



УДК 621.318.56

РЕЛЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ: КЛАССИФИКАЦИЯ, УСТРОЙСТВО И ХАРАКТЕРИСТИКИ

С.А. Гладких glad-kikh.sa@yandex.ru, С.А. Давиденко, sergey_davidenko.2020@mail.ru, А.М. Ланкин lankinjohn@yandex.ru

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,
г. Новочеркасск

В данной статье рассматриваются электромагнитные реле, являющиеся частью систем автоматики и коммутации. Рассмотрены типовые конструкции реле и их основные элементы. Описаны различия магнитных систем таких реле, а также особенности работы электромагнитной системы в составе реле. Представлена классификация по механизму возврата якоря, роду тока, функциональному признаку, видам контактов, назначению подвижного элемента, конструктивным различиям. Описаны испытания, которые требуется проводить с электромагнитным реле для соответствия их ГОСТ. Рассмотрены основные характеристики реле, непосредственно связывающие сигнал управления и коммутируемую нагрузку. Показано, что электромагнитная система реле зависима от магнитных характеристик отдельных ее частей, что влияет на тяговое усилие, возникающие в якоре. Из чего сделан вывод, что анализ этой характеристики позволит прогнозировать работу реле.

Ключевые слова: реле, электромагнит, классификация, тяговая характеристика, прогнозирование.

ELECTROMAGNETIC RELAYS: CLASSIFICATION, STRUCTURE AND CHARACTERISTICS

S.A. Gladkikh, S.A. Davidenko, A.M. Lankin

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk

This article discusses the electromagnetic relays, which are part of automation and switching systems. Typical relay designs and their main elements are considered. The differences in the magnetic systems of such relays are described, as well as the features of the operation of the electromagnetic system as part of the relay. The classification according to the armature return mechanism, the type of current, functional characteristic, types of contacts, the purpose of the moving element, and constructive differences is presented. The tests that are required to be carried out with an electromagnetic relay to comply with their GOST are described. The main characteristics of the relay, directly connecting the control signal and the switched load, are considered. It is shown that the electro-magnetic system of the relay is dependent on the magnetic characteristics of its individual parts, which affects the traction force arising in the armature. From which it was concluded that the analysis of this characteristic allows predicting the operation of the relay.

Keywords: relay, electromagnet, classification, traction characteristic, forecasting.

Электромагнитные реле (ЭМР) используются в системах автоматики, релейной защиты, устройствах коммутации для автоматизированного и автоматического управления энергоснабжением потребителей, а также в устройствах защитного отключения. Задача реле: размыкать или замыкать электрическую цепь при подаче управляющего тока на соответствующие контакты реле [1, 2]. От надежности работы реле зависит безопасность, безотказность и правильность работы коммутируемых нагрузок.

Рассмотрим конструкцию реле [3-5], изображенного на рисунке 1, которая включает обязательные для ЭМР элементы: якорь (Як) – подвижный элемент магнитной системы; полюс сердечника (ПС), обмотку (О), сердечник (С), ярмо (Яр)

– статические элементы магнитной системы; возвратная пружина (ВП); вход – контакты управляющего сигнала; выход – контакты коммутируемой цепи.

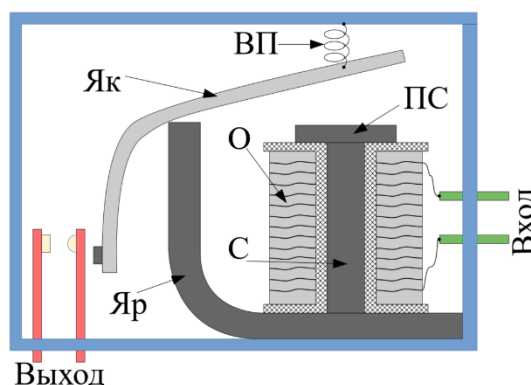


Рис. 1 – Конструкция неполяризованного электромагнитного реле

При подаче тока через контакты входа на обмотку, вокруг последней возникает магнитное поле, которое концентрируется в сердечнике и образует магнитную систему из еще трех элементов: ярма, якоря и полюса сердечника. Возникает электромагнитная сила F_z , «тянущая» якорь к полюсу сердечника [6]. Из-за этого якорь меняет свое положение и надавливает на контакты выхода, замыкая их (в конкретном случае). Поскольку в магнитной системе после отключения тока со входа присутствует остаточная индукция (из-за используемых материалов средней магнитотвердости), то якорь не вернется в начальное положение и не разомкнет контакты (в конкретном случае). Для преодоления этой силы магнитной блокировки используется возвратная пружина. Однако эффект магнитной блокировки используется в некоторых видах реле. По *механизму возврата якоря* в изначальное положение существуют реле: с самовозвратом (без блокировки) – после отключения управляющего сигнала якорь и контакты выхода возвращаются в исходное положение; с магнитной блокировкой – при отключении управляющего сигнала якорь и контакты находятся в одном из положений коммутации, а изменение состояния выхода произойдет при подаче сигнала управления противоположной полярности.

