

Электромеханические элементы релейной защиты



Литература:

Федосеев А.М., Федосеев М.А. Релейная защита электрических систем: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 528 с.

Гельфанд Я.С. Релейная защита распределительных сетей. М.: Энергоатомиздат, 1987. 367 с.

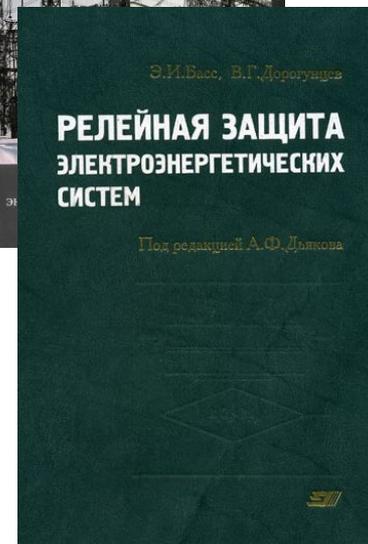
Чернобровов Н.В., Семенов В.А. Релейная защита энергетических систем. Учебное пособие для техникумов. М.: Энергоатомиздат, 2007.-800 с.

Электрические цепи с ферромагнитными элементами в релейной защите/ А.Д. Дроздов, А.С Засыпкин, С.Л. Кужеков и др.; под общ. ред. В.В. Платонова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.

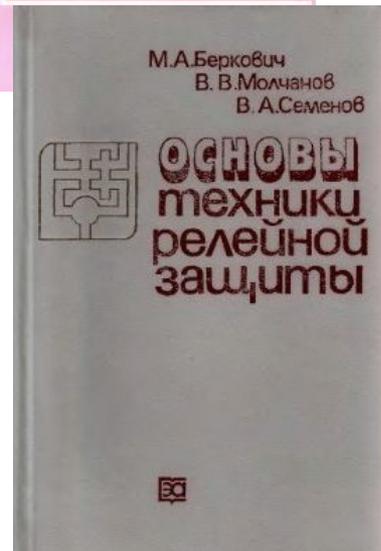
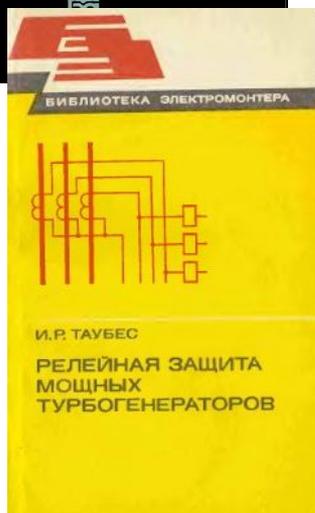
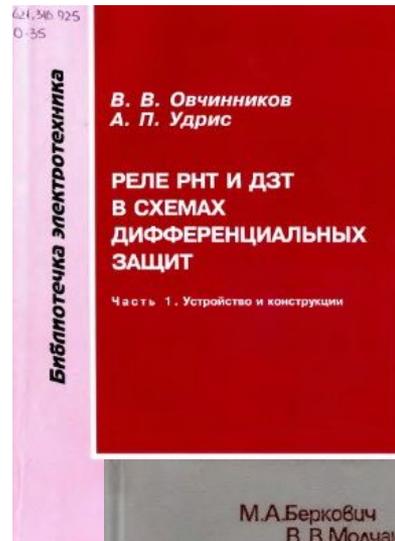
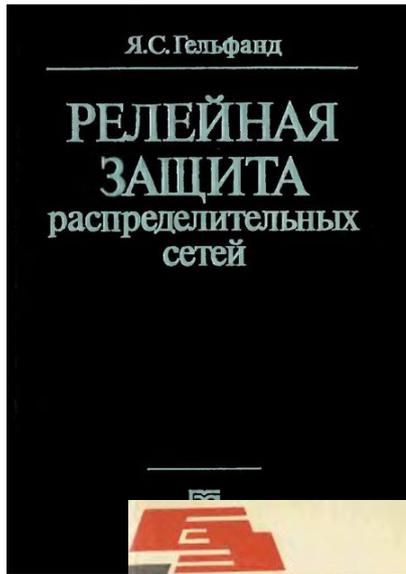
Дроздов А.Д. Несимметричные переходные режимы в электрических системах и цепях релейной защиты. – Новочеркасск: Изд-во НПИ, 1977. – 76 с.

Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 296 с.

Релейная защита

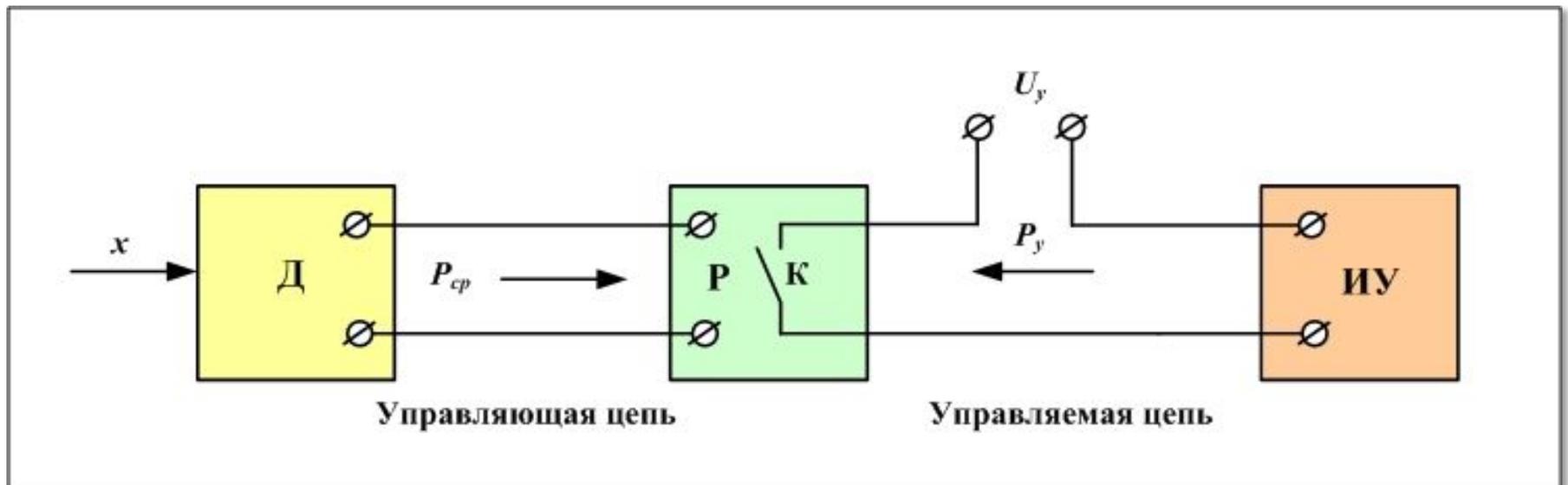


Релейная защита



Определения и классификация

- **Реле** — это устройство, которое автоматически осуществляет скачкообразное изменение (переключение) выходного сигнала под воздействием управляющего сигнала, изменяющегося непрерывно в определенных пределах.



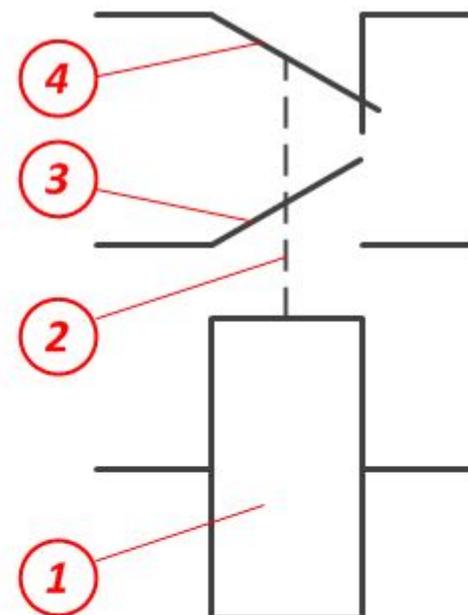
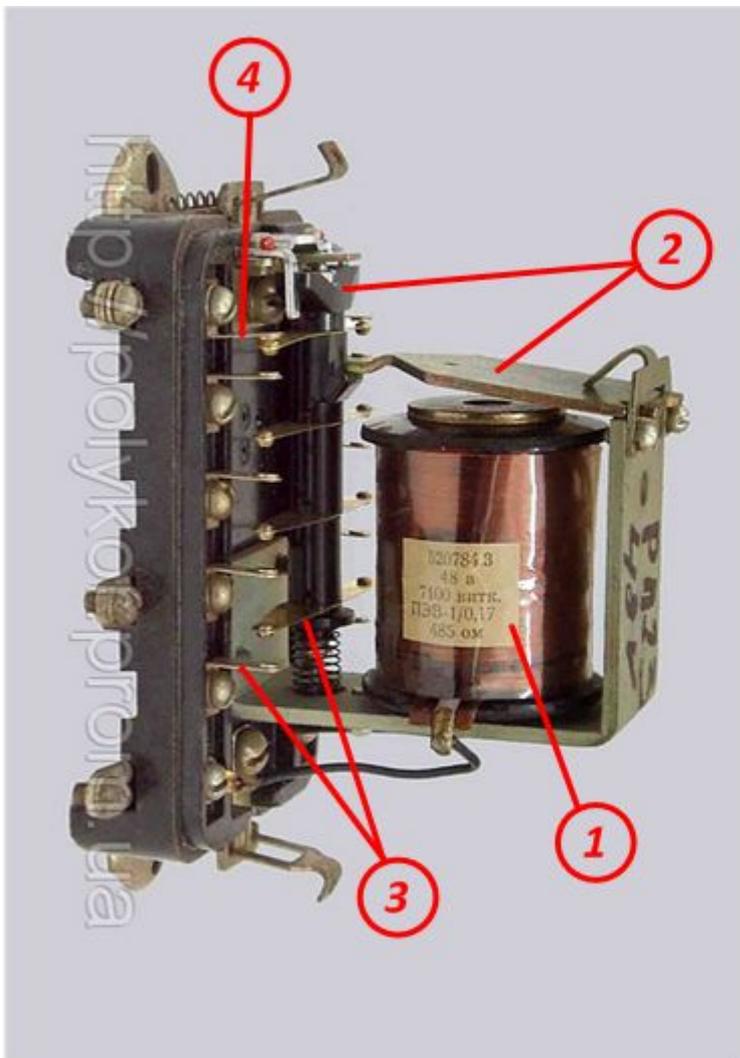
Релé (фр. *relais*) — элемент автоматических устройств, который при воздействии на него внешних физических явлений скачкообразно принимает конечное число значений выходной величины

RELAIS

- 1) (chevaux de) relais — сменные, перекладные лошади
- 2) пункт перегрузки, перепряжки; почтовая станция, место смены лошадей
- 3) этап
- 4) перен. посредник, средство связи (*между людьми*)
- 5) посменная работа (*équipe de relais* — смена)
- 6) спорт (course par, de) relais — эстафета, эстафетный бег

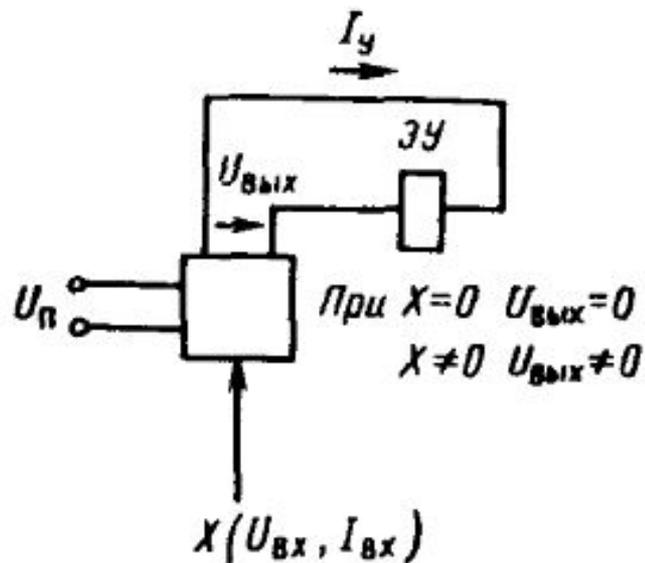
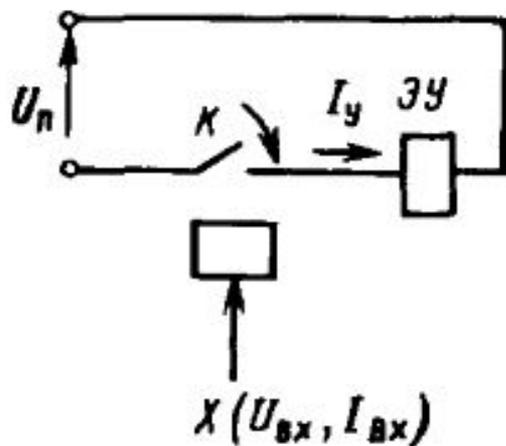
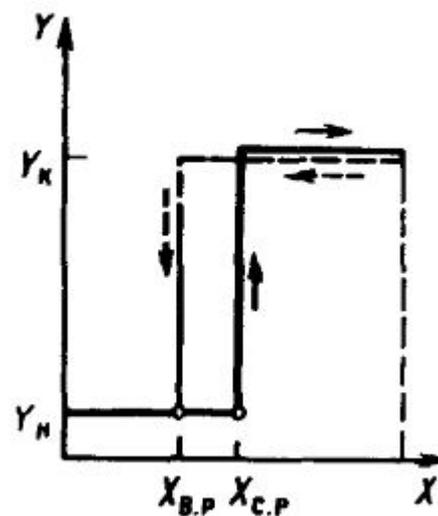
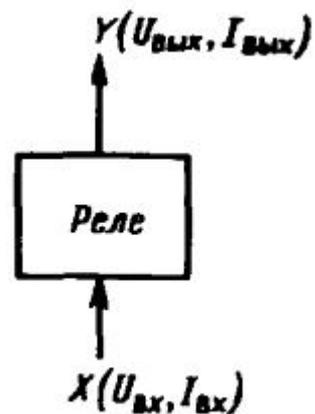
.....

Изображение реле на схемах



- 1 – катушка реле
- 2 – механическая часть
- 3 – контакт замыкающий
- 4 – контакт размыкающий

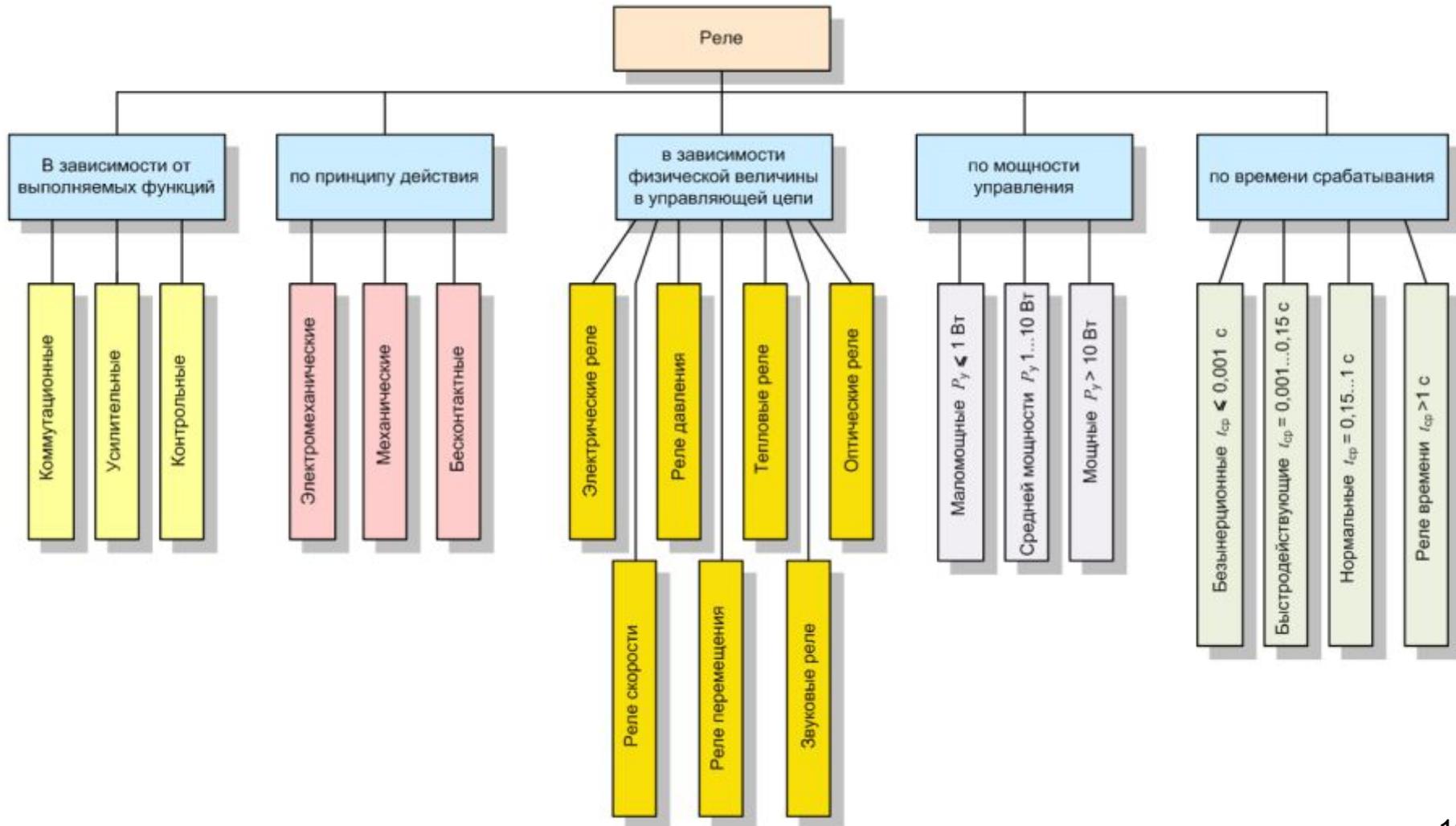
Релейная характеристика



Определения и классификация

- Мощность срабатывания $P_{\text{ср}}$ – минимальная электрическая мощность, которая должна быть подведена к реле от управляющей цепи для его надежного срабатывания.
- Мощность управления $P_{\text{у}}$ – максимальная электрическая мощность в управляемой цепи, при которой контакты реле еще работают надежно.
- Допустимая разрывная мощность $P_{\text{р}}$ – мощность в цепи, разрываемой контактами при определенном токе или напряжении без образования устойчивой электрической дуги.

