

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ»

для студентов специальности 1-53 01 01

«Автоматизация технологических процессов и производств»

Часть первая

Брест 2011

Методические указания содержат теоретические сведения, справочные материалы, примеры и задания для выполнения лабораторных работ по курсу «ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ» для студентов специальности 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств».

Издаётся в 2-х частях. Часть 1.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании кафедры.
Протокол № 3 от 25.11.10 г.

Составители: Клопоцкий А.В., доцент, к.т.н.

Клопоцкий А.А., ст. преподаватель

Содержание

Предисловие.....	4
Лабораторная работа 1 Изучение устройства и принципа действия магнитоуправляемых контактов (герконов).....	4
Лабораторная работа 2 Исследование индуктивных бесконтактных выключателей.....	9
Лабораторная работа 3 Исследование емкостных бесконтактных выключателей.....	16
Лабораторная работа 4 Исследование оптических бесконтактных выключателей.....	21
Лабораторная работа 5 Исследование потенциометрического измерительного преобразователя.....	27
Лабораторная работа 6 Изучение принципа работы сигнализатора давления.....	30
Лабораторная работа 7 Исследование проволочного тензометрического датчика.....	33
Лабораторная работа 8 Исследование термоэлектрического преобразователя температуры (термопары).....	38
Лабораторная работа 9 Исследование термометра сопротивления.....	44
Лабораторная работа 10 Исследование полупроводниковых датчиков температуры (термисторов).....	49
Лабораторная работа 11 Исследование нормирующего преобразователя «Термометр сопротивления – аналоговый токовый выход».....	52
Лабораторная работа 12 Исследование полупроводникового преобразователя «Температура – частота импульсов».....	56
Список литературы.....	59

ПРЕДИСЛОВИЕ

Лабораторные работы имеют целью углубить и закрепить теоретические знания студентов, дать им экспериментальное подтверждение, показать их практическую ценность, ознакомить студентов с используемым в лабораториях оборудованием, приборами, а также научить самостоятельно проводить экспериментальные исследования и анализировать полученные результаты.

Ввиду того, что лабораторные занятия проводятся одновременно с чтением лекций, а подчас и опережают их, описания лабораторных работ содержат краткие теоретические сведения, позволяющие выполнять работы в любой последовательности. Однако чтобы успешно выполнить задания, предусмотренные программой каждой лабораторной работы, уметь сделать обобщающие выводы на основании данных проведенного эксперимента, необходима тщательная предварительная подготовка к выполнению каждой лабораторной работы. Только овладев теоретическими знаниями, изучив по учебникам и рекомендованным пособиям соответствующий материал, осмыслив его, уяснив цель, сущность, основное содержание и ожидаемые результаты предстоящей работы, а также заранее ознакомившись с принципом действия и правилами эксплуатации приборов, с которыми придется иметь дело, можно приступить к занятиям в лаборатории.

Лабораторные работы выполняются бригадой, как правило, состоящей из двух трех студентов. График прохождения лабораторных работ объявляется до начала лабораторных занятий.

При первом посещении лаборатории со студентами проводится инструктаж по правилам техники безопасности, о чем каждый из них расписывается в специальном журнале. В дальнейшем студент обязан строго выполнять правила электрической и противопожарной безопасности в лаборатории.

Подключать стенды, макеты и приборы к источникам электропитания можно только с разрешения преподавателя или лаборанта.

После окончания лабораторной работы студенты должны отключить оборудование от источников электропитания, разобрать схему, убрать рабочее место, а полученные результаты измерений и наблюдений предъявить преподавателю.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

Изучение устройства и принципа действия магнитоуправляемых контактов (герконов)

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип работы герконов.
2. Снять статическую характеристику геркона МКС – 27801.
3. Рассчитать простейшие схемы управления и сигнализации, построенные на герконах.

1.1. Магнитоуправляемые контакты. Типы и устройство

В обычных электромагнитных реле часто отказ возникает из-за контактов, которые подвергаются вредным воздействиям окружающей среды (окислению, загрязнению, коррозии и др.). Существенно повысить надежность реле можно за счет герметизации контактов. Так как в этом случае невозможно механически связать контактный узел с электромагнитным приводом, то необходимо для перемещения герметизированных кон-

тактов использовать силы электромагнитного притяжения. Контактные пластины для этого изготавливаются из ферромагнитного материала, таким образом, контакты становятся магнитоуправляемыми.

К магнитоуправляемым контактам относятся **герконы** (т.е. герметизированные контакты). Применяются они для тех же целей, что и мощные электромагнитные реле. Они и возникли в результате совершенствования контактных электромагнитных устройств и стремления свести к минимуму их недостатки: сравнительно небольшой срок службы (до 10^7 срабатываний), невысокое быстродействие (десятки миллисекунд), потребление энергии в течение всего периода притяжения якоря и необходимость периодического обслуживания.

Геркон, изображённый на рисунке 1.1, а, представляет собой впаянные в стеклянную ампулу (баллон) пермаллоевые пластины 1, служащие одновременно токоподводами, контактами и магнитопроводом. Пластины впаяны в ампулу таким образом, чтобы контакты, в качестве которых используются внутренние концы пластин, покрытые золотом, радием или вольфрамом, находились на некотором расстоянии друг от друга, т. е. были разомкнуты.

К наружным концам пластин припаивают провода, служащие для присоединения к внешней цепи. Если геркон поместить в магнитное поле, созданное током в обмотке 2, окружающей геркон, то на контакты будет действовать электромагнитная сила. Если эта сила окажется больше противодействующего усилия упругих пластин, то произойдет замыкание контактов.

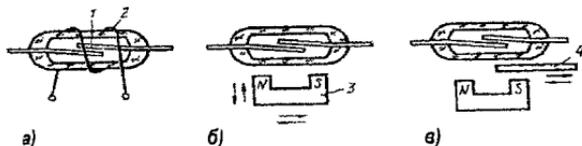


Рисунок 1.1 – Разновидности герконов

После отключения обмотки пластины под действием сил упругости возвращаются в исходное состояние, т.е. контакты размыкаются. Следовательно, удержать контакт в замкнутом состоянии можно только за счет потребления энергии от сети, что является одним из недостатков геркона. Герконы бывают вакуумные и газонаполненные, в которых стеклянная ампула заполнена азотом, водородом или другим инертным газом.

Для управления магнитоуправляемым контактом можно использовать не только магнитное поле катушки с током (рис. 1.1, а), но и магнитное поле постоянного магнита (рис. 1.1, б). В последнем случае срабатывание контактов осуществляется в зависимости от взаимного перемещения геркона и постоянного магнита 3. Изменение магнитного поля, воздействующего на контакты, может осуществляться и за счет изменения параметров магнитной цепи при перемещении ферромагнитного экрана 4 (рис. 1.1, в).

Реле на магнитоуправляемых контактах могут производить несколько сотен срабатываний в секунду, а общее число срабатываний может достигать 10^{12} . При этом сопротивление контактного перехода в замкнутом состоянии может составлять 10^{-3} Ом, а в разомкнутом – 10^9 - 10^{11} Ом. Выпускаемые промышленностью герконы имеют массу 0,4-3 г.

1.2. Параметры герконов

По конструкции герконы представляют собой баллон (капсулу) с выводами. Габаритными размерами геркона являются: длина и диаметр баллона, общая длина с выводами

ми. В зависимости от длины баллона различают: стандартные герконы – длина баллона 50 мм, промежуточные – 36 мм, миниатюрные – 20 мм, сверхминиатюрные – 10мм.

Герконы подразделяются также на маломощные (коммутируемая мощность до 60 Вт) и повышенной мощности (до 1000 Вт), низкочастотные и высокочастотные, низковольтные (коммутируемое напряжение до 250 В) и высоковольтные (свыше 250 В), имеются герконы с «памятью» и специальные.

Условное обозначение герконов включает шесть элементов:

первый элемент – система букв – определяет условное наименование геркона. МК – магнитоуправляемый контакт герметизированный, КЭМ – контакт электромагнитный, КМГ – магнитоуправляемый контакт с повышенным контактным нажатием (для коммутации больших токов – более 5 А);

второй элемент указывает на систему коммутации геркона:

А – замыкающий, В – размыкающий, С – перекидной, Д – переходной;

третий элемент – буква Р, присутствует только в ртутных герконах;

четвертый элемент – двузначное число, показывает длину баллона в миллиметрах;

пятый элемент указывает на функциональное назначение геркона:

1 – малой и средней мощности, 2 – повышенной мощности, 3 – мощные, 4 – высоковольтные, 5 – высокочастотные, 6 – «с памятью», 7 – специальные (с повышенной устойчивостью к внешним факторам и характеру нагрузки), 8 – измерительные. В обозначении пятого элемента могут указываться один или два признака, например, повышенной мощности (цифра 2) и измерительные (цифра 8). В этом случае цифры раскладываются в порядке возрастания (28). Герконы, характеризующиеся одним признаком, обозначаются цифрой, после которой добавляется ноль;

шестой элемент обозначения – порядковый номер разработки.

Пример: МКА – 20101 – геркон замыкающий, сухой, с длиной баллона 20 мм, малой и средней мощности, порядковый номер разработки 1.

Основные параметры герконов

Магнитодвижущая сила (МДС) срабатывания зависит от конструктивных особенностей контактного зазора, механических и магнитных свойств контактных деталей, толщины контактного покрытия и т. д. Магнитодвижущая сила срабатывания для сверхминиатюрных герконов лежит в пределах 10...30 А·вит (ампер-витков), для мощных герконов эта величина составляет несколько сотен А. Значение магнитодвижущей силы срабатывания позволяет выбрать число витков катушки электромагнита, надеваемой на геркон. Так как

$$МДС = I \cdot W, \quad (1.1)$$

где W – число витков, то

$$W = МДС / I \quad (1.2)$$

Время срабатывания геркона складывается из времени замыкания, составляющего порядка 0,2...1,8 мс, и времени вибрации порядка 0,1...1,2 мс. Время срабатывания приведенных в справочнике герконов составляет: 0,8...3,0 мс для маломощных герконов и до 8 мс – для мощных герконов.

Время отпускания герконов обычно лежит в пределах 0,1...0,7 мс.

Максимальная коммутируемая герконом мощность P_{max} определяется допустимой температурой нагрева контактов, числом коммутаций и условиями окружающей

среды. Для приведенных в справочнике маломощных герконов P_{max} находится в пределах 1...50Вт, у геркона повышенной мощности – до 250 Вт.

Верхние значения величин коммутируемых напряжений и токов также ограничиваются. Максимальный коммутируемый ток, длительное время пропускаемый через контакты, не должен приводить к слипанию контактов и другим отказам. В то же время допускается пропускание импульсного тока, в несколько раз превышающего максимальный коммутируемый постоянный ток. Максимальное коммутируемое напряжение ограничивается явлением электрического пробоя разомкнутых контактов.

При выборе геркона по коммутационным параметрам можно идти двумя путями: выбрать геркон по напряжению, а величину допустимого тока рассчитать по формуле:

$$I_{доп} = P_{max}/U; \quad (1.3)$$

выбрать геркон по току, а допустимое напряжение вычислить по выражению

$$U_{доп} = P_{max}/I. \quad (1.4)$$

Использование герконов одновременно с максимальными значениями коммутируемых токов и напряжений недопустимо, так как при этом коммутируемая мощность во много раз превышает максимально допустимую. Так, например, при максимальном коммутируемом токе 1 А геркона МКС-27102 и максимальном коммутируемом напряжении 150 В коммутируемая мощность составит 150 Вт, что в 5 раз больше максимально допустимой коммутируемой мощности 30 Вт.

Электрическое сопротивление контактов состоит из сопротивления контакт – контакт и переходного сопротивления контактов. Достоинством герметических контактов является высокая стабильность сопротивления, что обусловлено герметизацией. Значение электрического сопротивления для приводимых в справочнике герконов лежит в пределах 0,07... 0,3 Ом. Выбор геркона производится таким образом, чтобы при выполнении всех других требований электрическое сопротивление контактов было наименьшим.

