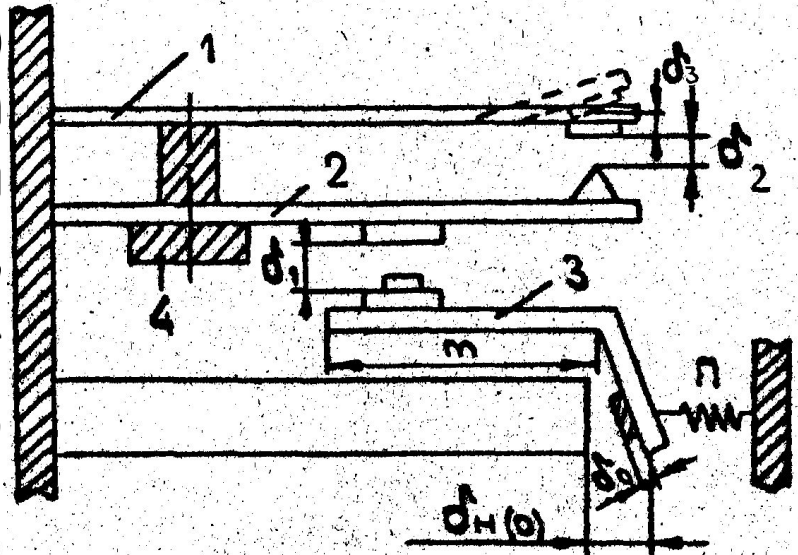


Этап 1 – срабатывание реле. Длительность этого этапа – время полного срабатывания t_{CP} т.е. от момента подачи напряжения на катушку реле до момента надежного замыкания контактов (точка А); I'_{TP} – величина тока, при котором начинается движение якоря; t'_{TP} – время, за которое ток достигает это 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

$$t_{CP} = t'_{TP} + t'_{ДВ}$$

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 А); 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

$$t_{CP} = t'_{TP} + t'_{ДВ}$$



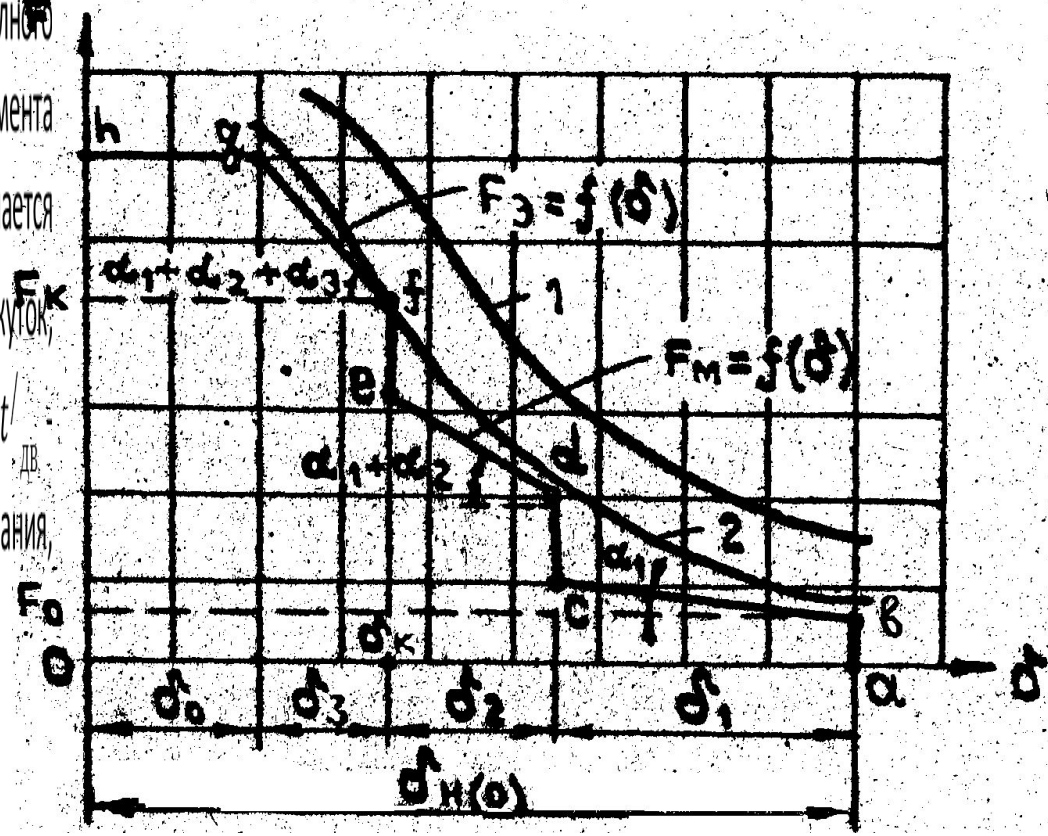
Механическая характеристика реле

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 А); 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

$$t_{CP} = t'_{TP} + t'_{ДВ}$$

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 А); 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

