

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Индустриально-педагогический колледж
Отделение автоматизации информационных и технологических процессов

А. В. Зобин, Е. Н. Михайлова

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО РЕЛЕ

Методические указания
к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно–издательским советом
Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2011

УДК 681.584.7 (07)
ББК 32.96-04я7
З-78

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Н. Ю. Глинская

Зобин, А. В.

З-78 Исследование работы электромагнитного реле : методические указания к лабораторной работе / А. В. Зобин, Е. Н. Михайлова ; Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург : ОГУ, 2011. - 31 с.

Основное содержание: виды реле и их особенности; основные характеристики реле; исследование работы электромагнитного реле.

Методические указания по дисциплине “Типовые элементы и устройства систем автоматического управления” предназначены для студентов, обучающихся в колледжах по специальности 220301 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям) очной формы обучения.

УДК 681.584.7 (07)
ББК 32.96-04я7

© Зобин А. В., 2011
© Михайлова Е. Н., 2011
© ГОУ ОГУ, 2011

Содержание

Введение.....	4
1 Общие положения.....	6
1.1 Общие сведения.....	6
1.1.1 Классификация реле.....	6
1.1.2 Конструкция электромагнитных реле.....	7
1.1.3 Контакты электромагнитных реле.....	9
1.1.4 Характеристики электромагнитных реле.....	11
1.2 Переходные процессы в САУ.....	14
1.2.1 Общие сведения.....	14
1.2.2 Переходные процессы при работе реле.....	15
1.2.3 Механические процессы при работе электрического контакта.....	17
1.3 Способы изменения длительности переходного процесса.....	20
2 Исследование работы электромагнитного реле.....	25
2.1 Цель работы.....	25
2.2 Инструмент и принадлежности к работе.....	25
2.3 Порядок выполнения лабораторной работы.....	25
2.3.1 Устройство лабораторного макета.....	25
2.3.2 Ход работы.....	28
2.4 Содержание отчета.....	28
2.5 Контрольные вопросы.....	29
Список использованных источников.....	30
Приложение А.....	31

Введение

Комплексная автоматизация производства является одним из основных направлений технической политики в нашей стране. Целью комплексной автоматизации является ускорение темпов повышения производительности труда, улучшение качества продукции и повышение ее конкурентоспособности, сокращение времени создания новых изделий.

При интенсификации промышленности возникают проблемы резкого сокращения доли ручного труда, развития комплексной механизации и автоматизации производства. Быстрые темпы роста производства, использование более совершенной техники и технологии, автоматизация научного эксперимента требуют от специалистов знаний в области автоматики.

Постоянное развитие науки и техники и интенсивное внедрение научно-технических достижений в производство обеспечивают непрерывное пополнение арсенала технических средств автоматики, вытесняя устаревшие элементы новыми, более современными конструкциями. Поэтому необходимо уделять особое внимание рассмотрению принципов действия, общих свойств, характеристик и способов реализации различных функциональных элементов автоматики, имеющих в настоящее время наибольшее применение.

Электромагнитные реле являются наиболее распространенными элементами электронной аппаратуры. В связи с развитием средств автоматизации и механизации технических процессов, средств управления сложными комплексами, а также возрастанием роли вычислительной техники расширяются области применения реле. Основные их достоинства заключаются в исключительных электрофизических свойствах электрического контакта, относительной простоте конструкции, универсальности, простоте схемного использования.

Вопросы применения реле остаются актуальными, так как несоблюдение основных требований при выборе, монтаже и эксплуатации реле приводит к значительному снижению эффективности их использования, а также надежности и долговечности.

Электромагнитные реле применяются для управления различного вида аппаратуры или отдельных ее систем, устройств, приборов и элементов. Электромагнитные реле устанавливаются в схемах контроля и защиты, кодирования, памяти и преобразования информации, управления режимами усилителей, генераторов и т. п.

Применение электромагнитных реле в электронной аппаратуре предъявляет ряд существенных требований к знаниям разработчика аппаратуры. Оптимальное удовлетворение этих требований позволяет уменьшить массу и габариты, снизить стоимость, повысить стойкость к внешним дестабилизирующим факторам, надежность и долговечность электронной аппаратуры. Специалисты в области автоматики, автоматизации производства и управления должны быть хорошо знакомы с элементами и устройствами, на базе которых строятся системы автоматики, автоматизации и управления.

Знание особенностей конструкции, назначения, функциональных возможностей, работы и настройки элементов систем электроавтоматики дает достаточный объем информации для решения многих практических задач автоматизации производственных процессов, а также унификации автоматизируемого технологического оборудования.

1 Общие положения

1.1 Общие сведения

1.1.1 Классификация реле

Одним из наиболее распространенных исполнительных элементов различных автоматических систем являются реле. К ним относятся устройства, преобразующие плавное изменение входной величины в скачкообразное изменение выходной. Реле используются в системах автоматики в качестве элементов управления и защиты, дискретных датчиков и усилителей, размножителей сигналов и логических элементов.

Реле классифицируются по:

- виду физических величин, поступающих на вход (электрические и неэлектрические);
- назначению (реле управления, защиты, сигнализации, связи);
- принципу воздействия на выходную цепь (контактные и бесконтактные);
- роду величины, на которую реагируют реле (токовые, напряжения, мощности, частоты, сопротивления);
- исполнению (открытые, с защитным чехлом, пылебрызгозащищенные, герметические).

Упрощенная структурная схема реле показана на рисунке 1 [1].

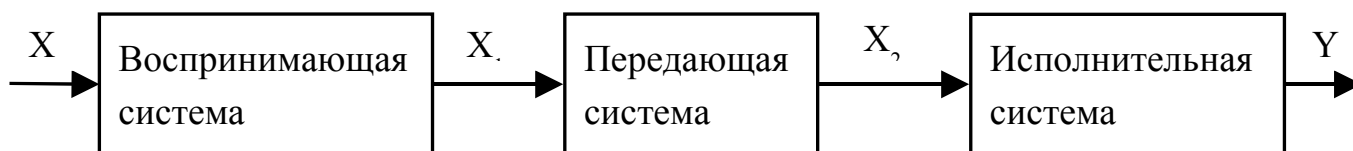


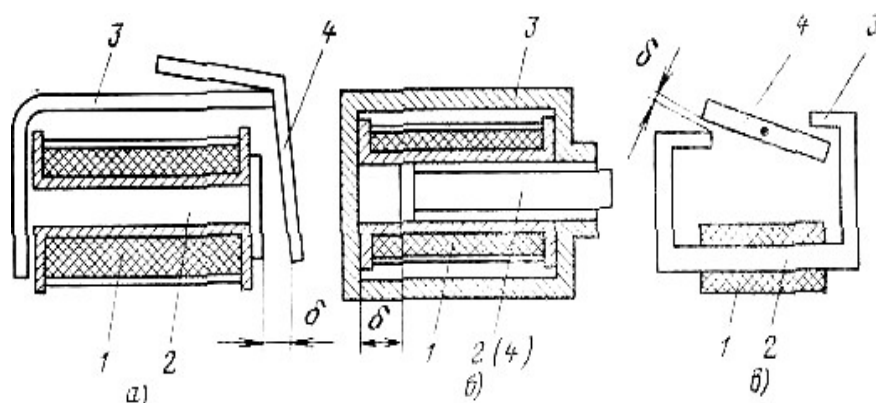
Рисунок 1 - Структурная схема реле

1.1.2 Конструкция электромагнитных реле

Электромагнитные реле это электрические аппараты, основным элементом которых является электромагнит. Электромагнит — наиболее простой преобразователь электрического сигнала в механическое усилие или перемещение. Электромагнит содержит обмотку, по которой протекает ток, и магнитную систему. Магнитная система состоит обычно из трех элементов: сердечника, на котором расположен каркас с обмоткой; ярма, обеспечивающего замыкание магнитного потока; и якоря, являющегося подвижной частью магнитной системы. Все три элемента магнитной системы выполняются из ферромагнитных материалов.

