ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

Аграрно-технологический факультет

Кафедра эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка

АВТОМАТИКА

Методические указания

Тирасполь, 2016

УДК 681.5(072):631.171(072)
ББК З96р30+П07р30
А22

Составитель
А.Н. Попескул, ст. преп.

Рецензенты:
В.М. Погорлецкий, канд. физ.-мат. наук, доц., зав. каф. электроэнергетики и электротехники инженерно-технического института
Г.В. Клинк, канд. тех. наук, доц., зав. каф. эксплуатации и ремонта машинно-тракторного парка

Автоматика: Методические указания / Сост. А.Н. Попескул.
А22 – Тирасполь, 2016. – 72 с.

Методические указания составлены в соответствии с утвержденным учебным планом и программой по дисциплине «Автоматика» к лабораторным работам для студентов 3 курса очной и заочной форм обучения направления 35.03.06 «Агроинженерия» профилей «Технические системы в агробизнесе», «Технический сервис в АПК», «Электрооборудование и электротехнологии».

УДК 681.5(072):631.171(072)
ББК З96р30+П07р30

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© Попескул А.Н., составление, 2016

Введение

Эффективное ведение сельского хозяйства в настоящее время невозможно без автоматизации агротехнических процессов. Приборы и системы автоматики в настоящее время широко применяются в тепличных комплексах, птичниках, животноводческих хозяйствах, в открытом грунте. Автоматика позволяет оптимизировать процессы сельскохозяйственного производства, создать и поддерживать для растений и животных наилучшие условия для их жизни и развития. Автоматика позволяет значительно увеличить производство, повысить качество продукции, урожайность и продуктивность, облегчить труд и исключить ошибки, вызванные «человеческим фактором» [6].

Лабораторные работы являются важным элементом подготовки студентов при изучении курса «Автоматика». Они дают возможность закрепить теоретические знания и с помощью лабораторного оборудования на практике проверить некоторые положения теории, наглядно изучить принцип действия лабораторных установок для исследования устройств автоматики с целью определения их параметров и снятия характеристик.

Настоящие лабораторные работы способствуют более глубокому и детальному изучению предмета, образованию конкретных представлений об устройстве, принципах действия, основах монтажа и снятию характеристик некоторых технических средств автоматики, систем автоматического регулирования и контроля, используемых в различных технологических процессах сельскохозяйственного производства.

Выполнение лабораторных работ позволит студенту научиться самостоятельно решать задачи исследовательского характера, обрабатывать и анализировать полученные результаты опытов и делать соответствующие выводы.

В целях качественного выполнения лабораторных работ студенту необходимо уяснить теоретический материал по теме лабораторной работы, ознакомиться с описанием лабораторной

установки, выяснить цель работы и ознакомиться с последовательностью ее выполнения.

Перед началом лабораторной работы необходимо расставить приборы и аппараты по возможности так, чтобы они соответствовали электрической схеме. Начинать сборку схемы нужно от одного из зажимов источника питания, соединяя последовательно один элемент за другим, и закончить схему на другом зажиме источника. После сборки последовательной цепи нужно подключить и параллельные цепи, если они имеются в электрических схемах (вольтметры, контакты и др.). Целесообразно для последовательных и параллельных цепей использовать провода разного цвета. Это делает электрическую схему наглядной и позволяет уменьшить число ошибок при ее сборке.

После того как схема собрана, необходимо все рукоятки регуляторов напряжения установить на нулевую отметку, движки реостатов установить в такое положение, чтобы сопротивления их были наибольшими, а переключатели многопредельных приборов поставить на наибольший предел измерения.

Наличие ошибок в электрической схеме может привести к порче оборудования, приборов или к несчастному случаю. Поэтому каждый раз необходимо показывать собранную схему преподавателю или лаборанту.

Лабораторную работу нужно выполнять, соблюдая последовательность, которая указана в описании каждой работы. Необходимо убедиться, что приборы подобраны верно, реле или аппарат срабатывает и замыкает или размыкает свои контакты, сигнальная лампочка загорается и т. п.

После окончания экспериментов нужно проанализировать полученные результаты, сопоставив их с теорией, свойствами измеряемого параметра или техническими характеристиками исследуемого аппарата.

При составлении отчета о проделанной лабораторной работе студенту следует кратко законспектировать важнейшие теоретические положения, зарисовать рисунки лабораторного

оборудования. Данные испытаний необходимо заносить в таблицы для записи показаний приборов. Для сдачи лабораторной работы необходимо ответить устно или письменно на контрольные вопросы.

Основные правила техники безопасности

В лаборатории автоматики используется напряжение переменного и постоянного тока до 250 В. При несоблюдении правил по технике безопасности эта величина напряжения представляет серьезную опасность.

Электрический ток, проходя через тело человека, производит тепловое, химическое и биологическое воздействие, тем самым нарушая нормальную жизнедеятельность.

Химическое действие тока ведет к электролизу крови и содержащихся в организме других растворов, что приводит к изменению их химического состава. Биологическое действие электрического тока проявляется в опасном возбуждении живых клеток организма, что может сопровождаться судорогами, явлениями паралича.

Степень поражения человека и тяжесть электрического удара зависят главным образом от значения тока, проходящего через тело человека, пути тока в теле человека и длительности его прохождения.

Студенты допускаются к лабораторным работам только после ознакомления с настоящими правилами, что должно быть зафиксировано в специальном журнале.

Во всех случаях, находясь в кабинете автоматики (лаборатории, на участке или в цехе учебно-производственного комбината, на предприятии, стройке и т. д.), строго соблюдайте следующие общие правила техники электробезопасности:

1. Перед началом сборки схемы необходимо убедиться в том, что автоматический выключатель на стенде находится в выключенном состоянии.

2. Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами, а проходы — стульями.

3. Измерительные приборы и исследуемые аппараты необходимо размещать таким образом, чтобы в процессе выполнения работ была исключена возможность случайного прикосновения к оголенным токоведущим частям.

4. Не допускается использование приборов и аппаратов с неисправными зажимами, проводов с поврежденной изоляцией, неисправных реостатов, тумблеров и другого оборудования.

5. Сборку схемы необходимо выполнять по возможности без пересечений проводов, нельзя натягивать и свертывать провода. Неиспользованные соединительные провода необходимо убрать с рабочего места.

6. Категорически запрещается производить какие-либо операции на главных распределительных щитах, а также за пределами рабочего места.

7. Напряжение на схему подают только после разрешения преподавателя, предупредив об этом всех участников занятия работающих на данном рабочем месте.

8. В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему необходимо отключать от сети.

9. Во время выполнения лабораторной работы запрещается: оставаться работать в лаборатории одному; производить пересоединение в схеме, находящейся под напряжением; прикасаться к оголенным токоведущим частям приборов; включать схему после каких-либо изменений соединений в ней до проверки преподавателем; оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.

10. Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов, проводов, при появлении специфического запаха, дыма нужно выключить напряжение и немедленно поставить в известность преподавателя.

11. После окончания работы необходимо выключить напряжение, разобрать схему, привести в порядок рабочее место.

Первая помощь при поражении электрическим током.

Успех при оказании первой помощи пострадавшему от электрического тока, как и при других несчастных случаях, зависит от быстроты и правильности действий окружающих. Промедление или неумение оказывающими помощь выполнить необходимые действия могут повлечь за собой смерть пострадавшего.

При поражении электрическим током пострадавший нередко не может самостоятельно освободиться от действия тока, так как ток вызывает судороги мышц. Чтобы помочь пострадавшему, нужно немедленно отключить электроустановку или соответствующую ее часть. Если же это сделать невозможно (далеко расположен рубильник или доступ к нему оказался опасным), пострадавшего нужно отделить от токоведущих частей следующим образом:

- надев резиновые галоши и перчатки или обмотав руку сухой тканью, оторвать человека, попавшего под напряжение, от токоведущих частей;
- взявшись за сухие части одежды пострадавшего, оторвать его от токоведущих частей;
- встав на сухую доску или подсунув ее под пострадавшего, оторвать его от токоведущих частей.

Меры первой помощи зависят от состояния, в котором находится пострадавший после освобождения его от действия тока. Один из оказывающих помощь должен немедленно вызвать врача, а другой с помощью товарищей немедленно выполнить следующее: уложить пострадавшего на спину на твердую ровную поверхность и проверить, есть ли у него дыхание и пульс.

Если пострадавший находится в сознании, то его надо укрыть теплой одеждой, не давать двигаться и до прихода врача продолжать наблюдать за состоянием дыхания.

В случае бессознательного состояния пострадавшего, но при наличии у него дыхания и пульса нужно уложить

пострадавшего в удобном положении, расстегнуть одежду, обеспечить приток свежего воздуха и давать нюхать нашатырный спирт. Все это надо делать до прихода врача.

Если у пострадавшего отсутствуют признаки жизни, то его нельзя считать умершим, так как только врач может безошибочно установить, мертв ли пострадавший или его еще можно спасти. До прихода врача необходимо делать пострадавшему искусственное дыхание и массаж сердца.

Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И СИЛ С ПОМОЩЬЮ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Цель работы: Изучение принципа действия и исследование аппаратуры для измерения сил и деформаций.

Оборудование и приборы: тензостанция ТММ-3, тензометрическая балочка с нагружающим устройством, тензодатчик проволочный из константана.

1.1. Общие сведения

Тензометрические датчики применяют для измерения упругих деформаций (измерения растяжения или сжатия тел), а также для измерения крутящих и изгибающих моментов, возникающих на поверхности различных деталей при их механической нагрузке. В основу работы их положен тензоэффект, заключающийся в изменении активного сопротивления проводника под действием механических напряжений и деформаций. Тензодатчики, используемые в автоматическом контроле, дают возможность следить за деформациями и напряжениями при статических и динамических нагрузках [4].

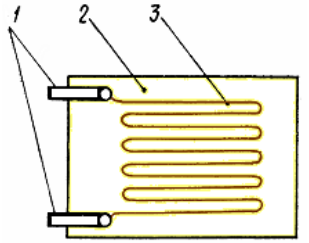


Рис.1.1. Проволочный тензодатчик:
1 – контактные выводы, 2 – подложка, 3 – чувствительный элемент (проволока)

Основным элементом проволочного тензодатчика является константановая проволока диаметром 0,015—0,05 мм, сложенная в виде петлеобразной решетки (спирали) между

двумя склеенными полосками тонкой бумаги или пленки (рис. 1.1). Для измерения деформации чувствительный элемент(проволока) 3 с бумажной подложкой 2 прикрепляют к поверхности исследуемой детали с помощью специальных смол. К концам проволоки прикрепляют выводы 1, изготовленные из медной фольги, при помощи которых тензопреобразователь подключают к измерительной схеме.

При растяжении или сжатии детали приклеенная проволока, которая также будет растягиваться или сжиматься, при этом изменяются геометрические размеры проволоки: длина l, площадь поперечного сечения S, удельное сопротивление ρ, вследствие чего сопротивление проволоки увеличивается. Изменение этого сопротивления будет пропорционально деформации и является выходной величиной датчика.

Сопротивление проволоки вычисляют по формуле:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \qquad (1.1)$$

Относительное изменение длины проволоки вызывает пропорциональное ему относительное изменение проволоки, т.е:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l} \qquad (1.2)$$

Эта зависимость является коэффициентом относительной тензочувствительности.

Коэффициент относительной тензочувствительности может быть представлен также в виде:

$$K = 1 + 2\mu, \qquad (1.3)$$

где μ – коффициент Пуассона, характеризующий связь продольной и поперечной деформаций для металлов имеет значения 0,24…0,4.

Следовательно, значение коэффициента тензочувствительности K для большинства металлов не должно выходить за пределы 1,48…1,8. Однако значения K для различных материалов, определенные экспериментально,

выходят за указанные пределы как в ту, так и в другую сторону. Это свидетельствует о том, что при деформации проводника помимо изменения геометрических размеров изменяются и его свойства, в частности удельное сопротивление ρ. Для тензодатчиков, выпускаемых промышленностью, используется константановая, нихромовая, никелевая или фехралевая проволока с тензочувствительностью $K = 1,7...2,9$.

В технике измерения неэлектрических величин тензорезисторы используются в двух вариантах. Первый — использование тензоэффекта проводника, находящегося в состоянии объемного сжатия, когда естественной входной величиной преобразователя является давление окружающего его газа или жидкости. На этом принципе строятся манометры для измерения высоких и сверхвысоких давлений, преобразователи которых представляют собой катушку провода (обычно манганинового) или полупроводниковый элемент (чаще всего германиевый или кремниевый), помещенные в область измеряемого давления (жидкости или газа). Выходной величиной преобразователя является изменение его активного сопротивления.

Второй вариант – использование тензоэффекта растягиваемого или сжимаемого тензочувствительного материала. При этом тензорезисторы применяются в виде «свободных» преобразователей и в виде наклеиваемых.

«Свободные» тензопреобразователи состоят из тензорезистора в виде одной или ряда проволок, закрепленных по концам между подвижной и неподвижной деталями и, как правило, выполняющих одновременно роль упругого элемента. Входной величиной таких преобразователей является весьма малое перемещение подвижной детали.

Длина одной петли проволоки называется базой тензодатчика, величина которой колеблется от 2 до 200 мм и более. При измерениях с помощью тензодатчиков допустимые относительные деформации не должны превышать 0,3 %, так как при большей деформации проволока может оборваться. Тензодатчики обладают сопротивлением от 30 до 500 Ом.

Максимальная допустимая температура для датчиков с пленочной основой составляет до 550 ºС, а для стеклоуглеродистых 1000 ºС.

Кроме наиболее распространенной петлевой конструкции проволочных тензорезисторов существуют и другие. При необходимости уменьшения измерительной базы преобразователя (до 3…1 мм) его изготовляют двухслойным. Достоинство проволочных тензодатчиков—простота конструкции, практически безынерционность, недостаток — малая чувствительность (при работе сопротивление тензодатчика изменяется не более чем на 0,3 %).

Когда надо получить от цепи с тензорезистором большой ток, часто используют «мощные» проволочные тензорезисторы. Они состоят из большого числа (до 30…50) параллельно соединенных проволок, отличаются большими габаритами (длина базы 150 – 200 мм) и развивают мощность, достаточную для осциллографического гальванометра без использования усилителей.

Разновидность «мощных» тензорезисторов — эластичные преобразователи представляют собой резиновый капилляр с внутренним диаметром 0,1–0,5 мм, заполненный ртутью (иногда электролитом) и снабженный проволочными выводами. Наклеенный на объект измерения такой преобразователь, деформируясь вместе с этим объектом, изменяет свое сопротивление. Эластичные тензорезисторы с ртутным наполнителем имеют коэффициент тензочувствительности $K = 2$ и позволяют измерять достаточно большие деформации материалов (до 30…50 %). Характерными особенностями являются весьма малое сопротивление и ограниченные температурный и частотный диапазоны.

