

С.Н. Васильева

## ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

S.N. Vasilieva

## ELECTROMECHANICAL ELEMENTS

**Ключевые слова:** электромеханические элементы, реле, постоянный ток, сопротивление, напряжение.

**Keywords:** electromechanical elements, relay, constant current, resistance, voltage.

**Аннотация:** в данной статье рассматриваются электромеханические элементы, принцип работы реле.

**Abstract:** the article deals with the electromechanical elements, the principle of operation of the relay.

На основе электромеханических элементов создавались устройства релейной защиты и автоматики первого поколения. Начиная с 60-х годов электромеханическая элементная база стала заменяться полупроводниковой, а затем микропроцессорной. Однако и сейчас в устройствах релейной защиты и автоматики систем электроснабжения используют *электромеханические реле: электромагнитные, индукционные, магнитоэлектрические*. По назначению они делятся на измерительные и логические. Под электромеханическим реле, согласно ГОСТ 16022-83, понимают электрическое реле, работа которого основана на использовании относительного перемещения его механических элементов под воздействием электрического тока, протекающего по его обмотке.

На основе электромеханических систем можно создать измерительные реле с одной воздействующей величиной и более, реагирующие элементы схем сравнения, а также реле для логической части автоматических устройств. Как и прежде, широко применяются электромагнитные и индукционные измерительные реле, причем в первом случае осуществляется *сравнение величин по абсолютному значению*, а во втором - их *сравнение по фазе*. Реле логической части обычно являются электромагнитными. Магнитоэлектрические и поляризованные реле используют в качестве реагирующих элементов схем сравнения.

Для построения электромагнитных реле обычно используют следующие электромеханические системы: с втягивающимся якорем; с поворотным якорем; с поперечным движением якоря. Действие таких реле (рис. 1) основано на взаимодействии между ферромагнитным якорем 2 и магнитным полем обмотки 6, обтекаемой током  $I_p$ . Реле косвенного действия имеет контактную систему, которая состоит из неподвижной 3 и подвижной 4 частей. Подвижная часть связана с якорем реле. При отсутствии тока в обмотке 6 якорь удерживается в исходном положении противодействующей пружиной 5 с усилием  $F_n$ , при этом контакт реле разомкнут.

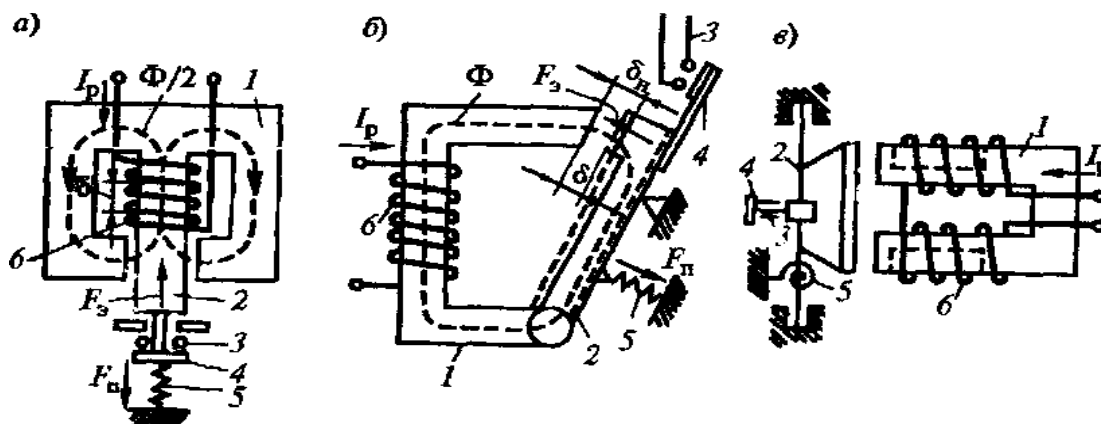


Рисунок 1 - Электромагнитные системы реле

При прохождении по обмотке реле тока возникает магнитный поток  $\Phi$ , замыкающийся через магнитопровод электромагнита, воздушный зазор и якорь. При этом создается электромагнитная сила  $F_3$ , стремящаяся притянуть якорь реле к электромагниту — обусловить *действие реле*:

$$F_3 = 0,5 I_p^2 w_p^2 (d\lambda/dl),$$

где  $\lambda$  — магнитная проводимость;  $l$  — длина силовой магнитной линии, м;  $w_p$  — число витков обмотки, реле.