Определения и классификация



- Коэффициент управления K_y – величина, равная отношению управляемой мощности к мощности срабатывания реле: $K_y = P_y / P_{cp}$; $K_y \geq 1$

- Время срабатывания t_{cp} – интервал времени от момента поступления сигнала из управляющей цепи до момента начала воздействия реле на управляемую цепь.
- Чувствительность – минимальное значение величины управления, приводящее к срабатыванию реле.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЕ

В системе энергоснабжения возможны следующие режимы работы энергетического оборудования и электрических сетей:

1. Нормальный режим: $I_{\text{раб}} \leq I_{\text{ном}}$, $t_{\text{раб}} \rightarrow \infty$;
2. Ненормальный режим (перегрузка): $I_{\text{раб}} > I_{\text{ном}}$, $t_{\text{раб}}$ ограничено;
3. Аварийный: $I_{\text{раб}} \gg I_{\text{ном}}$, $t_{\text{раб}} \rightarrow 0$.

Основные требования, предъявляемые к релейной защите

К релейной защите предъявляются следующие основные требования:

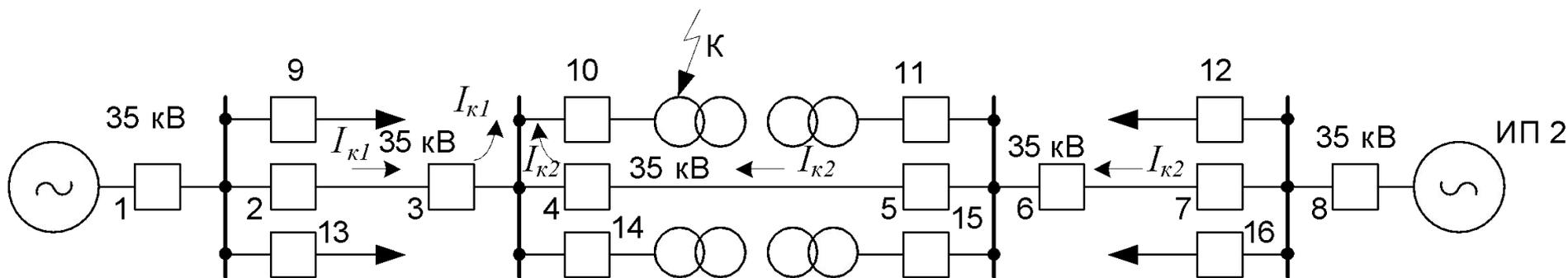
- 1. Быстродействие;*
- 2. Селективность;*
- 3. Чувствительность;*
- 4. Надежность.*

Быстродействие – способность работать с минимально допустимой выдержкой времени. Без выдержки времени могут работать только защиты, обладающие абсолютной селективностью (дифференциальные, высокочастотные первые ступени токовых защит – токовые отсечки).

Для обеспечения устойчивости параллельной работы генераторы, трансформаторы, линии электропередачи, по которым осуществляется параллельная работа и все другие части электрической установки или электрической сети должны оснащаться быстродействующей релейной защитой. Современные устройства быстродействующей релейной защиты имеют время действия 0,02–0,1 сек. Для распределительных сетей такое быстродействие необязательно. Оно определяется термической устойчивостью, но и в этом случае следует стремиться к минимально возможной выдержке времени. Время срабатывания быстродействующей ступени защиты должно составлять 0,05–0,1 сек.

Селективность (избирательность)

Селективность - способность защиты отключать при КЗ только поврежденный участок сети. Все неповрежденные элементы и участки электросети остаются в работе. При одностороннем питании должен отключаться ближайший от поврежденного элемента выключатель, а при двустороннем – ближайшие от него с двух сторон выключатели. При КЗ в точке К должен отключиться выключатель 10, а выключатели 1 – 8 должны остаться включенными, несмотря на прохождение через элементы этих цепей токов КЗ $I_{к1}$ и $I_{к2}$. Отключение других выключателей привело бы к прекращению электроснабжения приемников электроэнергии, не имеющих повреждений. Для несложных сетей и электроустановок избирательность достигается настройкой релейной защиты на срабатывание при различных токах и времени.



Чувствительностью релейной защиты называют ее способность реагировать на все виды повреждений и ненормальные режимы, которые могут возникать в пределах основной защищаемой зоны и зоны резервирования, при проверке чувствительности токовых защит используют значение двухфазного ТКЗ, как имеющего минимальную величину:

$$K_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{к min}}}{I_{\text{ср}}}$$

где $I_{\text{к min}}$ – минимальный ТКЗ;

$I_{\text{ср}}$ – ток срабатывания защиты.

$$(K_{\text{ч}} > 1).$$

Чувствительность защиты должна также обеспечивать ее действие при повреждениях на смежных участках. Так, например, если при повреждении в точке **К** по какой-либо причине не отключится выключатель 10, то должна подействовать защита следующего к источникам питания выключателям 3 и 4 и отключить этот выключатель. Такое действие защиты называется дальним резервированием смежного или следующего участка.

Коэффициенты чувствительности нормируются в ПУЭ, и величина их составляет для КЗ в защищаемой зоне $K_{\text{ч}} = 1,5$; в зоне резервирования – $K_{\text{ч}} = 1,2$; для быстродействующих дифференциальных защит $K_{\text{ч}} = 2$.

Ток срабатывания защиты должен быть меньше тока короткого замыкания на величину определяемую коэффициентом чувствительности ($K_{\text{ч}}$). Уставка по напряжению и сопротивлению должна быть больше параметров напряжения и сопротивления срабатывания на такую же величину. Коэффициент чувствительности учитывает погрешности реле, расчета параметров, влияние переходного сопротивления и электрической дуги в месте КЗ

Надежность – способность защиты безотказно действовать в пределах установленной для нее зоны и не работать ложно в режимах, при которых действие релейной защиты не предусматривается.

Защита должна правильно и безотказно действовать на отключение выключателей оборудования при всех его повреждениях и нарушениях нормального режима работы, для действия при которых она предназначена, и не действовать в нормальных условиях, а также при таких повреждениях и нарушениях нормального режима работы, при которых действие данной защиты не предусмотрено, и должна действовать другая защита. Требование надежности обеспечивается совершенством принципов защиты и конструкций аппаратуры, добротностью деталей, простотой выполнения, а также уровнем эксплуатации.

ФУНКЦИИ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ И ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ЕЕ СВОЙСТВАМ

Релейная защита от КЗ обычно выполняется в виде автономных устройств, включаемых на элементах электрической системы, реагирующих на КЗ в заданных зонах и действующих на выключатели этих элементов. Совокупность указанных зон должна охватывать всю защищаемую систему, с тем чтобы ни одна ее точка не оказывалась незащищенной (например, соединения между трансформаторами тока и выключателями, втулки последних и т.д.).

Функции релейной защиты заключаются как в срабатывании при внутренних повреждениях, так и в несрабатывании в случаях внешних повреждений, а также в несрабатывании в нормальных и ненормальных режимах работы, электрической системы при отсутствии в ней повреждений.

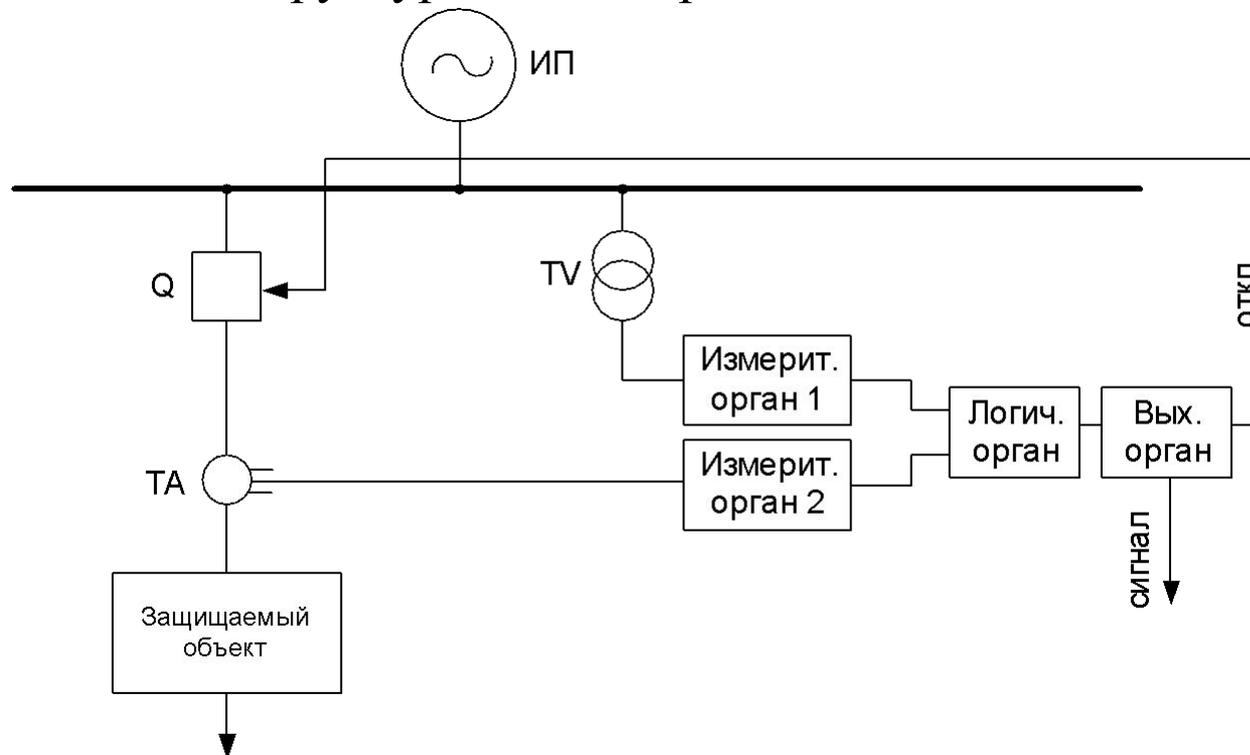
Внутренним обычно является КЗ в защищаемом элементе системы - участке линии сети, трансформаторе, генераторе и т. д. В некоторых, однако, случаях к внутренним может относиться более широкий круг КЗ, охватывающий повреждения и на смежных с защищаемым элементах; так, например, к защите может быть предъявлено требование срабатывать при КЗ на смежном элементе в случае отказа защиты или выключателя последнего. По выполняемым функциям защиты делятся на **основные и резервные**.

Основной называется защита, предназначенная для работы при всех или части видов КЗ (например, только при многофазных КЗ) в пределах всего защищаемого элемента (например, 100 % длины линии) со временем, меньшим, чем у других установленных защит.

Резервной называется защита, предусматриваемая для работы вместо основной данного элемента в **случаях ее отказа или вывода из работы (ближнее резервирование)**, а также вместо защит смежных элементов при их отказе или в случаях отказов выключателей смежных элементов (**дальнее резервирование**).

ОСНОВНЫЕ ОРГАНЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

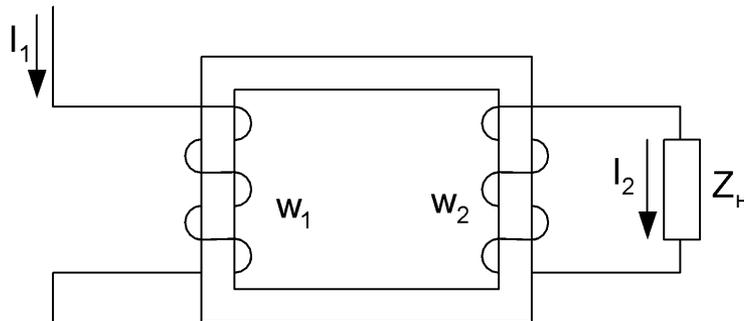
Структурная схема релейной защиты



1. Трансформаторы тока (ТА) и напряжения (TV), с выходов которых снимаются показания тока и напряжения в цепи защищаемого объекта (ЗО);
2. Измерительные органы, которыми, как правило, являются релейные элементы;
3. Логические органы, осуществляющие логические операции с сигналами от измерительных органов;
4. Выходной орган, формирующий сигналы на отключение выключателя (Q) и индикацию срабатывания защиты.

Трансформаторы тока (ТТ или ТА) применяют в установках напряжением до 1000 В и выше. Они относятся к измерительным трансформаторам и предназначены для расширения предела измерения измерительных приборов (органов РЗ), а в высоковольтных цепях, кроме того, - для изоляции приборов и реле от высокого напряжения. Благодаря им приборы для измерения тока и реле не только изолируются от высоковольтной цепи, но могут быть удалены от нее на значительное расстояние и сосредоточены на щите управления.

Трансформаторы тока изготовляют с расчетом получить во вторичной обмотке ток 1 А или 5 А при номинальном токе в первичной обмотке. Трансформатор тока состоит из замкнутого магнитопровода, первичной обмотки W_1 , включаемой последовательно в высоковольтную цепь для контролирования тока I_1 , и вторичной обмотки W_2 , к которой присоединяют нагрузку Z_H , представляющую собой сумму сопротивлений последовательно включенных обмоток реле, измерительных приборов и соединительных проводов.



Нормальным для ТТ является режим работы с малым сопротивлением вторичной цепи, т.е. режим КЗ. При этом не допускается размыкание цепи вторичной обмотки, поскольку тогда весь первичный ток становится намагничивающим и магнитный поток в магнитопроводе трансформатора резко увеличивается, что приводит к насыщению магнитопровода, возрастанию в нем потерь и недопустимому нагреву изоляции обмоток. Кроме того, на разомкнутой вторичной обмотке появляются опасные для людей и изоляции пики напряжения в несколько тысяч вольт.

Трансформаторы тока (ТА)

Как и любой измерительный прибор, ТТ дает погрешность в измерении, определяемую из выражения, %,

$$\Delta I = \frac{K_{ТА} \cdot I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100$$

где $K_{ТА}$ – коэффициент трансформации трансформатора тока равный

$$K_{ТА} = \frac{I_{1ном}}{I_{2ном}}$$

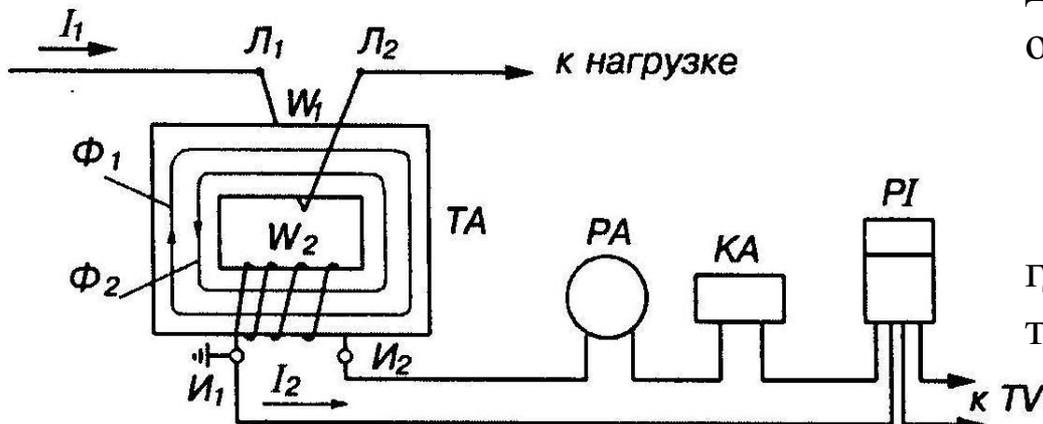


Схема включения трансформатора тока и подключения к нему приборов

Предельно допустимые погрешности трансформаторов тока

Класс точности	Наибольшая погрешность	
	Токовая, %	Угловая, мин
0,2	$\pm 0,2$	± 10
0,5	$\pm 0,5$	± 30
1	± 1	± 60
3	± 3	не нормируется
10	± 10	не нормируется

Тепловые реле - это электрические аппараты, предназначенные для защиты электродвигателей от токовой перегрузки. Наиболее распространенные типы тепловых реле - ТРП, ТРН, РТЛ и РТТ.