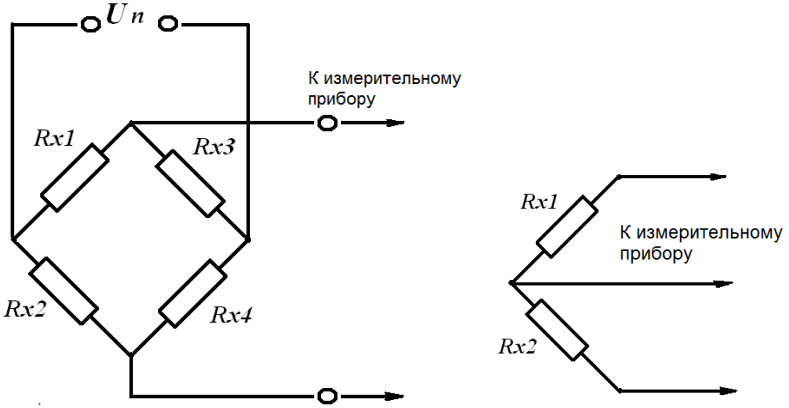
Фольговые преобразователи представляют собой тонкую ленту из фольги толщиной 4–12 мкм, на которой часть металла выбрана травлением таким образом, что оставшаяся его часть образует специальную решетку с выводами.

Для изготовления пленочных тензорезисторов помимо металлических материалов, используется также ряд

полупроводниковых материалов, например германий, кремний, у которых чувствительность в 50…60 раз выше, чем у проволочных, поскольку при их деформировании происходит резкое изменение удельного сопротивления. Тензочувствительность в этом случае достигает $K = \pm\ 100...200$.

При изготовлении фольговых и пленочных преобразователей можно предусмотреть любой рисунок решетки, что является существенным их достоинством.

Хотя температурный коэффициент сопротивления тензодатчика очень мал, приходится применять меры для компенсации температурной погрешности. С этой целью применяют мостовые схемы с двумя тензодатчиками в смежных плечах моста, из которых один не подвергается деформации, но находится в тех же температурных условиях. Это достигается перпендикулярным расположением обоих датчиков. Тогда температурные изменения сопротивлений уравновешиваются и баланс схемы сохраняется (рис. 1.2а).



а) б)

Рис. 1.2. Схемы включения тензодатчиков: а) мост; б) полумост

Иногда используют только два датчика, соединяя их полумостом. Два других недостающих плеча моста образуют постоянные сопротивления внутри измерительного прибора, к которому подключается и источник питания (рис. 1.2б).

Поскольку относительное изменение сопротивления датчиков невелико $\varepsilon_R = 0,005 \div 0,05$, то выходной сигнал моста

имеет малую величину, поэтому измерительный или регистрационный прибор обычно включается через усилитель. В этих целях при тензометрических измерениях применяются специальные усилители – тензостанции, обеспечивающие измерение и регистрацию по нескольким каналам. Схема включения датчиков и соединения основных элементов тензостанции показана на рис. 1.3.

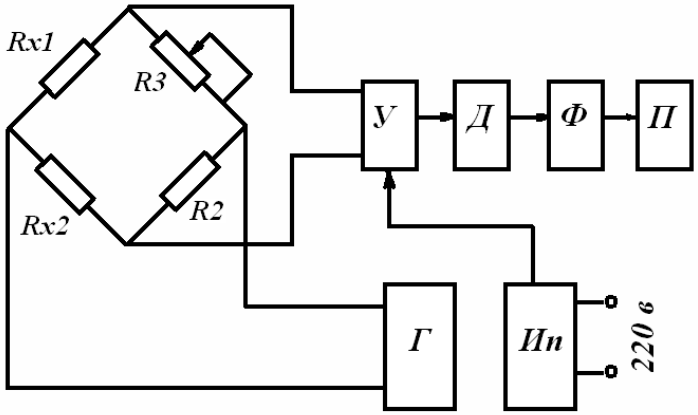


Рис. 1.3. Блок-схема тензостанции:
$И_П$ – источник питания; Г – генератор несущей частоты;
$R_З$ – настроечный потенциометр; У – усилитель; Д – детектор;
Ф – фильтр; П – показывающий прибор или осциллограф

Измерительный мост питается переменным напряжением от генератора Г несущей частоты (питание моста постоянным током нежелательно из-за ухудшения точности измерений) [1].

Перед началом измерений потенциометром R_1 производят балансировку моста так, чтобы электрическое напряжение на его выходе равнялось нулю. Изменение сопротивления датчиков при их деформации приводит к появлению на выходе моста напряжения, пропорционального измеряемой деформации. Усиленный сигнал подается на детектор *Д* и фильтр *Ф*, которые выделяют из несущей частоты усиленный полезный сигнал и передают его на показывающий прибор или осциллограф.

Погрешность измерений с применением проволочных тензодатчиков находится в пределах 1+0,5%.

Однако результирующая эффективность тензодатчика определяется не только коэффициентом тензочувствительности, но и конструктивными параметрами преобразователя и допускаемой им температурой нагрева. Высокая допустимая для тензодатчика температура важна при измерении деформаций деталей, работающих при высоких температурах.

1.2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из тензометрической балочки с нагружающим устройством (рис. 1.4) и тензостанции ТММ-3.

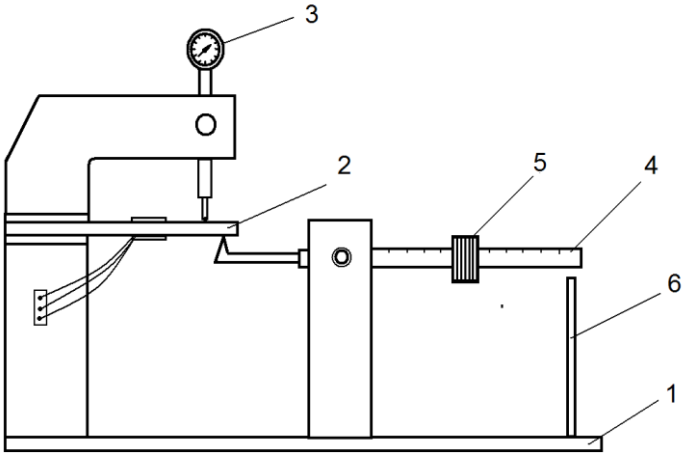


Рис. 1.4. Тензометрическая балочка с нагружающим устройством:
1 – основание; 2 – балочка с тензодатчиком; 3 – индикатор;
4 – рычаг; 5 – груз; 6 – ограничитель

Тензометрическая балочка 2 из пружинной стали изгибается под действием силы, создаваемой рычагом 4, по которому может передвигаться груз 5. Прогиб балочки измеряется механическим индикатором 3, а деформация поверхностных слоев балочки измеряется наклеенным на нее тензодатчиком.

Датчики подключаются к тензостанции ТММ-3 по схеме полумоста. Тензостанция ТММ-3 состоит из блока питания, генератора несущей частоты, трехканального усилителя, выходы которого можно поочередно подключать к блоку

контроля. Расположение органов управления тензостанции ТММ-3 показано на рис. 1.5.

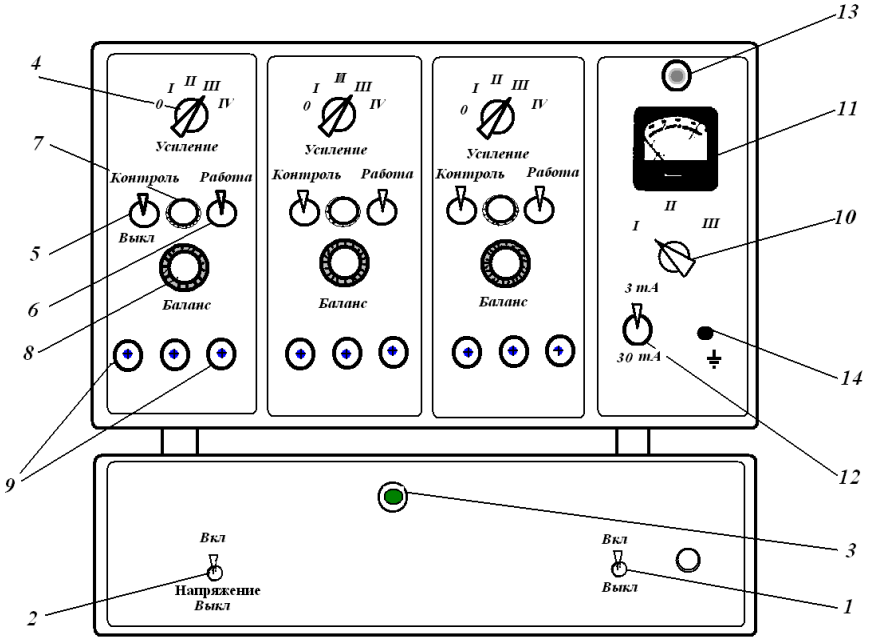


Рис. 1.5. Органы управления тензостанции ТММ-3:
1 – включение сети; 2 – включение анодного напряжения;
3 – контрольная лампочка; 4 – усиление; 5 – контроль;
6 – переключатель рода работ; 7,8 – ручки балансировки;
9 – входные клеммы; 10 – переключатель блока контроля;
11 – показывающий прибор; 12 – переключатель чувствительности блока контроля; 13 – индикатор настройки; 14 – заземление

1.3. Последовательность выполнения работы

При выполнении практического занятия и работе с тензостанцией необходимо придерживаться следующих правил:

1. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы, ознакомиться с описанием лабораторной установки, выяснить цель работы и способы ее достижения, ознакомиться с последовательностью выполнения работы.

2. Включить лабораторную установку с помощью тумблера 1 и дать усилителю прогреться 10–15 минут (тумблер 2

при этом должен быть выключен).

3. Включить тумблер 2 анодного напряжения, установить груз на рычаге тензометрической балочки в нулевое положение и произвести балансировку тензоусилителя.

4. Поставить переключатель каналов 10 в блоке контроля в положение, соответствующее выбранному каналу усиления. Переключатель ступеней усиления 4 перевести в первое положение, а переключатель рода работ 6 перевести в положение "баланс".

5. Вращая ручки балансировки 8, 7 добиться нулевого показания сигнала.

6. Тумблер 5 служит для подачи на вход усилителя контрольного сигнала постоянной величины и позволяет проверять в процессе работы правильность настройки усилителя.

7. При отключении датчиков переключатель усиления должен находиться в нулевом положении.

8. Передвигая груз по рычагу произвести запись величины прогиба балочки Δ и показаний электрического измерительного прибора тензостанции I. Измерение произвести не менее трех раз при каждом значении деформации Δ, результаты записать в таблицу.

9. Вычислить среднее значение I_{CP} при каждом значении деформации Δ.

10. Построить тарировочный график, т.е. зависимость показаний измерительного прибора I_{CP} от величины деформации Δ.

11. Оформить отчет.

1.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.

2. Электрические схемы включения тензодатчиков, блок-схему тензостанции, рисунок тензометрической балочки с нагружающим устройством и принципы их работы.

3. Порядок проведения лабораторной работы с перечислением этапов.

4. Таблицу с результатами измерений и вычислений эксперимента.

5. Тарировочный график.

6. Выводы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Для чего предназначены тензодатчики?
2. Что такое тензоэффект положенный в основу тензодатчиков?
3. По какой схеме соединяются тензодатчики?
4. В следствие чего изменяется сопротивление проволоки ?
5. По какой причине значение коэффициента танзочувствительности, определенный экспериментально выходит за пределы расчетных?
6. Какие металлы используются для изготовления тензодатчиков?
7. Почему тензочувствительность полупроводниковых тензорезисторов в несколько раз выше, чем у проволочных?
8. Почему тензодатчики питают переменным высокочастотным, а не постоянным током?
9. Какие элементы входят в состав тензостанции и их назначение?
10. Как устроена лабораторная установка?
11. Каков порядок включения тензостанции и подготовка ее к измерениям?
12. Какими приборами измеряются в лабораторной установке величина деформации тензометрической балочки и ее прогиб?
13. Что представляет собой тарировочный график канала усиления?
14. Приведите примеры практического применения тензодатчиков?

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛОВОГО РЕЛЕ И АППАРАТУРЫ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Цель работы: Ознакомление с принципом действия биметаллических тепловых реле и их применением для защиты электроприводов от перегрузки.

Оборудование и приборы: автоматический выключатель АП-50, тепловое биметаллическое реле, трансформатор понижающий, реостат, термопара, милливольтметр, амперметр.

2.1. Общие сведения

Тепловые реле широко используются в системах автоматики как элемент защиты электрических двигателей (в основном переменного тока) от недопустимого перегрева при длительных перегрузках. Чаще всего используют биметаллические тепловые реле.

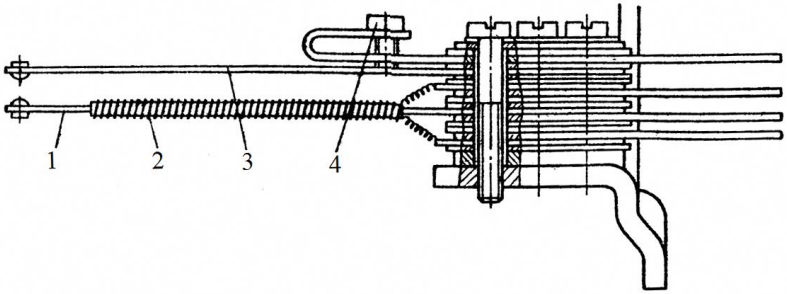


Рис. 2.1. Биметаллическое тепловое реле:
1 – биметаллическая пластина с нижним контактом;
2 – нагревательная обмотка; 3 – плоская пружина с верхним контактом; 4 – регулировочный винт

Действие биметаллических тепловых реле основано на различии линейного удлинения двух пластин из разных металлов. Для этой цели часто используют такие пары металлов, как латунь-инвар, сталь-инвар и другие материалы.

Тепловое реле, представленное на рис. 2.1 работает следующим образом. Нагревательная обмотка 2 включается

последовательно в электрическую цепь защищаемой электроустановки. Когда ток в цепи превышает допустимое значение, происходит нагрев обмотки 2 и биметаллической пластины 1, изготовленной из двух спрессованных пластин разных металлов с различными коэффициентами линейного расширения. В результате в пластине возникает механическое усилие, так как при нагревании один металл расширяется сильнее, в результате пластина изгибается и замыкает контакты. При охлаждении пластина выпрямляется и размыкает контакты. Для регулировки реле используется винт 4, с помощью которого изменяют расстояние между верхним и нижним контактом.