Якорь может находиться в одном из двух положений. В одном из этих положений магнитная система является замкнутой, а в другом — разомкнутой. В разомкнутом положении якорь обычно удерживается специальной пружиной, называемой рабочей.

По конструктивному исполнению различают электромагниты с якорем клапанного типа, с втяжным и поворотным якорем (смотри рисунок 2) [2].



a — клапанного типа; *б* — с втяжным якорем; *в* — с поворотным якорем;

1 — обмотка; *2* — сердечник; *3* — ярмо; *4* — якорь.

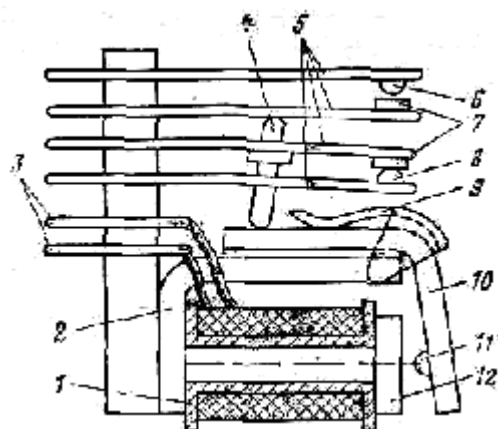
Рисунок 2 - Устройство электромагнитов реле

Для любой из этих конструкций при обесточенной обмотке якорь с помощью пружины удерживается в таком положении, что магнитная цепь разомкнута и между якорем и сердечником (или ярмом) имеется воздушный зазор длиной δ . При

включении обмотки возникает магнитное поле, силовые линии которого замыкаются через магнитную систему и воздушный зазор. При этом на якорь действует механическая сила, притягивающая его к сердечнику. Эта сила стремится перевести якорь в такое положение, при котором магнитная система оказывается практически замкнутой. Перемещение якоря и замыкание магнитной цепи может произойти лишь при таких токах и магнитных полях, при которых сила притяжения способна преодолеть силу сопротивления рабочей пружины.

Якорь механически связан с контактами аппарата, являющимися исполнительными органами, так что при переходе якоря из одного положения в другое эти контакты замыкаются или размыкаются.

Примером конструкции электрического аппарата является реле клапанного типа, изображенное на рисунке 3 [3, с. 166].



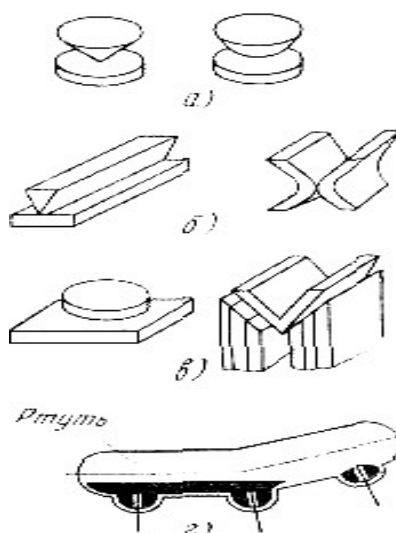
1 — каркас с обмоткой; 2 — ярмо; 3 — выводы обмотки; 4 — эбонитовый штифт; 5 — контактные пружины; 6 — замыкающий контакт; 7 — подвижные контакты; 8 — размыкающий контакт; 9 — рабочая пружина; 10 — якорь; 11 — штифт отлипания; 12 — сердечник.

Рисунок 3 - Реле клапанного типа

Конструкции других аппаратов отличаются конфигурацией магнитной системы, типом обмотки, конструкцией исполнительных контактов и механического привода, связывающего якорь с контактами. Существует большое многообразие подобных конструкций.

1.1.3 Контакты электромагнитных реле

Основным элементом электрических аппаратов являются исполнительные контакты. Различают точечные, линейные, плоскостные и ртутные контакты (смотри рисунок 4) [3].



а — точечные; *б* — линейные; *в* — плоскостные; *г* — ртутные.

Рисунок 4 - Разновидности контактов реле

При отсутствии тока в обмотке электромагнита контакты могут быть либо замкнутыми, либо разомкнутыми. Их называют соответственно *размыкающими* или *замыкающими*.

К контактам предъявляются требования высокой надежности электрического соединения, долговечности, стойкости к влиянию внешней среды.

В процессе работы контакты могут находиться в замкнутом, разомкнутом состояниях или состояниях замыкания и размыкания.

Поверхность контактов имеет малые неровности и бугорки, которые в замкнутом состоянии сминаются контактным усилием. В состоянии равновесия механическое усилие P в точках соприкосновения должно быть достаточным для продавливания окисной или сульфидной пленки, образующейся на поверхности контактов. При протекании тока замкнутые контакты нагреваются, что приводит к изменению их сопротивления. При больших токах может произойти сплавление контактов.

Наиболее тяжелым режимом работы контактов является процесс размыкания.

При уменьшении контактного усилия сопротивление контакта растет, увеличивается температура точек соприкосновения, в результате чего материал контактов в этих точках может расплавиться. При дальнейшем движении контактов «мостик» из расплавленного металла разрывается и напряженность поля в образующемся малом зазоре резко возрастает. Этому способствует ЭДС самоиндукции, возникающая в размыкаемой цепи, которая обусловлена индуктивностью этой цепи и может быть существенно больше рабочего напряжения на разомкнутых контактах. Напряженность поля может быть настолько большой, что возникает газовый разряд — дуга, которая сильно разрушает контакты.

Для гашения дуги и уменьшения искрения контактов в качестве материала контактов используют тугоплавкие металлы и сплавы, увеличивают расстояние между контактами в разомкнутом состоянии, располагают контакты в масле, используют специальные дуго- и искрогасящие цепочки. Например, для реле малой мощности используют RC-цепи, которые включают параллельно контактам, или катушке индуктивности в коммутируемой цепи (смотри рисунок 5).

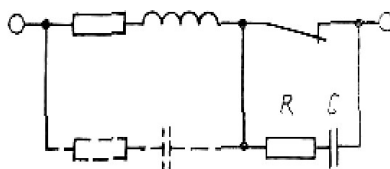


Рисунок 5 - Схема искрогашения контактов

Такие цепи уменьшают ток контактов в момент разрыва за счет зарядного тока емкости.

Рассмотренные особенности работы контактов определяют выбор материалов для их использования [4, с. 186]. Так, для маломощных контактов наиболее часто применяются серебро, золото, сплавы золота с никелем, платины с иридием и сложные многокомпонентные сплавы. Для мощных контактов обычно используется медь.

Электромагниты электрических аппаратов конструируются исходя из условия получения необходимой электромеханической силы при заданных

значениях тока, напряжения и мощности источника питания. Электромагниты могут иметь одну или несколько обмоток. По активному сопротивлению обмотки подразделяются на низкоомные (до 1 кОм) и высокоомные (свыше 1 кОм). При включении и выключении в обмотке наводится значительная ЭДС самоиндукции, которая должна быть учтена при выборе изоляционных материалов обмотки.