Термореле предназначено для круглосуточного контроля и поддержания заданного температурного режима по сигналам датчика температуры, в помещениях, овощехранилищах, системах водяного отопления, охлаждающих систем, жидкостей, предметов и т. п., а также для использования в качестве комплектующего изделия в устройствах автоматики.

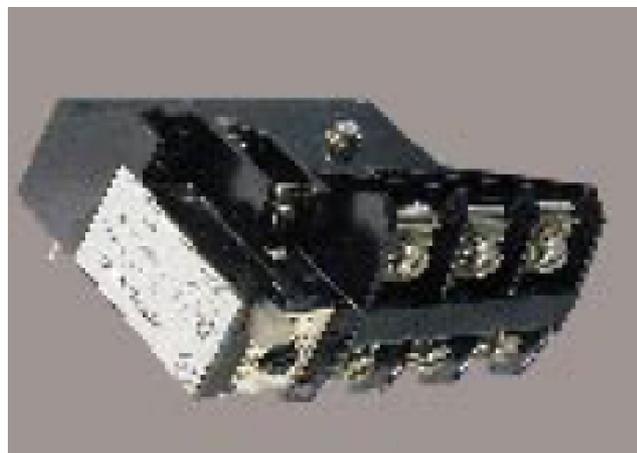


Тепловые реле



РТЛ

Назначение: для защиты управляемых трехфазных асинхронных электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности, в том числе при обрыве одной из фаз. Реле РТЛ 1000 конструктивно совместимы с пускателями ПМЛ 1000 и ПМЛ 2000, реле РТЛ 2000 – с пускателями ПМЛ 3000 и ПМЛ 4000.



РТТ-21

Назначение: для защиты управляемых трехфазных асинхронных электродвигателей от перегрузок недопустимой продолжительности, в том числе при обрыве одной из фаз. Реле РТТ 21 и РТТ 211 конструктивно совместимы с пускателями ПМА 3000 и ПМА 4000. РТТ311 – с пускателями ПМА5000 и ПМА6000.

Характеристики реле

При выборе ТР необходимо ориентироваться в его характеристиках. Среди заявленных могут быть:

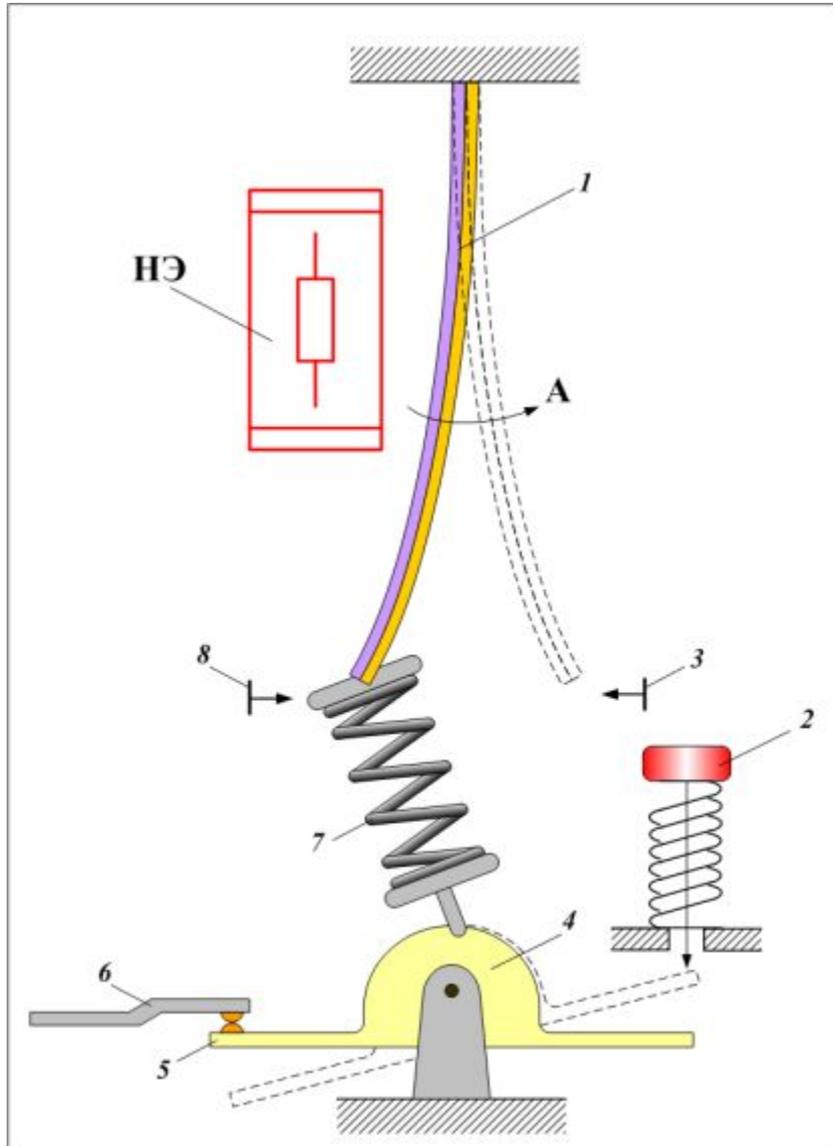
- номинальный ток;
- разброс регулировки тока срабатывания;
- напряжение сети;
- вид и количество контактов;
- расчетная мощность подключаемого прибора;
- минимальный порог срабатывания;
- класс прибора;
- реакция на перекос фаз.

Номинальный ток ТР должен соответствовать тому, который указан на двигателе, к которому будет происходить подключение. Узнать значение для двигателя можно на шильдике, который находится на крышке или на корпусе. Напряжение сети должно строго соответствовать той, где будет применяться. Это может быть 220 или 380/400 вольт. Количество и тип контактов также имеют значение, т. к. различные контакторы имеют различное подключение. ТР должно выдерживать мощность двигателя, чтобы не происходило ложного срабатывания. Для трехфазных двигателей лучше брать ТР, которые обеспечивают дополнительную защиту при перекосе фаз.

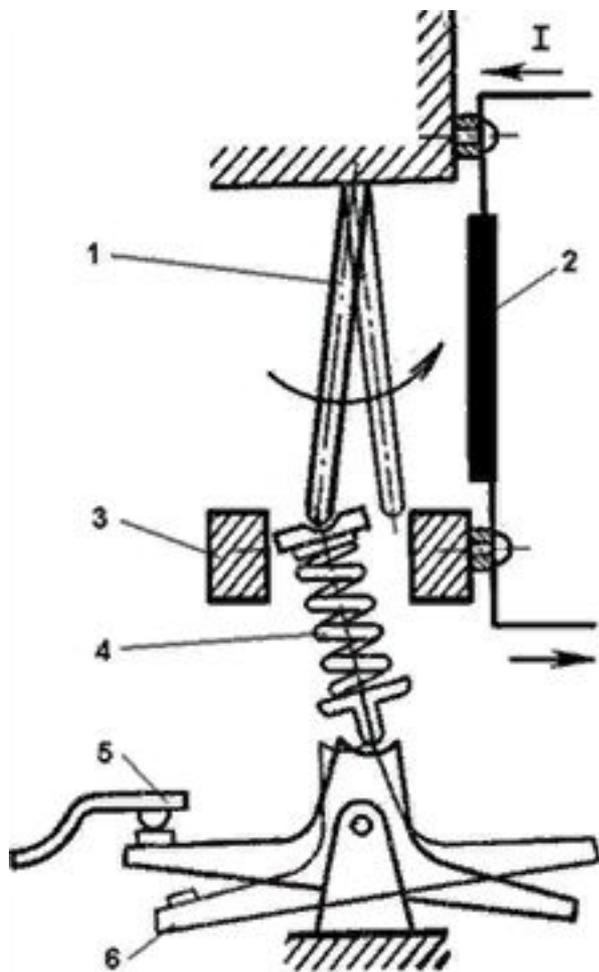


Тепловые реле

Схема теплового реле

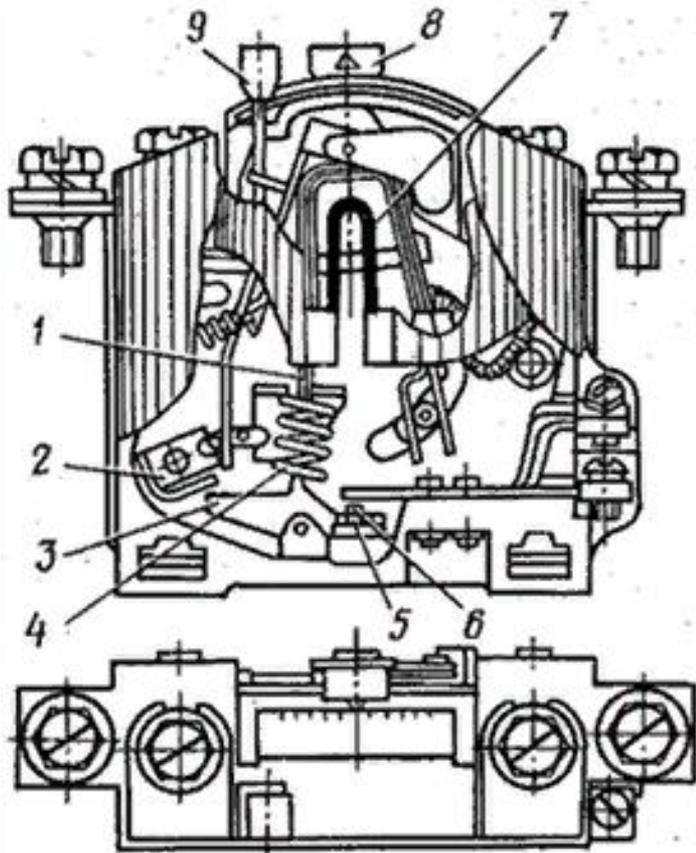


- 1 – биметаллическая пластина;
- 2 – кнопка ручного возврата;
- 3,8 – упоры;
- 4 – пластмассовая колодка;
- 5 – подвижный контакт;
- 6 – неподвижный контакт;
- 7 – пружина



Конструктивная схема теплового реле типа ТРП: 1 - биметаллическая пластина; 2 - нагревательный элемент; ограничивающие выступы; 4 - пружина; 5 - неподвижный контакт; 6 - прыгающий контакт

Тепловое реле состоит из биметаллической пластинки, нагревательного элемента, контактов с пружиной и защелкой. Биметаллическая пластина состоит из двух металлов, прочно сваренных между собой по всей поверхности и имеющих различные температурные коэффициенты линейного расширения α . Один металл (инвар) имеет малый коэффициент линейного расширения и называется пассивным. Другой (хромоникелевая сталь) имеет большой коэффициент α и называется активным. При нагревании активный слой стремится удлиниться на большую величину, чем пассивный и, как следствие этого, возникает изгибающий момент.



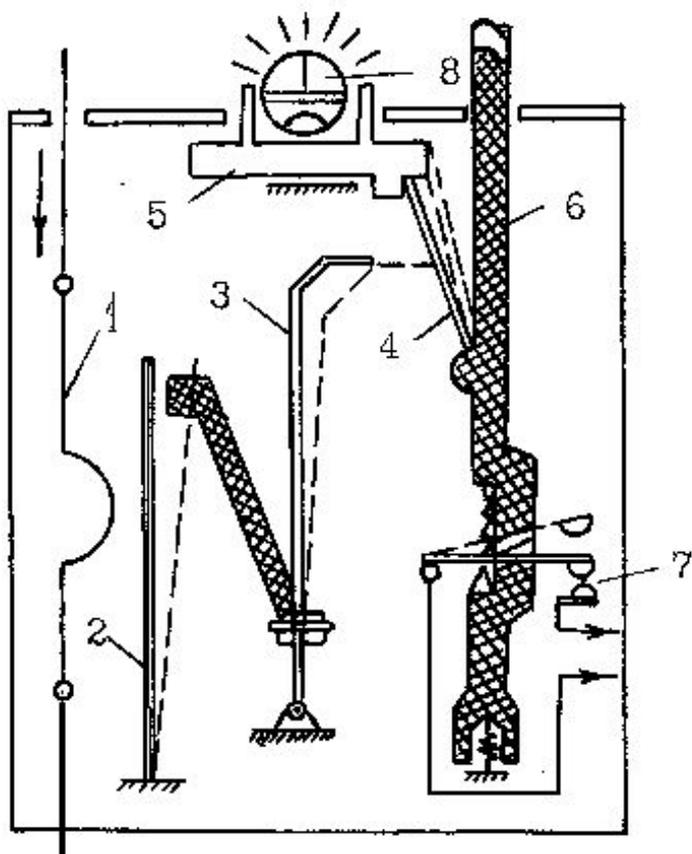
Реле серии ТРП на токи 1-600 А в основном используется в магнитных пускателях серии ПА и имеет комбинированную систему нагрева.

Исключение - реле ТРП-600

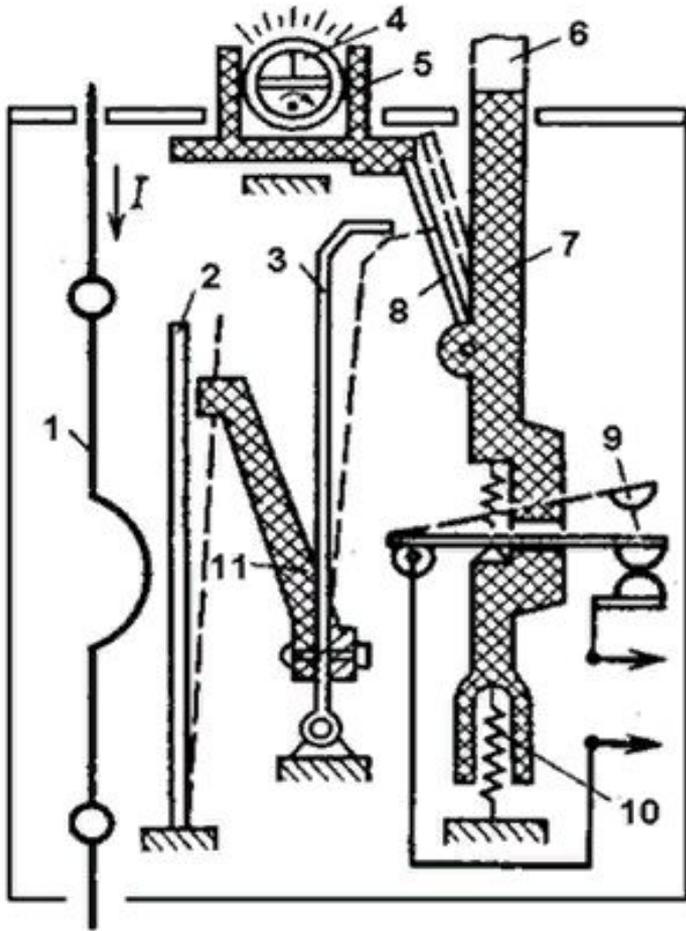
Биметаллическая пластина (1) нагревается как за счет прохождения через нее тока, так и за счет нагревателя (7). При прогибе конец биметаллической пластины воздействует на прыгающий подвижный контакт (5). Реле допускает плавную ручную регулировку тока срабатывания в пределах $\pm 25\%$ номинального тока установки. Эта регулировка осуществляется ручкой (8), меняющей первоначальную деформацию биметаллической пластины. Возврат реле в исходное положение после срабатывания производится кнопкой (9). Возможно исполнение и с самовозвратом после остывания биметалла. Высокая температура срабатывания (выше $200\text{ }^{\circ}\text{C}$) уменьшает зависимость работы реле от температуры окружающей среды.