Электрическая прочность изоляции геркона – это максимальное значение электрического напряжения, которое может быть приложено к электрическим контактам, не вызывая газового пробоя или поверхностного перекрытия. Электрическая прочность изоляции зависит от расстояния между контактами, их формы, материала, состояния поверхности баллона, а также состава наполняющего газа и его давления. Электрическая прочность в несколько раз больше максимального коммутируемого напряжения. Из последнего следует: импульсное коммутируемое напряжение может быть больше постоянного, но в то же время не должно превышать по величине электрическую прочность.

Максимальное число срабатываний (коммутаций) ограничивается появлением необратимых процессов на поверхности контактов, других деталей, на стекле баллона, спае стекла с выводами и т. п. Указанные процессы приводят к отклонению параметров геркона от паспортных значений. Возможны и внезапные отказы, среди них чаще всего – залипание контактов.

Максимальное число срабатываний является средней величиной с большим разбросом, в значительной степени зависит от вида нагрузок в коммутируемой цепи. При индуктивной нагрузке, особенно в режиме размыкания, возникают значительные перенапряжения, в результате чего между контактами образуются разряды, значительно снижающие износоустойчивость герконов. Емкостная нагрузка, особенно в режиме замыка-

ния, дает большие «броски» токов, часто приводящие к слипанию контактов. Броски токов характерны также при коммутации ламп накаливания.

На параметр «максимальное число срабатываний» оказывает также значительное влияние температура окружающей среды. При различной температуре скорость протекания физико-химических процессов в зоне соприкосновения контактов и внутри баллона различная. По этой причине износостойкость геркона меняется.

Для работы РЭА, особенно в режиме значительной частоты срабатывания, герконы надо выбирать с максимально возможным числом коммутаций.

Частота коммутаций герконов определяет предельные возможности переключения в последовательном коммутационном цикле (замыкание – размыкание) и зависит в основном от времени срабатывания. Чем меньше время срабатывания, а следовательно, и отпускания, тем больше частота коммутаций. Для приведенных в справочнике герконов верхний предел частоты коммутаций колеблется в пределах от 20 до 100 Гц. Невысокую частоту коммутации (до 50 Гц) имеют ртутные герконы, некоторые замыкающие герконы больших размеров имеют еще меньшую величину частоты коммутаций (20 Гц).

Температура окружающей среды оказывает влияние на геометрические размеры деталей геркона, а также на механические характеристики, магнитные и электрические свойства этих деталей. Все это в итоге приводит к уменьшению надежности герконов, в частности приводит к уменьшению его главного показателя – максимального числа коммутаций. Для большинства герконов диапазон температур, в котором нормально функционируют герконы, составляет $-60 \dots + 125^\circ\text{C}$. Для ртутных герконов нижний предел диапазона температур ограничен температурой замерзания ртути (-39°C).

1.3. Применение магнитоуправляемых контактов

На основе магнитоуправляемых контактов выпускаются высоконадежные промежуточные электромагнитные реле с числом контактных групп до десяти. В таких реле внутри общей катушки управления размещается несколько пар контактов. Как уже отмечалось, по сравнению с обычными электромагнитными реле герконовые имеют большее быстродействие и более надежны. Однако им свойственны и некоторые недостатки. Они имеют в 2-3 раза меньшие значения удельных токовых нагрузок на контакты, более критичны к переходным процессам в коммутационной цепи.

На основе магнитоуправляемых контактов могут быть построены различные путевые и конечные выключатели, реле различных неэлектрических величин. В качестве примера на рисунке 1.2 показаны термоэлектрические реле (а) с биметаллической пластиной и реле давления (б) с упругим элементом в виде сильфона (гофрированного упругого стакана из фосфористой бронзы). При изменении температуры или давления постоянный магнит приближается к геркону, и его контакты срабатывают.

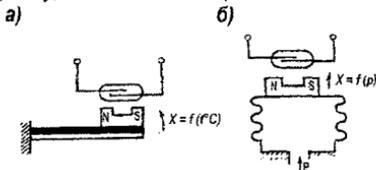


Рисунок 1.2 – Разновидности герконовых реле

1.4. Порядок выполнения работы

1. Составить электрическую схему для снятия статической характеристики геркона, предусмотрев при этом необходимые измерительные приборы.
2. Снять статическую характеристику геркона.
3. Рассчитать величину номинального напряжения питания подаваемого на катушку геркона – U_n .

Для исследуемого геркона принять:

намагничивающая сила $F = I \cdot W = 50 \text{ A} \cdot \text{вит}$, $W = 2500$ витков.

4. Рассчитать величину сопротивления нагрузки R_n , если коммутируемая мощность не превышает $P_{\text{доп}} \leq 1$ Вт. В качестве нагрузки можно использовать сигнальную лампу, катушку реле и др.

1.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Электрическая схема исследования геркона с указанием расчетных параметров U_n , R_n .
3. Описание работы схемы.
3. Статическая характеристика геркона.
4. Примеры применения герконов при автоматизации изучаемых технологических процессов (пояснить принципиальной электрической схемой).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2

Исследование индуктивных бесконтактных выключателей

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия индуктивных бесконтактных выключателей (ВБИ).
2. Изучить особенности эксплуатации индуктивных бесконтактных выключателей.

2.1. Общие сведения и параметры бесконтактных выключателей

Бесконтактным выключателем (ВБ) называется выключатель, приводимый в действие внешним объектом без механического контакта выключателя и объекта. Коммутация нагрузки производится полупроводниковыми элементами. Все это обеспечивает высокую надёжность работы бесконтактных выключателей.

В системах управления они, как правило, выполняют функцию датчиков обратной связи, сигнализируя о завершении выполнения конкретным элементом оборудования команды на перемещение. Но этим их применение не ограничивается.

Упрощенная функциональная схема бесконтактного выключателя состоит из трех блоков и приведена на рисунке 2.1.

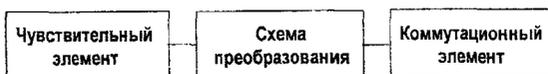


Рисунок 2.1 – Функциональная схема

Входя в зону чувствительности бесконтактного выключателя, движущийся объект вызывает его срабатывание, при этом коммутационный элемент ВБ включает или отключает ток нагрузки (до 400 мА DC или до 500 мА AC). В качестве нагрузки может быть ис-

пользован вход контроллера, электронной схемы или непосредственно обмотка реле, контактора. Электрическая часть ВБ помещена в корпус из пластмассы или никелированной латуни. Для обеспечения работоспособности в экстремальных условиях эксплуатации электрическая часть герметизируется компаундом.

Бесконтактные выключатели классифицируются:

1) *по принципу действия* чувствительного элемента различают: индуктивные, емкостные, оптические, ультразвуковые, магнитные немеханические;

2) *по условиям установки* в конструкцию. Индуктивные ВБ выпускаются утапливаемого или неутапливаемого исполнения. Последним необходимо наличие вокруг чувствительного элемента зоны, свободной от демпфирующего материала;

3) *по возможностям коммутационного элемента*. ВБ различаются по коммутационной функции и по типу выхода (схемам подключения);

4) *по особенностям конструктивного исполнения*. ВБ различаются по форме корпуса и по способу подключения.

Основные определения.

Бесконтактный выключатель – позиционный выключатель, приводимый в действие внешним объектом воздействия без механического контакта выключателя с движущимся объектом

Бесконтактный индуктивный выключатель – бесконтактный выключатель, создающий электромагнитное поле в зоне чувствительности и имеющий полупроводниковый коммутационный элемент.

Полупроводниковый коммутационный элемент – элемент, выполняющий коммутацию тока в электрической цепи нагрузки посредством воздействия на проводимость полупроводника.

Расстояние срабатывания (S) – расстояние, при котором объект воздействия, приближаясь к активной поверхности ВБ по относительной оси, изменяет выходной сигнал выключателя.

Номинальное расстояние срабатывания (S_n) – условное значение расстояния срабатывания. Оно не учитывает допуски при изготовлении или отклонения, обусловленные внешними факторами, такими, как напряжение питания и температура.

Реальное расстояние срабатывания (S_r) – расстояние срабатывания конкретного бесконтактного выключателя, измеренное при номинальном напряжении питания, определенных температуре и условиях монтажа.

Гарантированный интервал срабатывания (S_a) – интервал, начинающийся от активной поверхности, внутри которого гарантируется нормальная работа бесконтактного выключателя в нормированных условиях эксплуатации.

Дифференциальный ход (H) – расстояние между точкой срабатывания ВБ при приближении объекта воздействия вдоль относительной оси и точкой возврата в исходное состояние при удалении объекта.

Характеристики коммутационного элемента.

Независимое (мгновенное) срабатывание – однократное срабатывание коммутационного элемента, не зависящее от скорости движения объекта воздействия.

Частота циклов срабатывания (f) – число циклов срабатывания, произведенное бесконтактным выключателем за единицу времени.

Задержка готовности (t_v) – промежуток времени между включением питания и моментом готовности выключателя к нормальному функционированию.

Электрические характеристики.

Номинальное напряжение (U_e) – напряжение питания, являющееся базовым для отсчета отклонений напряжения и при проведении испытаний.

Диапазон рабочих напряжений (U_b) – диапазон номинальных напряжений питания с учетом допускаемых изготовителем верхних и нижних пределов номинальных напряжений.

Падение напряжения (U_d) – напряжение, измеренное на активном выходе ВБ при протекании номинального тока.

Номинальный ток (I_e) – максимально допустимое значение тока нагрузки, коммутируемое бесконтактным выключателем.

Остаточный ток (I_r) – ток, протекающий в цепи нагрузки при выключенном состоянии коммутационного элемента ВБ.

Минимальный рабочий ток (I_m) – ток, необходимый для сохранения включенного состояния коммутационного элемента ВБ.

Собственный ток потребления (I_o) – ток, потребляемый от источника питания бесконтактным выключателем при отключенной нагрузке.

Условия эксплуатации.

Свободная зона – пространство вокруг бесконтактного выключателя, свободное от присутствия материалов, способных влиять на характеристики ВБ.

Демпфирующий материал – материал, который оказывает влияние на характеристики бесконтактного выключателя.

Бесконтактный выключатель утапливаемого исполнения. Бесконтактный выключатель имеет утапливаемое исполнение, если демпфирующий материал может окружать ВБ до плоскости активной поверхности без влияния на характеристики ВБ.

Бесконтактный выключатель неутапливаемого исполнения. Бесконтактный выключатель имеет неутапливаемое исполнение, если вокруг его активной поверхности необходима свободная от демпфирующего материала зона для сохранения характеристик ВБ.

2.2. Функциональная схема ВБИ

Индуктивные бесконтактные выключатели (ВБИ) имеют чувствительный элемент в виде катушки индуктивности с открытым в сторону активной поверхности магнитопроводом.

Перед активной поверхностью ВБИ образуется электромагнитное поле. При внесении металлического объекта в это поле колебания генератора затухают, демодулированное напряжение падает, триггер опрокидывается, коммутационный элемент переключается.

Функциональная схема ВБИ приведена на рисунке 2.2

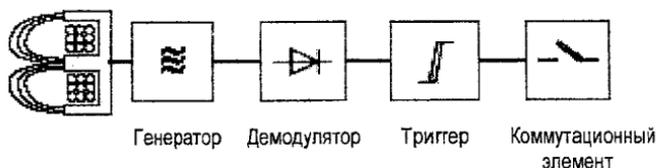


Рисунок 2.2 – Функциональная схема ВБИ

ВБИ выпускаются в латунных никелированных или пластмассовых корпусах различной формы с расстояниями срабатывания от 1 до 150 мм.