Величина изгиба зависит от температуры нагрева пластинки ($t_1 - t_0$), которая в свою очередь определяется силой тока I, проходящего через нагревательный элемент и условиями теплоотдачи пластинки.

На рис. 2.2 показана конструктивная схема реле серии ТРП.

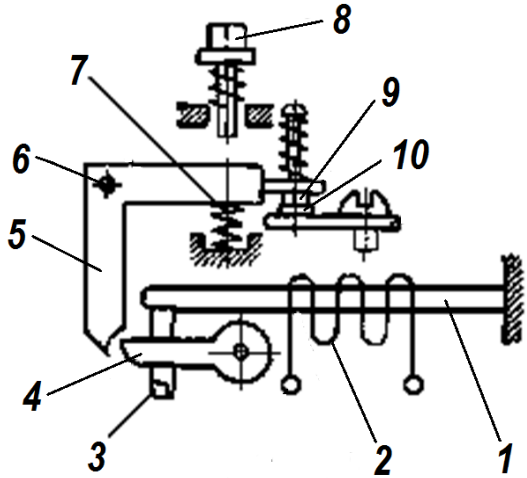


Рис. 2.2. Схема теплового реле:
1 – биметаллическая пластина; 2 – нагреватель; 3 – регулировочный винт; 4 – защелка; 5 – поворотный рычаг, 6 – ось; 7 – отключающая пружина; 8 – кнопка включения; 9 – подвижный контакт, 10 – неподвижный контакт

Реле состоит из следующих основных элементов: биметаллической пластины 1, нагревателя 2, включаемого

последовательно в защищаемую цепь, регулировочного винта 3, защелки 4, поворотного рычага 5 на оси 6, отключающей пружины 7, кнопки включения 8, подвижного 9 и неподвижного 10 контактов.

Когда через нагревательный элемент 2 проходит ток, превышающий силу тока уставки, в нем выделяется такое количество теплоты, что биметаллическая пластина деформируется, изгибается и при этом нажимает на регулировочный винт 3, перемещая его вниз и выводя защелку 4 из зацепления. В этот момент под действием пружины 7 рычаг 5 поворачивается на оси 6, в результате размыкаются контакты 9 и 10, разрывая электрическую цепь управления магнитного пускателя. Кнопка 8 служит для ручного возврата рычага 5 в исходное положение после срабатывания реле.

Автоматические выключатели служат для автоматического отключения цепей тока при перегрузках, коротких замыканиях и других нарушениях режима работы цепи. Но с их помощью можно в случае необходимости осуществлять и ручное выключение или включение соответствующих электрических установок [2].

Основная часть автоматических выключателей (автоматов)— реле. Релейные элементы с механизмами отключения в автоматических выключателях носят название расцепителей. Выпускают автоматы с электромагнитными, тепловыми и комбинированными расцепителями. В тепловых расцепителях (реле), о которых было упомянуто выше, при перегрузке в защищаемой сети один из концов биметаллической пластины изгибается и срабатывает механизм расцепителя, отключающий цепь.

Продолжительность срабатывания автомата с тепловым расцепителем зависит от силы тока (при увеличении силы тока, проходящего через нагревательный элемент, расцепитель срабатывает и быстро отключает цепь).

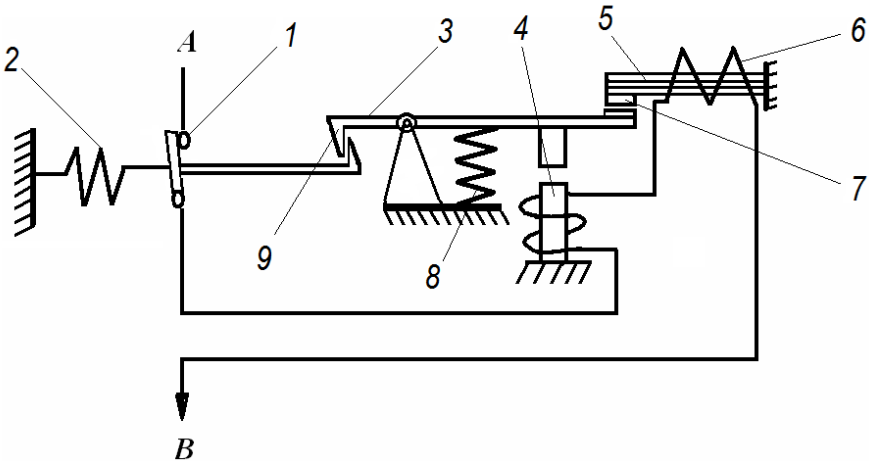


Рис. 2.3. Схема автоматического выключателя:
1 – контакт; 2 – отключающая пружина; 3 – поворотный рычаг;
4 – электромагнит; 5 – биметаллическая пластина; 6 – электронагреватель;
7 – толкатель; 8 – возвратная пружина; 9 – защелка

Принцип действия автоматического выключателя, изображенного на рисунке 2.3. состоит в следующем. При возникновении перегрузки в защищаемой цепи АВ обмотка 6 нагревает биметаллическую пластину 5, которая изгибается вниз и толкателем 7 поворачивает рычаг 3 по часовой стрелке, при этом открывается защелка 9, в результате контакт 1 размыкается, перемещаясь влево под действием пружины 2.

Тепловое реле защищает цепь от длительных перегрузок токами, величина которых, больше допустимой.

При большой силе тока почти мгновенно срабатывает электромагнит 4, который также поворачивает рычаг 3, защелка 9 открывается и размыкается контакт 1.

Электромагнит осуществляет защиту цепи от коротких замыканий.

В автоматическом выключателе величину начального зазора между биметаллической толкателем 7 и защелкой 3 выбирают так, чтобы при силе тока, меньшей номинального значения I_K пластина не доходила до защелки и автомат не выключался. При силе тока большей должно происходить выключение.

Чем выше перегрузка, характеризуемая кратностью тока, тем быстрее срабатывает тепловой автомат защиты.

2.2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка предназначена для исследования характеристик теплового биметаллического реле, применяемого в промышленном автомате защиты типа АП – 50 (рис. 2.4).

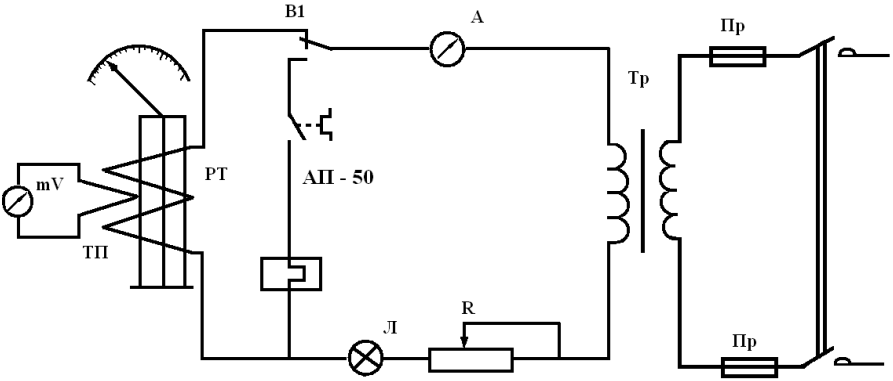


Рис. 2.4. Электрическая схема лабораторной установки

Питание на реле подается от сети переменного тока через выключатель *ВК* и плавкие предохранители *Пр*. Трансформатор *Тр* служит для снижения напряжения с 220 В до 36 В, а реостат *R* позволяет регулировать силу тока, измеряемую амперметром А.

С помощью переключателя *В1* напряжение питания можно подать либо на нагревательный элемент биметаллического реле, смонтированного в автомате защиты АП–50, либо на идентичную биметаллическую пластинку *РТ*, смонтированную отдельно от АП–50. Для определения температуры биметаллической пластинки служит термопара *ТП*, подключенная к милливольтметру.

2.3. Порядок проведения измерений

В работе предусмотрено раздельное изучение характеристик биметаллической пластинки *РТ* и теплового

защитного реле в автомате АП-50.

Вначале переключатель *B1* переводят в положение *PT* и реостатом *R* устанавливают заданную силу тока.

Затем реле *PT* выключают и дают ему охладиться до комнатной температуры. После достижения комнатной температуры выключают реле и одновременно пускают секундомер. При этом пластинка нагревается и начинает изгибаться. Необходимо фиксировать величину изгиба пластинки δ и ее температуру t через каждые 5…20 секунд. Наблюдения продолжают до установления равновесного режима, когда дальнейший изгиб прекращается.

Полученные данные заносят в таблицу рассчитывают значения температуры нагрева пластинки.

$$t = \frac{U}{K}, \text{ ºC} \qquad (2.1)$$

где: U – показание милливольтметра, В;

K – чувствительность термопары.

Затем строятся графики зависимостей изгиба у от времени τ и от температуры t при различных значениях силы тока.

Второй этап работы – исследование теплового защитного автомата АП–50. Переключатель В1 переводят в положение АП–50, а затем нажимают кнопку включения автомата. При этом ток проходит через нагревательный элемент реле защиты автомата. По истечении некоторого времени $\tau_{СР}$ реле срабатывает и размыкает контакт АП–50.

На этом этапе работы необходимо определить время срабатывания $\tau_{СР}$ автоматической защиты в зависимости от силы тока. Следует учесть, что для получения правильных результатов перед начальном каждого измерения нужно дать время для охлаждения теплового реле защиты.

Данные замеров заносят в таблицу и строится график зависимости времени срабатывания от силы тока.

2.4. Последовательность выполнения работы

1. Изучить основные теоретические сведения по теме лабораторной работы, устройство установки и методику выполнения работы.

2. Включить установку, установить переключатель *В1* в положение *РТ*, реостатом *R* отрегулировать силу тока на заданную величину (см. таблицу 2.1) и снять изгибную и температурную переходные характеристики теплового элемента.

Таблица 2.1.

Задание значения силы тока *I* (А)

№ варианта	1	2	3	4
1	1,5	2,0	2,5	3,0
2	1,0	1,5	2,0	2,5
3	2,0	2,5	3,0	3,5
4	1,0	2,0	3,0	4,0

3. Перевести переключатель *В1* в положение *АП* нажать до упора кнопку автоматического выключателя АП–50 и с помощью секундомера определить время срабатывания автомата.

4. Выключить установку, дать приборам охладиться до исходного состояния (5-7 мин) и аналогично повторить измерения при других заданных значениях силы тока.

5. Построить графики зависимостей: величины изгиба биметаллической пластинки δ от времени $\delta = f(\tau)$ и от температуры нагрева $\delta = f(t)$ при разных значениях силы тока: времени срабатывания автомата $\tau_{СР}$ от силы тока $\tau_{СР} = f(I)$.

6. Оформить отчет. В отчете кратко указать цель работы, устройство и назначение тепловых реле, схему лабораторной установки, методику выполнения и результаты работы.

2.5. Контрольные вопросы

1. Каково назначение и применение тепловых реле?
2. Как устроен автомат тепловой защиты электрических цепей?
3. Что происходит с биметаллической пластинкой при ее нагревании?
4. Что представляет собой изгибная и температурная переходные характеристики биметаллической пластинки?
5. Как устроена лабораторная установка?
6. Каков порядок выполнения работы?
7. Какими приборами измеряется температура нагрева биметаллической пластинки в лабораторной установке?
8. Как производится снятие переходных характеристик теплового элемента?
9. Как регулируется сила тока в цепях нагревательных элементов и каким прибором она измеряется в лабораторной установке?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ

Цель работы: Изучение конструкции и принципа действия электромагнитных реле, а также определение их основных параметров и характеристик.

Оборудование и приборы: различные виды реле, стенд для проведения исследований

3.1. Общие сведения

Любой технологический процесс сопровождается операциями включения, выключения, переключения различных агрегатов, оборудования и т.п., то есть осуществляется их *коммутация.* В качестве коммутирующих устройств используют переключатели и так называемые *релейные устройства,* или просто *реле* [7].

Основным свойством релейных устройств является способность *скачкообразно* изменять выходную величину при достижении входной величиной некоторого определенного значения - *порога срабатывания*.

Обычно реле классифицируют по физической природе источника энергии: электрические, гидравлические, пневматические и др., а также по физической величине, на которую они реагируют: тепловые, реле тока, времени и т.п.

Наиболее распространенными из электрических реле являются электромагнитные.

Электромагнитные реле могут не только выполнять простые функции коммутации, но и служить основой для построения схем автоматической блокировки, защиты, а также выполнять функции усилительных, преобразовательных (квантование по уровню) и исполнительных элементов в дискретных релейных системах автоматического регулирования.

3.2. Устройство и принцип действия электромагнитных реле

По роду управляющего тока электромагнитные реле подразделяются на реле *постоянного* и *переменного тока.*

Электромагнитные реле постоянного тока конструктивно выполняют *якорными* или *безъякорными*. По характеру реакции на изменение полярности питающего напряжения эти реле могут быть *нейтральными* или *поляризованными.*

Устройство простейшего нейтрального якорного реле показано на рисунке 3.1а.

Принцип работы электромагнитных реле нейтрального типа основывается на притяжении стального якоря 3 к сердечнику 2. Сердечник находится внутри катушки 1, по которой протекает ток. Электромагнитное поле, создаваемое катушкой 1, взаимодействует с ферромагнитным материалом якоря 3, притягивает его к сердечнику 2, преодолевая при этом действие возвратной пружины 8 и контактных пружин 6. Через изоляционную стойку 4 якорь 3 воздействует на контактные пружины 6, замыкая или размыкая контакты 5.