Выражение является общим для всех конструкций электромагнитных реле. У реле с поворотным якорем магнитное поле в воздушном зазоре практически можно считать равномерным. При этом магнитную проводимость, которую в основном определяют длиной воздушного зазора  $\delta$  и площадью его сечения  $s$ , с достаточной точностью можно принять равной  $4\pi s/\delta$ . Так как при движении якоря сокращается зазор, то  $dl = -d\delta$ , при этом

$$d\lambda/(dl) = -d\lambda/d\delta = 4\pi s/\delta^2.$$

Подставляя в выражение, можно найти

$$F_3 = 2\pi s w_p^2 I_p^2 / \delta^2 = k I_p^2 / \delta^2.$$

Для действия реле необходимо, чтобы на всем пути перемещения якоря от начального положения в конечное положение выполнялось условие

$$F_{3д} > F_n + F_{тр} = F_{н.д},$$

где  $F_w$  — сила трения, Н.

Минимальное значение тока  $I_p$ , при котором соблюдается условие, является *током действия реле*  $I_{др}$ . *Отпускание* якоря, т. е. возврат реле в начальное состояние, может произойти, если на всем пути от  $\delta_k$  до  $\delta_n$  сохраняется условие  $F_{3о} < F_n - F_{тр} = F_{н.о}$ .

На рис. 2 изображены совмещенно механические характеристики реле с поворотным якорем с учетом сил трения при действии  $F_{MJ}$  и при отпуске  $F_{M0}$  и соответственно электромагнитные характеристики  $F_{3J}$  и  $F_{3B}$ , построенные для тока действия  $I_{д.}$  и *тока отпускания*  $I_{ор}$  — максимального тока в обмотке реле, при котором оно переходит в начальное состояние.

Отношение тока отпускания к току действия характеризуется *коэффициентом отпускания*

$$k_0 = I_{о.р}/I_{д.р}.$$

Исходя из требований чувствительности измерительных органов желательно иметь  $k_0 = 1$ .

Электромагнитные характеристики построены при условии, что ток  $I_p$  при перемещении якоря и уменьшении зазора  $\delta$ , несмотря на возрастание индуктивного сопротивления обмотки реле, остается неизменным. Это справедливо для реле тока, у которых ток не зависит от параметров электромагнита, а определяется источником тока, каковым является измерительный трансформатор тока. Если обмотка реле подключается к измерительному трансформатору напряжения, являющемуся источником ЭДС, то вместе с изменением индуктивного сопротивления обмотки изменяется и ток  $I_p$ , а электромагнитная сила  $F_a$  остается практически неизменной, так как изменение зазора  $\delta$  компенсируется соответствующим изменением тока. Действие реле не осуществляется, поэтому обмотка реле напряжения выполняется с преобладанием активного сопротивления или последовательно с обмоткой включается резистор с относительно большим сопротивлением. При этом ток в обмотке реле при движении якоря практически не изменяется, а электромагнитная сила возрастает и действие реле обеспечивается.

В качестве измерительных реле обычно применяются максимальные реле тока и напряжения и минимальные реле напряжения. Действие или отпускание реле, при котором

оно выполняет предназначенные ему функции в автоматическом устройстве, называется *срабатыванием реле*. Максимальные реле выполняют свои функции при возрастании тока или напряжения. Поэтому их срабатывание совпадает с действием, ток или напряжение действия соответственно называют *током /ср* или *напряжением  $U_{ср}$  срабатывания реле*, а коэффициент отпущения — *коэффициентом возврата*, который всегда меньше единицы.