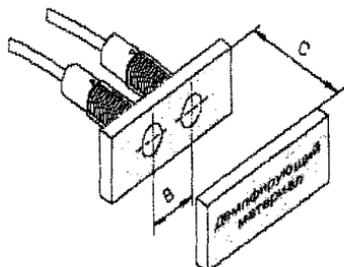
При рабочих условиях эксплуатации (в том числе при рабочих значениях напряжения

питания и температур окружающей среды) предусматривается надежное срабатывание всех изделий ВБИ в гарантированном интервале срабатывания S_a .

В производственных условиях размещения ВБИ следует учитывать минимально допустимые расстояния до окружающих элементов конструкций из металла. ВБИ неутпливаемого исполнения имеют несколько большие расстояния срабатывания, но более жесткие ограничения по условиям установки.

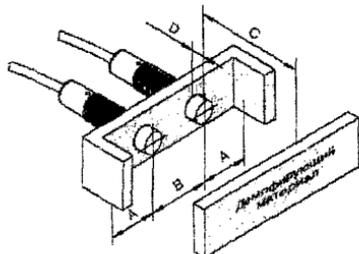
2.3. Установки ВБИ в конструкции

Установки различных видов ВБИ с рекомендуемыми минимальными расстояниями до демпфирующего материала приводятся на рисунках 2.3 и 2.4.



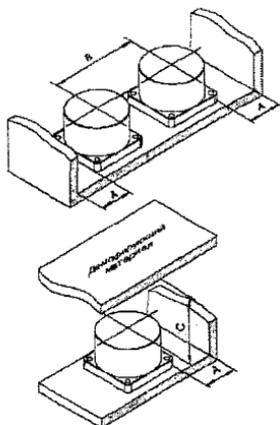
Типоразмер	B	C
	мм	мм
ВБИ-Д06-45У-1...	12	4,5
ВБИ-М08-45У-1...	12	4,5
ВБИ-М12-...-1...	24	6
ВБИ-М18-...-1...	36	15
ВБИ-М30-...-1...	60	30

Рисунок 2.3 – Установка цилиндрических ВБИ утпливаемого исполнения (минимальные размеры)



Типоразмер	A	B	C	D
	мм	мм	мм	мм
ВБИ-Д06-48У-2...	6	12	7,5	2,2
ВБИ-М08-48У-2...	8	12	7,5	2,2
ВБИ-М12-...-2...	12	24	12	6
ВБИ-М18-...-2...	18	36	24	12
ВБИ-М30-...-2...	30	60	45	22,5

а) Установка цилиндрических ВБИ неутпливаемого исполнения (минимальные размеры)



Типоразмер	A	B	C
	мм	мм	мм
ВБИ-Ф60-...-2...	35	120	105
ВБИ-Ф60-40...-2...	38	200	165
ВБИ-Ф270-70У-2...	100	300	300
ВБИ-Ф270-110У-2...	140	360	450

б) Установка фланцевых ВБИ неутпливаемого исполнения (минимальные размеры)

Рисунок 2.4 – Установка ВБИ неутпливаемого исполнения

2.4. Применение

Индуктивные бесконтактные выключатели наиболее широко используются в качестве конечных выключателей в станках с ЧПУ, автоматических линиях и т.п.

Индуктивные бесконтактные выключатели в никелированном корпусе со степенью защиты IP67 могут работать при воздействии СОЖ и масла в станочном оборудовании. ВБИ с расстоянием срабатывания 150 мм применяются в трубопрокатном производстве, на скребковых конвейерах и т.п.

ВБИ холодоустойчивого исполнения работают на открытом воздухе в условиях северных районов Урала. ВБИ с напряжением питания 20-250 В переменного тока не требуют блока питания и часто применяются в простых схемах управления.

При выборе ВБИ с напряжением питания 10-30 В постоянного тока с тремя или четырьмя выводами следует отдавать предпочтение ВБИ с электрической защитой выхода от перегрузок (буква «З» в обозначении). Применение изделий без защиты (П) целесообразно только при наличии длинных, более 100 м, цепей подключения.

Применение ВБИ для контроля скорости

Датчик контроля скорости серии ДКС предназначен в первую очередь для контроля остановки или снижения скорости вращения (движения) различных устройств, таких как конвейеры, транспортеры, барабаны. Может применяться для выявления аварийного проскальзывания ленты на транспортере, как показано на рисунке 2.5.

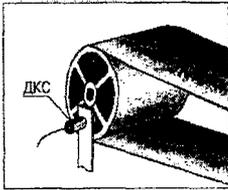


Рисунок 2.5

ДКС представляет собой индуктивный датчик со схемой контроля частоты импульсов воздействия и бинарным выходом.

Контролируемый вращающийся объект непосредственно или с помощью соединенного с ним металлического объекта воздействует на чувствительный элемент датчика с частотой, пропорциональной частоте вращения. При нормальной частоте вращения на выходе датчика и на нагрузке есть напряжение.

2.5. Схемы подключения и функции коммутационного элемента

На рисунках 2.6 и 2.7 приводятся возможные схемы подключения бесконтактных выключателей с различными коммутационными функциями. Под каждой схемой приведен фрагмент обозначения изделия, относящийся к подключению и коммутационной функции.

Бесконтактные выключатели выпускаются:

- для цепей постоянного тока с диапазоном рабочих напряжений 10-30 В;
- для цепей переменного тока с диапазоном рабочих напряжений 60-250 В (индуктивные ВБ переменного тока – с диапазоном рабочих напряжений 20-250 В).

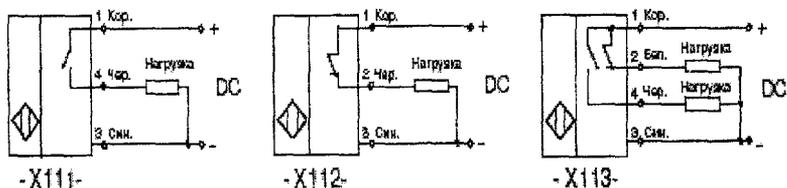
Функции коммутационного элемента

Функция включения (НО) обеспечивает протекание тока нагрузки при обнаружении объекта воздействия и прерывание протекания тока при отсутствии объекта воздействия.

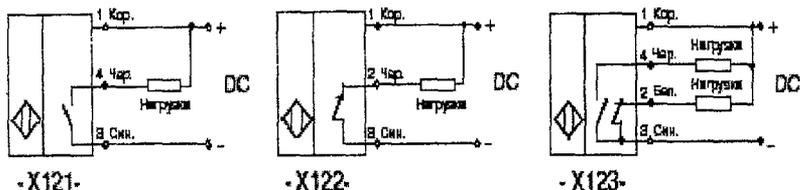
Функция отключения (НЗ) обеспечивает прерывание протекания тока нагрузки при обнаружении объекта воздействия и протекание тока при отсутствии объекта воздействия.

Функция включения-отключения или переключения («ИПИ») является комбинированной функцией, включающей в себя как функцию включения, так и функцию отключения.

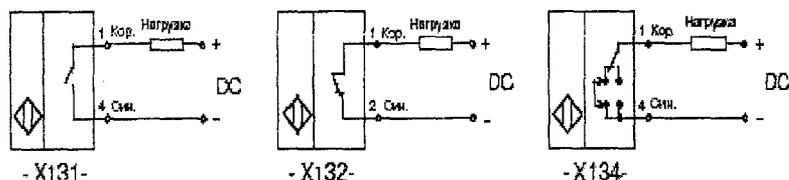
Программируемая функция – один выход ВБ может программироваться пользователем как функция НО или как функция НЗ.



Схемы с тремя или четырьмя выводами
Подключение нагрузки между выходом и минусом питания (PNP-выход)



Схемы с тремя или четырьмя выводами
Подключение нагрузки между выходом и плюсом питания (NPN-выход)



Схемы подключения с двумя выводами

Рисунок 2.6 – Схемы подключаются к источникам питания постоянного тока DC

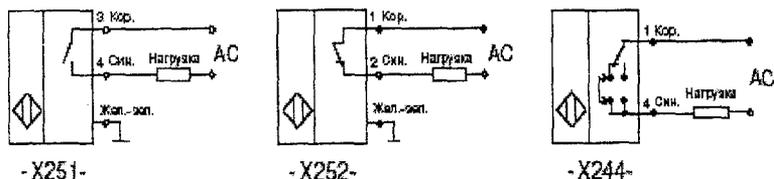
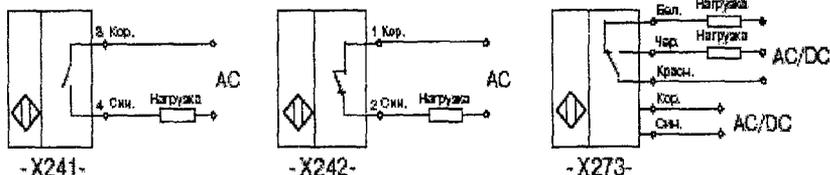


Рисунок 2.7 – Схемы подключаются к источникам питания переменного тока AC

Схемы выходного каскада ВБ приведены на рисунке 2.8.

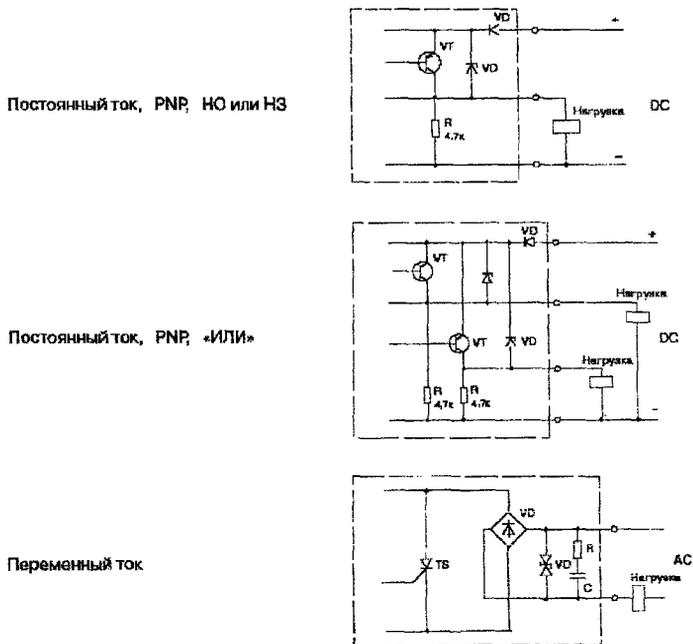


Рисунок 2.8

2.6. Порядок выполнения работы

1. Изучить схему лабораторной установки.
2. Определить величину напряжения питания U_{min} и U_{max} , при которых нарушается устойчивая работа бесконтактного индуктивного выключателя.
3. Определить предельную частоту срабатывания бесконтактного индуктивного выключателя, увеличивая скорость перемещения движущейся детали в зоне чувствительного элемента датчика.
4. Составить схему подключения частотомера (осциллографа) для контроля импульсов, создаваемых ВБИ.

2.7. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Упрощенная схема лабораторной установки.
3. Технические характеристики ВБИ.
4. Схема подключения частотомера (осциллографа) для контроля импульсов, создаваемых ВБИ.
5. Примеры применения ВБИ при автоматизации технологических процессов. Пояснить схемой подключения ВБИ к управляющим цепям исполнительных устройств (см. п. 2.5). Вариант исполнения уточняется преподавателем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3

Исследование емкостных бесконтактных выключателей

Цель работы:

1. Изучить устройство и принцип действия емкостных бесконтактных выключателей (ВБЕ).
2. Изучить особенности эксплуатации емкостных бесконтактных выключателей (ВБЕ).

3.1. Общие сведения

Эти датчики представляют собой конденсаторы переменной емкости, величина которой зависит от значения входного параметра. Чаще всего в качестве датчиков используют плоскопараллельные и цилиндрические конденсаторы.