По роду тока управления ЭМР разделяют на *реле постоянного тока* и *реле переменного тока*. По функциональному признаку существуют реле: времени, напряжения, тока, давления, уровня, температуры. При этом переключение электрического реле может быть *логическим* – то есть при дискретном (мгновенном) возникновении на управляющих контактах сигнала, достаточного для срабатывания, или *измерительным* – когда сигнал поступает на входные контакты непрерывно, но переключение осуществляется при достижении этим сигналом величины уставки (с некоторой погрешностью самого реле). Реле могут коммутировать как одну, так и несколько цепей и разделяются по *видам контактов*: с замыкающими, размыкающими, переключающими, перекрывающими и неперекрывающими контактами, а также с различными их сочетаниями. В зависимости от условий, в которых будут работать реле, их делят по *конструктивному исполнению*: герметичные, негерметичные, герконовые. По *назначению подвижного элемента* реле могут быть: с *магнитоуправляемым якорем* – в них якорь оказывает



механическое воздействие на подвижный контакт, коммутирующий выход; с *магнитоуправляемым контактом* – в таких реле подвижный контакт является проводником выходного сигнала, а также выступает в роли якоря магнитной системы.

По виду магнитной системы ЭМР выполняются: с поворотным якорем (рис. 2.а-г), прямого перемещения (рис. 2.е-ж), соленоидного типа (рис. 2.д, з, к), с уравновешенным якорем (рис. 2.и, л) [6].

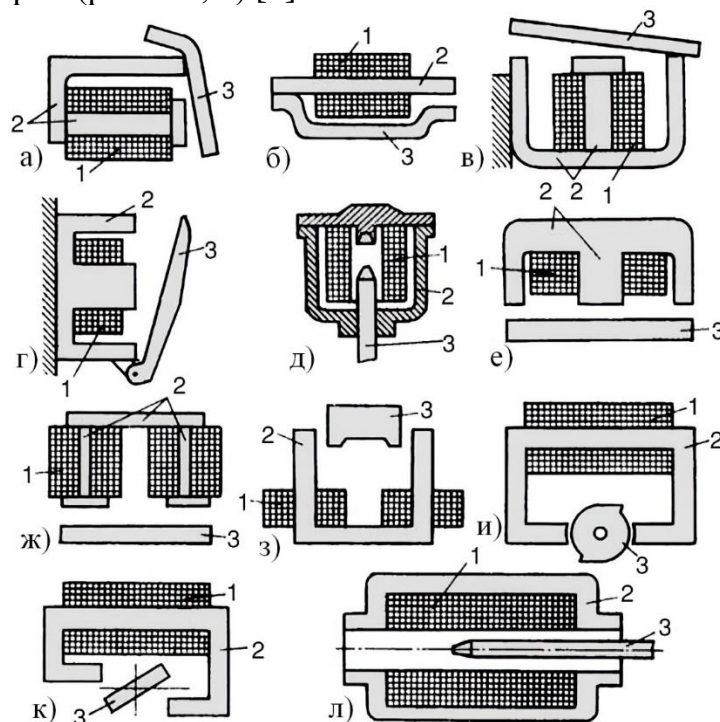


Рис. 2 – ЭМР различного строения магнитной системы. 1 – катушка, 2 – магнитопровод, 3 – якорь.

Отдельным видом ЭМР представлены герконовые реле (рис. 3). Их отличие в том, что подвижный контактный элемент (ПКЭ) находится в герметичном корпусе (ГК) и выполняет роль как проводника магнитного поля для управления, так и проводника коммутируемой цепи. Наличие герметичного корпуса позволяет коммутировать устройства в менее разрушительной среде, чем атмосферный воздух, что положительно сказывается на долговечности контактов и снижает эффект «дребезга» при переключении. Однако такие реле рассчитаны на невысокие токи коммутации (1-2 А).