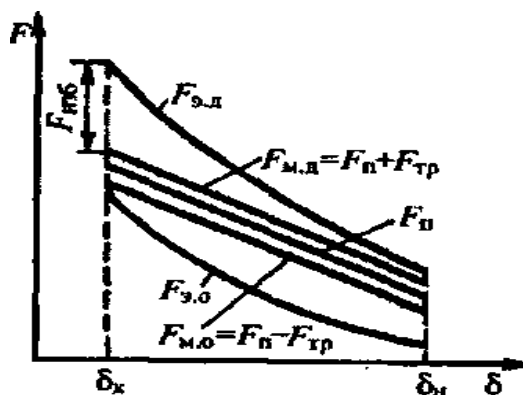


Рисунок 2 - Характеристики электромагнитного реле

Минимальное реле напряжения выполняет свою функцию в автоматическом устройстве при снижении напряжения, поэтому его срабатывание совпадает с отпуском. Напряжение срабатывания минимального реле равно напряжению отпущения, а напряжение возврата равно напряжению действия. Поэтому значение коэффициента возврата минимального реле напряжения равно обратному значению коэффициента возврата максимального реле и всегда больше единицы.

После притягивания якоря реле к электромагниту в связи с различным характером изменения электромагнитной и механической характеристик на подвижную часть реле действует избыточная сила  $F^{\wedge}$ . Значение  $k^{\wedge}$  тем существеннее отличается от единицы, чем больше избыточная сила. С другой стороны, с ростом избыточной силы повышается надежность работы замыкающих контактов реле. Поэтому избыточная сила должна быть достаточной для надежной работы контактов, но не слишком большой, чтобы не влиять на коэффициент возврата. Эти условия удовлетворяются при использовании П-образной магнитной системы с поперечным движением якоря. На ее основе отечественной промышленностью выпускаются измерительные реле тока и реле напряжения типа РТ40 и РН53.

Электромагнитные измерительные реле, как и другие, в зависимости от их включения в защищаемую цепь делят на первичные и вторичные. По способу воздействия на выключатель защищаемого объекта различают измерительные реле прямого и косвенного действия.

Первичные реле прямого действия. Эти реле напрямую подключаются к главной электрической цепи и непосредственно воздействуют на механическое исполнительное устройство выключателя. В связи с этим они не требуют ни первичных измерительных преобразователей, ни источников оперативного тока. В системах электроснабжения первичные реле прямого действия применяются сравнительно редко. Исключение составляют электроустановки постоянного тока, в частности тяговые сети электрифицированного транспорта. Что касается систем переменного тока, здесь еще можно встретить такие реле, называемые расцепителями. Они являются составной частью автоматического выключателя АВМ-10, используемого в электроустановках напряжением до 1 кВ.

Для выполнения защиты, надежно и селективно действующей при коротком замыкании и перегрузках, максимальные расцепители снабжают элементами выдержки времени в виде часовых механизмов.

При этом обеспечиваются необходимая выдержка времени срабатывания расцепителя при

малых токах и мгновенное отключение автоматического выключателя при больших токах. Такой максимальный расцепитель имеет две уставки тока срабатывания: *замедленного срабатывания* и *мгновенного срабатывания*. В ряде случаев такой расцепитель не обеспечивает селективного действия при коротких замыканиях. Для получения селективного действия не только при перегрузках, но при всех допустимых для данных автоматических выключателей токах КЗ возникает необходимость ввести некоторое небольшое замедление в действие максимального расцепителя при коротком замыкании. Автоматические выключатели с такими расцепителями называют *селективными*.

В системах постоянного тока, например на тяговых подстанциях и постах секционирования тяговой сети, в качестве коммутационных аппаратов используют быстродействующие поляризованные автоматические выключатели АБ2/3, АБ2/4, ВАБ-2 и др. Они конструктивно выполнены так, что сами без специальных расцепителей выполняют и функции защиты, т. е. являются коммутационным аппаратом и первичным реле прямого действия одновременно.

Вместе с тем, эти реле имеют недостатки, присущие электромеханическим системам: значительные потребляемые мощности, сравнительно большие размеры, недостаточную надежность из-за наличия подвижной системы и контактов. Кроме того, реле можно использовать только при наличии источников оперативного тока.

Реле времени являются логическими реле с нормируемым временем срабатывания. Они предназначены для создания выдержек времени при передаче сигналов к другим реле логической части устройств релейной защиты и автоматики. В зависимости от оперативного тока различают реле времени постоянного и переменного тока.