Как известно, емкость конденсатора зависит от площади S электродов, расстояния между ними δ , а также от диэлектрической проницаемости ε диэлектрика, находящегося между электродами, т.е.

$$C = \varepsilon \frac{S}{\delta} \quad (3.1)$$

При изменении емкости C датчика изменяется его емкостное сопротивление

$$X_c = \frac{1}{2\pi f_1 C}, \quad (3.2)$$

что приводит к изменению тока, протекающего через измерительный прибор. Для включения и определения изменения емкости датчика применяют мостовые (неравновесные и равновесные) схемы, работающие на переменном токе, или резонансные схемы, основанные на резонансе токов или напряжений.

Емкостной датчик с переменным расстоянием S между пластинами выполняется в виде двухэлектродного, а чаще трехэлектродного плоского воздушного конденсатора с одной подвижной пластиной.

Плоскопараллельные емкостные датчики с изменяющимся воздушным зазором имеют нелинейную характеристику, определяемую выражением:

$$Cx = 0,89 \frac{\varepsilon S}{\delta_0 - x}, \quad (3.3)$$

где δ_0 – начальный зазор.

Эти датчики применяют в тех случаях, когда диапазон изменения контролируемой величины (линейное или угловое перемещение, давление, размеры деталей и т. п.) соответствует небольшому участку характеристики, т. е. их обычно используют для измерения малых, линейных перемещений (до 1 мм).

Емкостной датчик с изменяющейся площадью перекрытия пластин состоит из ряда укрепленных на общем штоке неподвижных и подвижных пластин, поворачивающихся на угол α . При повороте подвижных пластин по отношению к неподвижным изменяется площадь перекрытия S , что приводит к изменению емкости в прямо пропорциональной зависимости.

Однако зависимость $C = f(\alpha)$ в значительной мере определяется формой пластин. Для датчика, пластины которого представляют собой половину круга и ось вращения подвижных пластин находится в центре этого круга, емкость определяется формулой

$$C_\alpha = 0,89 \frac{S_{\max}}{d - 180} (n - 1) \alpha, \quad (3.4)$$

где α – угол поворота подвижных пластин (от 0 до 180°); S_{\max} – максимальная площадь перекрытия пластин при $\alpha = 180^\circ$ (когда пластины полностью перекрываются); n – число неподвижных и подвижных пластин; d – зазор между пластинами.

Емкостные датчики этого конструктивного вида применяют для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д., а также для воспроизведения заданных функции (гармонических, пилообразных, прямоугольных и т. п.).

Емкостные преобразователи, диэлектрическая проницаемость ϵ которых изменяется за счет перемещения, деформации или изменения состава диэлектрика, применяют в качестве датчиков уровня непроводящих материалов, толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры), а также контроля влажности и состава вещества.

Датчик для измерения уровня жидкости конструктивно представляет собой коаксиальный (трубчатый) конденсатор. Одна обкладка такого конденсатора – наружная трубка, другая – центральный стержень. И стержень и трубка отделены от жидкости слоем изоляции. Поскольку диэлектрическая проницаемость жидкости много больше диэлектрической проницаемости воздуха, незначительное изменение уровня жидкости вызывает значительное изменение емкости датчика.

Емкость такого датчика определяется выражением:

$$C_x = \frac{1}{2\pi n d_2 / d_1} [H + (\epsilon_x - 1)h], \quad (3.5)$$

где H – длина центрального стержня; h – высота измеряемого уровня; ϵ_x – диэлектрическая проницаемость данной жидкости; d_1 – диаметр центрального стержня; d_2 – внутренний диаметр наружного цилиндра.

На рисунке 3.1 показана схема устройства емкостного датчика для измерения толщины ленты из диэлектрика. Благодаря различию диэлектрических постоянных воздуха и материала ленты изменение ее толщины приводит к изменению емкости датчика, таким образом, емкость датчика соответствует толщине контролируемой ленты.

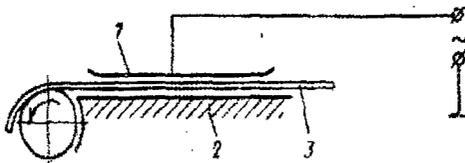


Рисунок 3.1 – Емкостной толщиномер: 1 и 2 – обкладки конденсатора, 3 картон (лента)

Емкостные датчики имеют небольшую емкость – порядка 10 – 100 пФ, вследствие чего их сопротивление $X_c = 1/2\pi fC$ оказывается очень большим и соизмеримым с сопротивлением изоляции, что значительно повышает влияние утечек. Чтобы уменьшить влияние утечек и размеры датчиков, для их питания используют напряжение повышенной частоты – от 400 Гц и выше.

К основным преимуществам емкостных датчиков следует отнести большую чувствительность, малые размеры и массу, простоту конструкции, отсутствие подвижных контактов. Эти датчики практически безынерционны, и поэтому их можно использовать для измерения быстроменяющихся величин (вибрации, давления, ускорений и т. д.).

Общими недостатками емкостных датчиков являются практическая невозможность работать на промышленной частоте 50 Гц и, следовательно, необходимость в специальном источнике питания высокой частоты; большое влияние паразитных емкостей и многих других факторов.

Электрические характеристики.

Номинальное напряжение (U_e) – напряжение питания, являющееся базовым для отсчета отклонений напряжения и при проведении испытаний.

Диапазон рабочих напряжений (U_b) – диапазон номинальных напряжений питания с учетом допускаемых изготовителем верхних и нижних пределов номинальных напряжений.

Падение напряжения (U_d) – напряжение, измеренное на активном выходе ВБ при протекании номинального тока.

Номинальный ток (I_e) – максимально допустимое значение тока нагрузки, коммутируемое бесконтактным выключателем.

Остаточный ток (I_r) – ток, протекающий в цепи нагрузки при выключенном состоянии коммутационного элемента ВБ.

Минимальный рабочий ток (I_m) – ток, необходимый для сохранения включенного состояния коммутационного элемента ВБ.

Собственный ток потребления (I_o) – ток, потребляемый от источника питания бесконтактным выключателем при отключенной нагрузке.

3.2. Функциональная схема ВБЕ

Емкостные бесконтактные выключатели (ВБЕ) имеют чувствительный элемент в виде вынесенных к активной поверхности пластин конденсатора.

Упрощенная функциональная схема ВБЕ изображена на рисунке 3.2.

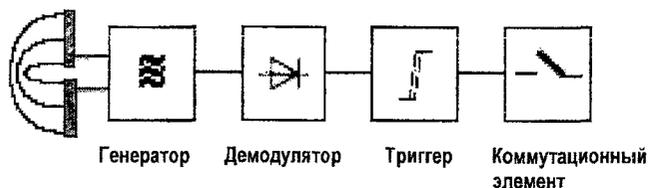


Рисунок 3.2

Приближение объекта из любого материала к активной поверхности ведет к изменению емкости конденсатора, параметров генератора и в конечном итоге к переключению коммутационного элемента.

3.3. Применение

Наиболее широкое применение ВБЕ нашли в качестве надежных и дешевых датчиков контроля максимального или минимального уровня жидких или сыпучих материалов, как показано на рисунке 3.3. При этом возможен монтаж и обслуживание ВБЕ вне резервуаров или бункеров.

ВБЕ срабатывает и от материала, находящегося за каким-либо диэлектриком, например, он будет чувствовать муку через пластину из стеклотекстолита.

ВБЕ применяется также для счета или позиционирования различных объектов из неметаллических материалов.

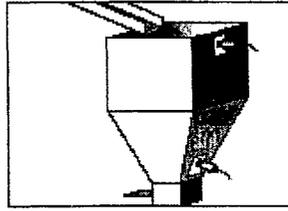
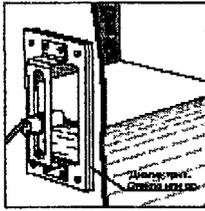


Рисунок 3.3

3.4. Схемы подключения и функции коммутационного элемента

Бесконтактные выключатели выпускаются:

- для цепей постоянного тока с диапазоном рабочих напряжений 10-30 В;
- для цепей переменного тока с диапазоном рабочих напряжений 60-250 В (емкостные ВВ переменного тока – с диапазоном рабочих напряжений 20-250 В).

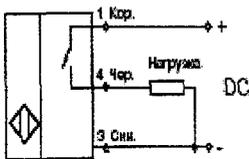
На рисунках 3.4 и 3.5 приводятся возможные схемы подключения бесконтактных выключателей с различными коммутационными функциями. Под каждой схемой приведен фрагмент обозначения изделия, относящийся к подключению и коммутационной функции.

Функции коммутационного элемента

Функция включения (НО) обеспечивает протекание тока нагрузки при обнаружении объекта воздействия и прерывание протекания тока при отсутствии объекта воздействия.

Функция отключения (НЗ) обеспечивает прерывание протекания тока нагрузки при обнаружении объекта воздействия и протекание тока при отсутствии объекта воздействия.

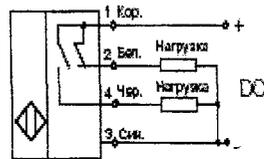
Функция включения-отключения или переключения («ИПИ») является комбинированной функцией, включающей в себя как функцию включения, так и функцию отключения.



-X111-



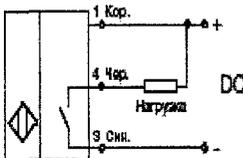
-X112-



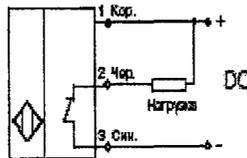
-X113-

Схемы с тремя или четырьмя выводами

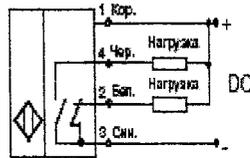
Подключение нагрузки между выходом и минусом питания (PNP-выход)



-X121-



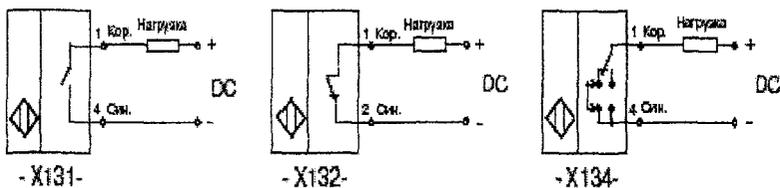
-X122-



-X123-

Схемы с тремя или четырьмя выводами

Подключение нагрузки между выходом и плюсом питания (NPN-выход)



Схемы подключения с двумя выводами

Рисунок 3.4 – Схемы подключаются к источникам питания постоянного тока DC

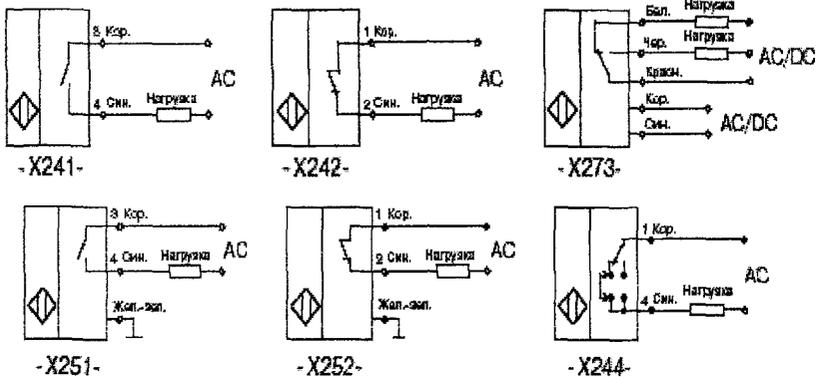
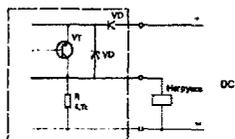


Рисунок 3.5 – Схемы подключаются к источникам питания переменного тока AC

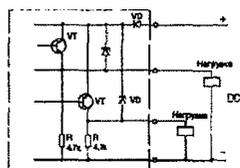
Программируемая функция – один выход ВБ может программироваться пользователем как функция НО или как функция НЗ.

Схемы выходного каскада ВБ приведены на рисунке 3.6.