Тепловое реле ТРП: 1 - биметаллическая пластинка; 2 - упор самовозврата; 3 - держатель подвижного контакта; 4 - пружина; 5 - подвижный контакт; 6 - неподвижный контакт; 7 - сменный нагреватель; 8 - регулятор тока установки; 9 - кнопка ручного возврата

Тепловое реле типа ТРН



Оно состоит из четырех основных элементов: нагревательного элемента 1, биметаллической пластинки 2, системы рычагов 3, 4, 6, контактов 7. Регулирование уставки срабатывания теплового реле может быть осуществлено с помощью регулировочного винта 8.



На рисунке приведена конструктивная схема теплового реле ТРН. Биметаллическая пластина 2 при прохождении тока, превышающего заданный, изгибается и перемещает вправо пластмассовый толкатель 11, связанный жестко с биметаллической пластиной 3, выполняющей роль температурного компенсатора. Отклоняясь вправо, пластина 3 нажимает на защелку 8 и выводит ее из зацепления с пластмассовым движком 5 уставок, в результате чего под действием пружины 10 пластмассовая штанга 7 расцепителя отходит кверху (показана пунктиром) и размыкает контакты 9 в цепи управления магнитным пускателем. Движок уставок можно перемещать, поворачивая эксцентрик 4 и изменяя расстояние между концами пластины 3 и защелкой 8, а значит, и ток срабатывания реле.

Температурная компенсация заключается в том, что изгибанию биметаллической пластины 2 при изменении окружающей среды соответствует противоположное по направлению изгибание пластины компенсатора 3. Таким образом достигается независимость тока уставки от окружающей температуры. Ток уставки можно менять в пределах от 0,75 до 1,3 номинального тока нагревательного элемента.

Конструктивная схема теплового реле типа ТРН:

1 - нагревательный элемент; 2 - биметаллическая пластина; 3 - биметаллическая пластина температурного компенсатора; 4 - эксцентрик; 5 - движок уставки; 6 - кнопка «Возврат»; 7 - штанга расцепителя (тяги); 8 - защелка; 9 - контакты; 10 - пружина; 11 - толкатель

Выбор тепловых реле производится по условиям:

$$U_{н.р.} \geq U_{н.у.};$$

$$I_{н.р.} \geq I_{н.у.};$$

$$I_{н.тр.} \geq I_{р.тах}.$$

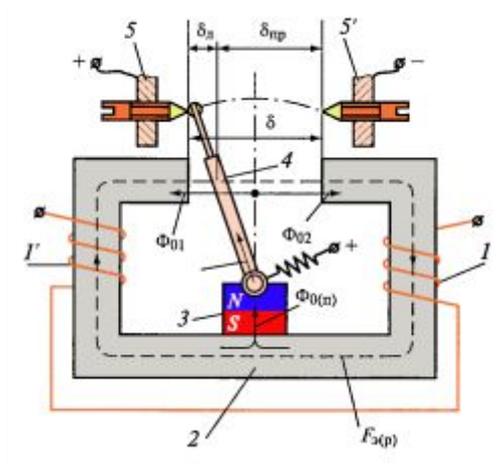
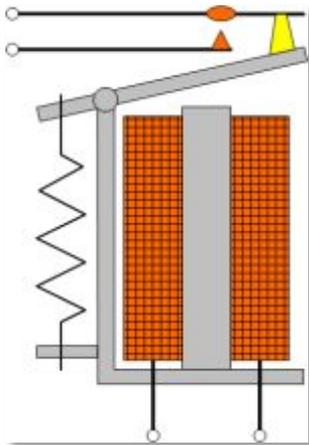
$I_{н.р.}, I_{н.т.р.}$ – номинальный ток теплового реле и теплового расцепителя соответственно, А.

Электромагнитные реле постоянного тока

Реле постоянного тока

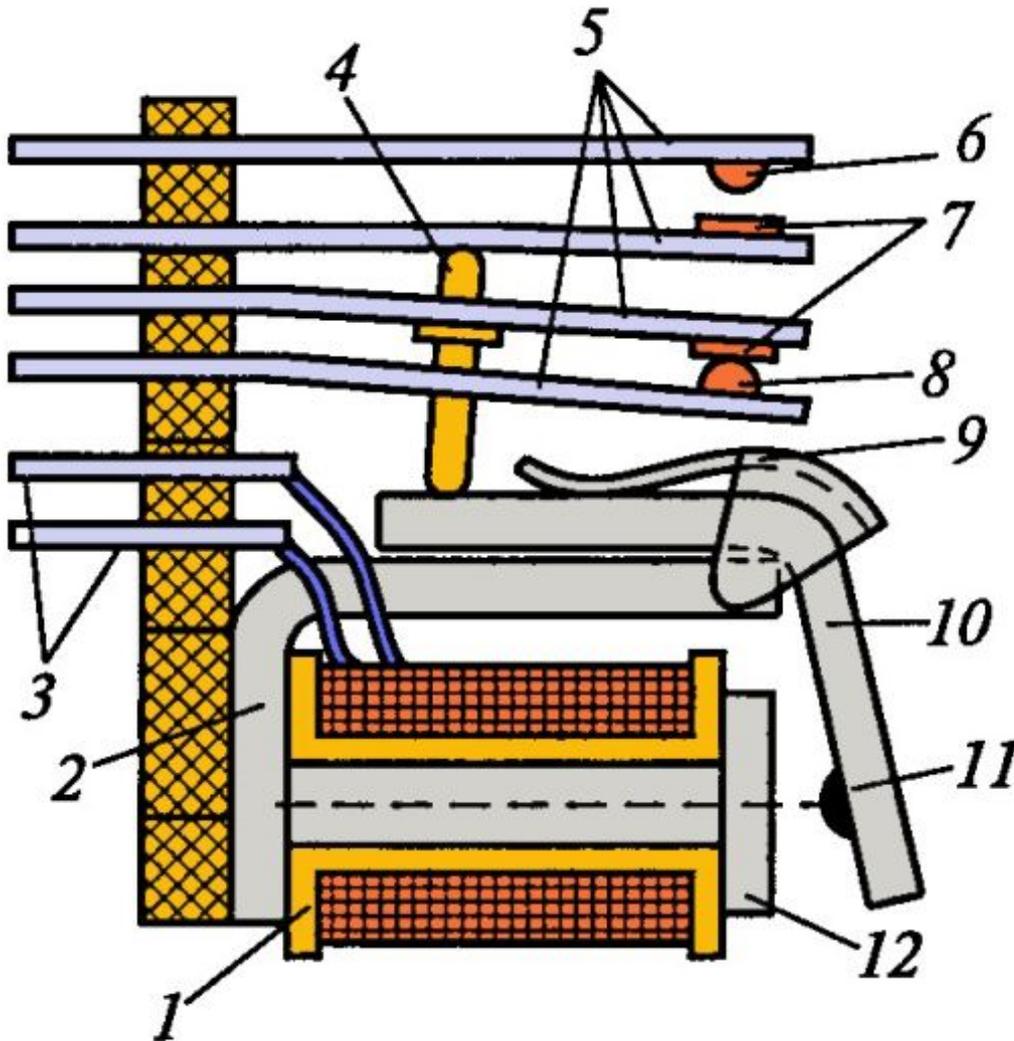
Нейтральные

Поляризованные



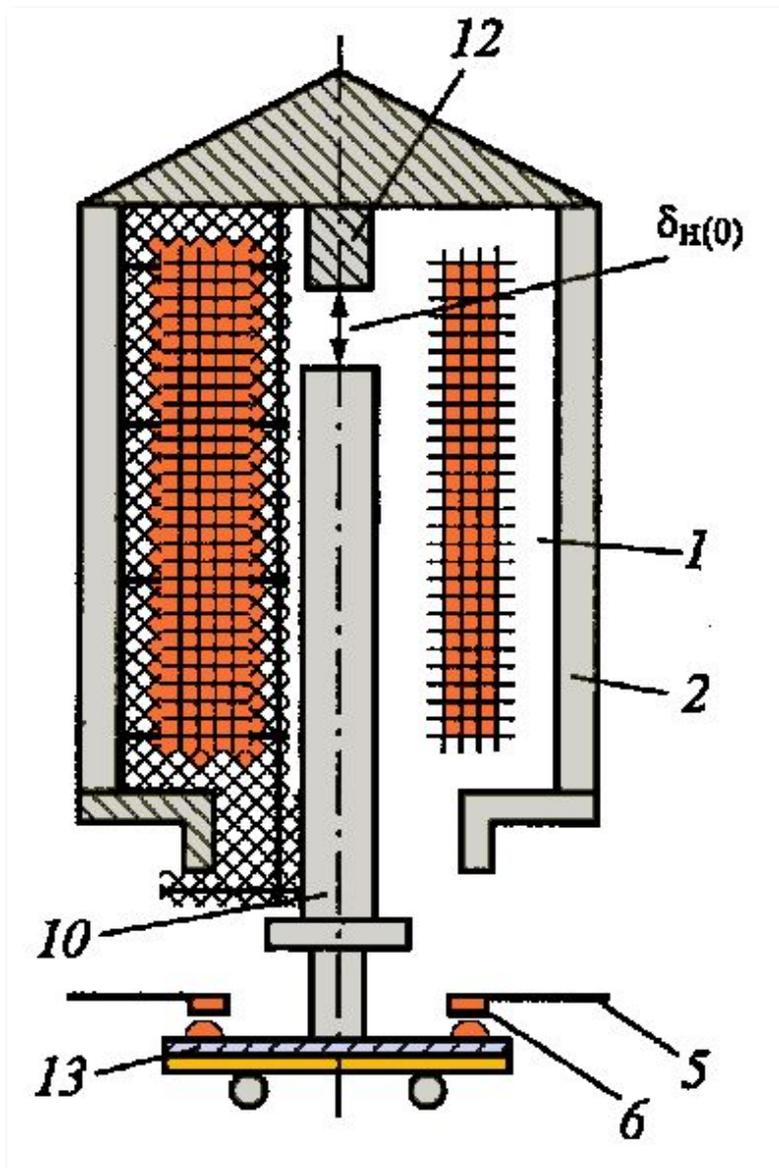
Электромагнитные реле постоянного тока

Реле клапанного типа



- 1 – каркас с обмоткой;
- 2 – ярмо;
- 3 – выводы обмотки;
- 4 – колодка;
- 5 – контактные пружины;
- 6 – замыкающие контакты; 7 – подвижные контакты;
- 8 – размыкающий контакт; 9 – возвратная пружина;
- 10 – якорь;
- 11 – штифт отлипания;
- 12 – сердечник.

Электромагнитные реле постоянного тока

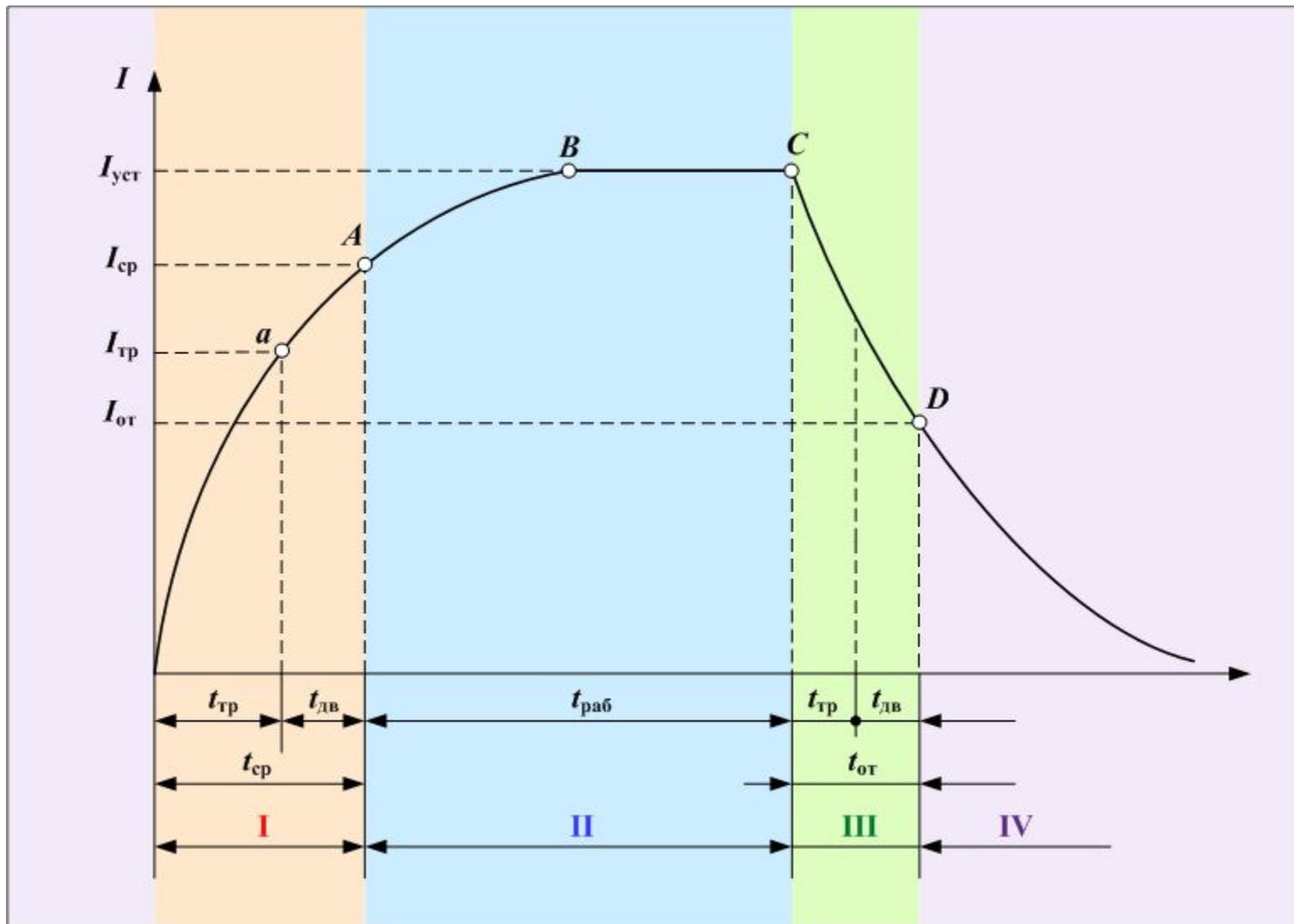


Реле с втяжным якорем

- 1 – каркас с обмоткой;
- 2 – ярмо;
- 5 – контактные пружины;
- 6 – замыкающие контакты;
- 10 – якорь;
- 12 – сердечник;
- 13 – проводящий слой;