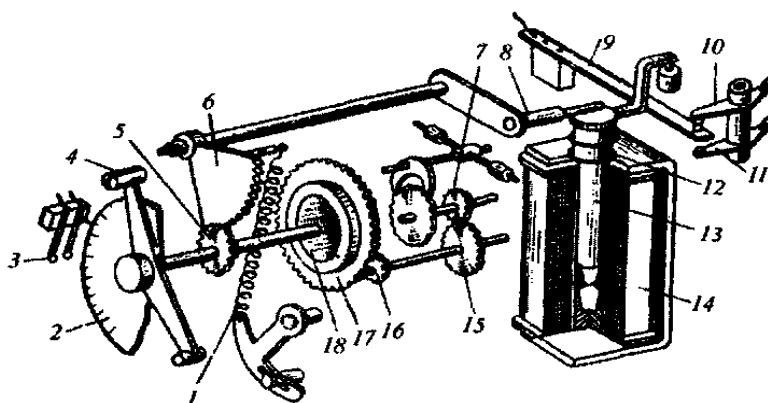


Рисунок 3 - Кинематическая схема реле времени РВ-100

Реле времени постоянного тока использует обычно электромагнитную систему с втягивающимся якорем. Выдержка времени создается часовым механизмом.

На рис.3 изображено одно из таких реле типа РВ-100 в отключенном состоянии. При этом ведущая пружина 1 растянута. Она стремится привести во вращение сектор 6, однако этому препятствует палец 8, упирающийся в верхнюю часть якоря 13. При подаче напряжения на обмотку реле 14, достаточного для срабатывания реле, якорь 13, преодолевая противодействие пружины 12, втягивается и убирает препятствие на пути движения пальца 8 и жестко связанного с ним сектора 6, который под действием ведущей пружины 1 начинает вращаться. Это вращение через шестерню 5 передается на валик с укрепленной на нем подвижной частью контакта 4. Начало вращения валика сопровождается сцеплением его с ведущей шестерней 17 посредством фрикционного сцепления 18. Ведущая шестерня 17 через трибку 16 и промежуточные шестерни 15 и 7 связана с часовым механизмом. Время срабатывания реле зависит от расстояния между начальными положениями подвижного 4 и неподвижного 3 контактов. Это расстояние изменяется путем перемещения неподвижного контакта по шкале 2, на которой указаны выдержки времени реле в секундах.

Реле времени переменного тока используются в основном трех разновидностей. Одной из

них является реле времени с часовым механизмом и электромагнитным заводом рабочей пружины в момент пуска реле. По принципу действия оно аналогично рассмотренному реле постоянного тока. Отличия определяются параметрами обмотки, рассчитанной на переменное напряжение. Основным недостатком этого реле является значительная потребляемая мощность, а также возможность отказа в действии, так как при коротком замыкании напряжение оперативного переменного тока может оказаться меньше напряжения срабатывания. Обмотка другой разновидности реле времени переменного тока в нормальных условиях находится под напряжением, а якорь — в притянутом состоянии. При снижении или исчезновении напряжения якорь реле отпускается, при этом пускается заторможенный часовой механизм и через заданный промежуток времени реле срабатывает. Недостатком реле является возможность ложного пуска из-за значительного снижения напряжения. Поэтому преимущественное распространение получили реле с синхронным микроэлектродвигателем РВМ-12 и РВМ-13. Эти реле включаются непосредственно в цепи первичных преобразователей тока.

Реле РВМ имеет синхронный микродвигатель со статорной обмоткой  $w$  и втягивающимся ротором, два насыщающихся трансформатора  $ТБ1$  и  $ТБ2$  и контактную систему  $КТ.1- КТ.3$ . Первичные обмотки насыщающихся трансформаторов включаются во вторичные цепи измерительных трансформаторов тока двух фаз. Реле приходит в действие при замыкании цепи статорной обмотки между выводами  $11-9$  или  $11-13$ . Для правильной работы реле схема устройства защиты выполняется так, чтобы при срабатывании защиты во всех случаях осуществлялось замыкание только одной цепи.

Для снижения гармонических составляющих в напряжении и токе, подводимых к обмотке электродвигателя, и для снижения пиков напряжения, опасных для изоляции, параллельно вторичной обмотке каждого насыщающегося трансформатора присоединены конденсатор  $C$  и резистор  $R$ . Реле имеет три контакта, из них два импульсных. Максимальная выдержка времени составляет  $t_{ср} = 4$  с у реле РВМ-12 и  $t_{ор} = 10$  с у реле РВМ-13.