Постоянный ток, PNP, НО или НЗ



Постоянный ток, PNP, «ИЛИ»



Переменный ток

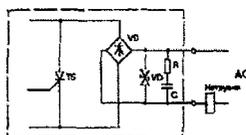


Рисунок 3.6

3.5. Порядок выполнения работы:

1. Изучить схему лабораторной установки.
2. Определить величину напряжения питания U_{\min} и U_{\max} , при которых нарушается устойчивая работа бесконтактного емкостного выключателя.
3. Определить предельную частоту срабатывания бесконтактного емкостного выключателя, увеличивая скорость перемещения движущейся детали в зоне чувствительного элемента датчика.
4. Составить схему подключения частотомера (осциллографа) для контроля импульсов, создаваемых ВБЕ.

3.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Упрощенная схема лабораторной установки.
3. Технические характеристики ВБЕ.
4. Схема подключения частотомера (осциллографа) для контроля импульсов, создаваемых ВБЕ.
5. Примеры применения ВБЕ при автоматизации технологических процессов. Пояснить схемой подключения ВБЕ к управляющим цепям исполнительных устройств (см. п. 3.3). Вариант исполнения уточняется преподавателем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

Исследование оптических бесконтактных выключателей

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия оптических бесконтактных выключателей (ВБО).
2. Изучить особенности эксплуатации оптических бесконтактных выключателей.

4.1. Общие сведения и параметры бесконтактных выключателей

Бесконтактным выключателем (ВБ) называется выключатель, приводимый в действие внешним объектом без механического контакта выключателя и объекта. Коммутация нагрузки производится полупроводниковыми элементами. Все это обеспечивает высокую надёжность работы бесконтактных выключателей.

В системах управления они, как правило, выполняют функцию датчиков обратной связи, сигнализируя о завершении выполнения конкретным элементом оборудования команды на перемещение. Но этим их применение не ограничивается.

Упрощенная функциональная схема бесконтактного выключателя приведена на рисунке 4.1 и состоит из трех блоков:

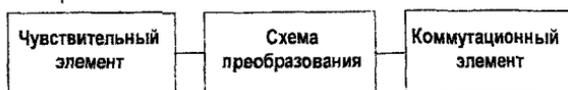


Рисунок 4.1

Входя в зону чувствительности бесконтактного выключателя, движущийся объект вызывает его срабатывание, при этом коммутационный элемент ВБ включает или отключает ток нагрузки (до 400 мА DC или до 500 мА AC).

В качестве нагрузки может быть использован вход контроллера, электронной схемы или непосредственно обмотка реле, контактора. Электрическая часть ВБ помещена в корпус из пластмассы или никелированной латуни. Для обеспечения работоспособности в экстремальных условиях эксплуатации электрическая часть герметизируется.

Бесконтактные выключатели классифицируются:

1) **по принципу действия** чувствительного элемента: емкостные, индуктивные, оптические, ультразвуковые, магнитные немеханические;

2) **по условиям установки** в конструкцию. Индуктивные ВБ выпускаются утапливаемого или неутапливаемого исполнения. Последним необходимо наличие вокруг чувствительного элемента зоны, свободной от демпфирующего материала;

3) **по возможностям коммутационного элемента**. ВБ различаются по коммутационной функции и по типу выхода (схемам подключения);

4) **по особенностям конструктивного исполнения**. ВБ различаются по форме корпуса и по способу подключения.

Основные определения.

Бесконтактный выключатель – позиционный выключатель, приводимый в действие внешним объектом воздействия без механического контакта выключателя с движущимся объектом.

Бесконтактный индуктивный выключатель – бесконтактный выключатель, создающий электромагнитное поле в зоне чувствительности и имеющий полупроводниковый коммутационный элемент.

Полупроводниковый коммутационный элемент – элемент, выполняющий коммутацию тока в электрической цепи нагрузки посредством воздействия на проводимость полупроводника.

Расстояние срабатывания (S) – расстояние, при котором объект воздействия, приближаясь к активной поверхности ВБ по относительной оси, изменяет выходной сигнал выключателя.

Номинальное расстояние срабатывания (Sn) – условное значение расстояния срабатывания. Оно не учитывает допуски при изготовлении или отклонения, обусловленные внешними факторами, такими, как напряжение питания и температура.

Реальное расстояние срабатывания (Sr) – расстояние срабатывания конкретного бесконтактного выключателя, измеренное при номинальном напряжении питания, определенных температуре и условиях монтажа.

Гарантированный интервал срабатывания (Sa) – интервал, начинающийся от активной поверхности, внутри которого гарантируется нормальная работа бесконтактного выключателя в нормированных условиях эксплуатации.

Дифференциальный ход (H) – расстояние между точкой срабатывания ВБ при приближении объекта воздействия вдоль относительной оси и точкой возврата в исходное состояние при удалении объекта.

Характеристики коммутационного элемента.

Независимое (мгновенное) срабатывание – однократное срабатывание коммутационного элемента, не зависящее от скорости движения объекта воздействия.

Частота циклов срабатывания (f) – число циклов срабатывания, произведенное бесконтактным выключателем за единицу времени.

Задержка готовности (t_v) – промежуток времени между включением питания и моментом готовности выключателя к нормальному функционированию.

Электрические характеристики.

Номинальное напряжение (U_e) – напряжение питания, являющееся базовым для отсчета отклонений напряжения и при проведении испытаний.

Диапазон рабочих напряжений (U_b) – диапазон номинальных напряжений питания с учетом допускаемых изготовителем верхних и нижних пределов номинальных напряжений.

Падение напряжения (U_d) – напряжение, измеренное на активном выходе ВБ при протекании номинального тока.

Номинальный ток (I_e) – максимально допустимое значение тока нагрузки, коммутируемое бесконтактным выключателем.

Остаточный ток (I_r) – ток, протекающий в цепи нагрузки при выключенном состоянии коммутационного элемента ВБ.

Минимальный рабочий ток (I_m) – ток, необходимый для сохранения включенного состояния коммутационного элемента ВБ.

Собственный ток потребления (I_o) – ток, потребляемый от источника питания бесконтактным выключателем при отключенной нагрузке.

Условия эксплуатации.

Свободная зона – пространство вокруг бесконтактного выключателя, свободное от присутствия материалов, способных влиять на характеристики ВБ.

Демпфирующий материал – материал, который оказывает влияние на характеристики бесконтактного выключателя.

Бесконтактный выключатель утапливаемого исполнения. Бесконтактный выключатель имеет утапливаемое исполнение, если демпфирующий материал может окружать ВБ до плоскости активной поверхности без влияния на характеристики ВБ.

Бесконтактный выключатель неутапливаемого исполнения. Бесконтактный выключатель имеет неутапливаемое исполнение, если вокруг его активной поверхности необходима свободная от демпфирующего материала зона для сохранения характеристик ВБ.

4.2. Функциональная схема ВБО

Оптический бесконтактный выключатель (ВБО) имеет собственный излучатель и приемник оптического излучения. В изделиях ВБО используют кодированное излучение инфракрасного диапазона.

Функциональная схема ВБО приведена на рисунке 4.2.

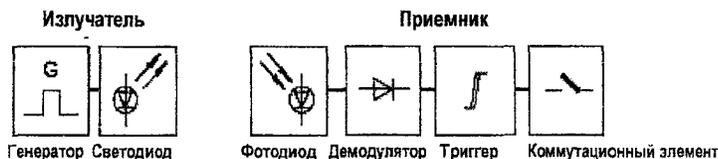


Рисунок 4.2 – Функциональная схема ВБО

Излучатель – устройство, состоящее из источника оптического излучения, линз и необходимой электрической схемы, создающее оптический луч.

Приемник – устройство, состоящее из чувствительного элемента, линз и необходимой электрической схемы, воспринимающее оптический луч от излучающего устройства.

Отражатель – специальное устройство, применяемое для отражения оптического луча к приемному устройству в оптических выключателях типа R.

Зона чувствительности (S_d) – зона, в пределах которой может быть установлено расстояние срабатывания.

Минимальное расстояние срабатывания – нижний предел зоны чувствительности бесконтактного оптического выключателя.

Максимальное расстояние срабатывания – верхний предел зоны чувствительности бесконтактного оптического выключателя.

Слепая зона – зона от активной поверхности выключателя до минимального расстояния срабатывания. В слепой зоне объект воздействия не обнаруживается.

Посторонняя подсветка для оптического выключателя – свет, поступающий в приёмник оптического выключателя не от собственного излучателя.

Определение зоны чувствительности ВБО производится при перемещении стандартного объекта воздействия вдоль относительной оси.

Замеры производятся при нормированной посторонней подсветке и без нее.

4.3. Применение

К оптическим бесконтактным выключателям типа T относится серия многолучевых оптических защитных барьеров ВБО-Э20... как показано на рисунке 4.3.

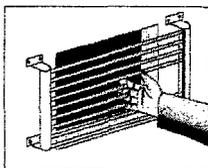


Рисунок 4.3

Расположенные в ряд с шагом 20 мм светодиоды излучателя барьера и соответствующие фотодиоды приемника формируют параллельные лучи, расположенные в одной плоскости. Высота контролируемой плоскости определяется типоразмером защитного барьера (до 1 м), а ширина – разнесением излучателя и приемника (до 16 м).

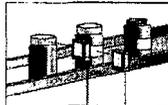
Контроль провисания бумаги



Контроль обрыва клинового ремня



Контроль наличия этикеток и крышек



Контроль проезда

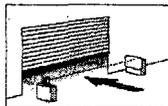


Рисунок 4.4

При проникновении через контролируемую плоскость объекта (например, руки человека) происходит срабатывание коммутационного элемента защитного барьера.

Устройство управления барьером исключает срабатывание выходного коммутационного элемента при случайном кратковременном пересечении лучей.

Примеры применения ВБО различных типов показаны на рисунке 4.4.

Барьеры оптические защитные типа ВБО-Э20-... могут быть применены в системах, запрещающих или ограничивающих доступ в опасные или контролируемые зоны посторонних непрозрачных предметов, в том числе и рук человека.

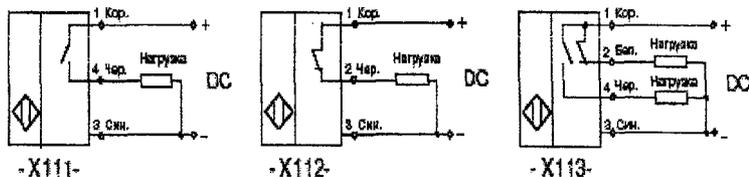
Применение световодных насадок типа ПВ-СД-... расширяет возможности применения изделия ВБО-М18-76... -5... типа D. Световодные насадки обеспечивают доступ луча в труднодоступные зоны оборудования и решают проблему контроля или обнаружения малых объектов.

4.4. Схемы подключения и функции коммутационного элемента

Бесконтактные выключатели выпускаются:

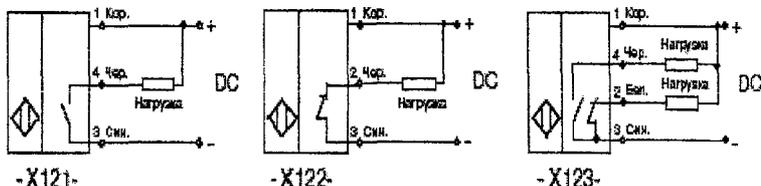
- для цепей постоянного тока с диапазоном рабочих напряжений 10-30 В;
- для цепей переменного тока с диапазоном рабочих напряжений 60-250 В (емкостные ВБ переменного тока – с диапазоном рабочих напряжений 20-250 В).

На рисунке 4.6 приводятся возможные схемы подключения бесконтактных выключателей с различными коммутационными функциями. Под каждой схемой приведен фрагмент обозначения изделия, относящийся к подключению и коммутационной функции.