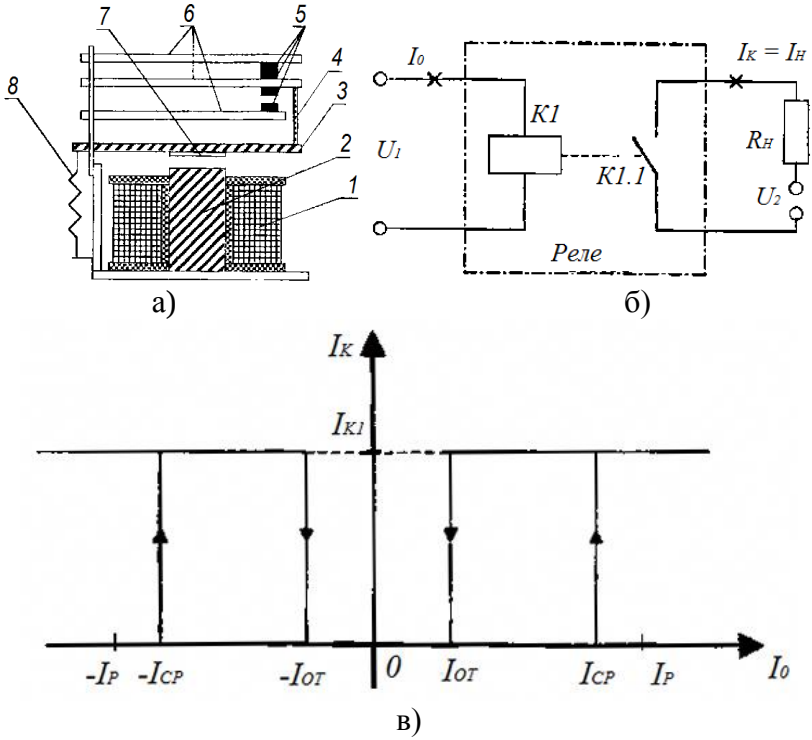


Рис. 3.1. Электромагнитное нейтральное реле:
а) конструкция; б) условное обозначение; в) статическая характеристика; 1 – катушка; 2 – сердечник; 3 – якорь; 4 – изоляционная стойка; 5 – контакты; 6 – контактные пружины; 7 – немагнитная прокладка; 8 – возвратная пружина

Для того, чтобы после выключения не было «залипания» якоря из-за остаточного намагничивания, на якоре укреплена немагнитная прокладка 7 из латуни или меди. Минимальный зазор между сердечником и якорем определяется толщиной этой прокладки $\Delta = 0{,}07...0{,}10$ мм.

Минимальное значение тока и соответствующее ему напряжение, при котором происходит срабатывание, называются током I_{CP} и напряжением U_{CP} *срабатывания.*

Если после срабатывания реле уменьшать ток, протекающий по катушке, то при определенном его значении якорь, а значит, и контакты, возвращаются в исходное состояние (реле отпускает).

Максимальное значение тока и соответствующее ему напряжение, при котором происходит отпускание реле, называются током I_{OT} и напряжением U_{OT} *отпускания.*

Аналогично нейтральное реле работает и при пропускании тока через обмотку в другом направлении, лишь бы он превосходил по модулю ток срабатывания I_{CP}.

Принцип действия *поляризованных реле* основан на взаимодействии магнитного потока электромагнита с потоком постоянного магнита. Конструкция якорного поляризованного реле показана на рисунке 3.2.

Магнитный поток Φ_0, создаваемый постоянным магнитом, разветвляется по обеим половинам магнитопровода на потоки Φ_1 и Φ_2. Когда якорь 1 (рис. 3.2) находится в среднем положении, то потоки Φ_1 и Φ_2 и создаваемые ими тяговые усилия равны между собой.

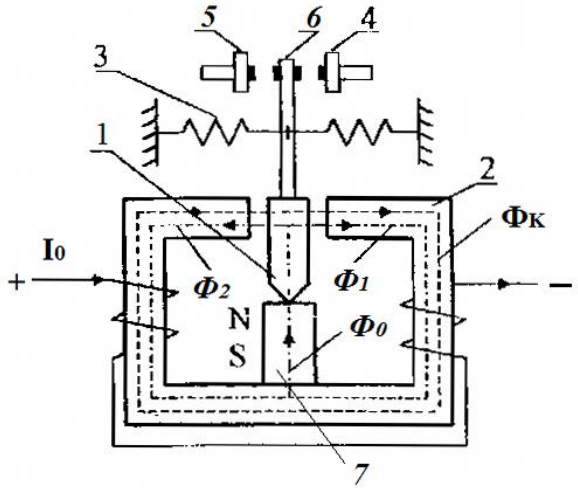


Рис. 3.2. Конструкция электромагнитного поляризованное реле:
1 – якорь; 2 – сердечник; 3 – возвратная пружина;
4 и 5 – неподвижные контакты; 6 – подвижный контакт;
7 – постоянный магнит

При прохождении тока по обмотке возникает магнитный поток Φ_K. В одной половине магнитопровода электромагнитный поток, создаваемый током в обмотке, направлен навстречу потоку постоянного магнита, а в другой – совпадает с потоком магнита. Тяговое усилие, создаваемое суммарным потоком

$\Phi_K+\Phi_1$ превышает усилие, создаваемое пружиной 3 и суммарным потоком $\Phi_K-\Phi_2$, поэтому якорь притянется к правому полюсу сердечника 2. Подвижный контакт 6 соединится с контактом 4.

При изменении полярности тока в обмотке изменяется и направление магнитного потока Φ_K. Это вызывает перемещение якоря в обратном направлении и, следовательно, размыкание контактов 4 и 6 и замыкание контактов 5 и 6.

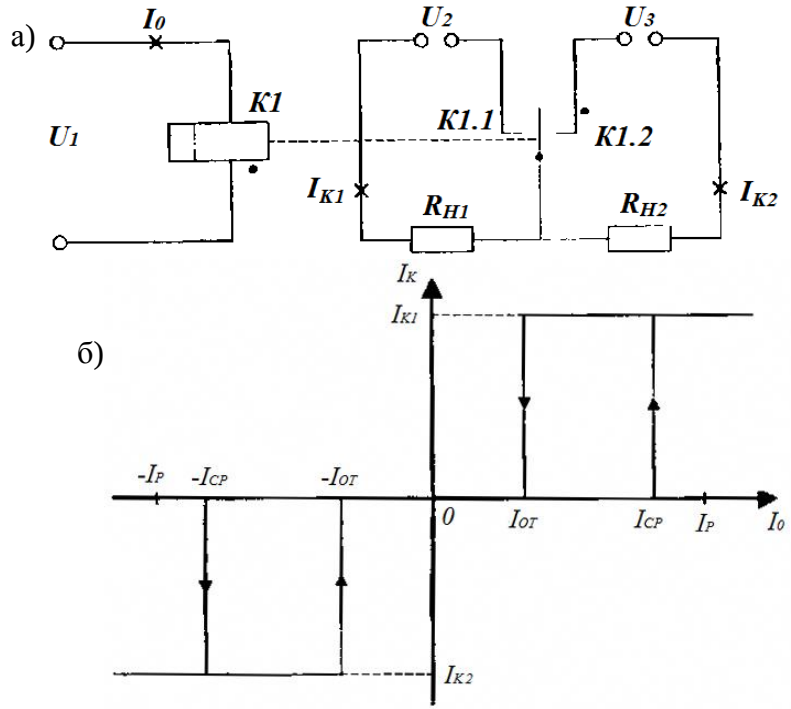


Рис. 3.3. Условное изображение (а) и статическая характеристика (б) электромагнитного поляризованного реле

В последнее время широкое распространение получили *безъякорные реле с магнитоуправляемыми контактами* (рис. 3.4).

Контакты 1 реле данного типа помещаются в герметизированный стеклянный баллон 3, наполненный инертным газом для исключения возможности их окисления (обгорания), поэтому такие реле часто называют *герконовыми* или просто *герконами* (герметизированные контакты).

Контакты выполняются из ферромагнитного материала и являются упругими элементами При протекании тока достаточной величины ($I > I_{СР}$) через катушку 2, за счет намагничивания самих контактных пластин 1 (без участия якоря), создаются силы притяжения и контакты замыкаются При уменьшении тока до $I < I_{ОТП}$ под действием собственных упругих сил контакты возвращаются в исходное состояние.

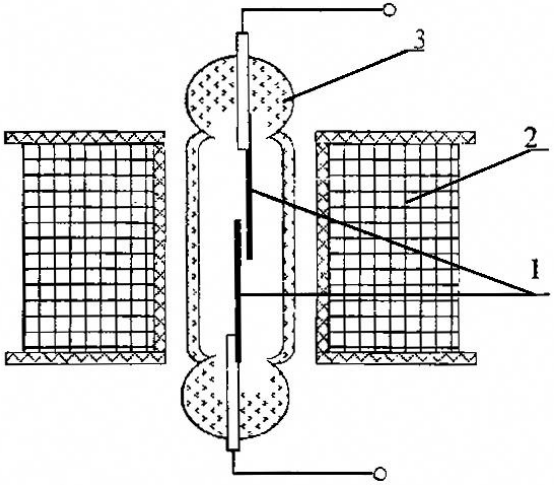


Рис. 3.4. Электромагнитное безъякорное реле с магнитоуправляемыми контактами (геркон): 1 – магнитные контакты; 2 – катушка; 3 – стекляный баллон

Так работают нейтральные безъякорные реле. Введение в магнитную цепь герконового реле постоянного магнита позволяет получить поляризованное безъякорное реле.

Устройство и принцип действия электромагнитных реле переменного тока аналогичны нейтральным реле постоянного тока. Только для повышения надежности работы таких реле необходимо исключить возможность отлипания якоря от сердечника в моменты перехода напряжения через ноль, что реализуется введением в магнитную систему особого витка, расщепляющего общий магнитный поток.

На электрических принципиальных схемах (рис. 3.1б и 3.3а) электромагнитные реле обозначают в виде прямоугольника *К1* (катушка электромагнита) и контактов *К1.1, К1.2* и т.д.

(после точки – номер контактной группы). Механическую связь якорь-контакты (штриховая линия) на электрических схемах обычно не показывают.

3.3. Основные характеристики и параметры электромагнитных реле

Электромагнитные реле можно рассматривать в качестве активного четырехполюсника, если цепь обмотки принять за вход (управляющая цепь), а цепь, в которую включены контакты,- за выход (управляемая цепь).

К основным характеристикам реле относятся статическая и динамические характеристики, а к параметрам коэффициент усиления по току, порог чувствительности, выходная мощность, время срабатывания и время отпускания.

Статические характеристики нейтральных и поляризованных реле изображены на рис. 3.1в и рис. 3.3*б*.

Они представляют зависимость тока контактов (нагрузки) I_K от тока обмотки I в статическом режиме.

Статическая характеристика показывает, что электромагнитное реле является нелинейным устройством и обладает гистерезисом. Ширина петли гистерезиса определяется *коэффициентом возврата:*

$$k_B = \frac{I_{OT}}{I_{CP}} \tag{3.1}$$

Для нелинейных устройств коэффициент передачи зависит от входного сигнала. Для практики важно знать коэффициент усиления по току, который имеет место для *рабочего тока* обмотки I_0 - I_P

$$k_I = \frac{I_K}{I_P} \tag{3.2}$$

где $I_P = k_{ЗАП} \cdot I_{ср}$ – рабочий ток гарантированного надежного срабатывания реле;

$k_{ЗАП}$ =1,1...1,4 – коэффициент запаса, зависящий от условий работы реле.

Порог чувствительности определяется мощностью сра-

батывания P_{CP} – минимальной мощностью, которую необходимо подвести к обмотке реле для его срабатывания:

$$P_{CP} = I_{CP} \cdot U_{CP} \qquad (3.3)$$

Поляризованные и герконовые реле относятся к высокочувствительным, P_{CP} < 10 мВт. У реле нормальной чувствительности мощность срабатывания P_{CP} =1...5 Вт, а у реле низкой чувствительности P_{CP} = 10...20 Вт.

Габаритные размеры реле определяются главным образом мощностью, которую могут коммутировать контакты реле - выходной мощностью $P_{ВЫХ}$:

$$P_{ВЫХ} = I_k^2 \cdot R_H \qquad (3.4)$$

По величине этой мощности реле подразделяют на:

– сильноточные ($P_{ВЫХ}$>500 Вт);

– нормальной мощности (150 Вт < $P_{ВЫХ}$ < 500 Вт),

– слаботочные реле автоматики и связи ($P_{ВЫХ}$ <50 Вт).

Реле с $P_{ВЫХ}$> 100 Вт называют контакторами.

Для исследования динамических свойств реле его математическая модель составляется, исходя из статической характеристики с учетом времени запаздывания в появлении выходного сигнала $\tau_{З1} = \tau_{CP}$ после подачи входного сигнала и, соответственно, времени запаздывания $\tau_{З2} = \tau_{ОТП}$ пропадания выходного сигнала при снятии входного.

Время срабатывания τ_{CP} и *время отпускания* $\tau_{ОТП}$ реле характеризуют его быстродействие. Их конкретная величина определяется переходными процессами в обмотке реле (рис 3.5).

Время трогания реле можно определить по формуле:

$$\tau_{ТР} = -T_1 \cdot ln(1 - \frac{I_{ТР}}{I_p}) \qquad (3.5)$$

где $I_{ТР}$ – ток обмотки в момент трогания;

T_1 – постоянная времени при начальном зазоре δ_0.

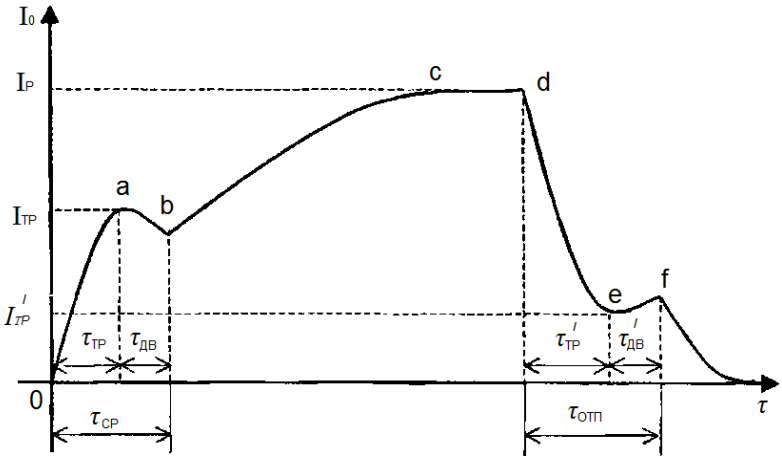


Рис. 3.5. Переходные процессы в обмотке электромагнитного реле

По переходному процессу (рис. 3.5) можно найти время срабатывания реле $\tau_{СР}$ которое складывается из времени трогания при срабатывании $\tau_{ТР}$ и времени движения $\tau_{ДВ}$ при срабатывании (от момента трогания до момента первого замыкания (размыкания) контакта:

$$\tau_{СР} = \tau_{ТР} + \tau_{ДВ} \qquad (3.6)$$

Обычно $\tau_{ДВ}$ = (0,1…0,4) $\tau_{ТР}$.

Для нахождения времени отпускания $\tau_{ОТ}$ надо снять переходной процесс при размыкании цепи питания обмотки (участок *de* на рис. 3.5). Время отпускания будет равно:

$$\tau_{ОТП} = \tau_{ТР}' + \tau_{ДВ}' \qquad (3.7)$$

где $\tau_{ДВ}'$ – время движения при отпускании от момента трогания до момента размыкания (замыкания) контактов;

$\tau_{ТР}'$ – время трогания при отпускании реле:

$$\tau'_{ТР} = T_2 \cdot ln\,(1 - \frac{I_P}{I'_{ТР}}) \qquad (3.8)$$

По быстродействию (при $\tau = \tau_{СР} = \tau_{ОТП}$) реле можно разделить на безынерционные (τ < 0,001 с), быстродействующие (τ<0,05 с), нормальные (0,05 с < τ < 0,015 с) и замедленные (τ>0,15 с).