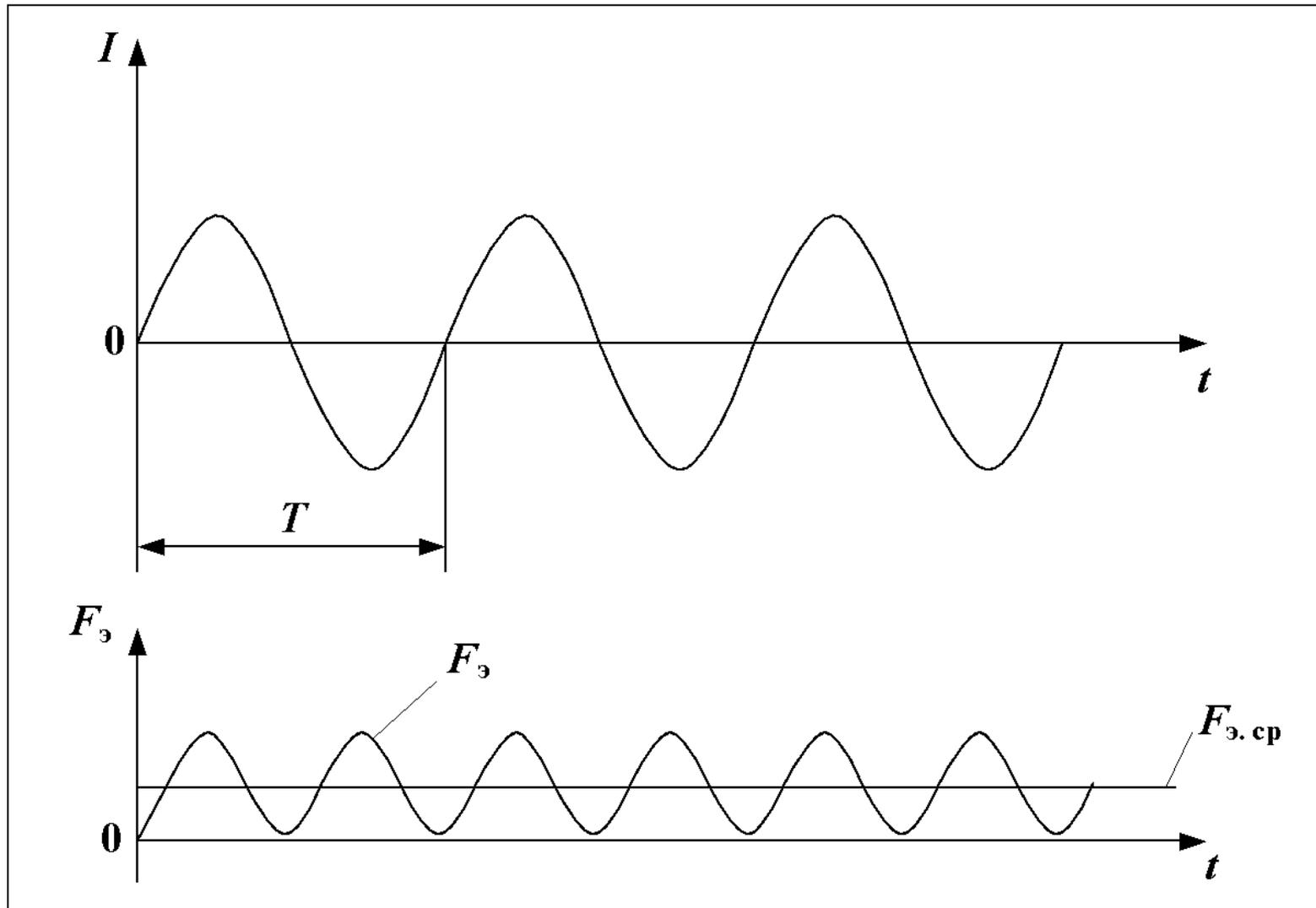
Электромагнитные реле постоянного тока

Временная диаграмма работы реле



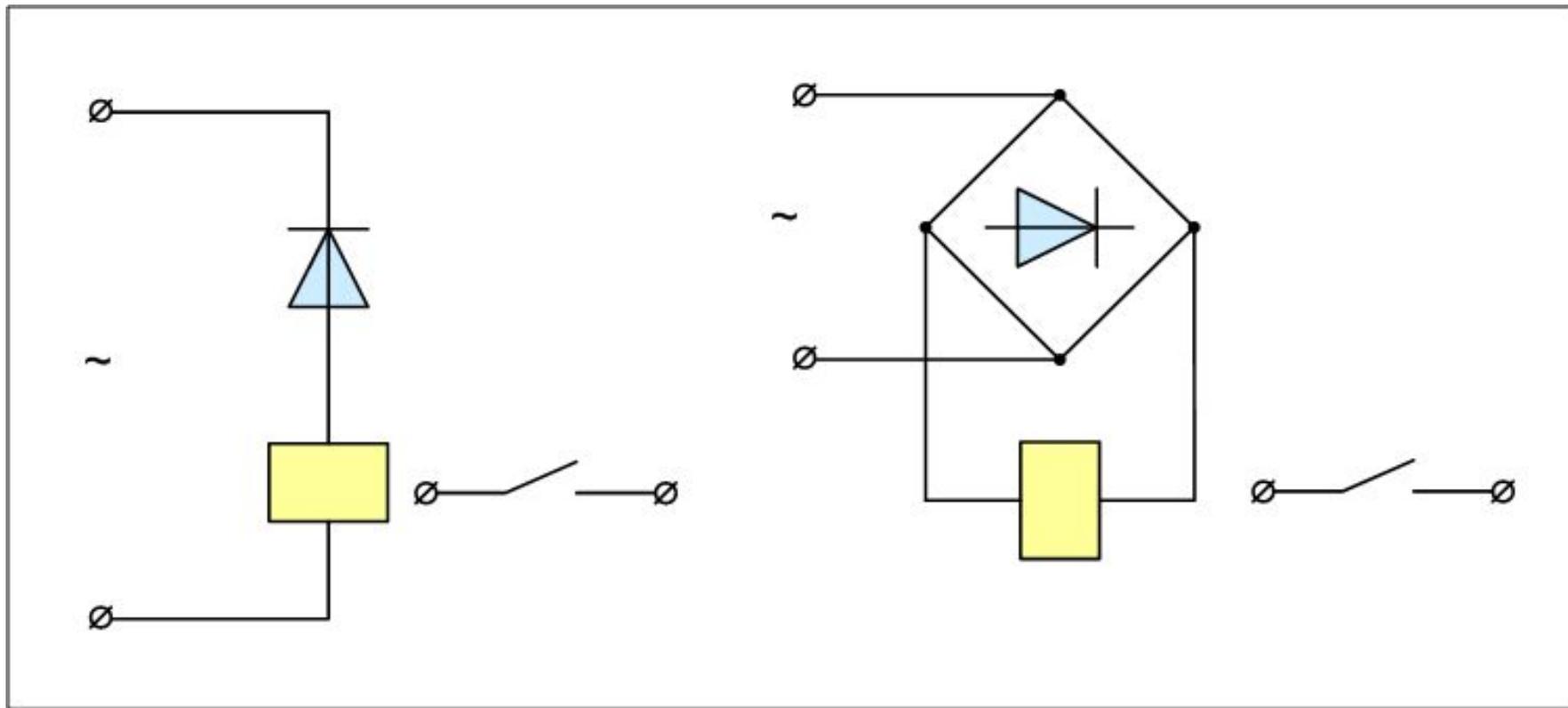
Электромагнитные реле переменного тока

Представление электромагнитной силы



Электромагнитные реле переменного тока

Включение реле постоянного тока в сеть переменного тока

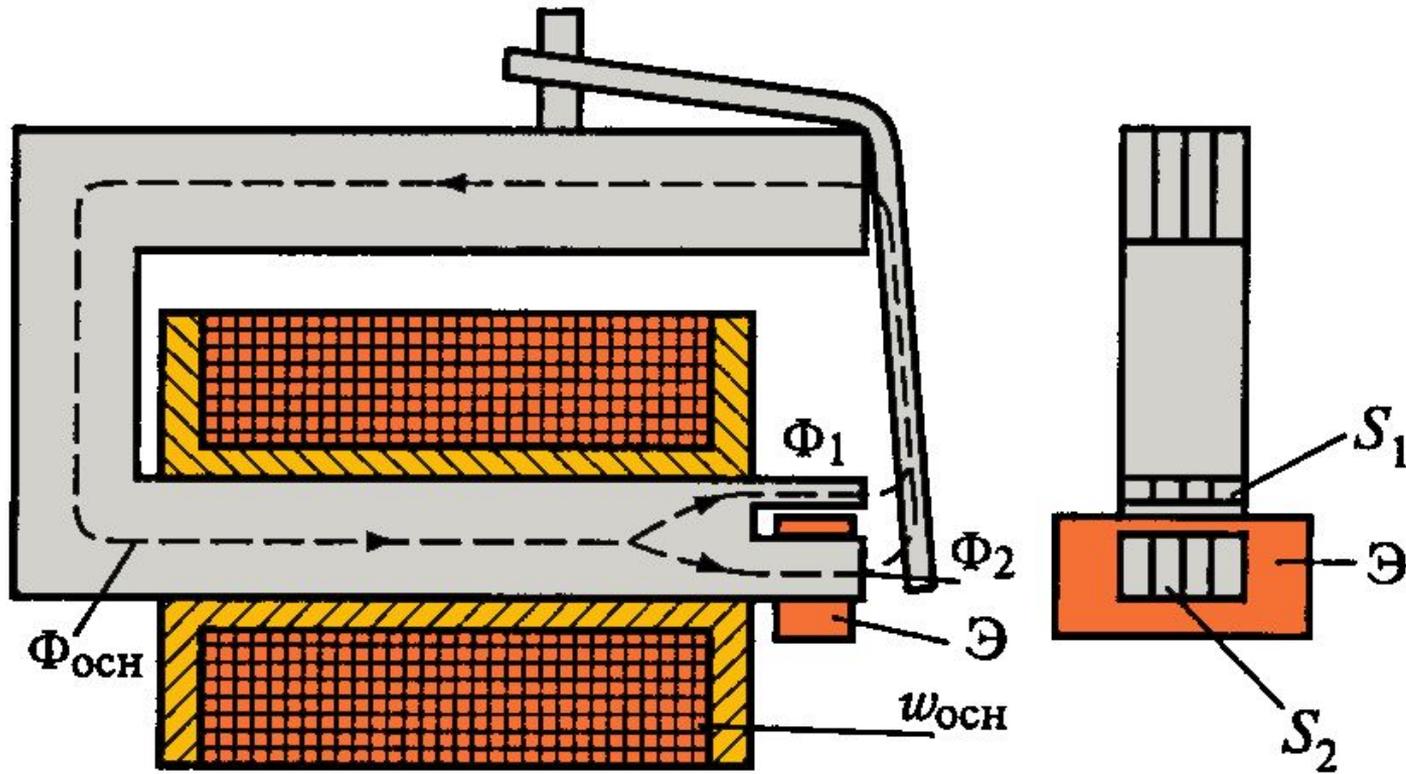


При однополупериодном
выпрямлении

При двухполупериодном
выпрямлении

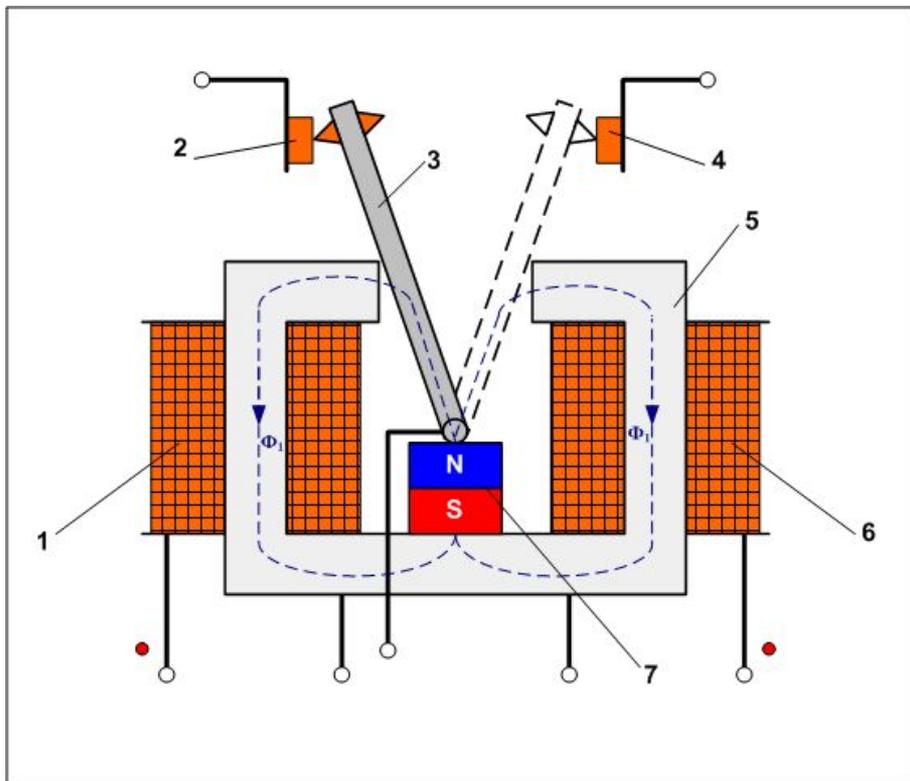
Электромагнитные реле переменного тока

Реле переменного тока с короткозамкнутым витком

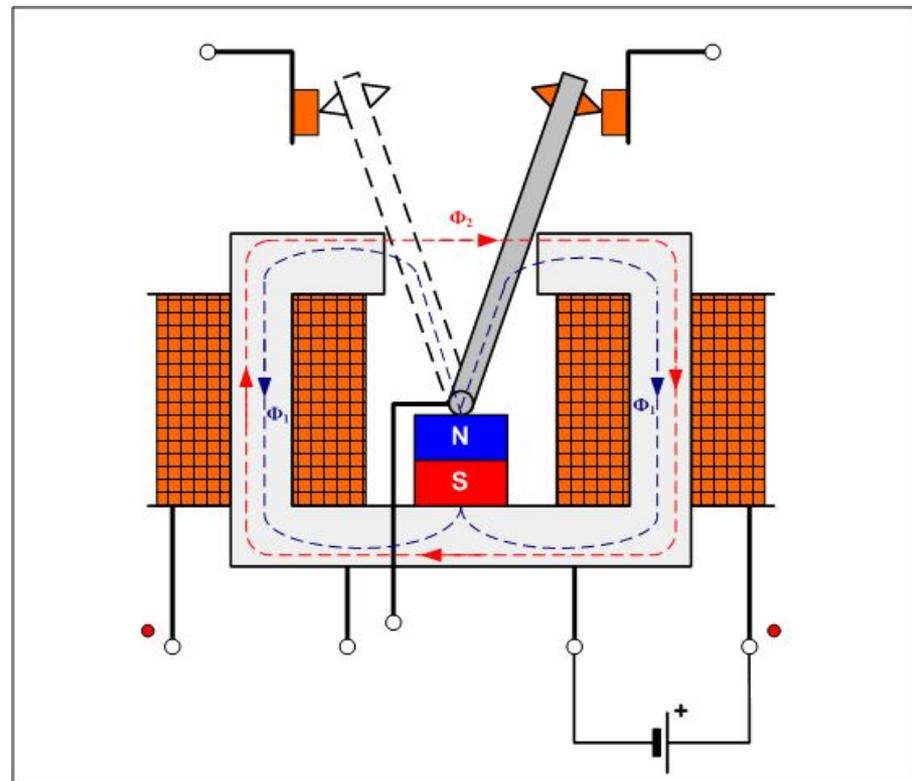


Поляризованные электромагнитные реле

Двухобмоточное поляризованное реле с магнитной блокировкой якоря



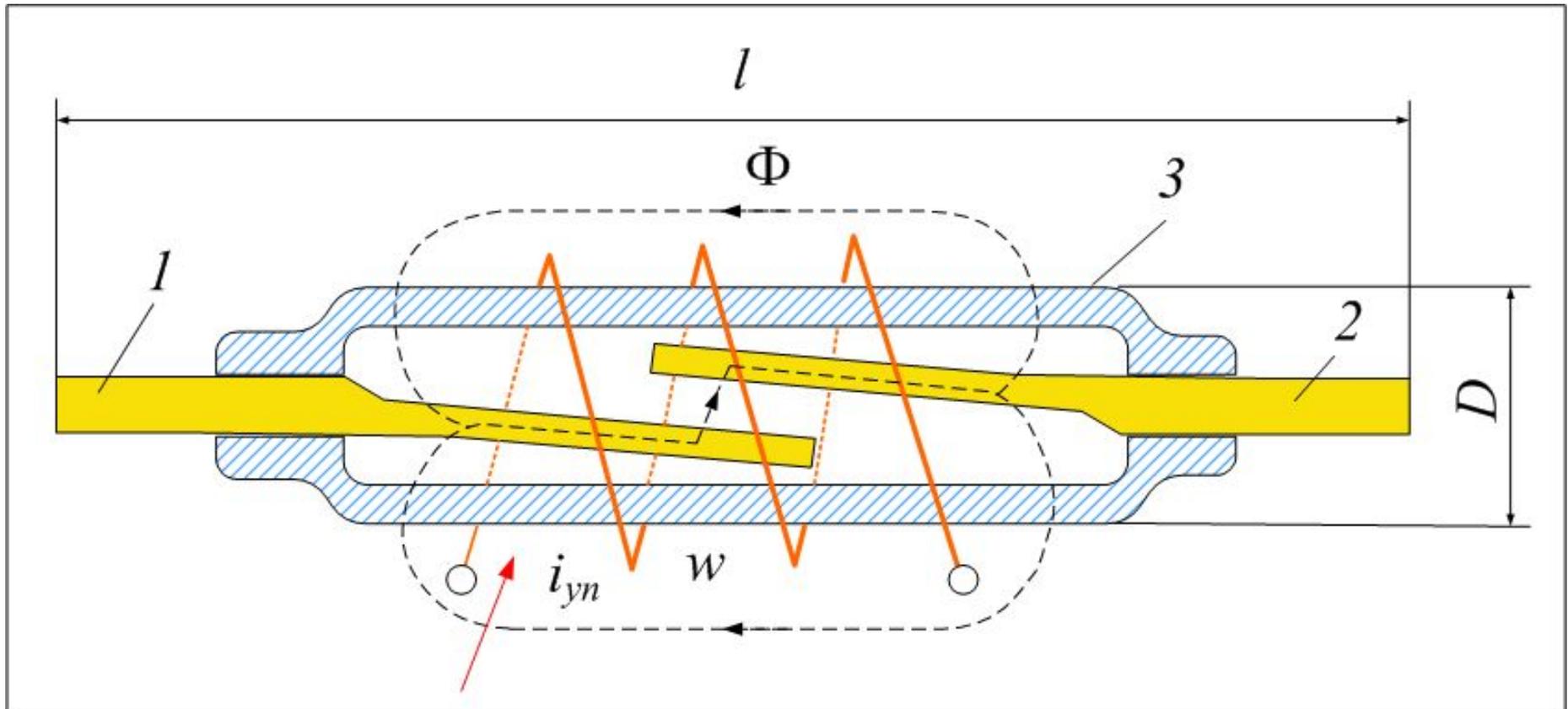
До подачи напряжения



После подачи напряжения

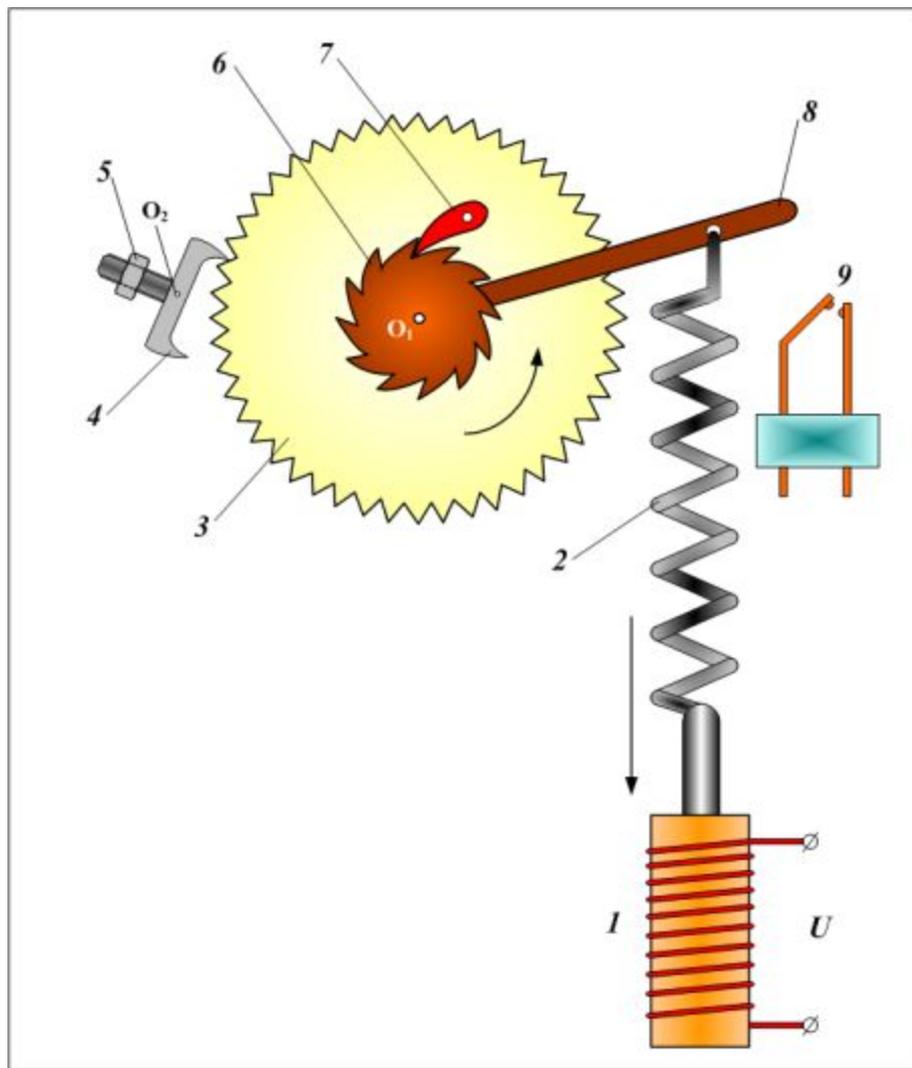
Магнитоэлектрические реле

Реле с магнитоуправляемыми контактами (герконовое реле)



Реле времени