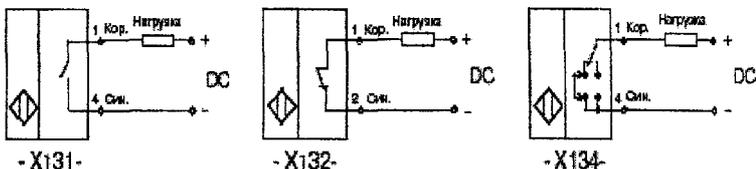
Схемы с тремя или четырьмя выводами

Подключение нагрузки между выходом и минусом питания (PNP-выход)

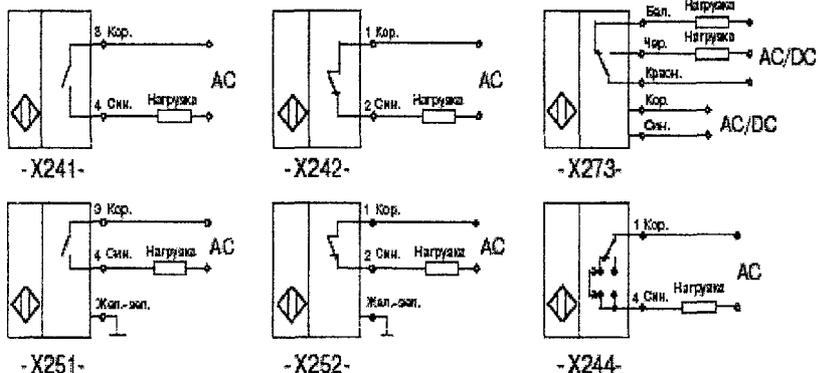


Схемы с тремя или четырьмя выводами

Подключение нагрузки между выходом и плюсом питания (NPN-выход)



Схемы подключения с двумя выводами



Схемы подключения к источникам питания переменного тока AC

Рисунок 4.5 – Схемы подключения бесконтактных выключателей

Функции коммутационного элемента

Функция включения (НО) обеспечивает протекание тока нагрузки при обнаружении объекта воздействия и прерывание протекания тока при отсутствии объекта воздействия.

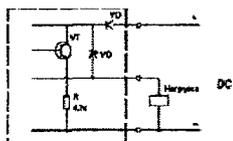
Функция отключения (НЗ) обеспечивает прерывание протекания тока нагрузки при обнаружении объекта воздействия и протекание тока при отсутствии объекта воздействия.

Функция включения-отключения или переключения («ИЛИ») является комбинированной функцией, включающей в себя как функцию включения, так и функцию отключения.

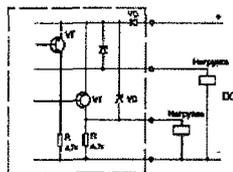
Программируемая функция – один выход ВБ может программироваться пользователем как функция НО или как функция НЗ.

Схемы выходного каскада ВБ приведены на рисунке 4.6.

Постоянный ток, PNP, НО или НЗ



Постоянный ток, PNP, «ИЛИ»



Переменный ток

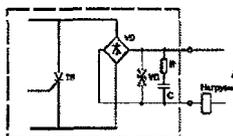


Рисунок 4.6

4.5. Порядок выполнения работы

1. Изучить схему лабораторной установки.
2. Определить величину напряжения питания U_{min} и U_{max} , при которых нарушается устойчивая работа бесконтактного оптического выключателя.
3. Определить предельную частоту срабатывания бесконтактного оптического выключателя, увеличивая скорость перемещения движущейся детали в зоне чувствительного элемента датчика.
4. Составить схему подключения частотомера (осциллографа) для контроля импульсов, создаваемых ВБО.

4.6. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Упрощенная схема лабораторной установки.
3. Технические характеристики ВБО.
4. Схема подключения частотомера (осциллографа) для контроля импульсов, создаваемых ВБО.
5. Примеры применения ВБО при автоматизации технологических процессов. Пояснить схемой подключения ВБО к управляющим цепям исполнительных устройств (см. п.4.4). Вариант исполнения уточняется преподавателем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

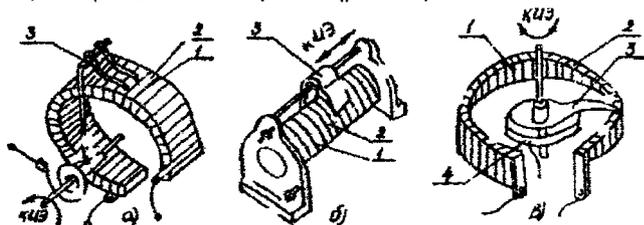
Исследование потенциометрического измерительного преобразователя

Цель работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия потенциометрических измерительных преобразователей.
2. Снять семейство статических характеристик потенциометрического измерительного преобразователя угловых перемещений при различных сопротивлениях нагрузки.

5.1. Общие сведения

Потенциометрический измерительный преобразователь (реостатный датчик) представляет собой реостат, в котором перемещение подвижного контакта изменяет введенное в цепь сопротивление. Реостат выполнен в виде каркаса определенной формы, на котором намотана и укреплена обмотка из провода. В качестве материала используют нихром, константан, манганин, платину или сплав серебра с палладием и платины с иридием. В зависимости от конфигурации каркаса реостаты разделяются на линейные, стержневые, кольцевые и многооборотные (рис. 5.1.).



1 – намотка; 2 – каркас; 3 – движок; 4 – токосъемное кольцо; ИЭ – исполнительный элемент
Рисунок 5.1 – Варианты конструктивного выполнения реостатных потенциометрических и измерительных преобразователей: а, в – угловое перемещение; б – линейное перемещение

Конструктивно потенциометрические измерительные преобразователи выполняют как измерительные преобразователи линейных, так и измерительные преобразователи угловых перемещений. Они работают на постоянном и переменном токе.

Схема включения потенциометрического измерительного преобразователя приведена на рисунке 5.2. Зависимость выходного напряжения U_x от положения движка (x – при линейном перемещении или α_x – при угловом перемещении) называют статической характеристикой, что можно выразить как $U_x = f(x)$ или $U_x = f(\alpha_x)$.

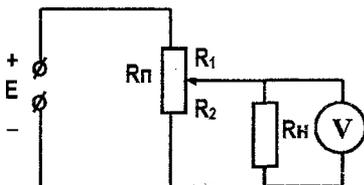


Рисунок 5.2 – Электрическая схема включения потенциометра с нагрузочным сопротивлением R_n

Потенциометрические измерительные преобразователи характеризуются чувствительностью S .

Под чувствительностью понимают отношение приращений выходной величины к соответствующему приращению входной величины.

$$S = \frac{\Delta U_x}{\Delta x} \left[\frac{B}{град} \right] \quad \text{при угловом перемещении} \quad (5.1)$$

$$S = \frac{\Delta U_x}{\Delta x} \left[\frac{B}{мм} \right] \quad \text{при линейном перемещении} \quad (5.2)$$

Положение движка потенциометрических измерительных преобразователей с равномерной намоткой определяется коэффициентом деления ϵ . Величина коэффициента деления находится из соотношения:

а) при линейном перемещении движка

$$\epsilon = \frac{x}{l}, \quad (5.3)$$

где x – перемещение движка; l – полная длина намотки реостата;

б) при угловом перемещении движка

$$\epsilon = \frac{\alpha_x}{\alpha_0}, \quad (5.4)$$

где α_x – угловое перемещение движка; α_0 – максимально возможное угловое перемещение движка;

в) при заданных величинах сопротивлений потенциометра (рис. 5.2)

$$\epsilon = \frac{R_2}{R_n}, \quad (5.5)$$

где R_n – полное сопротивление потенциометра.

Зависимость выходного напряжения U_x от коэффициента деления потенциометра ϵ т.е. $U_x = f(\epsilon)$ может быть определена экспериментально или расчетным путем.

Ток в цепи потенциометра (рис. 5.2) равен

$$I = \frac{E}{(R_n - R_2) + \frac{R_2 R_H}{R_2 + R_H}}, \quad (5.6)$$

а выходное напряжение

$$U_v = E - I(R_n - R_2) = \frac{ER_2 R_H}{(R_n - R_2)(R_H + R_2) + R_H R_2} \quad (5.7)$$

Если обозначить $K = \frac{R_H}{R_n}$ коэффициент нагрузки, то

$$U_x = \frac{EK\varepsilon}{K + \varepsilon - \varepsilon^2} = \frac{E\varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon(1-\varepsilon)}{K}} \quad (5.8)$$

По выражению 5.8 может быть построена расчетная статическая характеристика потенциометрического измерительного преобразователя $U_x = f(\varepsilon)$, при этом величинами E и K обычно задаются или они могут быть известны по данным лабораторной установки.

На линейность статической характеристики существенное влияние оказывает величина сопротивления нагрузки. Зависимость $U_x = f(\varepsilon)$ можно считать линейной при условии $R_n > R_H$.

Погрешность δ_n , обусловленная влиянием сопротивления нагрузки, равна разности действительного передаточного коэффициента потенциометра и коэффициента деления, выраженного положением движка, т.е.

$$\delta_n = \frac{U_x}{U_n} - \varepsilon \quad (5.9)$$

Используя уравнения (5.3) и (5.4), после преобразования получим

$$\delta_n = \frac{\varepsilon^2(1-\varepsilon)}{K + \varepsilon(1-\varepsilon)} 100\% \quad (5.10)$$

При автоматизации различных технологических процессов потенциометрический измерительный преобразователь выполняет функции преобразования механического перемещения в пропорциональный электрический сигнал. Простота преобразования различных физических величин в перемещение позволяет использовать потенциометрические и мерительные преобразователи в приборах для измерения уровня расхода давления силы веса и т.п., а также в системах для непосредственной передачи угла поворота в следящих системах регуляторах устройствах обработки данных, цифровых индикаторах.

Достоинствами потенциометрического измерительного преобразователя являются: простота возможности получения заданного закона изменения выходной величины за счет профилирования каркаса, а также то, что они дают на выходе электрический сигнал, пропорциональный измеряемой величине, который легко преобразуется и передается на удаленные индикаторные приборы (дистанционное измерение физических величин).

К недостаткам можно отнести наличие скользящего контакта, необходимость относительно больших перемещений движка и значительных усилий для его перемещения.

5.2. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы потенциметрического измерительного преобразователя угловых перемещений.

2. Собрать схему лабораторной установки согласно рисунку 5.3.

3. Снять зависимость $U_x = f(\epsilon)$ при сопротивлениях нагрузки $R_n = \infty$; $R_n = 10R_n$; $R_n = 2R_n$; $R_n = R_n$; где $R_n = 3000$ Ом.

Вычислить расчетные значения чувствительности S , погрешность нелинейности δ_n , а также величины выходного напряжения U_x при угловом перемещении движка потенциметрического измерительного преобразователя для значений сопротивления нагрузки R_n заданных преподавателем.

Результаты измерений и вычислений свести в таблицу 5.1.

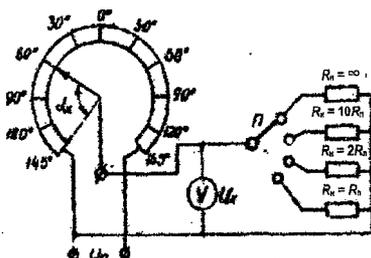


Рисунок 5.3

Таблица 5.1

Сопротивление нагрузки R_n	Выходное напряжение U_x при угловом перемещении движка α_x											Примечание	
	-145°	-120°	-90°	-60°	-30°	0	30°	60°	90°	120°	145°	Измерено	Вычислено
$R_n = \infty$													
$R_n = 10R_n$													
$R_n = 2R_n$													
$R_n = R_n$													
Величина заданного сопротивления нагрузки $R_n =$												ϵ	Вычислено
												δ_n	
												U_x	

5.3. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание принципа работы исследуемого потенциметрического измерительного преобразователя.
3. Схема лабораторной установки.
4. Применяемые измерительные приборы (тип, паспортные данные).
5. Таблица измеренных и вычислительных величин.
6. Графики экспериментально полученных и расчетных характеристик
 $\delta_n = f(\epsilon)$, $U_x = f(\epsilon)$, $U'_x = f(\epsilon)$,
7. Примеры использования потенциметрических измерительных преобразователей при автоматизации технологических процессов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6

Изучение принципа работы сигнализатора давления

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия электроконтактного сигнализатора давления.
2. Получить навыки настройки сигнализатора на заданную величину давления воздуха в ресивере.
3. Составить принципиальную электрическую схему управления электроприводом компрессора, который поддерживает величину заданного давления в ресивере.