Однако часто $\tau_{СР} \neq \tau_{ОТП}$ и по разным составляющим быстродействия реле могут попасть в разные классы.

Быстродействие электромагнитных реле можно изменять механическим и электрическим способами.

Первый из них заключается в изменении жесткости возвратной пружины или исходного расстояния между якорем и сердечником.

Второй в применении элементов, изменяющих постоянную времени обмотки реле, обладающей индуктивностью

Так, например, наличие добавочного резистора $R_Д$ (рис. 3.6а) при одновременном повышении напряжения питания обмотки приводит к ускорению срабатывания реле ($\tau = L_0/R$). Шунтирование конденсатором этого резистора (рис.3.6*б*) еще больше уменьшает время срабатывания. Включение же конденсатора параллельно обмотке (рис.3.6в) позволяет увеличить время срабатывания и отпускания, т.е. уменьшить его быстродействие.

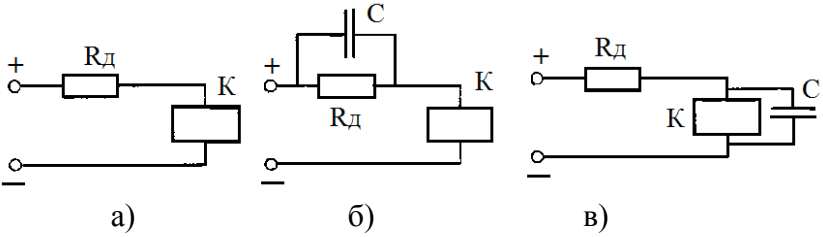


Рис.3.6. Электрические методы изменения быстродействия электромагнитных реле

3.4. Описание лабораторного стенда

Лабораторная установка для проведения исследований реле состоит из специальной панели, которая обеспечивает набор электрических схем *А* и *Б* (рис. 3.7).

Схема *А* позволяет снимать статические характеристики $I_K=f(I_0)$ трёх реле различного типа (*К1, К2, К3* с соответствующими контактами *К1.1, К2.1, К3.1 и К3.2*).

Реле *К1* (РЭС-22) и *К2* (РЭС-9) – нейтрального типа, а реле *К3* (РПС5-30Я) – поляризованное трехпозиционное.

К схеме *А* относятся также:

– тумблер *SA1* – для подключения схемы *А1*;

– тумблеры *SA2, SA3 и SA7* – для подключения соответствующих исследуемых реле;

– переключатель *SA6* – для изменения полярности питающего напряжения,

– потенциометр $R_П$ – обеспечивает плавное изменение величины подводимого напряжения;

– индикаторные лампы *HL1* и *HL2*;

– резистор нагрузки $R_Н$;

– балластный резистор *R1* для ограничения тока реле *К3*;

– источник питания (ИП).

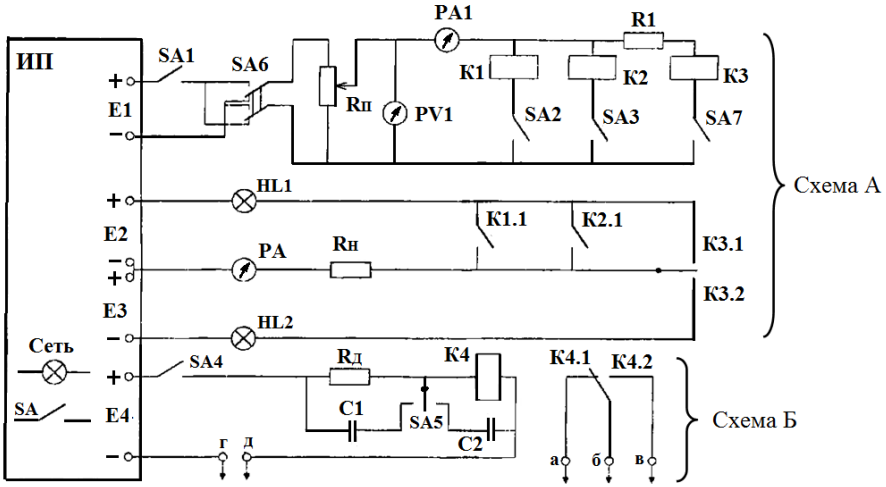


Рис. 3.7. Схема лабораторной установки

Токи, протекающие по обмоткам реле ($I_{СР}$ и $I_{ОТП}$), измеряются амперметром *PA1*, а ток $I_К$, протекающий через контакты реле и нагрузку, - амперметром *PA2*. Напряжение, подводимое к обмоткам реле, измеряется вольтметром *PV*. Все указанные приборы являются универсальными цифровыми.

Схема Б позволяет определить временные параметры реле *К4* (РЭС-22) нейтрального типа и исследовать два способа изменения его быстродействия (рис. 3.6*б* и 3.6в).

В левом положении трёхпозиционный переключатель *SA5*

подключает конденсатор *С1* параллельно добавочному резистору $R_Д$, в правом положении конденсатор *С2* параллельно обмотке реле.

Время срабатывания и отпускания реле определяется с помощью измерителя временных параметров реле типа Ф291.

Для измерения используются следующие органы управления этого прибора:

– кнопочный переключатель «Режим»;

– выключатель питания реле «Пуск»;

– кнопка «СБР» (сброс).

Кнопочный переключатель «Режим» служит для выполнения коммутаций схемы прибора в зависимости от типа измеряемого параметра ($\tau_{СР}$ или $\tau_{ОТП}$) и типа контактов (размыкающие или замыкающие) исследуемого реле.

Клеммы «г» и «д» схемы *Б* присоединяются к клеммам 1 и 2 источника питания ИП. Замыкающие *К4.1* или размыкающие *К4.2* контакты реле *К4* через гнезда «а», «б», «в» подсоединяются к клеммам 3 и 4 ИП.

В таблице 3.1 указаны положения органов управления установки в зависимости от измеряемого временного параметра и типа контактов.

Для измерения конкретного временного параметра необходимо сначала установить кнопку «Режим» в соответствующее положение (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Измеряемые временные параметры	Положение органов управления		
	Переключатель "Режим»	Выключатель «Пуск»	
		исходное	конечное
1 Время срабатывания реле			
а) с размыкающими контактами (а,б)	2	Вниз	Вверх
б) с замыкающими контактами (б,в)	1	Вниз	Вверх
2.Время отпускания реле			
а) с размыкающими контактами (а,б)	4	Вверх	Вниз
б) с замыкающими контактами (б,в)	3	Вверх	Вниз

Затем поставить переключатель «Пуск» в исходное положение. Осуществить сброс показаний прибора кнопкой «СБР» и в последнюю очередь перевести переключатель «Пуск»

из указанного в таблице исходного положения в конечное.

Измеритель параметров реле Ф291 работает следующим образом. Например, при измерении времени срабатывания реле с замыкающими контактами выключателем «Питание реле» подается напряжение к обмотке реле и одновременно запускается его миллисекундомер. При замыкании контактов реле происходит остановка миллисекундомера и на шкале индицируется время срабатывания.

3.5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципом действия электромагнитных реле различного типа, расположенных на специальной подставке.

2. С помощью тумблера SA подключить измерительный стенд к сети, а тумблером SA1 включить схему А.

3. Заполнить таблицу 3.2 для трех реле *К1…К3*, подключая их по очереди тумблерами *SA2, SA3, SA7* и изменяя полярность напряжения, приложенного к обмоткам реле, переключателем *SA6*.

Таблица 3.2

Реле	Измеряемые величины										Расчетные величины				
	I_{CP}, мА		U_{CP}, В		I_K, мА		I_{OT}, мА		U_{OT}, В		I_P, мА	k_B	P_{CP}, мВт	$P_{ВЫХ}$, мВт	k_I
	+E1	-E1	+E1	-E1	+E1	-E1	+E1	-E1	+E1	-E1	+E1	+E1	+E1	+E1	+E1
К1															
К2															
К3															

Для реле *К3* в чистовик таблицы необходимо занести значения:

$$U_{CP} = U_1 - I_{CP} \cdot R_1, \qquad (3.9)$$

$$U_{OT} = U_1 - I_{OT} \cdot R_1, \qquad (3.10)$$

где U_1 – напряжение, измеренное вольтметром *PV*;

R_1 = 10 кОм.

4. Тумблером *SA4* подключить схему Б. С помощью схемы Б измерить время срабатывания и отпускания реле *К4* с замыкающими *К4.1* и размыкающими *К4.2* контактами для трех положений переключателя *SA5*.

С целью усреднения получаемых результатов каждое измерение повторять не менее трех раз. Данные измерений занести в таблицу 3.3

Таблица 3.3

Тип контактов	$\tau_{СР}$, мс				$\tau_{ОТП}$, мс	
	Положение *SA5*					
	среднее	налево	направо	среднее	налево	направо
Реле с размыкающими контактами						
Среднее арифм. значение						
Реле с замыкающими контактами						
Среднее арифм. значение						

5. Обработка полученных результатов.

По данным таблицы 3.2 построить в масштабе статические характеристики трех реле *К1...К3*. Рассчитать основные параметры реле *К1...К3* ($P_{ВЫХ}$ при $R_Н$ = 250 Ом) и занести их в таблицу 3.2. Рассчитать среднеарифметическое значение $\tau_{СР}$ и $\tau_{ОТП}$ для всех опытов таблицы 3.3.

3.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы, поясняющие принцип действия нейтральных и поляризованных реле.
3. Таблицы 3.2 и 3.3 с экспериментальными и расчетными величинами.
4. Статические характеристики реле *К1...К3*.
5. Выводы по чувствительности, мощности и быстродей-

ствию исследованных реле

3.7. Контрольные вопросы

1. Общее понятие о релейных устройствах. Область их применения в автоматических системах.
2. Классификация электромагнитных реле.
3. Принцип действия электромагнитных реле различного типа (нейтральных, поляризованных и герконовых).
4. Что такое статическая характеристика электромагнитных реле?
5. Дать определение основных параметров электромагнитных реле.
6. Оценка быстродействия электромагнитных реле и способы его изменения.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Цель работы: Ознакомление с параметрами и изучение принципов действия и устройств фотодатчиков и фотореле различных типов, определение характеристик.

Оборудование и приборы: фотосопротивления ФСК-1, фотореле ФР-1, установка для снятия их характеристик.

4.1. Общие сведения

Фотоэлектрические датчики представляют собой приборы, реагирующие на световое излучение изменением электрического сопротивления (фоторезисторы, фотоэлементы с внешним фотоэффектом) или появлением разности потенциалов (фотодиоды, фототранзисторы).

Фотодатчики (оптические датчики) применяются в автоматике для решения различных задач, например для

измерения освещенности, мутности раствора, уровня жидких и сыпучих материалов, подсчета деталей на конвейере и для многих других целей.

Различают три типа фотоэлементов: с внешним фотоэффектом, с внутренним фотоэффектом и с запирающим слоем (вентильные).

Фотодатчик состоит из излучателя и приемника излучения. В качестве излучателей используются специальные лампы накаливания с точечным или линейным излучателем, ртутные точечные лампы, лампы дневного света и др. Приемники излучения могут быть вакуумными, газонаполненными и полупроводниковыми.

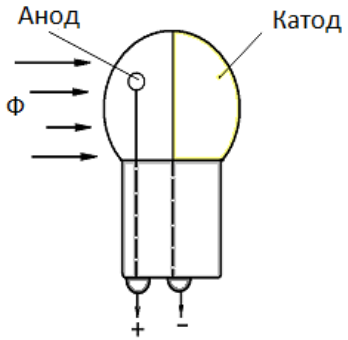


Рис. 4.1.Фотоэлемент с внешним фотоэффектом

Фотоэлемент с внешним фотоэффектом (вакуумный) представляет собой наполненный инертным газом – аргоном стеклянный баллон или лампу, на внутреннюю часть которых нанесен светочувствительный слой из полупроводникового материала (сурьма, цезий), являющийся катодом (рис. 4.1). Внутри баллона установлен также второй электрод в виде кольца – анод. Световые лучи, попадая на поверхность катода, вызывают эмиссию (испускание) электронов, которые под действием напряжения питания $U_{ПИТ}$ устремляющихся к аноду. Таким образом, в цепи анод-катод возникает электрический ток, сила которого зависит от величины светового потока.

Внутренний фотоэффект проявляется в перераспределении электронов в веществе под действием светового потока. Фотоэлементы, основанные на внутреннем фотоэффекте,

называются фотосопротивлениями (фоторезисторами).

Фоторезисторы (рис. 4.2,б) состоят из слоя полупроводникового вещества, которое под действием светового потока Φ меняет свое электрическое сопротивление R_{Φ}, вследствие чего изменяется и ток I_{Φ}, проходящий через нагрузочное сопротивление R_H:

$$I_{\phi} = \frac{U}{R_{\phi} / R_{н}} \qquad (4.1)$$

где U – напряжение питания.

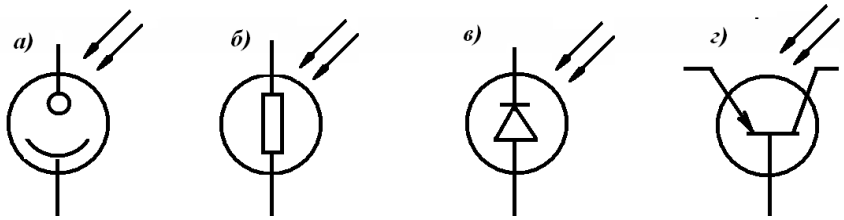


Рис. 4.2. Условные обозначения фото датчиков:
а) с внешним фотоэффектом; б) фоторезистор; в) фотодиод;
г) фототранзистор

Чувствительность фотосопротивления оценивается коэффициентом чувствительности S_{Φ}, определяемое по его световой характеристике $I_{\phi}=f(\Phi)$:

$$S_{\phi} = \frac{\Delta I_{\phi}}{\Delta \Phi} \quad , мА/лм \qquad (4.2)$$

С увеличением светового потока чувствительность фотосопротивления уменьшается, а величина фототока стабилизируется и становится независимым от величины приложенного напряжения. По характеристике $I_{\Phi}=f(\Phi)$ сопротивления эта точка называется порогом чувствительности, а величина тока током насыщения.

К вентильным фотоэлектрическим преобразователям относятся фотодиоды и фототранзисторы, принцип действия которых основан на вентильном эффекте. Вентильные фотоэлементы преобразовывают световую энергию в электрическую.