Реле времени с анкерным механизмом



$$t = \alpha \cdot n \cdot z \cdot T_a$$

α – угол поворота подвижной системы от начала движения до замыкания контактов;

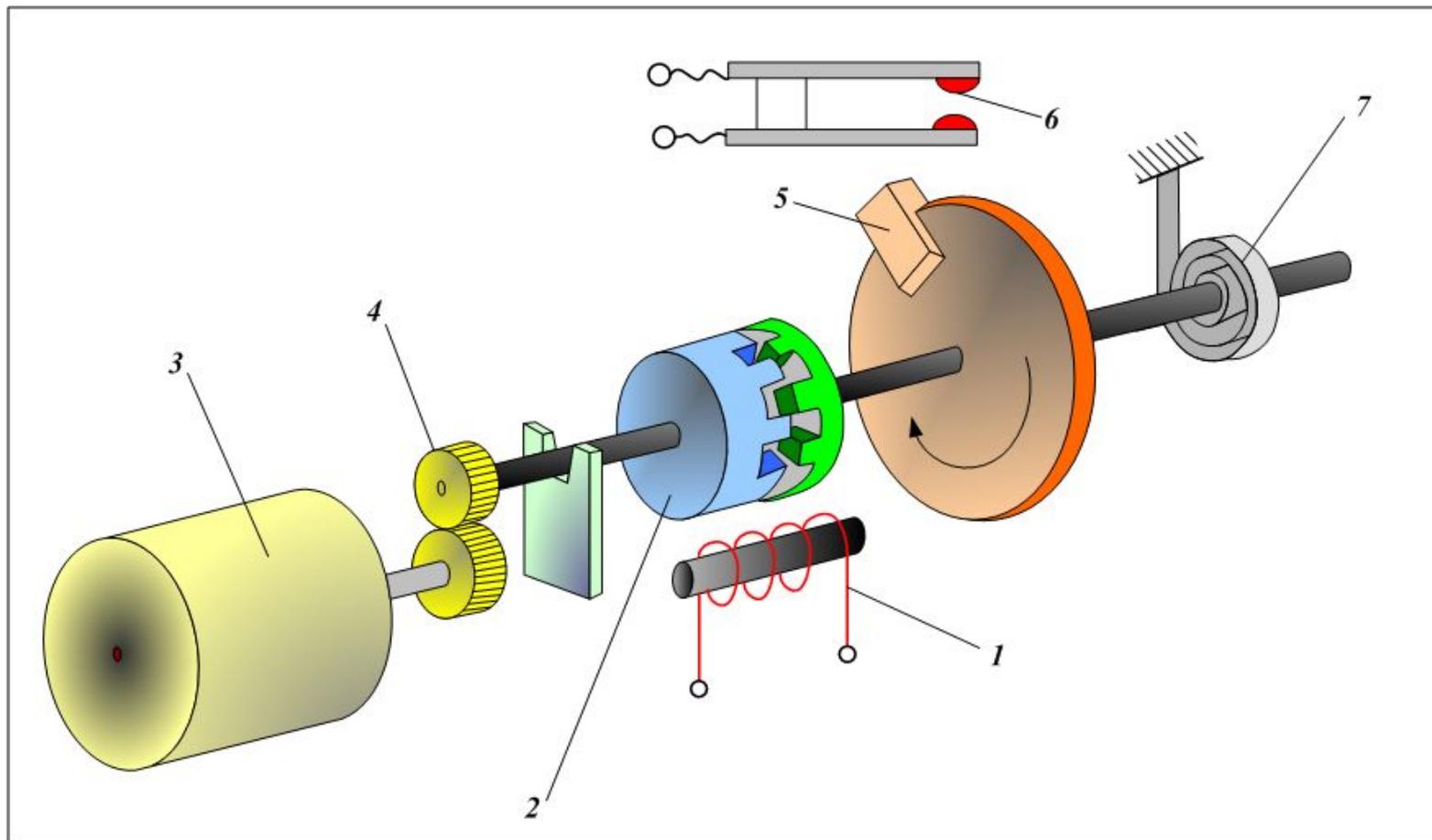
n – передаточное число зубчатого механизма;

z – число зубьев ходового колеса;

T_a – период колебаний анкера

Реле времени

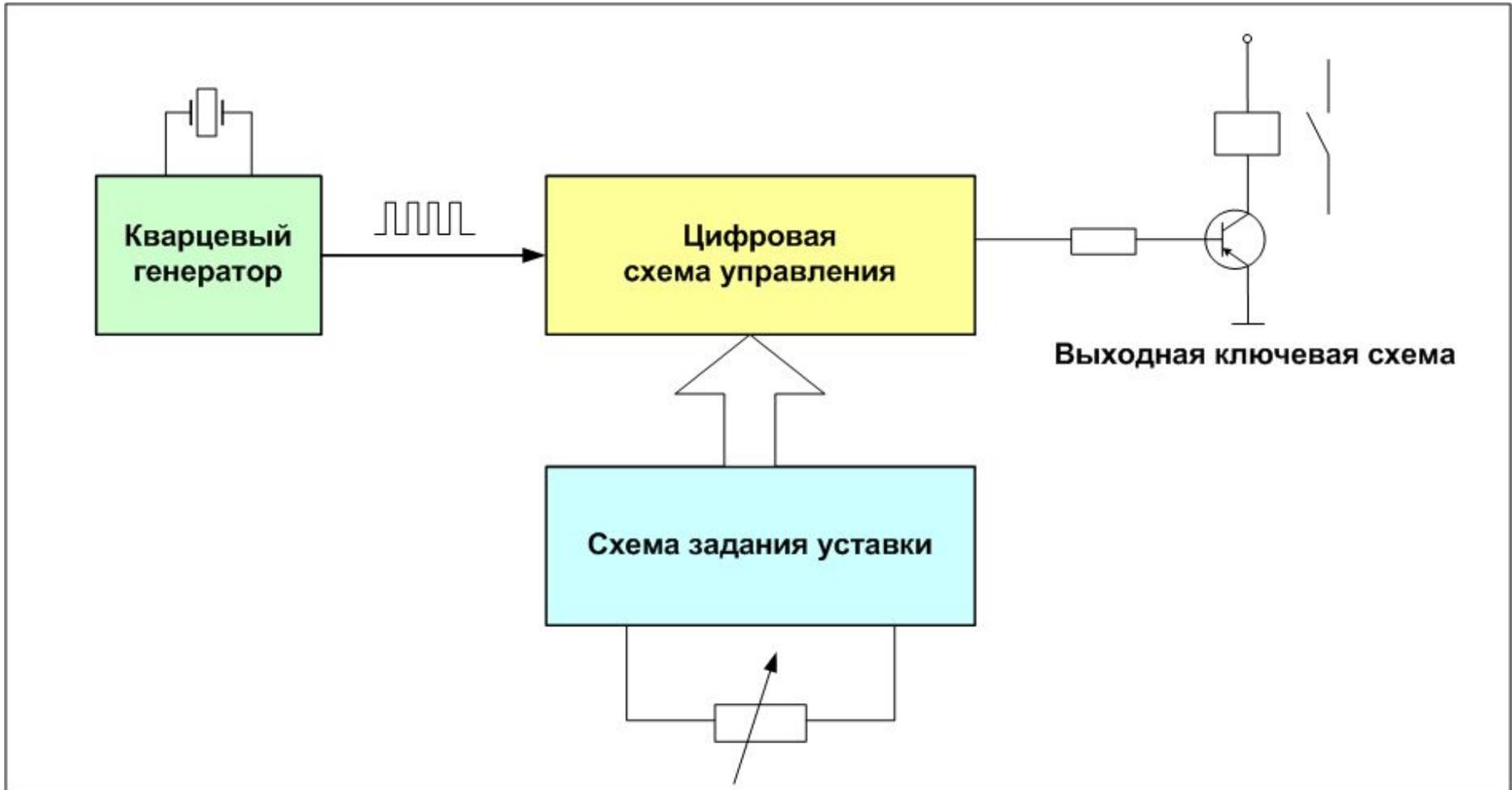
Моторное реле времени



1 – электромагнит; 2 – муфта сцепления; 3 – микроэлектродвигатель;
4 – редуктор; 5 – кулачок; 6 – микропереключатель; 7 – пружина

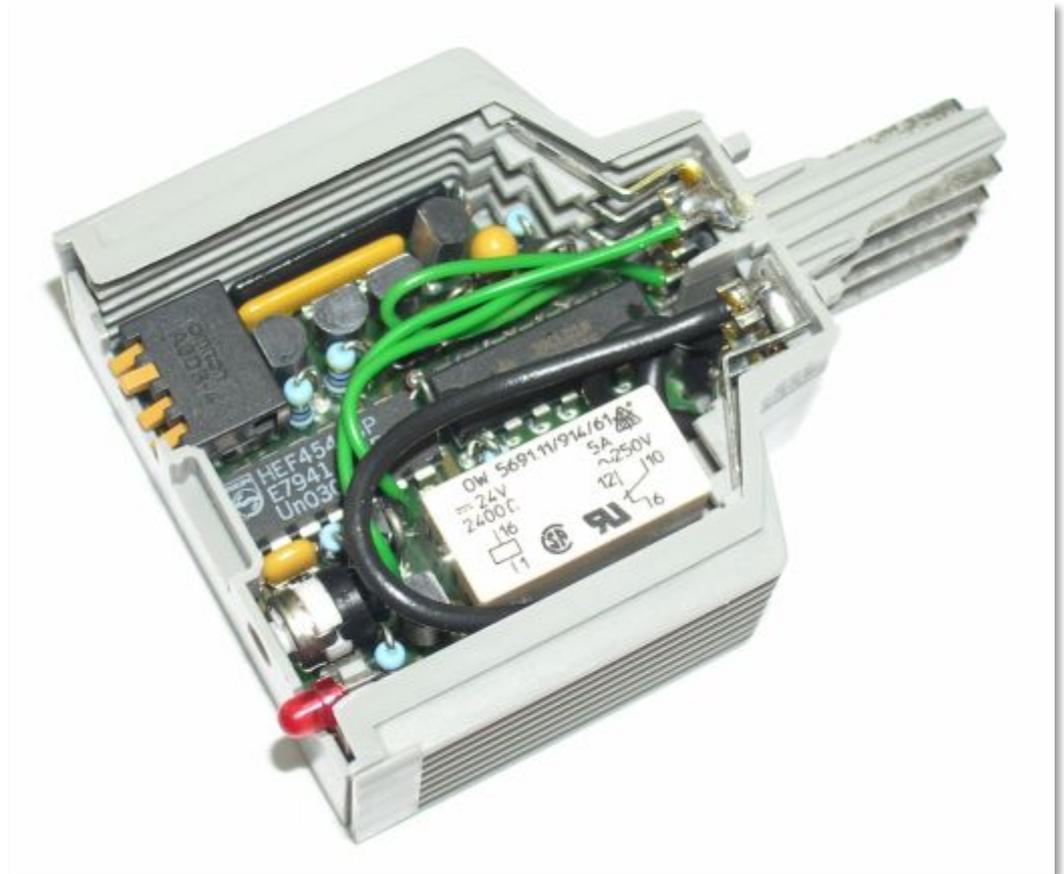
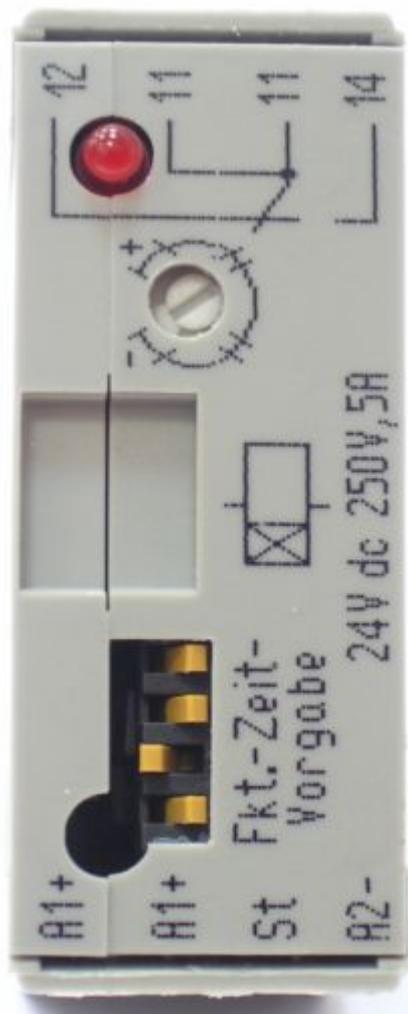
Реле времени

Структурная схема электронного реле времени



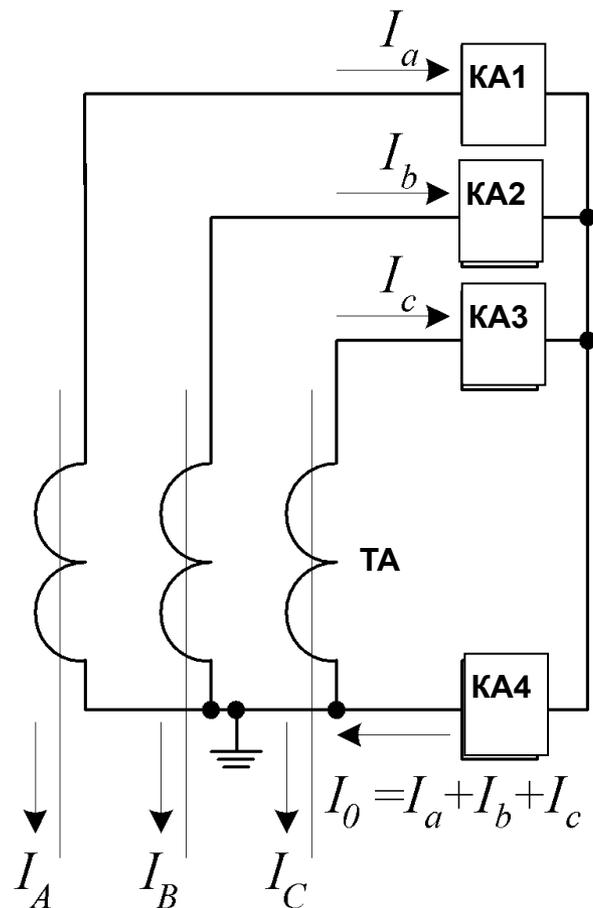
Реле времени

Электронное многофункциональное реле времени WAGO 286-640



Основные схемы соединения трансформаторов тока и обмоток реле тока

Схема соединения ТТ в «звезду»



Данная схема применяется для защит, реагирующих на все виды однофазных и многофазных КЗ.