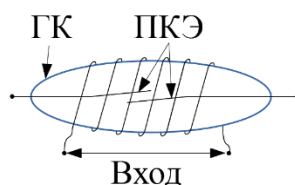


Рис. 3 – Конструкция герконового реле

Для всех видов реле характерны следующие параметры [7]:

- заборное напряжение обмотки – амплитуда напряжения, которым осуществляется коммутация;



- максимальное коммутируемое напряжение и ток – зависит от типа коммутируемой нагрузки;
- максимальная коммутируемая частота – для коммутации переменного напряжения;
- быстродействие – время, проходящее с момента поступления сигнала на коммутацию по момент осуществления коммутации;
- напряжение (ток) срабатывания и отпускания – величина сигнала, при котором происходит изменение состояния контактов.

При приемо-сдаточных испытаниях в ЭМР в соответствии с ГОСТ 16121-86 проверяются: сопротивления обмоток, сопротивления контактов электрической цепи, напряжения (токи) срабатывания и отпускания, расположения выводов контактов и обмоток, электрическая прочность изоляции, сопротивление изоляции, временные параметры, герметичность.

При испытаниях также проводят: испытание на износостойкость, заключающееся в проверке несостоявшегося замыкания или самопроизвольного размыкания контактов; проверку общего вида, расположения выводов, общих габаритов путем сличения с чертежами, измерением специальным инструментом и взвешиванием на весах; проверку контактного нажатия; проверку прочности изоляции; проверку электрической изоляции контактов; испытания на воздействия температур и др.

Работу ЭМР можно отследить по изменению тока в обмотке (рис. 4). Состоящая из четырех участков, эта работа включает:

участок I – срабатывание реле, то есть временной промежуток от момента подачи напряжения на обмотку (0) до надежного замыкания контактов (Б), который называется временем срабатывания ($t_{ср}$). При этом время срабатывания состоит из времени трогания якоря ($t_{тр}$) и времени движения якоря ($t_{дв}$). Трогание якоря происходит, когда ток в катушке достигает значения $I_{тр}$, однако сразу за этим следует уменьшение значения тока из-за возрастающей индуктивности в катушке и возникновению противоЭДС в магнитопроводе. Когда якорь притянется к сердечнику, в катушке установится ток срабатывания – $I_{ср}$. При отсутствии этих эффектов ток изменялся бы в соответствии с пунктирной линией;

участок II – рабочее состояние реле. В промежутке Б-В ток продолжает расти, пока не достигнет значения $I_{уст}$, ограниченного сопротивлением обмотки. Возрастание тока в этом промежутке обеспечивает надежную фиксацию контакта.

участок III – отключение питания с катушки реле. Описывает участок, начинающийся от точки Г – момента уменьшения тока в катушке, до точки Д – достижения током величины отпускания $I_{от}$, при которой якорь начинает движение в изначальное положение спустя время $t_{от}$.

участок IV – возврат якоря в изначальное положение с уменьшением тока в обмотке до нуля.

Электромагнитно-механическая часть ЭМР постоянного тока, а именно непосредственное движение якоря, приводящее к коммутации, связано с тяговой характеристикой – зависимостью между электромагнитной силой тяги F_z , воздействующей на якорь, и величиной зазора δ между якорем и полюсом сердечника. Эта зависимость $F_m=f(\delta)$ называется *тяговой характеристикой* (рис. 5).

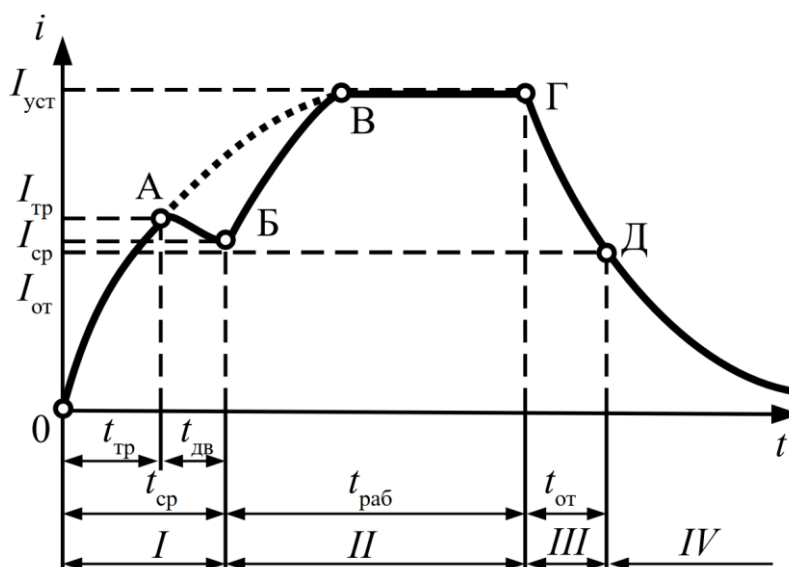


Рис. 4 – Время-токовая характеристика работы реле. i – ток в катушке, t – время.