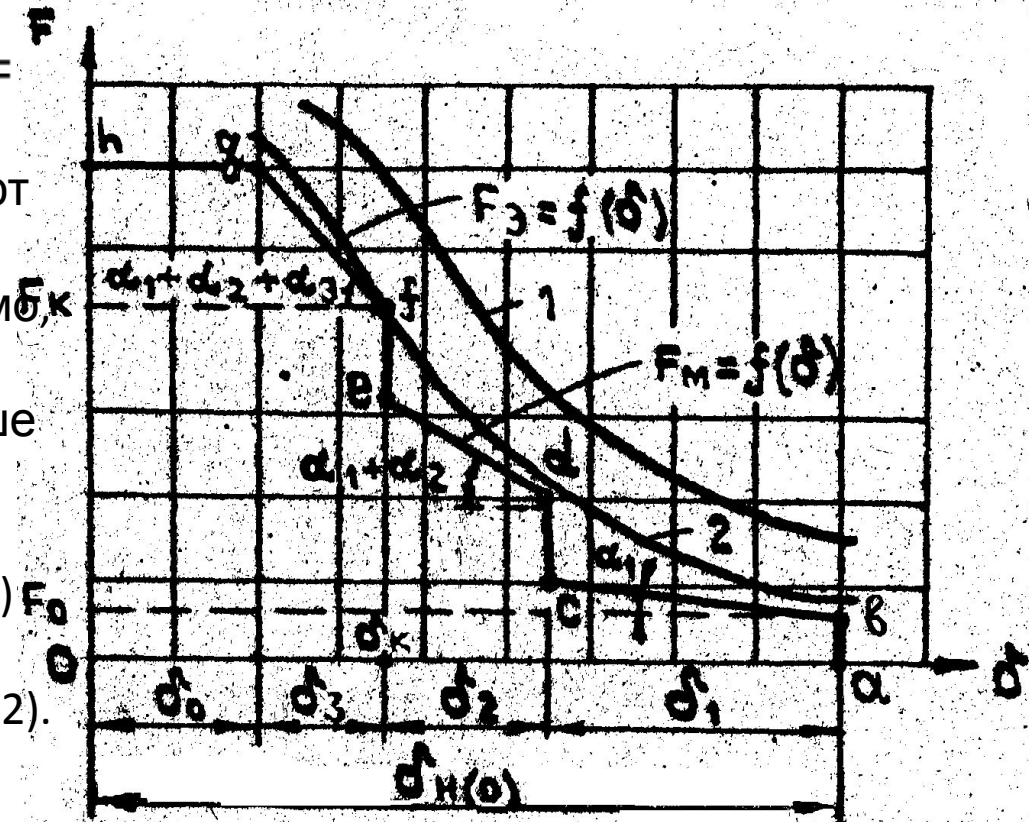
$$t_{CP} = t'_{TP} + t'_{ДВ}$$



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 А); $I'_{ТР}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{ТР}$ - 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