В фотодиодах и фототранзисторах (рис. 4.2, в, г) свет воздействует на полупроводниковые *p-n* переходы, вызывая генерацию в них электрической разности потенциалов и изменяя проводимость переходов.

Свойства фотодатчиков определяются рядом параметров и характеристик, важнейшими из которых являются световая, вольт-амперная характеристики и чувствительность.

Световой характеристикой называется зависимость выходной величины (фототока) фотоэлектрического преобразователя от светового потока (освещенности).

Вольт-амперной характеристикой называют зависимость фототока от приложенного напряжения при постоянном значении светового потока.

В данной лабораторной работе исследуется работа фоторезистора типа ФСК-1 (серно-кадмиевого).

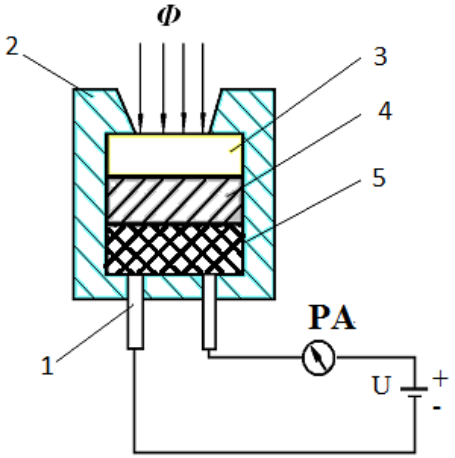


Рис. 4.3. Фотосопротивление: 1 – металлические электроды; 2 – корпус; 3 – стекло; 4 – светочувствительный полупроводниковый слой; 5 – стеклянная подложка

Конструктивно фотосопротивление (рис. 4.3) представляет собой пластмассовое основание 2, стеклянную пластину 5, на которую нанесен слой светочувствительного полупроводникового материала 4 (селена, кадмия сульфида, таллия сульфида, сернистого свинца и т.п.), металлические электроды 1 и стекло 3, через которое проходит световой поток

на полупроводниковый слой.

При освещении некоторых полупроводников из имеющихся в них атомов выбиваются электроны и в веществе появляются свободные носители зарядов, а следовательно, увеличивается и электропроводность. Поэтому с увеличением освещенности электрическое сопротивление таких полупроводников падает. Наиболее распространены фоторезисторы серносвинцовые (ФС-А), сернистовисмутовые (ФС-Б), сернокадмиевые (ФС-К) и др.

При быстрых изменениях величины светового потока датчик не успевает полностью изменить свое сопротивление, т.е. проявляется инерционность физических процессов, происходящих в датчике. Поэтому при подборе датчиков важно учитывать не только статические, но и динамические свойства. Сигналы от фотодатчиков обычно имеют малую величину и недостаточны для срабатывания исполнительных механизмов. Для усиления и преобразования этих сигналов применяются усилители и реле.

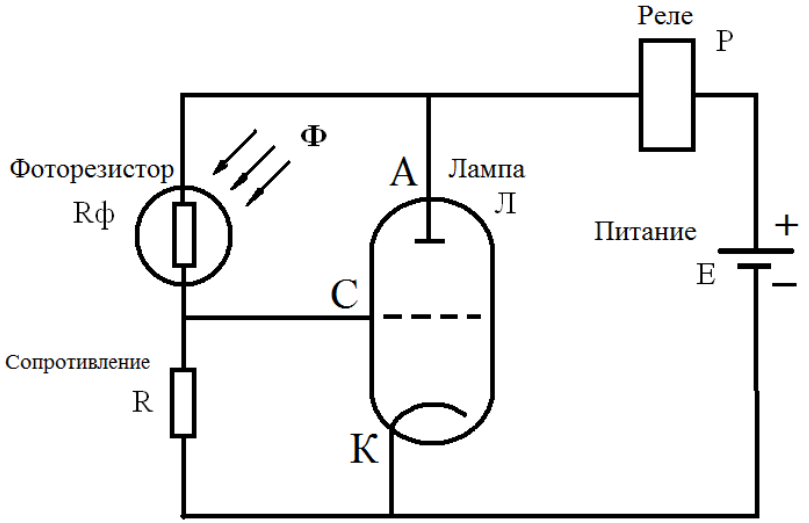


Рис. 4.4. Схема электронно-лампового фотореле:
Л – лампа; А – анод; К – катод; С – сетка; Ф – световой поток;
Р – реле; Е – источник постоянного тока; $R_Ф$ – фоторезистор;
R – постоянное сопротивление

На рис. 4.4. показана упрощенная схема электронно-лампового фотореле.

В анодную цепь электронной лампы *Л* включено электромагнитное реле *Р*. Соотношение сопротивлений фотодатчика $R_ф$ и резистора *R* подобрано так, что на сетке *С* лампы всегда может присутствовать отрицательный и положительный потенциал. При отсутствии освещения *Ф* отрицательный потенциал сетки больше положительного, что препятствует эмиссии электронов с катода *К* и перемещению их к аноду *А*. В результате анодный ток лампы весьма мал и реле *Р* не может сработать.

При освещении фоторезистора $R_ф$ его сопротивление уменьшается, на сетке *С* возрастает положительный потенциал, который становится больше отрицательного, поэтому электроны от катода устремляются в сторону сетки. Небольшая часть электронов оседает на сетке, а основной поток пролетает ее и далее перемещается к аноду. Таким образом, ток в лампе становится достаточным для срабатывания реле *Р*.

4.2. Описание лабораторной установки.

Лабораторная установка (рис. 4.5) позволяет исследовать работу фоторезистора ФСК–1, включенного в цепь полупроводникового фотореле ФР-1, как в статическом, так и в динамическом режимах.

Световой поток, создаваемый излучателем (лампочкой *HL1*) проходит через отверстия диска *Д* и попадает на фоторезистор ФСК-1. Сила тока, протекающего через фоторезистор контролируется миллиамперметром mA с ценой деления шкалы 0,02 мА. Если фотореле ФР-1 срабатывает, то контрольная лампочка *HL2* гаснет и, наоборот, при выключении ФР-1 зажигается.

На рисунке 4.6 показана принципиальная электрическая схема лабораторной установки.

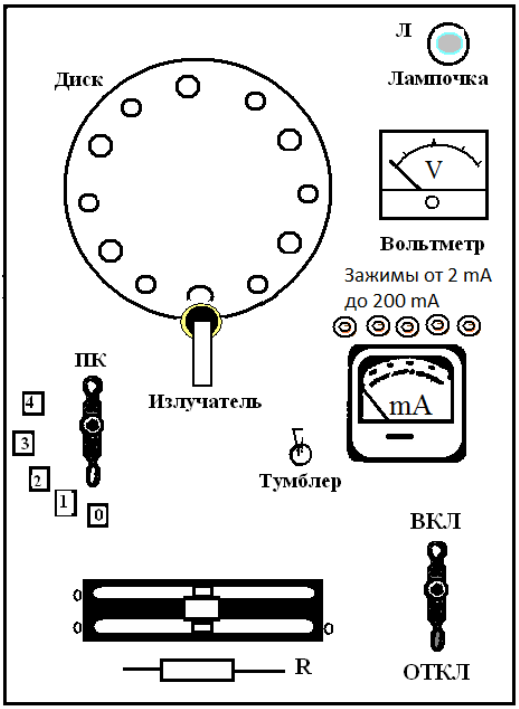


Рис. 4.5. Общий вид лабораторной установки

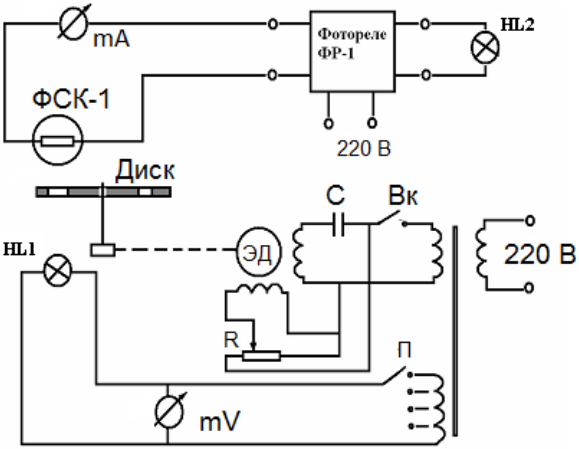


Рис. 4.6. Электрическая схема лабораторной установки

Освещенность можно менять переключателем ПК, подавая на лампочку *HL1* различное напряжение. Цифровые значения зависимости освещенности *E* от напряжения *U* можно получить из тарировочного графика (рис. 4.7).

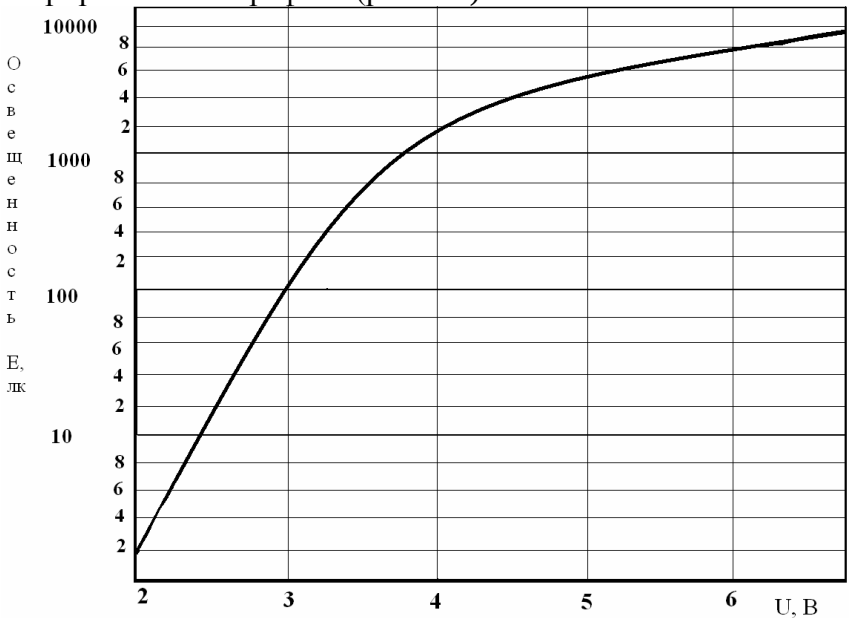


Рис. 4.7. Тарировочный график зависимости освещенности от напряжения на лампочке осветлителя

Для изучения работы фотодатчика в динамическом режиме диск с отверстиями *Д* приводится во вращение электродвигателем *ЭД*, скорость которого можно регулировать реостатом *R*. При этом создается световой поток, пульсирующий с частотой:

$$f = n\,K, \qquad (4.3)$$

где: *K* – число отверстий на диске *(K = 12)*;

n – число оборотов диска в единицу времени.

При малой скорости вращения диска сопротивление датчика меняется от минимального до максимального значения и контрольная лампочка *HL2* включается и выключается. При большой частоте пульсаций сопротивление датчика не успевает полностью изменяться и мигания лампочки *HL2* прекращается.

Меняя скорость вращения диска можно найти предельную частоту срабатывания фотореле.

4.3. Последовательность выполнения работы

1. Изучить теоретический материал по теме лабораторной работы, ознакомиться с описанием лабораторной установки, выяснить цель работы и способы ее достижения, ознакомиться с последовательностью выполнения работы.

2. Включить лабораторную установку. Диск с отверстиями установить неподвижно так, чтобы свет от лампочки излучателя попадал на фотосопротивление.

3. Меняя с помощью переключателя *ПК* напряжение на осветительной лампочке, снять статическую характеристику фотосопротивления, т.е. зависимость силы тока от освещенности, Освещенность можно определить по величине напряжения на осветлителе с помощью тарировочного графика (рис. 4.7). Построить график статической характеристики.

4. Включить привод вращения диска и меняя реостатом R его скорость определить предельную частоту пульсации светового потока f_{BP}, при которой фотореле уже не успевает срабатывать (прекращаются мигания контрольной лампочки *HL2*). Опыт повторить пять раз и провести статическую обработку результатов.

5. Оформить отчет.

4.4. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Название и цель лабораторной работы.
2. Назначение и принцип действия фотосопротивлений.
3. Описание лабораторной установки и ее общий вид.
4. Порядок проведения лабораторной работы.
5. Таблицы результатов опытов и расчеты.
6. Выводы.

4.5. Контрольные вопросы

1. Что представляют собой фотоэлементы?
2. Какие виды фотоэлементов вы знаете?

3. В чем состоит принцип работы фотоэлемента с внешним фотоэффектом?

4. Какой вид имеет вольтамперная характеристика фоторезистора?

5. Какова зависимость вида характеристики от светового потока?

6. Какие приборы применяются для снятия характеристики фоторезистора?

7. Как изменяется сопротивление фоторезистора при попадании на него световых лучей?

8. На чем основывается принцип работы фотодиодов и фототранзисторов?

9. Приведите примеры промышленного использования фотодатчиков?

Лабораторная работа №5.

ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: Изучение принципа действия систем автоматического контроля технологических параметров на примере приборов следящего уравновешивания типа КСМ4 и экспериментальное определение основных параметров контролируемого объекта (термостата) по его переходной характеристике.

Оборудование и приборы: мостовые измерители температуры.

5.1. Общие сведения

Обеспечение унифицированными техническими средствами разнообразных систем контроля, регулирования и управления технологическими процессами проводится в рамках Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Примером таких средств ГСП являются приборы автоматического следящего уравновешивания. К ним относятся, в частности, измерительные мосты типа КСМ4 и потенциометры типа КСП4. Эти устройства относятся к классу вторичных приборов (преобразователей) и предназначены для автоматического контроля и регулирования физических величин, которые могут быть преобразованы в электрические сигналы.

Основное отличие измерительных мостов от потенциометров заключается в том, с какими типами датчиков, а точнее первичных преобразователей (или чувствительных элементов), эти устройства могут работать.

Автоматические измерительные мосты рассчитаны на работу с *параметрическими* датчиками, преобразующими контролируемую физическую величину в активное сопротивление (электрический параметр).

Мосты КСМ4 используются, главным образом, для измерения и регулирования температуры, поэтому комплектуются одним или несколькими *термопреобразователями сопротивления* (ТС) стандартных градуировок. Но в принципе возможно применение и других первичных преобразователей: фотосопротивлений для измерения освещенности; тензосопротивлений для измерения деформаций и т.п.

Автоматические потенциометры рассчитаны на работу совместно с *генераторными датчиками,* преобразующими контролируемую физическую величину в ЭДС постоянного тока (ЭДС генерируется).

Потенциометры КСП4, как и мосты КСМ4, могут использоваться для измерения и регулирования температуры. В этом случае они комплектуются одним или несколькими *термоэлектрическими преобразователями (термопарами)* стандартных градуировок.