Магнитные цепи электрических аппаратов конструируются таким образом, чтобы обеспечить минимальные потоки рассеяния и заданные электромеханические характеристики. После выключения тока в обмотке якорь может остаться притянутым из-за остаточного магнетизма или, как часто говорят, якорь может «залипнуть». Для предотвращения этого обычно ограничивают минимальный зазор между якорем и сердечником (ярмом) с помощью специальных штифтов отлипания (смотри рисунок 3).

1.1.4 Характеристики электромагнитных реле

1. Реле позволяют коммутировать электрические цепи, мощность которых значительно превышает мощность, потребляемую приводным электромагнитом. Это свойство реле характеризуется *коэффициентом управления по мощности*

$$K_y = P_{ком} / P_y, \quad (1)$$

где $P_{ком}$ — мощность в коммутируемой цепи;

P_y — мощность, потребляемая электромагнитом.

K_y может достигать значений 10^5 — 10^6 .

2. Сила электромагнитного притяжения якоря зависит от величины зазора в магнитной цепи δ . Зависимость электромагнитной силы F_δ от величины зазора δ называется *тяговой* или *электромеханической характеристикой* реле. Анализ показывает, что тяговая характеристика хорошо описывается соотношением

$$F_\delta \approx 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot (I\omega)^2 \cdot S_\delta / 2\delta^2, \quad (2)$$

где $I\omega$ — ампер-витки обмотки электромагнита;

S_δ — площадь поперечного сечения воздушного зазора.

Механическая сила F_M , противодействующая движению якоря, обусловлена жесткостью рабочей пружины и другими механическими факторами. Она также зависит от величины зазора δ . Зависимость F_M от δ называется *механической характеристикой* реле.

Для надежного срабатывания реле необходимо, чтобы тяговая характеристика в рабочей части лежала выше механической характеристики (смотри рисунок 6) [2].

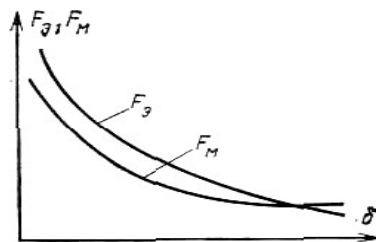


Рисунок 6 - Тяговая (F_δ) и механическая (F_M) характеристики реле

Реле также характеризуются *чувствительностью*, определяемой минимальной мощностью, напряжением или током, необходимыми для срабатывания реле. Поскольку мощность и напряжение нестабильны, чаще всего чувствительность оценивается током срабатывания, т. е. минимальным током обмотки, при котором происходит переключение контактов. Ток срабатывания может быть найден по приведенному выше выражению для тяговой характеристики и заданной механической характеристике из условия $F_\delta \geq F_M$ для любых возможных δ . К параметрам реле также относится:

время срабатывания t_{cp} — интервал времени с момента подачи управляющего сигнала срабатывания реле до полного замыкания (или размыкания) контактов. Оно складывается из двух составляющих: $t_{cp} = t_{mp} + t_{\delta\phi}$, где t_{mp} — время трогания, т. е. промежуток времени, в течение которого ток нарастает от нуля до тока срабатывания; $t_{\delta\phi}$ — время движения якоря из нормального состояния в притянутое;

время отпускания t_{omn} , которое также состоит из двух аналогичных составляющих.

При отсутствии специальных тормозящих устройств $t_{mp} \gg t_{\delta\phi}$. время трогания

определяется в основном постоянной времени $\tau = L / r$ (L — индуктивность обмотки электромагнита, r — активное сопротивление обмотки и внешней цепи).

По времени срабатывания реле подразделяют на безынерционные ($t_{ср} < 1$ мс), быстродействующие ($t_{ср} = 5—50$ мс), нормальные ($t_{ср} = 50—150$ мс), замедленные ($t_{ср} = 0,15—1$ с) и реле времени ($t_{ср} > 1$ с). Время срабатывания и отпускания можно изменять как конструктивными, так и схемными методами. К конструктивным методам относятся снижение массы подвижных частей, уменьшение вихревых токов в магнитной системе, для чего она набирается из пластин, использование специальных ускоряющих обмоток и т. п. Схемные методы направлены на ускорение переходного процесса в обмотке, например последовательно с ней включается резистор, уменьшающий постоянную времени;

коммутируемая мощность $P_{ком}$ и диапазон коммутируемых напряжений и токов в пределах этой мощности, которые являются важными энергетическими параметрами реле. По этому параметру реле подразделяются на маломощные ($P_{ком} < 1$ Вт), средней мощности ($P_{ком} = 1—10$ Вт) и мощные ($P_{ком} > 10$ Вт).

Максимальное значение коммутируемого тока ограничивается дугообразованием и температурой нагрева, при которой наступает уменьшение прочности материала контактов. Максимальное значение коммутируемого напряжения определяется электрической прочностью изоляции и межконтактного промежутка. Минимальное значение коммутируемых токов и напряжений ограничивается требованиями к стабильности переходного сопротивления контактов;

максимальная частота срабатывания реле, определяемая минимальным временем срабатывания и отпускания;

износоустойчивость реле, определяемая допустимым количеством срабатываний до наступления систематических отказов. Износоустойчивость зависит от конструкции реле, силы коммутируемого тока, характера нагрузки и лежит в пределах $10^4—10^9$.

1.2 Переходные процессы в САУ

1.2.1 Общие сведения

Системы автоматического регулирования различного назначения имеют в своем составе разнообразные по конструкции и принципу действия элементы. Представление системы автоматического регулирования в виде элементов позволяет разобраться в принципе их действия.

При изучении динамических свойств систем целесообразно рассматривать отдельные ее элементы только с точки зрения их динамических свойств независимо от функциональных преобразований и конструктивных форм исполнения. Одинаковыми динамическими свойствами могут обладать различные элементы независимо от их физической природы. По этому признаку в цепях регулирования принято выделять отдельные элементы или группы элементов, которые называют динамическими звеньями [5].

Динамическим звеном называют часть системы автоматического регулирования, переходный процесс которой описывается дифференциальным уравнением определенного вида. Динамическим звеном может быть элемент, совокупность элементов и вся система автоматического регулирования в целом. В отличие от элемента системы динамическое звено не обязательно является конструктивно или схемно оформленным устройством.

Входной и выходной сигналы в динамическом звене могут иметь различную физическую природу.

Системы автоматического регулирования, как правило, работают в неустановившемся, переходном режиме. Такой режим работы является следствием воздействия на систему непрерывно и случайно изменяющихся внешних возмущающих факторов, приводящих к непрерывному изменению входной и выходной величины во всех ее звеньях. Поэтому одной из важных задач является изучение поведения динамических звеньев в переходных режимах.

Динамической характеристикой звена называют зависимость выходной

величины от входной в переходном процессе. Физическая задача определения выходной величины звена при изменяющемся входном сигнале сводится к решению дифференциального уравнения того или иного вида, описывающего протекание переходных процессов в звене.

1.2.2 Переходные процессы при работе реле

Реле — элемент автоматики, в котором при достижении входной величины x определенного значения выходная величина y изменяется скачком [4, с. 188].

Зависимость $y = f(x)$ реле неоднозначна и имеет форму петли (смотри рисунок 7).