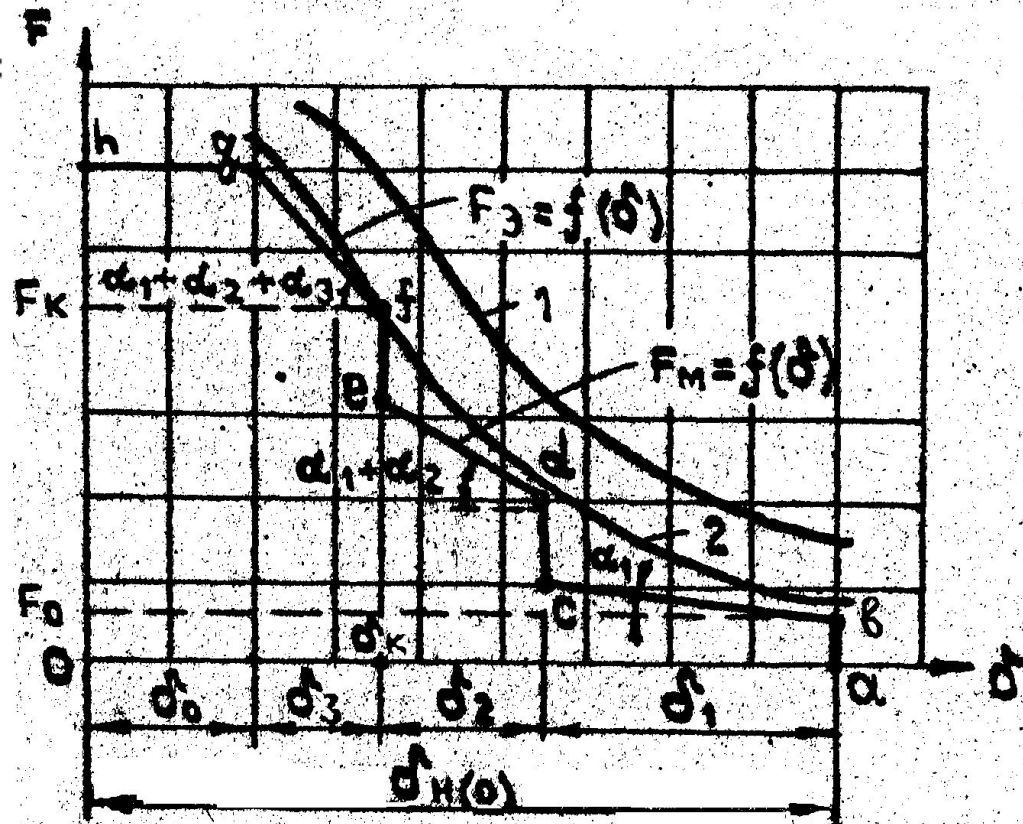
$$t_{CP} =$$

Из построения нетрудно понять, что отрезки ломанной 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).



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 А); $I'_{ТР}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{ТР}$ - 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

$$t_{CP} =$$



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 А); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; I_{CP} - ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

РАСЧЕТ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ СИЛЫ ОБМОТКИ

Геометрические размеры реле магнитной системы трапецеидального «ходу» контактных пружин l_x и рекомендуемые соотношения

$l_3 / l_4 \approx 1,4$	$l_4 / l_5 \approx 1,6$	$l_6 / l_5 \approx 0,8$
$l_5 / D \approx 1,66$	$l_5 / a \approx 1,88$	$l_5 / l_2 \approx 5,5$
$l_7 \approx 0,5 \dots 1 \text{ мм}$	$l_8 \approx 2 \dots 5 \text{ мм}$	$l_4 / l_6 = X^5$

где D – диаметр сердечника, a – сторона квадрата. При расчете также следует считать, что

площадь сердечника $S_{\text{срд}}$ равна площади воздушного зазора, а площадь ярма $S_{\text{я}}$ в два раза меньше площади сердечника (ярмо и якорь выполнены из материала одного сечения).

Для изготовления магнитопроводов реле применяют магнитомягкие материалы с малой коэрцисивной силой и высокой магнитной проницаемостью (160...8000 А/м). Из магнитомягких материалов используют:

- низкоуглеродистые стали марок А, Э;
- кремнистые стали марок Э11, Э21, Э31, Э41 и др.; а также холоднокатаные стали Э310, Э330, Э340;