Схема соединения ТТ в «неполную звезду»

Данная схема применяется в сетях с изолированной нейтралью только для защит от междуфазных замыканий. Для защиты трехфазных электрических сетей и трансформаторов со схемой соединения обмоток Δ/Δ можно применять соединения ТТ в неполную звезду с двумя реле (в обратный провод реле не включается).

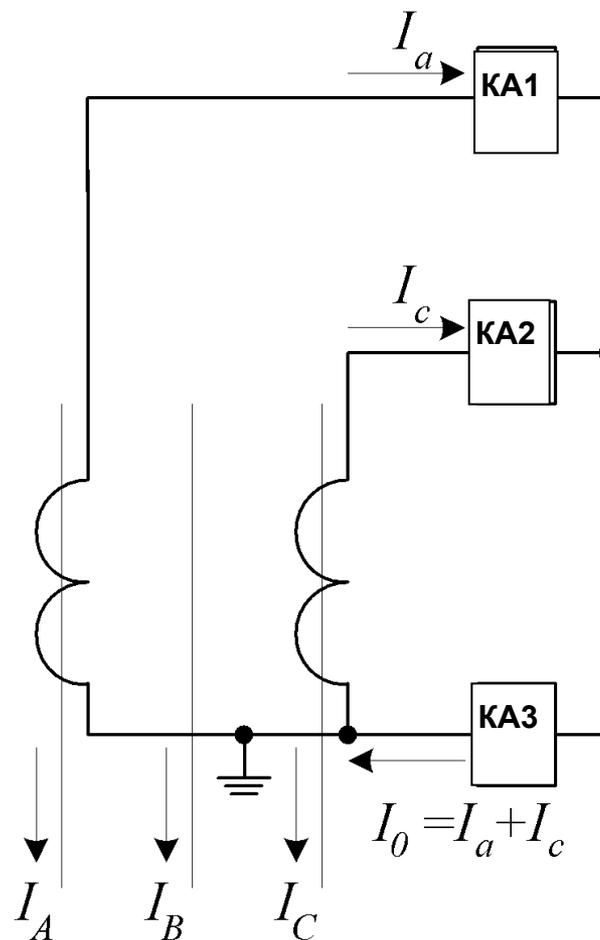
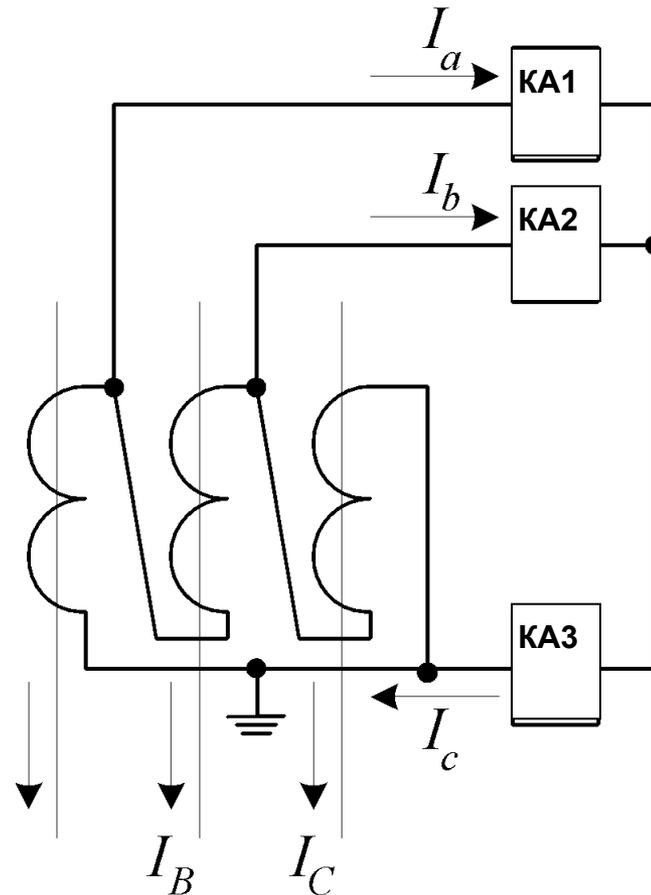
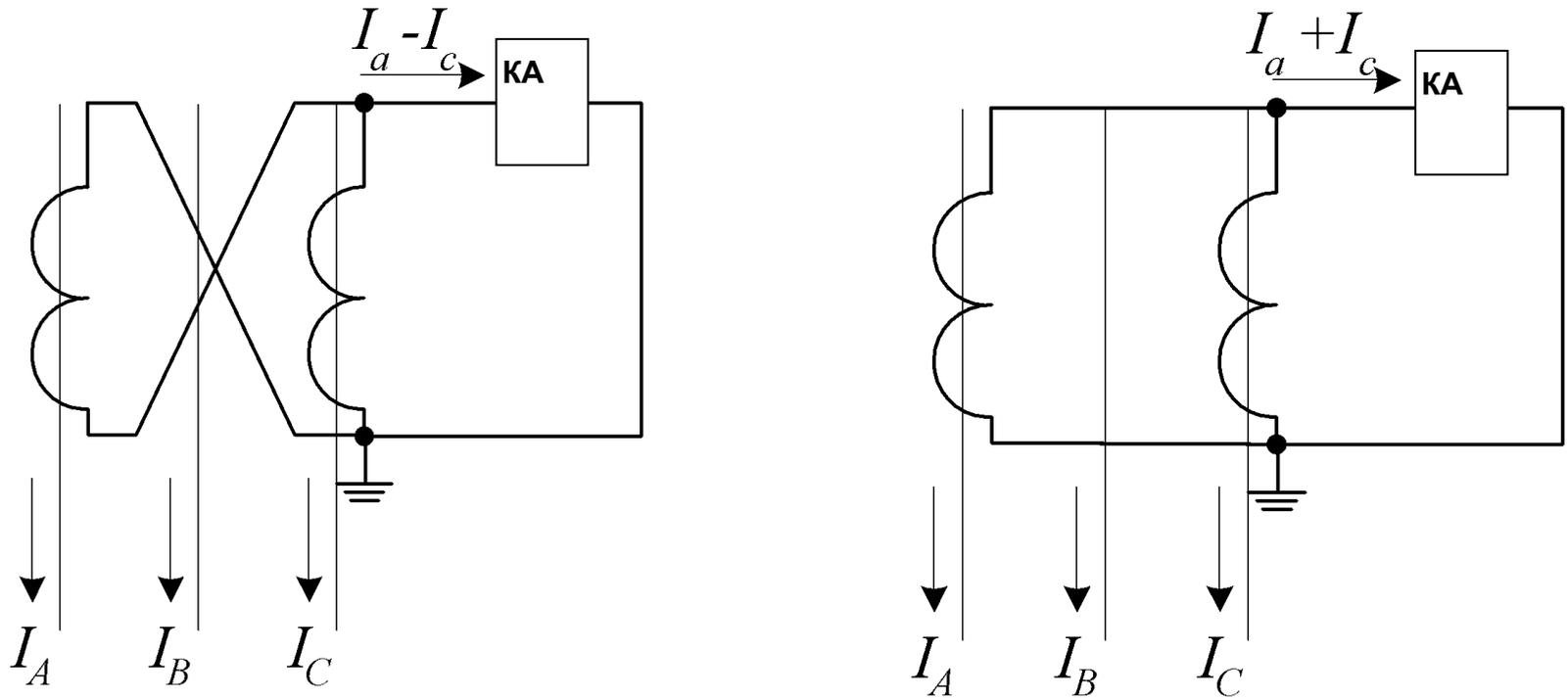


Схема соединения ТТ в «треугольник»



Данная схема применяется для защит, реагирующих на все виды однофазных и многофазных КЗ. Больше всего эта схема применяется для дифференциальных защит трансформатора.

Схема соединения ТТ на «разность токов двух фаз» (а) и на «сумму токов двух фаз» (б):



Данные схемы применяются для защит, реагирующих на трехфазные и двухфазные КЗ.

При определении расчетного тока I_p , протекающего через обмотку реле, необходимо учитывать коэффициент схемы (K_{cx}) равный

$$K_{cx} = \frac{I_{2нагр}}{I_{2ТА}}$$

где $I_{2нагр}$ – ток в обмотке реле, А;

$I_{2ТА}$ – ток во вторичной обмотке ТТ той же фазы.

Трансформаторы напряжения (ТН или TV)

Трансформаторы напряжения (TV) применяют для измерения напряжения в электроустановках напряжением свыше 1000 В. Они предназначены для изоляции цепей обмоток вольтметров, счетчиков, реле и других приборов от сети первичного напряжения и понижение первичного напряжения до величины удобной для питания приборов.

Вследствие потерь напряжения в обмотках от намагничивающего тока и тока нагрузки TV дают при измерении погрешности, которые тем больше, чем больше ток намагничивания и ток во вторичной цепи. Для уменьшения погрешности применяют обмотки с малым индуктивным и активным сопротивлениями, а для магнитопровода с целью уменьшения тока намагничивания применяют специальную сталь, имеющую повышенное значение коэффициента магнитной проницаемости.

Нагрузку, присоединяемую ко вторичной обмотке, ограничивают определенным значением, чтобы погрешность не превышала допускаемой. Погрешность в измерении напряжения, %, определяется выражением

$$\Delta U = \frac{K_{TV} \cdot U_2 - U_1}{U_1} \cdot 100$$

где K_{TV} – коэффициент трансформации трансформатора напряжения равный:

$$K_{TV} = \frac{U_{1ном}}{U_{2ном}}$$

Трансформаторы напряжения (ТН)



Схема подключения приборов и реле к сети через однофазный трансформатор напряжения

Предельно допустимые погрешности трансформаторов напряжения.

Класс точности	Предел допускаемой погрешности	
	напряжения, %	угловой
0,1	$\pm 0,1$	± 5 мин $\pm 0,15^\circ$
0,2	$\pm 0,2$	± 10 мин $\pm 0,3^\circ$
0,5	$\pm 0,5$	± 20 мин $\pm 0,6^\circ$
1,0	$\pm 1,0$	± 40 мин $\pm 1,2^\circ$
3,0	$\pm 3,0$	Не нормируют
ЗР	$\pm 3,0$	± 120 мин $\pm 3,5^\circ$
6Р	$\pm 6,0$	± 240 мин $\pm 7,0^\circ$

ГОСТ 1983-2001

ТН для измерения, имеют классы точности, : 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 3,0.

ТН для защиты- классы точности ЗР или 6Р.

Один и тот же TV может работать в различных классах точности.

Высшему классу точности соответствует наименьшая нагрузка вторичной обмотки, с повышением нагрузки класс точности снижается. Высший класс точности TV является номинальным, а нагрузка вторичной обмотки, при которой погрешность его не превышает установленной для этого класса точности, называется номинальной мощностью.

Обозначения типов сухих и масляных измерительных трансформаторов напряжения состоят из букв и цифр:

например, НОС-0,5; НОАУ 35-66; ЗНОМ-35-65; НТМИ-10; НКФ-110-58

Н — напряжение,

О — однофазный,

Т — трехфазный,

М — масляный,

К — каскадный или с компенсационной обмоткой,

З — с заземленным вводом высшего напряжения,

И — с обмоткой для контроля изоляции,

Ф — в фарфоровом корпусе;

первая цифра после букв обозначает напряжение, вторая — год разработки.

На щитках трансформатора дробью указывают:

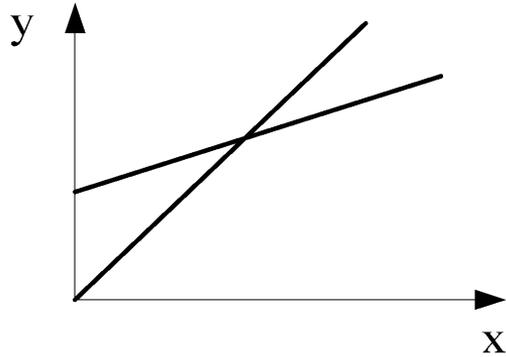
в числителе — типовую мощность, кВА;

в знаменателе — напряжение, кВ.

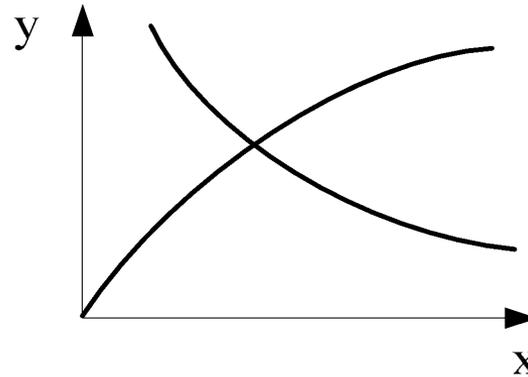
Трансформаторы напряжения в сетях с изолированной нейтралью могут входить в феррорезонанс с ёмкостями сетей (особенно кабельных), что может приводить к выходу их из строя. Для предотвращения порчи трансформаторов напряжения в результате феррорезонанса разработаны антирезонансные трансформаторы напряжения типа НАМИ.

Измерительные органы

Измерительные органы состоят из элементов следующих типов:

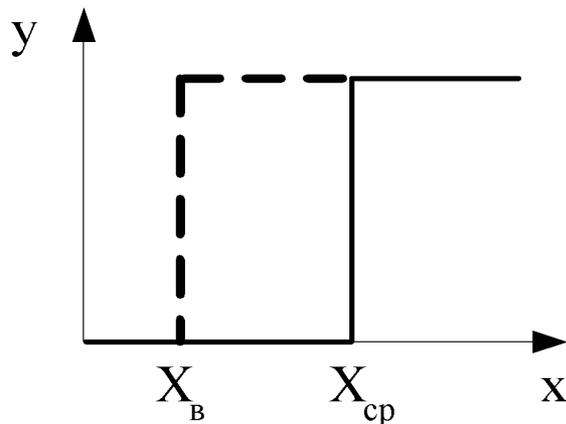


Линейные, у которых передаточная характеристика имеет линейный характер изменения



Нелинейные, у которых передаточная характеристика имеет нелинейный характер изменения

Релейные элементы, у которых передаточная характеристика имеет релейный характер изменения



Функционирование релейных элементов характеризуется коэффициентом возврата, который определяется выражением:

$$K_{\text{в}} = \frac{X_{\text{в}}}{X_{\text{сп}}}$$

где $X_{\text{сп}}$ – величина тока или напряжения срабатывания релейного элемента;
 $X_{\text{в}}$ – величина тока или напряжения, при котором происходит возврат в исходное состояние релейного элемента.

В релейной защите используются измерительные органы, в состав которых входят релейные элементы (РЭ).

Релейные элементы классифицируются по:

1. Способу включения РЭ:

Первичные (прямое включение в цепь защищаемого элемента);

Вторичные (включение через измерительные трансформаторы тока, напряжения).

2. Реагирующему параметру:

Реагируют на электрические параметры (I, U, Z, f, S и т.д.);

Реагируют на неэлектрические параметры (T °C, V и т.д.).

3. Элементной базе:

3.1. Электромеханические РЭ, которые разделяются по принципу действия:

- электромагнитные РЭ;
- магнитоэлектрические РЭ;
- индукционные РЭ.