Потенциометры также можно использовать и для других измерений. Подключение измерительных электродов позволяет проводить электрохимические измерения, например определение pH растворов.

Фотоэлементы дают возможность проводить оптические измерения. И, конечно же, возможно непосредственное измерение небольших постоянных напряжений.

5.2. Определение температуры измерительными мостами

В измерительной технике для повышения точности часто применяют метод, в основе которого лежит сравнение значения измеряемой величины со значением величины, воспроизводимой специальной мерой. В этом случае измеряется разностный (дифференциальный) сигнал, а так как мера обычно обладает малой погрешностью, то обеспечивается высокая точность измерения.

Именно этот метод и лежит в основе работы измерительных мостов и потенциометров.

Обычно величину, воспроизводимую мерой, делают регулируемой и в процессе измерения устанавливают ее значение точно равным значению измеряемой величины.

В измерительных мостах в качестве такой меры применяются сопротивления – реохорды, с помощью которых уравновешивается сопротивление термопреобразователя, изменяющееся при изменении температуры объекта [1].

В потенциометрах в качестве меры применяют обычно источники стабильного напряжения с регулируемым выходом. В ходе измерений с помощью напряжения такого источника компенсируется ЭДС, генерируемая датчиком. В этом случае такой метод измерения называют компенсационным.

В обоих случаях задача последующих устройств (приборов) – только зафиксировать факт равенства измеряемой величины и меры, поэтому требования к ним существенно снижаются.

В качестве примера рассмотрим принцип действия измерительного моста в ручном режиме.

На рис. 5.1.а представлена мостовая схема измерения температуры t некоторого контролируемого объекта *КО*. Основу такой схемы составляет замкнутая цепь из четырех резисторов R_T, R_P, R_1, R_2, образующих так называемые плечи

моста. Узлы соединения этих резисторов называют вершинами (*a, b, c, d*), а линии соединения противоположных вершин (*a-b, c-d*) – диагоналями моста. К одной из диагоналей *c-d* (рис. 5.1) подводится напряжение питания, другая диагональ *a-b* является измерительной или выходной. Именно такая схема и называется мостовой, что дало название и всему измерительному устройству.

Резистор R_T представляет собой первичный измерительный преобразователь температуры (термосопротивление или терморезистор), находящийся в зоне измерения температуры и включаемый в измерительную схему с помощью проводов длиной до нескольких метров.

Основное требование к такому термопреобразователю – линейная зависимость его активного сопротивления R_{TC} от температуры в требуемом диапазоне измерений:

$$R_T = R_0[1+\alpha\cdot(t - t_0)] \qquad (5.1)$$

где R_0 – номинальное сопротивление термопреобразователя при температуре t_0 (обычно t_0 = 20 ºС);

α – температурный коэффициент, зависящий от материала термопреобразователя.

Чаще всего используются металлические термосопротивления ТСМ (медные) и ТСП (платиновые), иногда их называют металлическими терморезисторами (МТР).

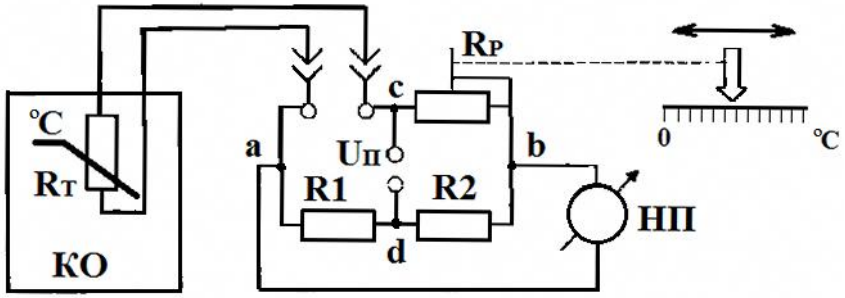


Рис. 5.1. Измерение температуры измерительным мостом в ручном режиме

Переменный резистор R_P представляет собой высокоточный реохорд (мера), о котором говорилось выше, и служит

для уравновешивания изменяющегося R_T. Резисторы R_1 и R_2 дополняют мостовую схему. В случае равенства их сопротивлений $R_1 = R_2$ мостовую схему называют *симметричной.*

Кроме того, на рис. 5.1 показаны ноль-прибор (НП) для фиксирования равновесия моста и указатель со шкалой, отградуированной в градусах Цельсия. Шкала температур располагается на лицевой панели прибора параллельно движению движка реохорда. Ноль-прибор представляет собой обычный стрелочный измеритель напряжения.

При изменении температуры в зоне измерения контролируемого объекта *КО* изменяется сопротивление термодатчика R_T. В результате нарушится равновесие моста и на ноль-приборе стрелка отклонится от нулевой отметки в положительную или отрицательную сторону. Для того, чтобы узнать установившуюся температуру в измеряемой зоне необходимо установить равновесие моста.

Из электротехники известно, что *условие баланса* (равновесия) моста реализуется при равенстве произведения сопротивлений противоположных плеч моста с учетом сопротивления проводов, которыми подключается датчик:

$$(R_T + R_П) R_2 = R_P \cdot R_1 \qquad (5.2)$$

где $R_П = R_{П1} + R_{П2}$ – сумма сопротивлений проводов.

Для симметричного моста ($R_1 = R_2$) будем иметь:

$$(R_T + R_П) R_2 = R_P \qquad (5.3)$$

В этом случае напряжение в измерительной диагонали будет отсутствовать и ноль-прибор покажет ноль.

Чтобы достичь равновесия, необходимо перемещать движок переменного резистора R_P в ту или другую сторону, пока стрелка ноль-прибора не установится на нулевую точку (на ноль). При этом указатель шкалы температур, жестко связанный с движком реохорда R_P, перемещается вместе с ним (штриховая линия на рис. 5.1 обозначает механическую связь движка и указателя). Когда установится равновесие моста, то указатель шкалы температур остановится напротив значения измеренной температуры.

Снятие показаний производится только в моменты равновесия, поэтому такие схемы и устройства часто называют уравновешенными измерительными мостами.

Основным недостатком измерительной схемы, представленной на рис. 5.1, является наличие погрешности, вызванной сопротивлением проводов $R_П$, которое может изменяться в зависимости от температуры окружающей среды.

Исключить эту погрешность можно применив трехпроводный способ подключения датчика (см. рис. 5.2).

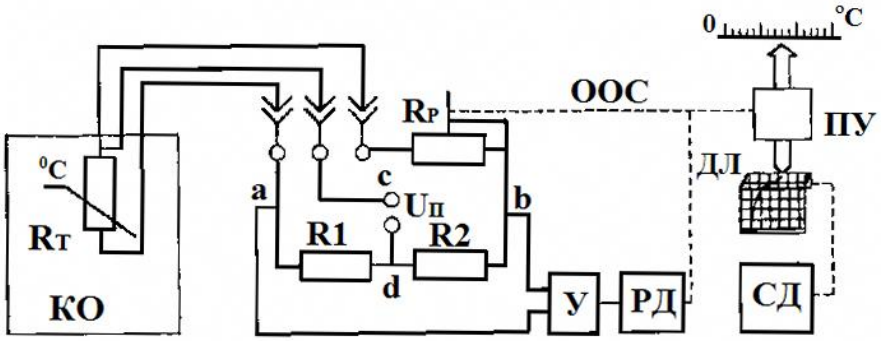


Рис. 5.2. Измерение температуры измерительным мостом в автоматическом режиме

Сущность способа состоит в том, что с помощью третьего провода вершина "с" диагонали питания перемещается непосредственно к термосопротивлению, а два оставшихся провода $R_{П1}$ и $R_{П2}$ при этом оказываются в разных соседних плечах, т.е. условие баланса симметричного моста (5.3) преобразуется следующим образом:

$$R_{TC} + R_{П1} = R_P + R_{П2} \qquad (5.4)$$

Таким образом, для полного исключения погрешности достаточно применить одинаковые провода ($R_{П1} = R_{П2}$) при подсоединении датчика к мостовой схеме.

Для реализации автоматического режима измерения достаточно вместо ноль-прибора (рис. 5.1) в измерительную диагональ подключить фазочувствительный усилитель *У* и реверсивный двигатель *РД* с редуктором (рис. 5.2).

В зависимости от характера изменения температуры объекта двигатель *РД* будет в ту или иную сторону перемещать движок реохорда R_P до тех пор, пока не установится баланс. Напряжение в диагонали *a-b* исчезнет, и двигатель остановится.

Кроме того, двигатель будет перемещать индикаторную стрелку и пишущий узел *ПУ*, если необходимо зафиксировать показания на диаграммной ленте *ДЛ*. Диаграммная лента перемещается с постоянной скоростью синхронным двигателем *СД*.

Данная измерительная установка является *системой автоматического контроля* (САК) температуры и относится к классу следящих систем с отрицательной обратной связью.

Функцию обратной связи выполняет механическая связь вала двигателя *РД* с реохордом R_P. Задатчиком является термопреобразователь R_T. Мостовая схема выполняет в этом случае две функции: сравнивающего устройства ($\Delta R = R_T - R_P$) и преобразовательного устройства (ΔR в ΔU). Напряжение ΔU является сигналом ошибки.

Реверсивный двигатель является исполнительным элементом, а выходной величиной считается перемещение *l* стрелки (или пишущего узла), т.к. целью любой САК является выдача информации о контролируемой величине в виде, удобном для восприятия человеком.

Реальная схема измерительного моста КСМ4 несколько сложнее схемы, которая представлена на рис. 5.2.

5.3. Основные свойства объектов автоматических систем

Каждый объект автоматики представляет собой динамическую систему со своими входными и выходными величинами.

Основными свойствами объектов автоматических систем являются их *устойчивость* и *инерционность*. Определить основные свойства объекта автоматики проще всего по его переходной характеристике.

Переходной характеристикой, или *кривой разгона,* называется реакция объекта (звена или всей системы) на единичное ступенчатое воздействие. Обычно переходная

характеристика обозначается как *h(t).*

Переходная характеристика устойчивых объектов апериодическая (кривая 1 рис. 5.3) и после некоторых колебаний стремится к установившемуся значению $Y_{УСТ}$. Такие объекты называют также *статическими,* т.к. для них всегда можно получить зависимость установившегося значения выходной величины при постоянстве входного регулирующею или возмущающего воздействия, т.е. статическую характеристику.

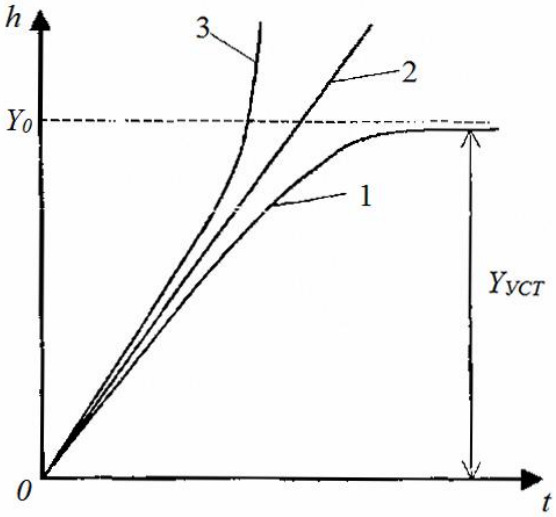


Рис. 5.3. Переходные характеристики объектов контроля (регулирования) различного типа

Кроме того, для таких объектов характерно отличие установившегося значения от заданной величины, обусловленное наличием потерь энергии и называющееся *статической погрешностью.*

Примерами устойчивых объектов являются, в частности, электронагревательные приборы или электродвигатели, выходной величиной которых считается угловая скорость.

Линейный характер переходной характеристики (кривая 2 рис. 5.3) свойственен *нейтральным* или *астатическим* объектам, т.е. не имеющим статического (установившегося) режима. В автоматике такие объекты относят к интегрирующим звеньям.

Типичным примером нейтрального астатического объекта является электродвигатель, если за выходную величину принять угол поворота его вала.

Существуют также *неустойчивые* объекты (кривая 3 рис. 5.3). Неустойчивыми являются, например, объекты, в которых происходит экзотермические или ядерные реакции.

Чем выше степень устойчивости объекта, тем более простыми методами можно обеспечить требуемое качество регулирования. Работа неустойчивых объектов без автоматических регуляторов невозможна в принципе.

Инерционность объектов оценивается двумя параметрами – временем чистого запаздывания $\tau_З$, и постоянной времени T объекта.

Свойства объекта можно определить аналитическим путем, решая уравнения статики и динамики его работы, либо экспериментально. В инженерной практике свойства промышленных объектов обычно выявляют экспериментальным путем, снимая их переходные характеристики обычно с помощью соответствующих систем автоматического контроля.

На рис. 5.4 приведен пример определения времени запаздывания $\tau_З$ и постоянной времени T устойчивого объекта по его переходной характеристике.

Первый участок при $0 < t < \tau_З$ (рис. 5.4) образует так называемое звено чистого запаздывания, а второй, при $t > \tau_З$, является апериодическим звеном первого порядка.

Переходная характеристика такого звена при нулевых начальных условиях описывается уравнением

$$t = t_У(1 - e^{\frac{-\tau_З}{T}}) \qquad (5.5)$$

где t, $t_У$ и t_0 – текущее, установившееся и начальное значения температуры объекта.

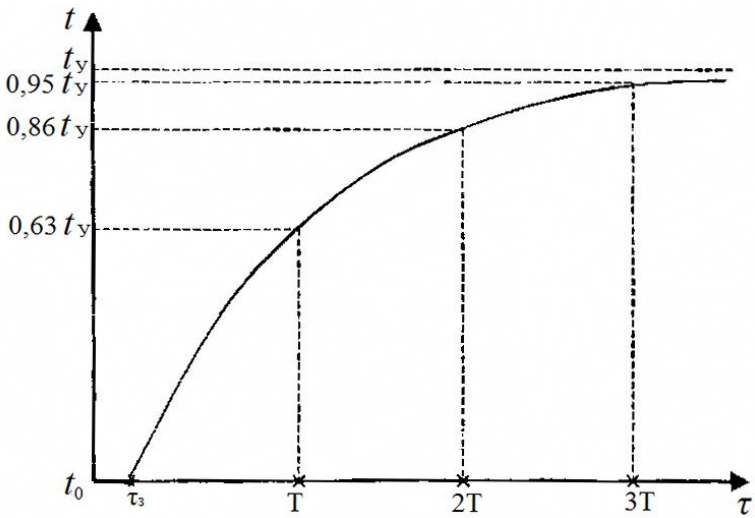


Рис. 5.4. Переходная характеристика контролируемого объекта

Если принять $t - \tau_3 = T$ и $t_0 = 0$, тогда можно записать:

$$t_1 = 0{,}63\ t_у \qquad (5.6)$$

Таким образом, *постоянной времени T* процесса (объекта) называется время от начала изменения выходной величины ($\tau = \tau_3$) до момента достижения 63% установившегося значения без учета начальных условий.