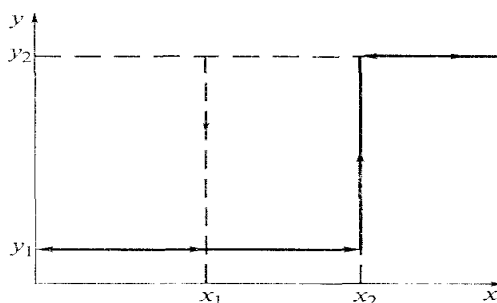


Рисунок 7 - Основная характеристика реле

При изменении входной величины от 0 до x_2 выходная величина y изменяется незначительно (или остается постоянной и равной y_1). При достижении входной величины x значения x_2 , т.е. $x = x_2$, выходная величина изменяется скачком от значения y_1 до y_2 . Впоследствии при увеличении x выходная величина изменяется незначительно или остается постоянной (имеет установившееся значение). Когда входная величина уменьшается до значения x_1 , выходная величина сначала остается также неизменной и почти равной y_2 . В тот момент, когда $x = x_1$, выходная величина скачком уменьшается до значения y_1 и сохраняется приблизительно неизменной при уменьшении x до нуля.

Вследствие инерционности управляющей цепи и реле входной ток реле будет возрастать и убывать не мгновенно, а по некоторой кривой (смотри рисунок 8) [4, с. 194].

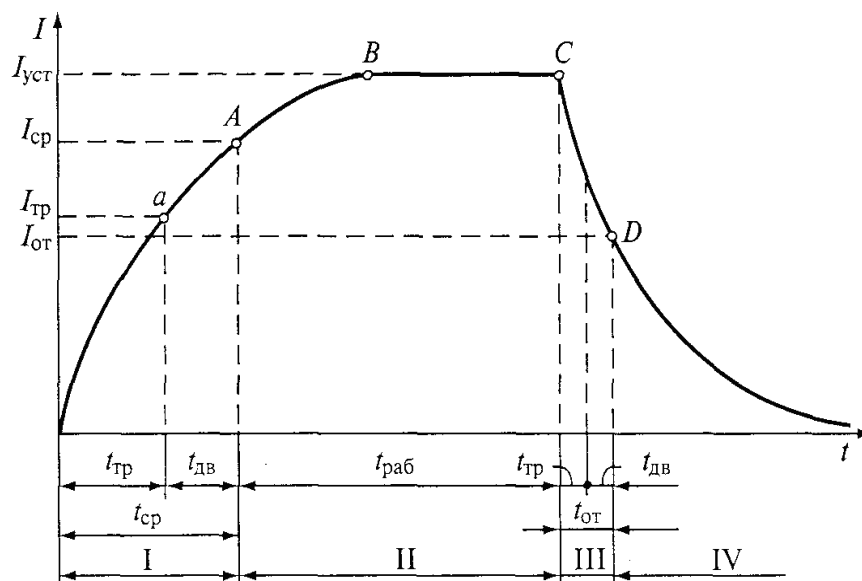


Рисунок 8 - Временная диаграмма работы реле

Рассмотрим особенности работы реле по этапам. За счет индуктивности катушки реле ток в ней нарастает (убывает) не мгновенно, а постепенно. При детальном рассмотрении работы реле в процессе срабатывания и отпускания можно определить четыре этапа.

Этап I - срабатывание реле. Длительность этого этапа — время полного срабатывания $t_{ср}$, т.е. промежуток времени от момента подачи напряжения на катушку реле до момента надежного замыкания контактов (точка A); $I_{тр}$ — ток трогания, при котором начинается движение якоря; $t_{тр}$ — время, за которое ток достигает значения $I_{тр}$ (точка a), т.е. промежуток, соответствующий началу движения якоря; $I_{ср}$ — ток, при котором срабатывает реле; $t_{дв}$ - время движения якоря при срабатывании. Таким образом, время полного срабатывания, отвечающее окончанию движения якоря, $t_{ср} = t_{тр} + t_{дв}$.

Этап II — работа реле ($t_{раб}$ — время работы реле). После того как реле сработает, ток в обмотке продолжает увеличиваться (участок AB), пока не достигнет установившегося значения. Участок AB необходим для того, чтобы обеспечить надежное притяжение якоря к сердечнику, исключаящее вибрацию якоря при сотрясениях реле. Впоследствии ток в обмотке реле остается неизменным. Отношение установившегося тока $I_{уст}$ к току срабатывания $I_{ср}$ называется коэффициентом запаса реле по срабатыванию $K_{зан}$, т.е. $K_{зан}$ показывает

надежность работы реле: $K_{зан} = I_{уст} / I_{ср} = 1,5...2$. Величина $I_{уст}$ не должна превышать значения, допустимого для обмотки реле по условиям ее нагрева.

Этап III - отпускание реле. Этот период начинается от момента прекращения подачи сигнала (точка C) и продолжается до момента, когда ток в обмотке реле уменьшится до значения $I_{от}$ (точка D — прекращение воздействия реле на управляемую цепь). При этом различают время трогания при отпускании $t_{тр}$ и время движения $t_{дв}$.

Время отпускания $t_{от} = t_{тр} + t_{дв}$, где $t_{тр}$ — время до начала движения якоря при отпускании; $t_{дв}$ — продолжительность перемещения якоря. Отношение тока отпускания к току срабатывания называется коэффициентом возврата: $K_B = I_{от}/I_{ср} < 1$; обычно $K_B = 0,4...0,8$.

Этап IV — покой реле — отрезок времени от момента размыкания контактов реле (точка D) до момента поступления нового сигнала на его обмотку. При быстром следовании управляющих сигналов друг за другом работа реле характеризуется максимальной частотой срабатывания (числом срабатываний реле в единицу времени).

1.2.3 Механические процессы при работе электрического контакта

Особые требования к контактным системам реле возникают при их использовании в высокочувствительной аппаратуре [6, с. 629]. В такой аппаратуре к реле предъявляются повышенные требования по дребезгу (вибрации) контактов и генерируемого паразитного заряда.

Причина дребезга контактов заключается в том, что при их соударении кинетическая энергия движущегося контакта частично превращается в энергию упругой деформации, которая приводит к вибрации (дребезгу) контактов. Другой недостаток реле, связанный с генерацией паразитного заряда в момент его срабатывания, вызван перемещением контактов в электростатическом поле их изоляторов.

Для устранения вибрации была предложена конструкция контактной системы (смотри рисунок 9), в которой неподвижный контакт (верхний контакт)

выполнен в виде гибкой (из тонкой ленты) наклонной плоскости.

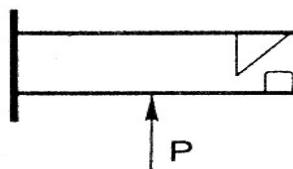


Рисунок 9 – Конструкция контактной системы

При срабатывании реле подвижный контакт скользит по наклонной плоскости, растрачивая свою кинетическую энергию на трение. Длительность переходных процессов (вибраций) зависит от межконтактного зазора и угла встречи контактных площадок. На рисунке 10 этот угол равен $90^\circ - \alpha$.

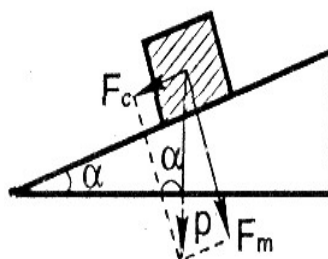


Рисунок 10 – Угол встречи контактных площадок

Установлено, что при угле встречи 90° (горизонтальная плоскость) вибрации отсутствуют только при зазоре 0,01 мм, при угле 55° — при зазоре до 0,2 мм (дальнейшее увеличение зазора от 0,2 до 0,8 мм приводило к вибрациям длительностью от 0,5 до 6 мс), при угле 45° — при зазорах 0,01...0,8 мм, при угле 50° - до зазора 0,7 мм, при зазоре 0,8 мм происходило заклинивание контактов.