6.1. Устройство и принцип действия электроконтактного сигнализатора давления

На рисунке 6.1 показано устройство электроконтактного сигнализатора давления. Когда давление в пневмо- или гидросистеме, в которой подключен датчик, достигнет заданной величины, воздух или рабочая жидкость, пройдя через отверстие 5, создаст в полости 4 давление под мембраной 3, достаточное, чтобы толкатель 2, преодолев усилие, создаваемое пружиной 6, надавил на шток микропереключателя 1, контакты последнего замкнутся и в цепь управления поступит ток.

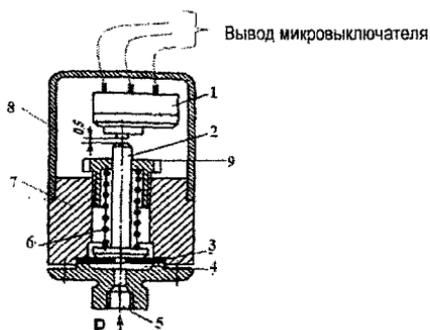


Рисунок 6.1 – Сигнализатор давления электроконтактный

Сигнализатор давления, показанный на рисунке 6.1, состоит из двух отдельных металлических корпусов: корпуса первичного измерительного преобразователя 7 и корпуса микропереключателя 8, которые соединяются между собой резьбовым соединением.

В корпусе 7 первичного измерительного преобразователя закреплена эластичная мембрана 3, воспринимающая давление воздуха или жидкости, и пружинный задатчик, который с помощью регулировочной гайки 9 преобразует усилие, воспринимаемое мембраной в перемещение толкателя 2.

В корпусе 8 закреплен микропереключатель 1, к которому припаяны три провода к общему, нормально разомкнутому и нормально замкнутому контактам микропереключателя. Провода помещены в кембрик и закреплены внутри корпуса сигнализатора от механического выдергивания.

При повышении давления воздуха или жидкости в полости 4 мембрана 3 прогибается, сжимая пружину 6, и через толкатель 2 передает усилие на микропереключатель 1. Происходит замыкание (размыкание) контактной группы микропереключателя, которая, в свою очередь, управляет электрическими цепями системы защиты или отключения электродвигателя насоса (компрессора).

При уменьшении давления воздуха или жидкости противодействующее усилие от мембраны 3 на пружину 6 ослабевает, и микропереключатель 1 возвращается в исходное состояние.

Таким образом, с помощью регулировочной гайки 9 можно настраивать сигнализатор на предельную величину давления воздуха или жидкости в пневмо- или гидросистеме.

6.2. Функциональная схема сигнализатора давления

Упрощенная функциональная схема приведена на рисунке 6.2. Схема состоит из воспринимающего элемента, преобразующего элемента и исполнительного элемента.



Рисунок 6.2 – Функциональная схема сигнализатора давления

Входная величина давления P в пневмо- или гидросистеме воспринимается мембраной, что вызывает ее перемещение – ℓ . В свою очередь величина перемещения ℓ преобразуется в механическую усилие, которое определяется параметром $P_{зад.}$, создавая тем самым механическую силу F , необходимую для управления контактами исполнительного элемента (микрореле). Преобразующий элемент представляет собой совокупность толкателя, пружины и регулировочной гайки, благодаря которому осуществляется кинематическая связь между мембраной и контактами микрореле. Контактная группа микрореле в целом представляет собой исполнительный элемент, который на принципиальных электрических схемах изображается, как показано на рисунке 6.3.

На рисунке 6.4 показана статическая характеристика контактов микрореле по цепи 1-3 (см. рис. 6.3). При достижении давления $P \geq P_{зад}$ контактная группа 1-3 переходит из разомкнутого состояния, при котором величина электрического сопротивления в цепи 1-3 велика, т.е. $R \approx \infty$ (контакт разомкнут), в состояние, при котором контакт 1-3 будет замкнут, следовательно величина электрического сопротивления будет близка к 0, т.е. $R \approx 0$. При уменьшении давления, т.е. $P \approx P_{мин}$, контактная группа микрореле возвращается в исходное состояние.



Рисунок 6.3 – Условное изображение контактов микрореле

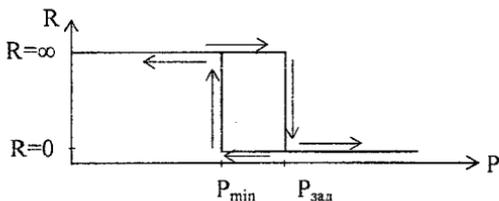


Рисунок 6.4 – Статическая характеристика контактов микрореле

6.3. Практическое применение микровыключателей

Микровыключатели широко используются при автоматизации различных технологических процессов, связанных с контролем различных физических величин (уровень, давление, температура и др.), а также величин, связанных с перемещением механизмов или обрабатываемых материалов. Эти устройства работают по принципу «включено-отключено». Характерной особенностью их является то, что перемещение механизма или изменение различных технологических параметров физических величин вызывает управление электрической цепью исполнительного элемента путем ее замыкания или размыкания.

6.4. Порядок выполнения работы

1. Изучить устройство и принцип действия электроконтактного сигнализатора давления, смонтированного на лабораторной установке.

2. Пользуясь прибором «Измеритель сопротивления», определить выводы контактов микропереключателя: общий, замыкающий, размыкающий (см. рис. 6.3).

3. Составить принципиальную электрическую схему управления электроприводом компрессора. Схема должна удовлетворять следующим технологическим требованиям:

- предусмотреть «наладочный» (толчковый) и «автоматический» режимы работы;
 - при автоматическом режиме обеспечивается поддержание заданного давления воздуха в ресивере – $P_{зад}$;
 - напряжение питания электропривода компрессора – 12 В;
 - мощность, потребляемая электродвигателем – 60 Вт;
 - контакты микропереключателя (используемого в лабораторной установке) рассчитаны на управление электрическими цепями в сети постоянного напряжения при токе, не превышающем – 2 А;
 - предусмотреть сигнализацию:
 - «Сеть»;
 - «Компрессор отключен».
4. Собрать электрическую схему и проверить работу лабораторной установки.

6.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Устройство и принцип действия электроконтактного сигнализатора давления.
3. Технологические требования, предъявляемые к лабораторной установке.
4. Принципиальная электрическая схема источника питания лабораторной установки.
5. Принципиальная электрическая схема управления работой электропривода компрессора.
6. Описание работы схемы управления электроприводом компрессора.
7. Выводы по работе.
8. Примеры возможного применения микровыключателей при автоматизации производственных процессов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7

Исследование проволочного тензометрического датчика

Цель работы

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия тензодатчиков.
2. Определить экспериментально зависимость напряжения нагрузки от сопротивления датчика.

7.1. Краткие теоретические сведения

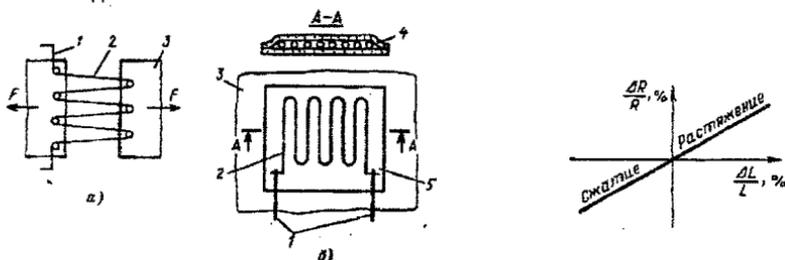
Тензорезисторы (тензометрические датчики) служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

Проводниковые тензодатчики изготавливают из металлической проволоки или фольги.

По конструктивному выполнению тензорезисторы делят на две группы, наклеиваемые и ненаклеиваемые. Конструкция ненаклеиваемых датчиков показана на рис. 7.1, а. Для их изготовления применяют проволоку из материала с большим удельным и низким температурным коэффициентами электрического сопротивления (константан, нихром и др.).

Наклеиваемые проволочные тензорезисторы, показанные на рисунке 7.1, б, представляют собой ряд петель (от 2 до 40) из проволоки 2 диаметром от 0,02 до 0,05 мм, которые наклеиваются на полоску тонкой бумаги 5 и сверху заклеиваются защитной бумажной полоской 4. К концам проволоки прикреплены выводы 1, изготовленные обычно из медной фольги, при помощи которых тензодатчик подключается к измерительной схеме (мостовой или дифференциальной).

Для измерения деформации тензодатчик наклеивают на исследуемую деталь 3 так, чтобы направление ожидаемой деформации совпадало с длинной стороной петель проволоки. Деформация объекта вызывает деформацию проволоки, в результате чего изменяются ее геометрические размеры – длина и диаметр. Кроме того, изменяется также ее удельное сопротивление, главным образом в результате структурных изменений металла при механических напряжениях. Все это приводит к изменению активного сопротивления тензодатчика.



а - неклеиваемые, б - наклеиваемые; 1 - выводы, 2 - проволока, 3 - деталь
Рисунок 7.1 -- Проволочниковые тензодатчики

Рисунок 7.2 – Характеристика проволочного тензодатчика

Зависимость активного сопротивления датчика от изменения его длины практически линейна, поэтому чувствительность тензодатчика является постоянной, как показано на рисунке 7.2.

Проволочные тензодатчики обладают рядом достоинств: их свойства очень стабильны; они безынерционны, что обеспечивает измерение быстропеременных деформаций; просты в применении, имеют незначительные массу и размеры и очень дешевы. Однако им присущи существенные недостатки:

1) относительно невысокая чувствительность, что вызывает необходимость применения сложных измерительных схем – мостовых или дифференциальных;

2) температурная погрешность, возникающая вследствие изменения удельного сопротивления тензодатчика. Для компенсации температурной погрешности применяют дифференциальную схему включения или в смежные плечи мостовой схемы включают два датчика – основной $R_{д1}$ и компенсирующий датчик $R_{д2}$ как показано на рисунке 7.3, наклеенный поперек действия измеряемого усилия F . При этом изменения сопротивления датчиков за счет колебаний температуры будут одинаковыми в обоих плечах моста и не окажут влияния на результаты измерения.

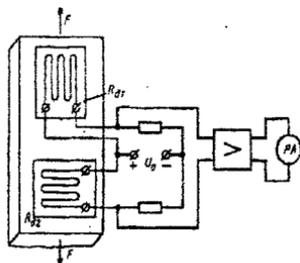


Рисунок 7.3 – Схема включения тензодатчика

Для того чтобы получить наибольшее изменение сопротивления датчика, его надо расположить в направлении действия деформирующего усилия (сжатия или растяжения), т. е. направление измерительной базы должно совпадать с осью, по которой направлено усилие. Если же направление базы и усилия взаимоперпендикулярны, то деформация и изменение сопротивления очень малы. Если расположить несколько датчиков под углом друг к другу, то можно определить не только величину деформации, но и направление приложенных к детали усилий.

Равноплечий мост обладает свойством температурной компенсации. В одно плечо моста включается рабочий датчик R_A , который наклеивается на испытываемый объект

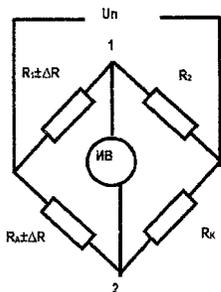


Рисунок 7.4 – Схема моста

как показано на рисунке 7.4. В прилежащее плечо моста включается компенсационный датчик R_k , который наклеивается на материал, аналогичный материалу испытываемого объекта.