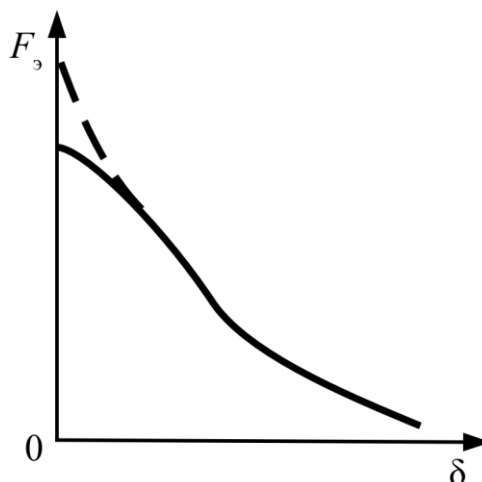


Рис. 5 – Тяговая характеристика реле. Сплошная линия – расчетная, пунктирная линия – с учетом влияния магнитного сопротивления деталей

Изменение электромагнитной силы при уменьшении зазора от нуля до δ описывается уравнениями [8]:

$$F_{\text{э}} = \frac{2\pi \cdot 10^{-7} (IW)^2 \cdot S_c}{\delta^2} \rightarrow \frac{(\Phi)^2}{2\mu_0 S_c} \approx 4B^2 S_c \cdot 10^5,$$

где B – магнитная индукция; I – ток в катушке; W – количество витков катушки; S_c – площадь полюса сердечника.

Магнитная индукция связана с напряженностью магнитного поля H , и магнитной проводимостью материала. При этом значения напряженности для ферромагнитных материалов, из которых состоит магнитная система ЭМР, определяются по кривым намагничивания. А магнитодвижущая сила (МДС), квадрату которой прямо пропорциональна сила тяги, определяется из суммы падений МДС всех участков магнитной цепи. Из чего можно сделать вывод, что магнитные характеристики каждого элемента магнитной системы оказывают влияние на тяго-



вую характеристику ЭМР постоянного тока. Для ЭМР переменного тока этот вывод также является верным, а отличие заключается в характере тяговой силы, которая воздействует на якорь своим средним значением, и вихревых токах.

Поскольку тяговая характеристика связана с механическим перемещением якоря и, через воздействие на контакты, на коммутацию [8] (например, уменьшая эффект «дребезга» контактов в момент изменения их состояния), то ее влияние на работу всего устройства представляется значительным. Соответственно, информация, заложенная в ней, может быть использована для оценки технического состояния устройства и для прогнозирования срока службы реле, что снизит вероятность выхода реле из строя в рамках срока его службы.

Список цитируемой литературы

1. Червоний А.Л. Реле и элементы промышленной автоматики. Практическое пособие для инженеров. // – М.: РадиоСофт, 2012. – 208 с.
2. Буль Б. К., Буль О. Б., Азанов В. А., Шоффа В. Н. Электромеханические аппараты автоматики: Учеб. для вузов // – М.: Высшая школа, 1988. – 303 с
3. Энциклопедия электронных компонентов. Том 1. Резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности, переключатели, преобразователи, реле, транзисторы: Пер. с англ. // Гл. ред. Кондуктова Е., – Спб.: БХВ-Петербург, 2017. – 352 с.
4. Малащенко А. Электромагнитные реле // Электронные компоненты. – 2003. – №7. С. 17-29.
5. Вовк П.Ю. Зарубежные электромагнитные реле. // – Киев: МК-Пресс, 2004. – 400 с.
6. Гуревич В.И. Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения. // – М.: СОЛОН-Пресс, 2011. – 688 с.
7. ГОСТ 16121-86. Реле слаботочные электромагнитные. Общие технические условия. – М. Издательство стандартов, 1987 г. – 56 с.
8. Келим Ю. М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики: Учеб. пособие для средн. проф. учеб. заведений // – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Высшая школа, 2004. – 352 с

© С.А. Гладких, 2020