После соударения контактов их движение описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка

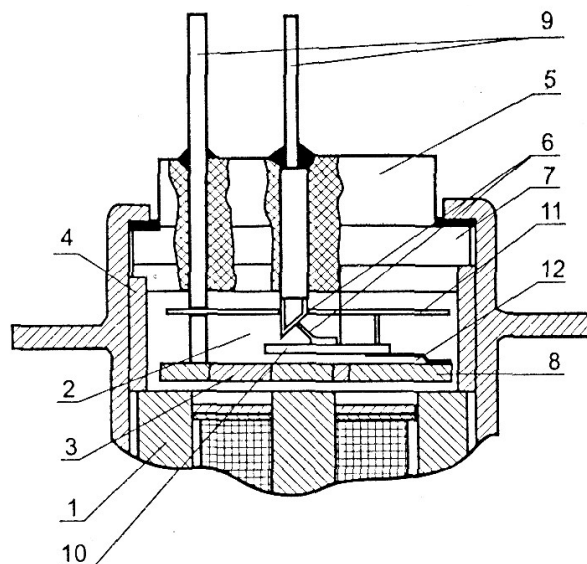
$$m_c \left(d^2 x / dt^2 \right) + K_T \left(dx / dt \right) + K_y x = F \quad (3)$$

где m_c — суммарная масса подвижного и неподвижного контакта;

K_T — коэффициент вязкого (скоростного) трения при скольжении верхнего контакта по поверхности нижнего;

K_y — коэффициент упругости (жесткость).

Практическая конструкция бездребезгового реле содержит (смотри рисунок 11) электромагнит 1 и контактную группу 6, отделенную от электромагнита зазором 2, размер которого определяется высотой установочного кольца 4, зажатого между изолятором 5 контактной группы 6 и электромагнитом.



1 – электромагнит; 2 - зазор; 3 – диск; 4 – установочное кольцо; 5 – изолятор; 6 – контакты; 7 – изолятор; 8 – диск; 9 – выводы контактов; 10 – якорь; 11 – дисковый экран; 12 – пружина.

Рисунок 11 - Конструкция контактов бездребезгового реле

Для исключения модуляции электростатического поля изолятора при перемещении нижнего (подвижного) контакта используется дисковый экран 11; выводы 9 контактов, закрепленные в изоляторе из янтаря, являются несущими как для неподвижно контакта, так и для подвижного, жестко соединенного с якорем 10 из ферромагнитного сплава 79НМ. Якорь 10 с приваренной к нему пружинной 12 крепится к диску 8, выполненному из ферромагнитного и диамагнитного материалов в таком сочетании, что магнитное поле электромагнита через воздушный зазор и диск концентрируется в точке, над которой на якоре расположен подвижный контакт, в результате чего при срабатывании электромагнита исключаются наводки на коммутируемую цепь и обеспечивается равномерное движение якоря.

Контакты реле выполнены из золотого сплава Эл-Н5 толщиной 0,15 мм в виде треугольной (для неподвижного контакта) и прямоугольной рамок (для

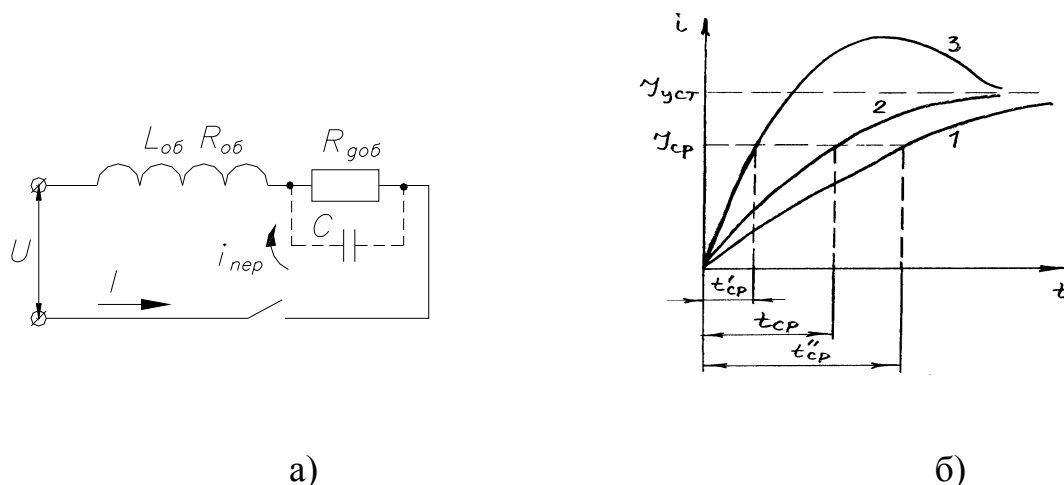
подвижного). Сила давления подвижного контакта регулируется подгибанием пружины 12. После проведения всех регулировок реле помещается в герметичный корпус фланцевого типа.

Реле имеют следующие характеристики: сопротивление изоляции контактов относительно корпуса и между собой — не менее 10^{14} Ом; паразитный заряд, генерируемый при переключении контактов, — не более 10^{-15} К; переходное сопротивление контактов — 0,05...0,1 Ом; ток срабатывания — 20...30 мА при напряжении питания 12 В.

1.3 Способы изменения длительности переходного процесса

Время срабатывания и отпускания реле можно изменить как схемными, так и конструктивными методами [1]. Применяя схемные методы, можно изменять длительность переходного процесса. Учитывая, что для реле данного типа величина $i_{CP} = \text{const}$, из формулы (3) следует, что изменять величину t_{CP} можно, изменяя $i_{уст}$ или τ_1 . Так, например, увеличение установившегося значения $i_{уст}$ приводит к уменьшению t_{CP} , а увеличение постоянной времени τ_1 — к увеличению t_{CP} . Однако, практические возможности здесь ограничены, а именно: при увеличении $i_{уст}$ может произойти перегрев обмотки, а уменьшение $i_{уст}$ приводит к уменьшению коэффициента запаса при срабатывании $k_{з,CP} = i_{уст}/i_{CP}$.

Рассмотрим схемные методы ускорения срабатывания реле (см. рисунок 12).



а) б)
Рисунок 12 - Схема ускорения срабатывания реле (а) и зависимость изменения тока в катушке реле при срабатывании реле (б)

На рисунке 12б кривая 1 характеризует переходной процесс в обмотке реле без принудительного ускорения срабатывания реле, при этом время срабатывания реле обозначено, как t_{CP}'' . Включение последовательно с обмоткой реле добавочного активного сопротивления $R_{\text{доб}}$ (смотри рисунок 12а) приводит к уменьшению постоянной времени цепи, т.е. к уменьшению времени срабатывания реле t_{CP} (кривая 2, рисунок 12б). В этом случае постоянная времени цепи будет

$$\tau = L_{\text{об}} / (R_{\text{об}} + R_{\text{доб}}) , \quad (4)$$

где $L_{\text{об}}$ и $R_{\text{об}}$ – соответственно индуктивность и активное сопротивление обмотки реле;

$R_{\text{доб}}$ – добавочное сопротивление резистора, включенного с обмоткой.