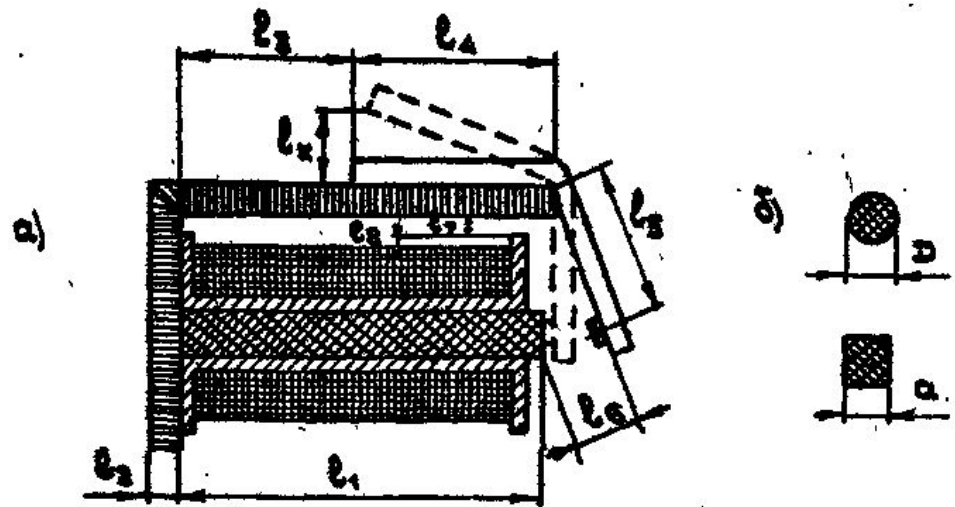


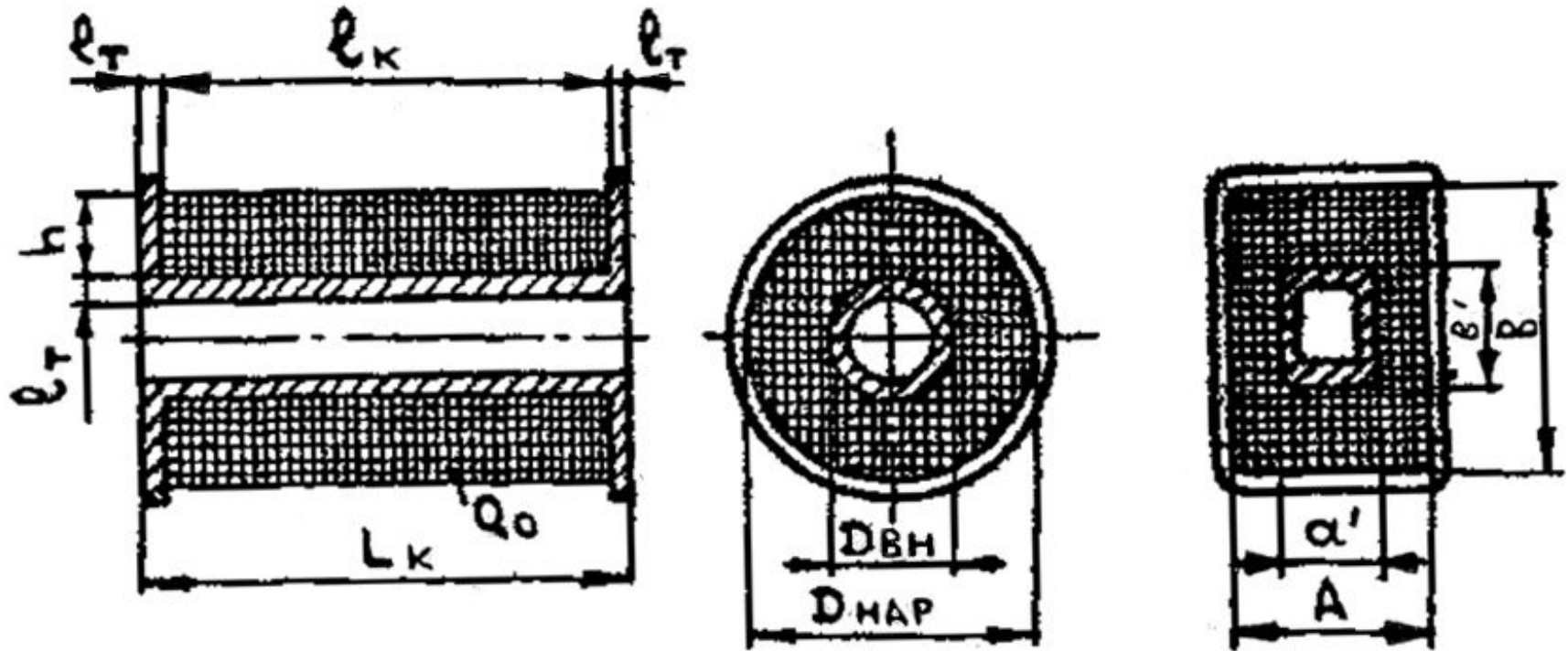
Схема магнитопровода реле

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 А); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; I_{CP} - ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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 А); $I'_{ТР}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{ТР}$ - 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

$$t_{CP} = t'_{ТР} + t'_{ДВ}$$



Катушка характеризуется длиной каркаса L_K (при расчете принять $L_K = 0,98 * l_1$), длиной l_K и высотой h окна намотки, а также внутренним и внешним размерами намотки.

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

$$t_{\text{СР}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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 А); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; I_{CP} - ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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

$$t_{\text{СР}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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 А); $I'_{\text{ТР}}$ – величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ – время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; I_{CP} – ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ – время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$

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 А); $I'_{\text{ТР}}$ - величина тока, при котором начинается движение якоря; $t'_{\text{ТР}}$ - время, за которое ток достигает это значение, т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; I_{CP} - ток, при котором срабатывает реле; $t'_{\text{ДВ}}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря

$$t_{\text{CP}} = t'_{\text{ТР}} + t'_{\text{ДВ}}$$