5.4. Описание лабораторной установки

Основу лабораторной установки составляет измерительный мост КСМ4. Данный прибор является двенадцатиканальным, т.е. к нему можно подсоединить до двенадцати термопреобразователей сопротивления (датчиков температуры).

Эти датчики автоматически поочередно подключаются к измерительной схеме моста с помощью специального переключателя. В момент установления равновесия измерительной схемы печатающий механизм каретки ставит точку с порядковым номером канала на диаграммной ленте. Номер подключенного канала можно также увидеть на специальном индикаторе, расположенном справа от пишущего узла.

Все основные узлы моста КСМ4 располагаются на выдвижном (из корпуса) шасси. Там же находятся и органы управления мостом. Выключатели "Прибор" и "Диаграмма" – спереди, в правом нижнем углу. Переключатель скорости перемещения ленты – в левом верхнем углу, а переключатель периода регистрации – слева, на боковой стенке шасси.

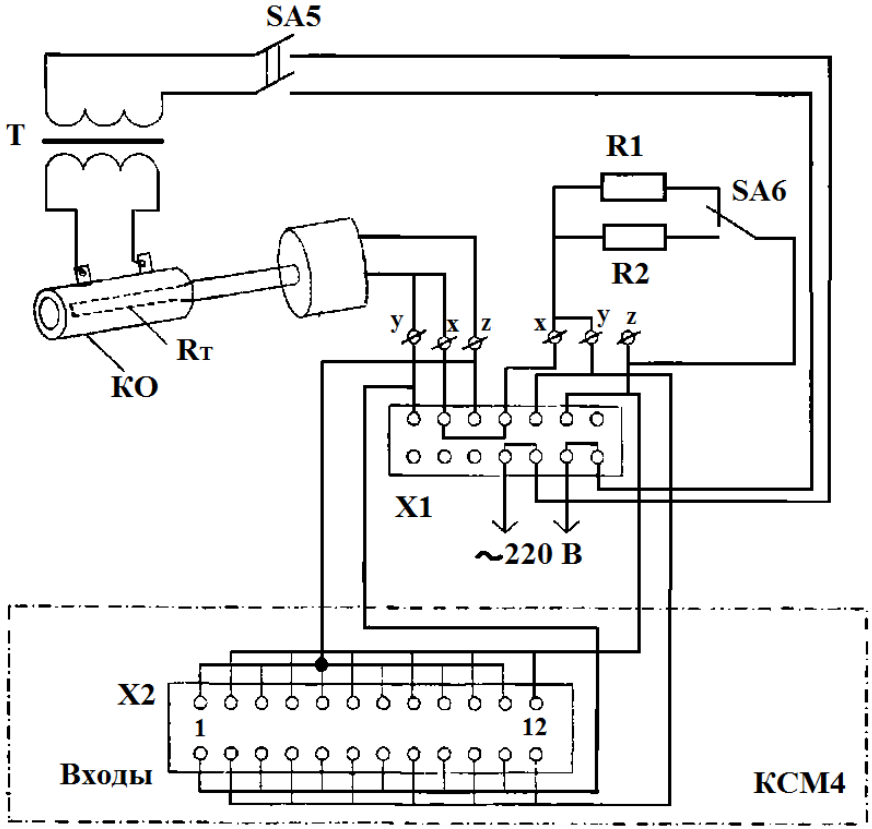


Рис. 5.5. Схема лабораторной установки

Мост КСМ4 может работать в двух режимах: в режиме автоматического измерения (контроля) и в режиме автоматического регулирования температуры. Причем для второго режима необходимо задействовать специальный релейный блок, реализующий двух- или трехпозиционное регулирование. *В данной работе эти блоки не задействованы.*

Объектом контроля *КО* (рис. 5.5) может являться любой реальный объект (термостат, радиатор, корпус транзистора и т.п.). В данном случае (рис. 5.5) его функции выполняет остеклованный резистор, выдерживающий нагрев до 150 ºС и обладающий малой инерционностью, что ускоряет процесс снятия переходной характеристики. Нагрев объекта контроля производится от сети через согласующий трансформатор *T*. Чувствительный элемент датчика температуры (термосопротивление) R_T расположен внутри исследуемого объекта и по трехпроводной схеме подключен к внешним колодкам моста КСМ4 ко всем нечетным каналам (с 1 по 11).

Для определения реального масштаба к тем же колодкам, но к четным каналам (со 2 по 12) подключено постоянное сопротивление (*R1* или *R2* на макете, рис. 5.5), имитирующее объект с постоянной температурой.

5.5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой. Найти основные органы управления моста КСМ4. Определить, какая скорость перемещения диаграммной ленты и какой период регистрации установлены.

2. Включить мост КСМ4 в режиме автоматического измерения (контроля) и записи на диаграммную ленту. Переключателем *SA6* выбрать один из масштабирующих резисторов *R1* или *R2*. Включить подогреватель *ОР* выключателем *SA5*.

3. Убедиться, что переходной процесс нагрева объекта начался и фиксируется на диаграммной ленте нечетными каналами, а четные дают прямую линию.

Дождаться выхода кривой переходного процесса (разгона) на установившийся режим $t_У$=const и выключить подогреватель.

4. Определить масштаб μ_R [Ом/кл] на диаграммной ленте, зная, что R_0 = 50 Ом при t_0 = 20 ^{0}С. Значения сопротивлений *R1* и *R2* смотреть на макете установки. По полученному масштабу определить $R_У(t_У)$ и $R_{MAX}(t_{MAX})$ (на правом краю ленты). С

учетом уравнения (5.1) рассчитать $t_У$ и t_{MAX} соответственно. Получить масштаб μ_t [ºС/кл] при $\alpha_{ТСП} = 3{,}97 \cdot 10^{-3}$ ºС$^{-1}$.

5. Зная скорость перемещения диаграммной ленты, определить время запаздывания $\tau_З$ (если оно есть) и постоянную времени объекта *T*.

Примечание: шаг (одна клетка) диаграммной ленты равна 2,5 мм.

5.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Мостовая схема измерения температуры (рис. 5.1).
3. По характеру кривой переходного процесса определить устойчивость объекта.
4. Рассчитать и отметить на полученной кривой разгона параметры $t_У$, t_{MAX}, $\tau_З$, *T*.

5.7. Контрольные вопросы

1. Что такое ГСП?
2. В чем основное отличие измерительных мостов от потенциометров?
3.В чем сущность метода сравнения с мерой.
4. Принцип действия измерительных мостов.
5. Измерение температуры мостовой схемой в ручном режиме.
6. В чем преимущество трехпроводного способа подключения датчика (термосопротивления)?
7. Определение инерционных свойств объекта по кривой разгона (переходной характеристике).

Литература

1. Абрамов В.М. Электронные элементы устройств автоматического управления. Схемы, расчет, справочные данные. – М.: Академкнига, 2006. – 680 с.

2. Борисов Н.М. Автоматические устройства контроля и управления. – М.: Энергия, 1976. – 86 с.

3. Ваничкин В.Ф. Электрические и электронные аппараты: сборник лабораторных работ. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 52с.

4. Келим Ю.М. Типовые элементы систем автоматического управления. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2002, – 384 с.

5. Клюев А.С и др. Проектирование систем автоматизации технологических процессов: Справочное пособие. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 464 с.

6. Шишмарев В.И. Автоматизация технологических процессов. – М.: Академия, 2005. – 352 с.

7. Кривозубов В.Н. и др. Основы автоматики: Учебное пособие. – С-Пб.: СПбГУКиТ, 2003. – 64 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Примеры буквенных кодов для обозначения элементов электрических схем [5].

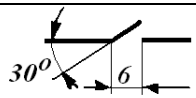
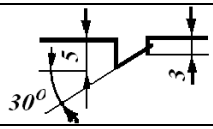
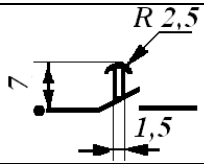
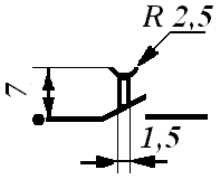
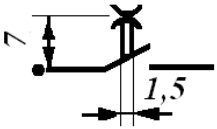
Элемент электрической схемы	Буквенный код
Усилитель	A
Датчик температуры (термопара)	BK
Предохранитель плавкий	FU
Аккумуляторная батарея	GB
Сигнальная лампа	HL
Реле:	
тока	KA
промежуточное	KL
указательное	KH
электротепловое	KK
времени	KT
напряжения	KV
мощности	KW
Контактор, пускатель	KM
Дроссель	L
Амперметр	PA
Вольтметр	PV
Частотомер	PF
Часы, измеритель времени действия	PT
Устройства коммутационные	S
Выключатель или переключатель	SA
Выключатель кнопочный	SB
Переключатель измерений	SN
Выключатель автоматический	SF
Трансформатор тока	TA
Трансформатор напряжения	TV
Диоды, стабилитроны	VD
Выпрямительный мост	VZ
Транзистор	VT
Тиристор	VS

Приложение 1 (продолжение)

Элемент электрической схемы	Буквенный код
Соединение контактное	X
Гнездо разъемного соединения	XS
Накладка, перемычка	XB

Приложение 2.

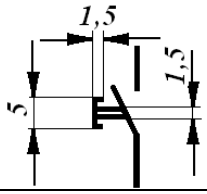
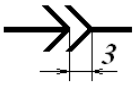
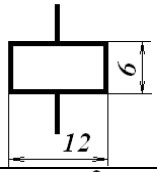
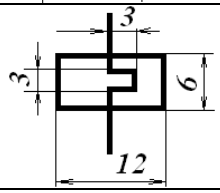
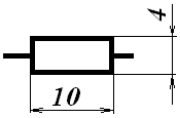
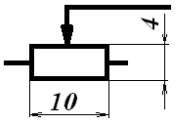
Условные графические обозначения элементов электрических схем автоматики

Название элемента	Графическое изображение
1. Контакт коммутационного устройства	
а) замыкающий	
б) размыкающий	
2. Контакт реле времени замыкающий с замедлителем, действующий	
а) при срабатывании	
б) при возврате	
в) при срабатывании и возврате	

Приложение 2 (продолжение)

Название элемента	Графическое изображение
3. Обмотка трансформатора, автотрансформатора, дросселя и магнитного усилителя	R 1,5....4
4. То же, с ферромагнитным сердечником	Толщина 1...1,2 мм R 1,5...4
5. Прибор измерительный:	
а) показывающий	Ø10
б) регистрирующий	10 10
6. Электродвигатель. Общее обозначение	Ø20 M
7. Контакт электротеплового реле	3 4 3
8. Выключатель трехполюсный	
9. Лампа накаливания. Осветительная и сигнальная	6...8 Ø

Приложение 2 (продолжение)

Название элемента	Графическое изображение
10. Выключатель кнопочный нажимной	
а) с замыкающим контактом	
б) с размыкающим контактом	
11. Соединение контактное разъемное	
12. Катушка электромеханического устройства (реле, магнитного пускателя)	
13. Катушка электротеплового реле	
14. Резистор	
а) постоянный	
б) переменный с разрывом цепи (реостат)	

Приложение 2 (продолжение)

Название элемента	Графическое изображение
в) переменный без разрыва цепи (потенциометр)	4 10
15. Тензорезистор	P
16. Термосопротивление	t°
17. Термопара	
18. Конденсатор постоянной ёмкости	1,5 8
19. Предохранитель плавкий	10 4
20. Звонок электрический	R 4

Приложение 3

Условные обозначения приборов и средств автоматизации

Название прибора	Графическое изображение
1. Термометр расширения стеклянный	

Приложение 3 (продолжение)

Название прибора	Графическое изображение
2. Термометр расширения стеклянный электроконтактный	
3. Термопара двойная	
4. Термопара одинарная	
5. Термобаллон манометрического термометра	
6. Термометр сопротивления одинарный	
7. Термометр сопротивления двойной	
8. Термометр биметаллический (дилатометрический)	
9. Отборное устройство (давления, уровня, состава газов и жидкости)	
10. Сужающее устройство для измерения расхода по перепаду давления (острие изображения направляется против потока)	
11. Трубка пневмометрическая	
12. Приёмное устройство измерителя потока	

Приложение 3 (продолжение)

Название прибора	Графическое изображение
13. Приемное устройство ультразвуковое (расходомера, уровнемера и др.)	
14. Приемное устройство расходомера электромагнитного	
15. Приемное устройство поплавковое	
16. Приемное устройство радиоактивное	
17. Приемное устройство уровнемера ультра коротковолнового	
18. Приемное устройство емкостное (уровнемера, толщиномера и др)	
19. Приемное устройство влагомера	
20. Приемное устройство для измерения физико-химического состава и качества вещества	
21. Приемное устройство	
22. Приемное устройство фотометрическое (уровень и др)	
23. Приемное устройство динамометрическое	
24.. Электрическая передача	W

Приложение 3 (продолжение)

Название прибора	Графическое изображение
25. Гидравлическая передача	
26. Пневматическая передача	
27. Механическая передача	
28. Исполнительный механизм поршневой	
29. Исполнительный механизм мембранный	
30. Исполнительный механизм электромагнитный	
31. Исполнительный механизм	
а) с электродвигателем переменного тока	
б) с электродвигателем постоянного тока	
32. Заслонка регулирующая	
33. Шибер регулирующий	
34. Клапан регулирующий проходной	
35. Клапан регулирующий трехходовой	
36. Регулирующий орган	

Приложение 3 (продолжение)

Название прибора	Графическое изображение
37. Счетчик жидкости, газа	
38. Расходомер постоянного перепада	
39. Переключатель измерительных цепей	
40. Кнопка управления	

Оглавление

Введение……3

Основные правила техники безопасности…….5

Лабораторная работа №1 Измерение деформаций
и сил с помощью тензометрических датчиков……..9

Лабораторная работа №2 Изучение характеристик
теплового реле и аппаратуры защиты электроприводов**.** 19

Лабораторная работа № 3 Изучение электромагнитных
реле…….26

Лабораторная работа № 4 Определение
характеристик фотоэлектрических датчиков…….40

Лабораторная работа № 5 Изучение системы
автоматического контроля температуры…….49

Литература……62

Приложение……...63

Учебное издание

АВТОМАТИКА

Методические указания

Издается в авт. редакции

Компьютерная верстка *А.Н. Попескул*

Набор *А.Н. Попескул*

Усл. печатных листов – 4,5. Тираж 30 экз.