Ещё большее быстродействие (в 5...10 раз) можно получить, включив параллельно $R_{\text{доб}}$ ёмкость C (рисунок 12а, штриховая линия). При замыкании выключателя B ток переходного процесса $i_{\text{пер}}$ проходит через C в обход $R_{\text{доб}}$, т.к. ёмкостное сопротивление конденсатора C значительно меньше $R_{\text{доб}}$. Зарядный ток конденсатора резко увеличивается до значительной величины, поэтому ток в обмотке реле быстрее достигает значения тока срабатывания и, следовательно, t_{CP}'' становится меньше (кривая 3, рисунок 12б). За малый промежуток времени существования ток переходного процесса не успевает перегреть обмотку реле. В установившемся режиме ток $i_{\text{уст}}$ проходит через резистор $R_{\text{доб}}$ (т.к. конденсатор не пропускает постоянный ток), и поэтому величина его будет значительно меньше по сравнению с броском тока. Следовательно, перегрева обмотки в этом случае не будет.

В рассмотренных методах ускорения срабатывания реле для сохранения величины установившегося тока $i_{\text{уст}}$ необходимо увеличить напряжение питания U на величину ΔU . Следует указать, что для уменьшения t_{CP} и $t_{\text{отп}}$ магнитопровод выполняют из материалов, обладающих большим удельным сопротивлением и уменьшающих вихревые токи – при этом время трогания увеличивается. К таким

материалам относятся кремниевые стали, низконикелевые пермаллоевые стали и т. п.

В схеме, приведённой на рисунке 13, замедление срабатывания реле осуществляется с помощью конденсатора C , включенного параллельно обмотке.

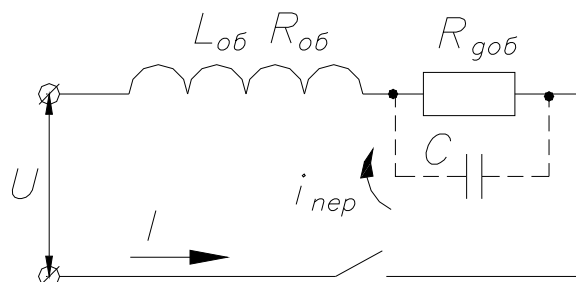


Рисунок 13 - Схема замедления срабатывания и отпускания реле при параллельном включении конденсатора

При включении обмотки ток переходного процесса $i_{пер}$ в начале проходит через C в обход $L_{об}$, т.к. индуктивное сопротивление обмотки значительно больше ёмкостного сопротивления конденсатора. В конце переходного процесса, когда скорость изменения тока невелика, ток проходит через обмотку реле, вызывая замедление срабатывания, пропорциональное величине ёмкости конденсатора C . Время протекания тока через конденсатор и, следовательно, величина замедления определяется соотношением величин U , C , $L_{об}$, $R_{об}$. Из-за возможности образования резонансных явлений данная схема не нашла широкого применения.

Весьма эффективным способом получения замедления срабатывания реле является электромагнитное демпфирование (способ воздействия на скорость изменения магнитного потока в магнитопроводе называют демпфированием). Сущность магнитного демпфирования состоит в том, что на сердечнике размещают кроме рабочей обмотки W (смотри рисунок 14) ещё и короткозамкнутую обмотку $W_{кз}$ (называемую демпфирующей), которая обладает большой индуктивностью $L_{кз}$ и малым активным сопротивлением $R_{кз}$.

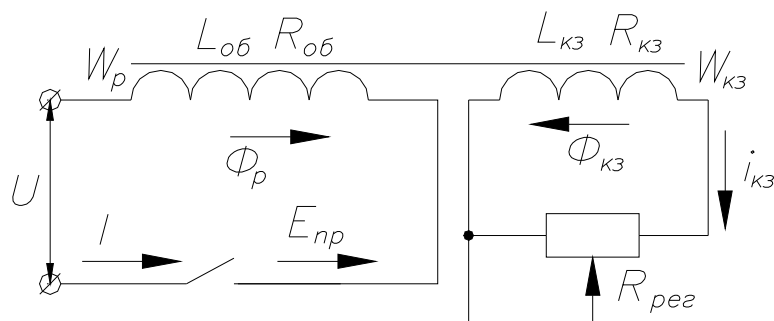


Рисунок 14 - Схема замедления срабатывания и отпускания реле при включении короткозамкнутой обмотки

В демпфирующей обмотке при включении выключателя в переходном режиме создаётся ток $i_{кз}$, образующий магнитный поток $\Phi_{кз}$, который наводит в рабочей обмотке W_p противо-э.д.с. – E . По закону Ленца эта э.д.с. препятствует нарастанию тока i и магнитного потока Φ_p в рабочей обмотке и, следовательно, замедляет срабатывание реле. По окончании переходного процесса магнитный поток Φ_p в рабочей обмотке становится постоянным, и действие обмотки $W_{кз}$ прекращается. Время нарастания магнитного потока до величины $\Phi_{ср}$ и время срабатывания реле до величины $t''_{ср}$ увеличивается (кривая 1, смотри рисунок 15).

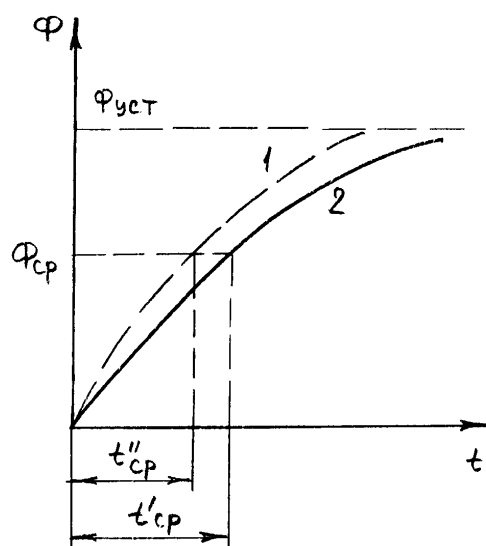
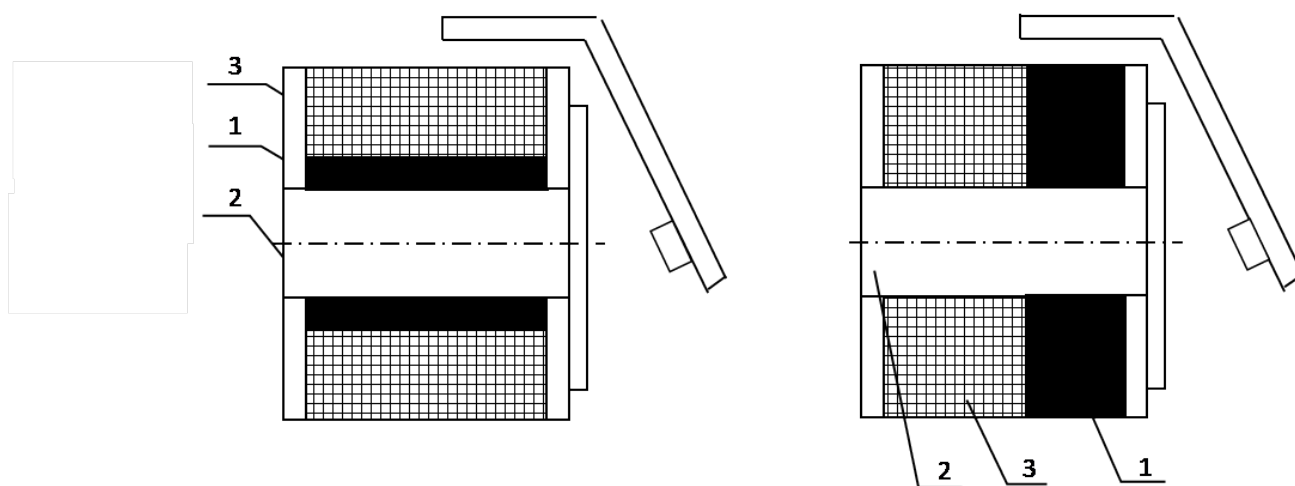


Рисунок 15 - Изменение величины магнитного потока у реле с короткозамкнутой обмоткой (1) и без нее (2)

Время замедления можно регулировать при помощи регулировочного резистора $R_{рег}$ (рисунок 14), включенного в цепь обмотки $W_{кз}$. При замыкании этой обмотки накоротко время замедления имеет максимальное значение.