3.2. Электронные РЭ:

- полупроводниковые РЭ (на базе дискретных полупроводниковых элементов);
- микроэлектронные РЭ (на базе интегральных микросхем).

3.3. Программируемые РЭ (на базе микропроцессорной техники).

4. Назначению:

4.1. *Измерительные реле* (тока, напряжения, сопротивления, мощности, частоты, температуры, уровня). Для измерительных реле характерно наличие опорных (образцовых) элементов в виде калиброванных пружин, источников стабильного напряжения, тока и т.п. Они входят в состав реле и воспроизводят заранее установленные значения (называемые уставкой) какой-либо физической величины, с которой сравнивается контролируемая величина. Измерительные реле обладают высокой чувствительностью (воспринимают даже незначительные изменения контролируемого параметра) и имеют высокий коэффициент возврата (отношение величины срабатывания и возврата). По характеру изменения параметра подразделяются на:

- реле максимального типа (срабатывание реле происходит при токе или напряжении больше, чем ток или напряжение срабатывания реле);
- реле минимального типа (срабатывание реле происходит при токе или напряжении меньше, чем ток или напряжение срабатывания реле).

4.2. *Логические реле* (промежуточные, двухпозиционные, времени, сигнальные). Логические реле служат для размножения импульсов, полученных от других реле, усиления этих импульсов и передачи команд другим аппаратам (промежуточные реле), создания выдержек времени между отдельными операциями (реле времени), и для регистрации действия как самих реле, так и других вторичных аппаратов (указательные реле)

5. Способу воздействия на выключатель:

5.1. Реле прямого действия подвижная система которых механически связана с отключающим устройством коммутационного аппарата (РТМ, РТВ);

5.2. Реле косвенного действия, которые управляют цепью электромагнита отключения.

Выходные органы

Выходной орган является связующим звеном между логической частью релейной защиты и катушкой отключения выключателя ЗО. Логическая часть этого органа рассчитана на малые токи и может коммутировать лишь небольшие мощности, а на катушку отключения подается напряжение 110 или 220 В и ток в ней равен 5-10 А.

В релейной защите, выполненной на контактных элементах, в качестве выходных органов используют электромагнитные промежуточные реле РЭН-17, РКС-3, ТКЕ и др. В релейной защите, выполненной на бесконтактных элементах, выходной орган содержит в качестве управляющего элемента тиристор, который имеет высокое быстродействие,

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Классификация РЗ

по характеру изменения параметра

Максимального типа

Минимального типа

по выполняемой функции

Основные (первоочередное отключение повреждения)

Резервные (отключение при отказе в работе основной защиты)

Дополнительные (частичное дублирование основной защиты)

По назначению

Токовые (ТО и МТЗ)

Дифференциальные (продольные и поперечные)

Дистанционные (ненаправленные и направленные)

Мощности (направленные)

Потенциальные (защиты по напряжению)

Высокочастотные и телеблокировки

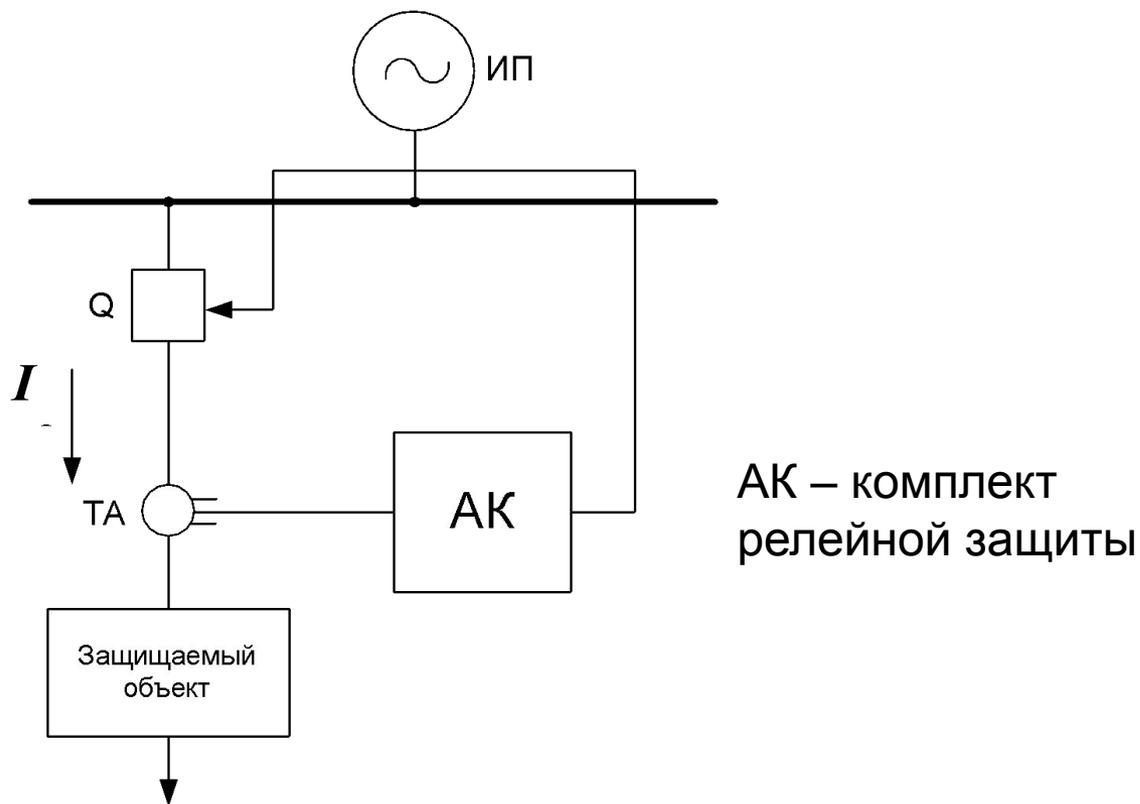
Импульсные

Прочие (реагирующие на неэлектрические параметры)

Токовые защиты. Максимальная токовая защита

Максимальной токовой защитой (МТЗ) называют такую защиту, которая приходит в действие при возрастании тока I до определенного значения в цепи защищаемого объекта в случае КЗ или перегрузки; при этом время срабатывания МТЗ одно и то же независимо от величины тока ненормального режима. Это время определяется уставкой реле времени.

Структурная схема защиты



Срабатывание комплекта защиты МТЗ произойдет при выполнении условия $I \geq I_{сз}$. Ток срабатывания защиты $I_{сз}$ для МТЗ определяется по формуле:

$$I_{сз} = K_3 \cdot I_{нагр.мах}$$

где K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 1,1 \div 1,2$;

$I_{нагр.мах}$ – максимальный ток нагрузки, протекающий в конце зоны защиты.

Ток срабатывания реле $I_{ср}$ комплекта защиты АК будет равен

$$I_{ср} = \frac{I_{сз}}{K_6 \cdot K_{ТА}} \cdot K_{сх}$$

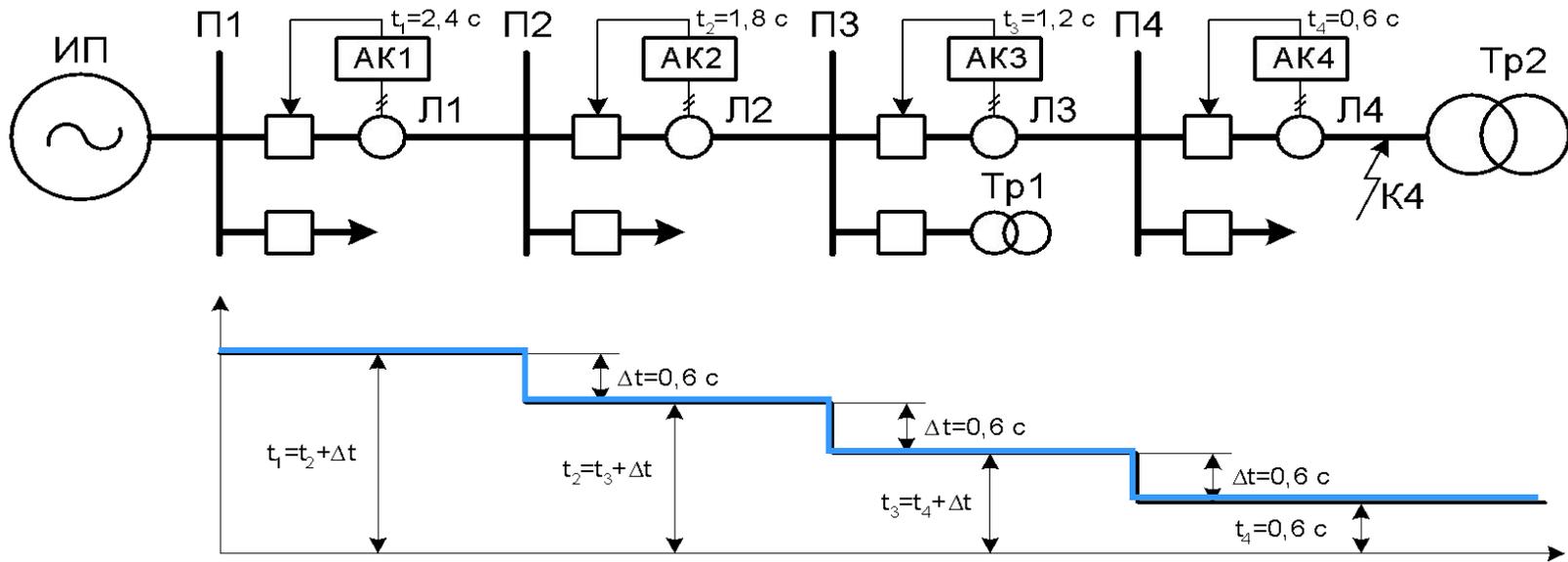
Чувствительность защиты оценивается коэффициентом чувствительности $K_ч$ равным

$$K_ч = \frac{I_{к min}}{I_{сз}}$$

где $I_{к min}$ – наименьший ток КЗ в конце зоны защиты;

МТЗ в трехфазном исполнении реагирует на все виды КЗ (одно-, двух- и трехфазные), в двухфазном исполнении лишь на двух- и трехфазные. Данная защита всегда производит отключение выключателя с одной и той же выдержкой времени, на которую отрегулировано реле времени независимо от удаленности точки КЗ в цепи ЗО от места установки защиты. Защита применяется в сетях с односторонним питанием для одиночных и радиальных последовательно соединенных линий.

Избирательность действия достигается настройкой реле времени защит на различные времена срабатывания



К источнику питания ИП присоединены 4 линии: Л1 ÷ Л4, на которых установлены ком-плекты защит АК1 ÷ АК4. Наиболее удаленная от источника питания линия Л4 должна иметь наименьшую выдержку времени $t_4 = 0,6 \text{ с}$. У следующего по направлению к ИП комплекта защиты АК3 на линии Л3 время срабатывания на $\Delta t = 0,5-0,6 \text{ с}$ больше, т.е. $t_3 = t_4 + \Delta t = 1,2 \text{ с}$ и т. д. Разница во времени срабатывания комплектов защит смежных линий принимается такой, чтобы при повреждении на линиях, удаленных от ИП, обеспечивалось срабатывание их комплектов защит раньше, чем комплектов защит линий, расположенных ближе к ИП. Например, при К₃ в точке К₄ протекающий ток КЗ вызовет срабатывание токовых реле комплектов защит АК1 ÷ АК4, однако отключение места повреждения произведет только комплект защиты АК4, т.к. выдержка времени у него меньше, чем у остальных АК. Реле времени комплектов защит АК1, АК2, АК3 тоже возбуждятся, и их подвижные контакты придут в действие, но вследствие отключения точки КЗ комплектом защит АК4 токовые реле комплектов АК1, АК2, АК3 потеряют возбуждение, разомкнут своими контактами цепи питания обмоток реле времени, якоря которых возвратятся в исходное положение.

Микропроцессорные блоки релейной защиты и автоматики цифровой защиты автоматики (ЦЗА)

Устройства ЦЗА состоят из двух блоков - блок управления (БУ) и блок защит и автоматики (БЗА). На БУ расположены кнопки местного управления выключате-лем и разъединителями, элементы индикации их состояния, алфавитно-цифровой дисплей для отображения текущих контролируемых параметров, просмотра и ввода уставок защит.

В блоке БЗА реализуются собственно алгоритмы защит, управления и автоматики. В состав блока БЗА входят модули дискретного ввода/вывода, аналогового ввода, модули контроллеров защит и автоматики. Блоки БУ и БЗА соединяются между собой интерфейсным кабелем (RS-485).

Программное обеспечение (ПО) устройств ЦЗА выполняется с помощью специализированного языка блочных схем. Библиотека блоков содержит элементы, реализующие набор логических функций (И, НЕ, ИЛИ) триггеры, таймеры, счетчики, буферные элементы и др.

Шкафы микропроцессорных защит ООО «НПП ЭКРА»



Шкафы микропроцессорных защит



В настоящее время разработаны и выпускаются следующие виды устройств ЦЗА:

ЦЗАФ-825 - устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактного рельса для ТП метрополитена;

ЦЗАФ-3,3 - устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети постоянного тока;

ЦЗА-27,5 - ФКС - устройство цифровой защиты и автоматики фидера контактной сети переменного тока.

На основе ЦЗА-27,5-ФКС разработаны и выпускаются устройства цифровой защиты и автоматики для всех соединений РУ-27,5 кВ:

ЦЗА-27,5-ДПР

ЦЗА-27,5-УПК

ЦЗА-27,5-ВВ

ЦЗА-27,5-ТСН



ЦЗАФ-825



ЦЗАФ-3,3



ЦЗА- 27,5 кВ- ФКС

Измерительные органы микропроцессорной защиты

Элементы измерительной части контролируют тот или иной параметр системы электроснабжения, например, амплитуду (абсолютное значение) тока, напряжения, угол сдвига фаз между ними, значение частоты. Указанные параметры вторичных напряжений и токов, получаемых от первичных измерительных преобразователей (трансформаторов) напряжения и тока электрических установок, являются *информационными параметрами*. Вторичные напряжения и ток измерительных трансформаторов являются *основными входными электрическими сигналами* автоматических устройств, их воздействующими величинами. Воздействующей величиной, согласно ГОСТ 16022–83, называется электрическая величина, которая одна или в сочетании с другими электрическими величинами должна быть приложена к электрическому реле или устройству РЗ в заданных условиях *для достижения ожидаемого функционирования*. В ряде случаев используются и неэлектрические величины, которые соответствующими измерительными элементами (датчиками) преобразуются в электрический входной сигнал устройства.

Основные входные электрические сигналы являются аналоговыми. Они поступают на выходы измерительной части устройств релейной защиты и автоматики. Измерительная часть может содержать несколько измерительных органов непрерывного или релейного действия. Измерительный орган непрерывного действия имеет непрерывную проходную характеристику (зависимость выходного сигнала Y от входного X), а релейного действия – релейную проходную характеристику. Релейный измерительный орган преобразует аналоговый сигнал в дискретный с двумя значениями информационного параметра. Простейшие измерительные органы релейного действия – измерительные реле тока, напряжения, мощности, сопротивления.

Электрическим реле, согласно ГОСТ 16022–83, называется аппарат, предназначенный производить скачкообразные изменения в выходных цепях при заданных значениях электрических воздействующих величин. При этом считают, что реле срабатывает, т. е. выполняет заданные функции. Различают *максимальные* и *минимальные* измерительные реле. *Максимальные реле срабатывают при значениях воздействующей величины, больших заданного значения, минимальные – при значениях воздействующей величины, меньших заданного значения.* Пример – реле максимального тока и реле минимального напряжения. В зависимости от способа включения в защищаемую цепь реле делятся на первичные и вторичные.

Первичные реле включаются непосредственно в главную электрическую цепь, а **вторичные** – через первичные измерительные преобразователи. В зависимости от способа воздействия на коммутационный аппарат (например, выключатель) защищаемого объекта различают реле прямого и реле косвенного действия. В **реле прямого действия** подвижная система механически связана с отключающим устройством коммутационного аппарата (это электромеханические реле).

Реле косвенного действия управляет цепью электромагнита отключения выключателя через исполнительный элемент.

Устройства релейной защиты и автоматики выполняются так, что сигнал на выходе измерительного органа появляется лишь в том случае, если входные сигналы удовлетворяют некоторым условиям, например при достижении амплитудой тока определенного значения. Из этого следует, что измерительный орган сравнивает сигналы. Различают два основных принципа сравнения электрических величин: по амплитуде (абсолютному значению) и по фазе.

В зависимости от числа воздействующих величин различают измерительные органы с одной, двумя электрическими величинами и более. Применяются в основном измерительные органы с одной и двумя входными электрическими величинами.