Короткозамкнутая катушка обычно выполняется в виде массивной втулки (гильзы) из меди или алюминия, надетой на сердечник. Наличие втулок способствует увеличению вихревых токов, а, следовательно, их магнитных потоков (смотри рисунок 16).



1 – короткозамкнутая катушка, 2 – сердечник, 3 – обмотка.

Рисунок 16 - Магнитное демпфирование реле с помощью короткозамкнутых катушек

Увеличение времени отпускания реле можно получить шунтированием катушки реле резистором R и диодом VD (смотри рисунок 17).

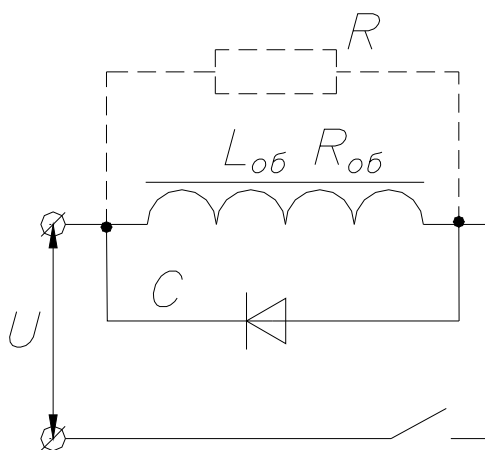


Рисунок 17 - Схема замедления срабатывания и отпускания реле при параллельном включении диода и резистора

2 Исследование работы электромагнитного реле

2.1 Цель работы

Изучить методы измерения времени срабатывания и отпускания нейтральных электромагнитных реле различных типов. Определить временные параметры для различных схем подключения реле.

2.2 Инструмент и принадлежности к работе

- | | |
|---|---------|
| 1 Измеритель временных параметров реле Ф291 | - 1 шт. |
| 2 Лабораторный макет с испытываемыми реле | - 1 шт. |
| 3 Источник питания Б5-50 | - 1 шт. |

2.3 Порядок выполнения лабораторной работы

2.3.1 Устройство лабораторного макета

Лабораторный макет состоит из измерителя временных параметров реле Ф291 (смотри приложение А), лабораторного стенда с испытываемыми реле и блока питания Б5 – 50 [9].

Лабораторный стенд представляет собой испытательный стенд с расположенными на нём реле типа МКУ - 48С и РКМП - 2 и выведенными клеммами питания, контактными группами реле и клеммами конденсатора и резистора. Имеется возможность менять номинал резистора (100 Ом /220 Ом) при помощи тумблера на лицевой панели. Напряжение питания реле МКУ-48С – 24 В, РКМП - 2 – 42 В.

Блок питания Б5 - 50 представляет собой импульсный источник постоянного тока с возможностью дискретной установки фиксированных значений напряжения и тока. Шаг дискретного значения напряжения и тока 1 В, 1 мА. Пределы

установки выходного напряжения 0 - 299 В; пределы установки выходного тока 0 - 299 мА.

ЗАПРЕЩАЕТСЯ ВКЛЮЧАТЬ ИСТОЧНИК Б5-50 ПРИ ПОЛОЖЕНИИ ДИСКРЕТНЫХ НАБОРНЫХ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЕЙ, РАВНЫХ ПОКАЗАНИЯМ "000" В, "000" мА.

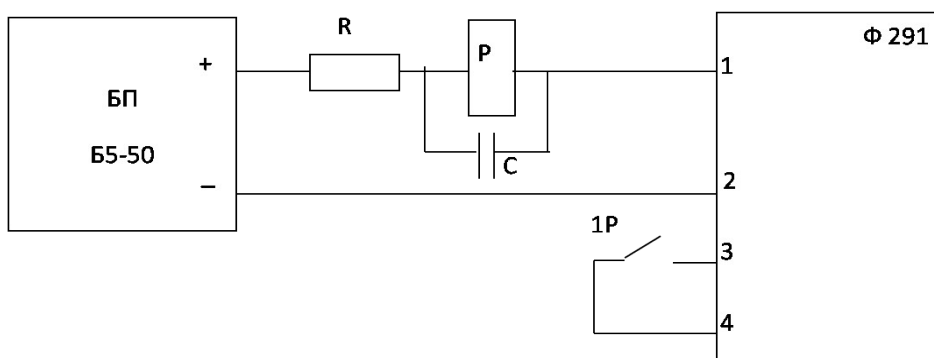
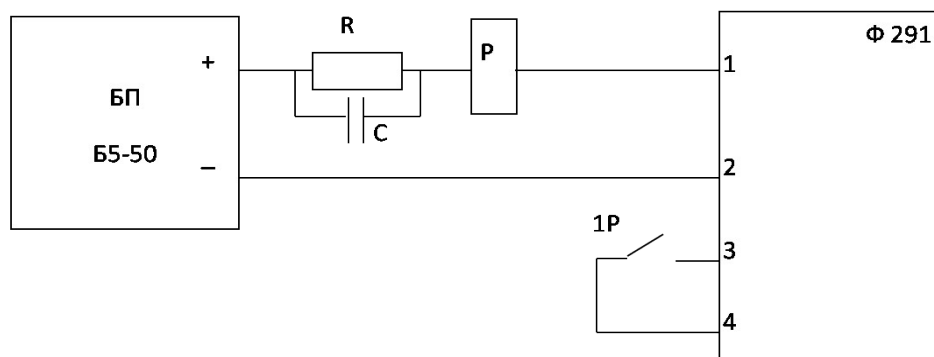
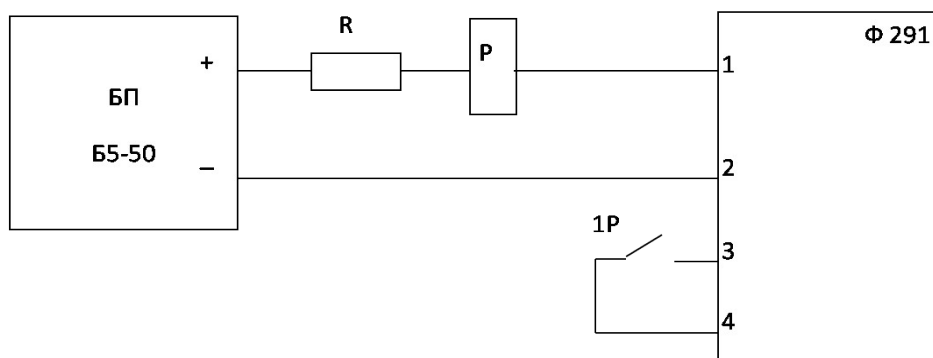
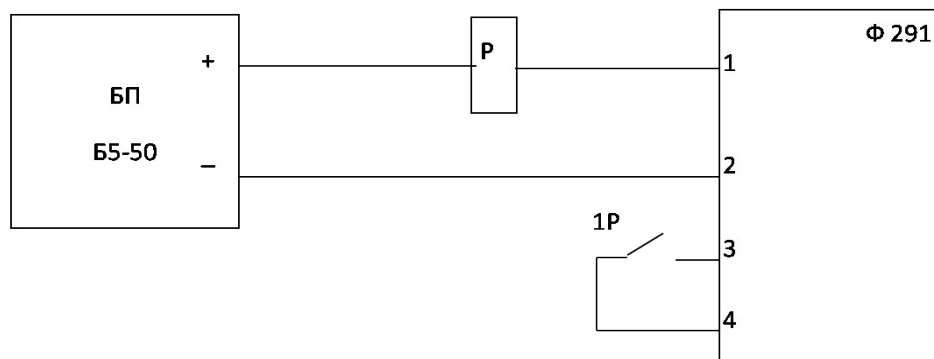


Рисунок 18 - Схемы испытания реле

2.3.2 Ход работы

Провести измерение времени срабатывания и отпускания реле замыкающим и размыкающим контактом. Для этого:

- 1) установить необходимое напряжение питания исследуемого реле на блоке питания Б5 - 50 (МКУ-48С – 24В, РКМП - 2 – 42В) и ток, равный 250 мА;
- 2) собрать схему испытания реле согласно схеме (см. рис. 18 а).
- 3) установить рабочие органы прибора Ф291 в положение "ОТКЛ";
- 4) выбрать необходимый режим работы прибора Ф291 согласно таблице режимов работы;
- 5) включить питание приборов Ф291 и Б5 - 50;
- 6) нажать кнопку "СБРОС" на приборе Ф291 и при помощи тумблера "ПУСК" произвести измерение исследуемого временного параметра;
- 7) пункт 6 повторить 3 раза;
- 8) пункт 1...7 повторить для схем согласно рисунка 18 б...г;
- 9) полученные данные занести в таблицу 1.

Таблица 1

Тип реле	Срабатывание		Отпускание	
	Замыкающий контакт	Размыкающий контакт	Замыкающий контакт	Размыкающий контакт

2.4 Содержание отчета

Отчет по проделанной лабораторной работе должен содержать:

- а) цель работы;
- б) перечень оборудования и приборов;
- в) схемы испытания реле;
- г) таблицу 1 с экспериментальными данными;
- е) выводы по работе.

2.5 Контрольные вопросы

- 1 Что из себя представляет электромагнитное реле?
- 2 Область применения электромагнитного реле?
- 3 Временные параметры электромагнитных реле.
- 4 Методы ускорения срабатывания реле.
- 5 Методы замедления срабатывания реле.

Список использованных источников

- 1 **Бабилов М. А.** Элементы и устройства автоматики: учеб. пособие / М. А. Бабилов, А. В. Косинский – М. : Высшая школа, 2006. - 464 с.
- 2 **Немцов, М. В.** Электротехника и электроника: учебник для вузов. / М. В. Немцов. – М. : Издательство МЭИ, 2008. – 597 с., ил. - ISBN 5-7046-0814-0.
- 3 **Шишмарев, В. Ю.** Типовые элементы систем автоматического управления: учеб. для сред. проф. образования / В. Ю. Шишмарев. - М.: Издательский центр «Академия», 2005. - 304с. - ISBN 5-7695-1328-4.
- 4 **Келим, Ю. М.** Типовые элементы систем автоматического управления: учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования / Ю. М. Келим. - М. : ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. - 384 с. - ISBN 5-8199-0043-X (ФОРУМ), ISBN 5-16-000989-2 (ИНФРА-М).
- 5 **Иващенко, Н.Н.** Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем: учеб. для вузов / Н.Н. Иващенко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2008. – 736 с.
- 6 **Карлащук, В. И.** Электронная лаборатория на IBM PC: лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MATLAB / В. И. Карлащук. – 5-е изд. — М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с. - ISBN 5-98003-151-0.
- 7 **Прянишников, В.А.** Электроника: полный курс лекций / В. А. Прянишников. – 4-е изд. – СПб. : КОРОНА принт, 2005. – 416 с., ил. - ISBN 5-7931-0018-0.
- 8 **Малов, А. Н.** Основы автоматики и автоматизация производственных процессов / А. Н. Малов, Ю. В. Иванов. – М. : Машиностроение, 2005. – 368 с.
- 9 **Аранович Б. И.** Электромагнитные устройства автоматики / Б. И. Аранович, Б. В. Шалерой. – М.: Энергия, 2007. – 797 с.

Приложение А

(справочное)

Измеритель параметров реле цифровой Ф291

Измеритель параметров Ф291 предназначен для измерения временных параметров реле при питании обмоток реле от внешнего источника постоянного тока до 10 А при напряжении до 240 В, переменного тока до 6 А частотой 50 Гц при напряжении до 380 В, а также при отсутствии соединения прибора с внешним источником питания обмоток реле.

Применяется для ремонта и эксплуатации релейных систем автоматики электрических станций и подстанций, а также для измерения параметров различного рода механических переключателей, тумблеров, кнопок.

Основные технические характеристики прибора Ф291:

- пределы измерений интервалов времени: 10 000, 1 000 000 мс;
- выход на цифропечатающее устройство в коде 8-4-2-1;
- диапазон измерений сигнала:

высокий уровень 2,4 ... 5,25 В;

низкий уровень 0 ... 0,5 В.

- питание: 220 В, 50 Гц;
- потребляемая мощность 20 В·А;
- прибор относится к восстанавливаемым изделиям;
- наработка на отказ: не менее 5000 ч;
- средний срок службы 8 лет;
- условия эксплуатации:

температура окружающего воздуха: -10...+50 °С;

относительная влажность: 90 ±3 % при 30°С и более низких температурах.

- масса 4 кг;
- габариты 134x210,4x270 мм.

Прибор Ф291 позволяет измерять по первому замыканию (размыканию) контакта проверяемого реле следующие временные параметры:

- а) время отпускания реле;
- б) разность времени срабатывания (отпускания) любой комбинации двух пар контактов;
- в) время срабатывания реле с размыкающими и замыкающими контактами;
- г) время кратковременного замыкания и размыкания контакта.

На лицевой панели прибора Ф291 расположены:

- а) кнопка включения прибора;
- б) переключатель "РЕЖИМ" для выполнения коммутаций схемы прибора, соответствующих соотношению контактов и режиму работы проверяемого реле;
- в) кнопка "КНТ" (контакт) для измерения функций проверяемых контактов;
- г) кнопка "РАЗН" (разность) для работы в режимах определения разности времени срабатывания любой комбинации двух замыкающих и размыкающих контактов и определения времени кратковременного замыкания или размыкания контакта;
- д) кнопка "100" для работы прибора на пределе 100000 ms;
- е) кнопка "СУМ" (сумма) для суммирования показаний прибора при неоднократном измерении параметров реле;
- ж) кнопка "СБР" (сброс) для сброса показаний отсчётного устройства прибора;
- з) тумблер "ПУСК" для подключения напряжения к обмотке проверяемого реле и подключения генератора импульсов к счётным декадам.

На задней панели прибора Ф291 расположены:

- а) клеммы 1, 2 (цепь реле) для подключения обмотки реле к цепи питания;
- б) клеммы 3, 4 (контакт 1), 3, 6 (контакт 2) для подключения контактов проверяемого реле;
- в) разъём "ЦПУ" для вывода результатов на печатающее устройство;
- г) разъём "ДУ" для подключения дистанционного управления;
- е) клемма заземления.