Рабочий и компенсационный датчики должны находиться в одинаковых температурных условиях. Это обычно достигается расположением их в непосредственной близости.

На основании известных свойств равноплечего моста при выполнении равенства $R_1 R_k = R_3 R_2$ в точках 1 и 2 разность потенциалов будет равна нулю. Это состояние моста называется состоянием баланса. Ток индикатора

$J = 0$. Пусть это состояние достигнуто при $t_0 - 18^\circ$. Если изменится температура в зоне наклейки рабочего и компенсационного датчиков, то изменяется и сопротивление на равную величину ΔR_1 .

Состояние баланса моста при изменении температуры выражается формулой:

$$R_1(R_k + \Delta R_t) = (R_A + \Delta R_t)R_2. \quad (7.1)$$

Следовательно, при изменении температуры в зоне наклейки рабочего и компенсационного датчиков состояние баланса моста не нарушится.

Разбалансировка моста может произойти лишь только за счет изменения сопротивления рабочего датчика, если он воспримет деформацию волокон испытываемого объекта. Это состояние моста характеризуется неравенством:

$$R_1(R_k + \Delta R_t) \neq (R_A + \Delta R_t + \Delta R)R_2. \quad (7.2)$$

Следовательно, применяя равноплечий мост, можно достичь температурной компенсации. Но при этом в мерительной диагонали получается малая разность потенциалов. Обычно ее усиливают, используя усилитель низкой частоты. При этом мост питается от звукового генератора напряжением повышенной частоты. При испытании инженерных конструкций очень важно знать не только величину, но и знак деформации. Чтобы расшифровать знак исследуемой деформации, на выходе усилителя подключают фазочувствительный каскад, как показано на рисунке 7.5.

Усиленный и расшифрованный сигнал разбалансировки моста поступает на регистрацию индикатора выхода. В этом случае в качестве индикатора можно применять менее чувствительные приборы, которые способны работать в любых эксплуатационных условиях. Таким образом, стремясь получить температурную компенсацию и повысить чувствительность датчика, применяют тензометрические устройства, имеющие обычно блок-схему.

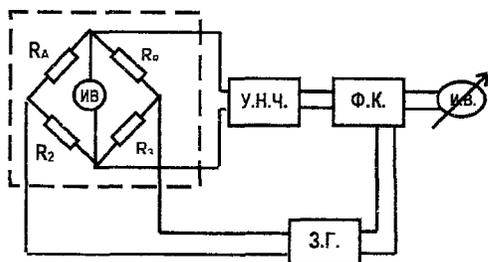


Рисунок 7.5 – Блок-схема

7.2. Исследование проволочного тензометрического датчика

Схема исследования тензометрического датчика приведена на рисунке 7.6. На металлическую пластину клеим БФ-2 наклеены два проволочных тензодатчика, изготовленные из константановой проволоки.

Технические характеристики тензодатчиков:

1. Материал проволоки – константан.
2. Сопротивление датчика 100+400 Ом.
3. База – 50 мм.
4. Относительная чувствительность 2,1.

Деформация детали вызывает деформацию проволоки датчика, вследствие чего меняется ее электрическое сопротивление.

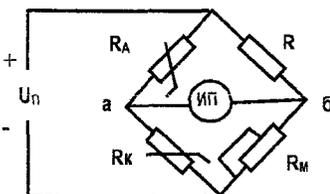


Рисунок 7.6 – Схема для исследования тензометрического датчика

Сопротивление не подверженной удлинению проволоки выражается общеизвестной формулой:

$$R = \frac{\rho \cdot \ell}{S}, \quad (7.3)$$

где ρ – удельное сопротивление материала, из которого изготовлен датчик;
 ℓ – длина проволоки, из которой изготовлен датчик; S – сечение проволоки.

Изменение длины проволоки $\Delta \ell$, вызванное усилием деформации F , можно определить, пользуясь выражением (7.4).

$$\frac{\Delta \ell}{\ell} = \frac{1}{E \cdot S} \cdot F, \quad (7.4)$$

где $\Delta \ell$ – изменение длины проволоки; E – модуль упругости, Н/м²; F – сила, Н.

Отношение $\Delta \ell / \ell$ – относительное удлинение проволоки, может быть выражено в процентах. Тогда относительное изменение сопротивления датчика можно рассчитать по формуле (7.5):

$$\frac{\Delta R}{R} = kF, \quad (7.5)$$

где k – коэффициент, выбираемый в зависимости от типа тензодатчика.

Относительная чувствительность датчика

$$\eta = \frac{\Delta R / R}{\Delta \ell / \ell}, \quad (7.6)$$

т. е. η – частное от деления относительного приращения сопротивления датчика на относительное приращение удлинения проволоки, из которой изготовлен датчик – $\Delta \ell$. Для проволочного датчика, выполненного из константановой проволоки, $\eta = 2,1$. Сопротивление датчика составляет 100 - 200 Ом, деформация – не более 1 %.

Примечание. При тензометрическом методе контроля деформаций железобетонных конструкций введено понятие о линейном факторе чувствительности датчика – Φ .

Последний есть отношение

$$\Phi = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R / R}{\Delta \ell / \ell} \quad (7.7)$$

Из сравнения выражений (7.6) и (7.7) очевидно, что относительная чувствительность датчика η соответствует фактору чувствительности Φ .

Проволочные константановые датчики весьма стабильны по своим свойствам, не обладают остаточной деформацией, имеют малую температурную зависимость и очень дешевы.

В данной лабораторной работе исследуется схема, представленная на рисунке 7.6, с питанием моста постоянным током и применением электронного вольтметра В2-37.

Напряжение в диагонали U_{ab} в зависимости от сопротивления моста определяется выражением

$$U_{ab} = -\frac{U_n R_k}{R_A + R_k} + \frac{U_n}{2} = -\frac{1}{2} U_n \frac{\Delta R}{R}, \quad (7.8)$$

где $R_A = R + \Delta R$; $R_k = R - \Delta R$; R – начальное сопротивление тензодатчика.

Зная в формуле (7.8) значения U_n и R и определив в результате эксперимента U_{ab} , можно легко найти значение ΔR и $\Delta \ell$ из формулы (7.6).

7.3. Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип действия проволочного тензометрического датчика.
2. Собрать схему лабораторной установки, показанной на рисунке 7.6.
3. Определить величину напряжения питания мостовой измерительной схемы U_n , при которой величина тока в цепи тензодатчика не должна превышать $I_d \leq 10$ мА.
4. Подать на установку напряжение питания, при необходимости, уравновесить измерительную схему и записать параметры уравновешенной схемы в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Параметры схемы

$U_n, В$	$R_a, Ом$	$R_k, Ом$	$R_m, Ом$	$R, Ом$

5. Увеличивая прогиб балки H , отсчитывать величину напряжения U_{ab} , снимаемого с измерительной диагонали мостовой измерительной схемы.

Результаты экспериментальных и расчетных данных свести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2 – Расчетные и экспериментальные данные

$l_{\text{пробл}}, \text{мм}$	$U_{\text{аб}}, \text{мВ}$	$\Delta R, \text{Ом}$	$\Delta l, \text{мм}$	$S_R = \frac{\Delta R}{R}$	$S_l = \frac{\Delta l}{l}$

7.4. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Технические характеристики измерительных приборов и тензодатчиков.
4. Расчет величины напряжения источника питания лабораторной установки.
5. Графики зависимостей:

$$U_H = U_{\text{аб}} = f(\Delta R/R); \quad U_H = f(\Delta l/l).$$

6. Примеры применения тензодатчиков пояснить рисунками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8

Исследование термоэлектрического преобразователя температуры (термопары)

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия термоэлектрического преобразователя температуры (термопары).
2. Определить экспериментально зависимость напряжения между свободными концами термопары от изменения температуры среды, в которой находится ее спай – $E_T = f(T)$.

8.1. Принцип действия термоэлектрических датчиков

Термоэлектрические датчики относятся к датчикам генераторного типа. Их работа основана на одном из термоэлектрических явлений – появлении *термоэлектродвижущей силы* (термо-ЭДС).

Сущность этого явления заключается в следующем. Если составить электрическую цепь из двух разнородных металлических проводников (или полупроводников), причем с одного конца проводники спаять, а место соединения (спай) нагреть, то в такой цепи возникает ЭДС. Эта ЭДС будет пропорциональна температуре места спая (точнее – разности температур места спая и свободных, неспаянных концов). Коэффициент пропорциональности зависит от материала проводников и в определенном интервале температуры остается постоянным. Цепь, составленная из двух разнородных материалов, называется термопарой; проводники, составляющие термопару, называются термоэлектродами; места соединения термоэлектродов – спаями. Спай, помещаемый в среду, температуру которой надо измерить, называется горячим или рабочим. Спай, относительно которого измеряется температура, называется холодным или свободным. Возникающая при различии температур горячего и холодного спаев ЭДС называется термо-ЭДС. По значению этой термоЭДС можно определить температуру.

Физическая сущность возникновения термоЭДС объясняется наличием свободных электронов в металлах. Эти свободные электроны хаотически движутся между положительными ионами, образующими остов кристаллической решетки.

В разных металлах свободные электроны обладают при одной и той же температуре разными скоростью и энергией. При соединении двух разнородных металлов (элект-

родов) свободные металлы из одного электрода проникают в другой. При этом металл с большей энергией и скоростью свободных электронов больше их теряет. Следовательно, он приобретает положительный потенциал. Металл с меньшей энергией свободных

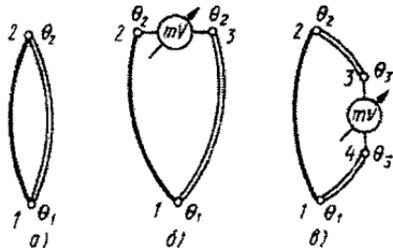


Рисунок 8.1 – Термопара и схемы ее включения

электронов приобретает отрицательный потенциал. Возникает контактная разность потенциалов. При одинаковой температуре спаев ($\theta_1 = \theta_2$) (см. рис. 8.1, а) контактная разность потенциалов не может создать тока в замкнутой цепи. Контактная разность в спае 1 направлена навстречу контактной разности в спае 2. Но если нагреть один из спаев (рабочий) до температуры $\theta_1 > \theta_2$, то контактная разность в спае 1 увеличится, а в спае 2 оста-

нется без изменения. В результате в контуре и возникает термоЭДС тем большая, чем больше разность температур спаев 1 и 2 ($\theta_1 - \theta_2$).

Для измерения термоЭДС, вырабатываемой термопарой, в цепь термопары включают измерительный прибор (например, милливольтметр). Милливольтметр включают, разомкнув свободный спай (рис. 8.1, б), либо в разрыв одного из термоэлектродов (рис. 8.1, в). Как видно из схем включения измерительного прибора, в случае разомкнутого свободного спаив (рис. 8.1, б) у термопары три спаив: один горячий (1) и два холодных (2 и 3), которые должны иметь постоянную температуру. При включении милливольтметра в разрыв одного из термоэлектродов (рис. 8.1, в) имеется четыре спаив: один горячий (1), один холодный (2) (он должен иметь постоянную температуру), два нейтральных (3 и 4) (они должны находиться при одинаковой, но не обязательно постоянной температуре). Для обеих схем термоЭДС и показания прибора будут одинаковыми, если соответственно одинаковыми будут температуры горячих и холодных спаев. В этом нетрудно убедиться, если составить уравнения по второму закону Кирхгофа для каждого из контуров.

Способ изготовления спаив (сваркой, спайкой и т. п.) на термоЭДС не влияет, если только размеры спаив таковы, что температура его во всех точках одинакова.

ТермоЭДС, вырабатываемая термопарой, составленной из электродов А и В, является разностью двух термоЭДС: $e_{AB}(\theta_1)$ – термоЭДС горячего спаив при температуре θ_1 ; $e_{AB}(\theta_2)$ – термоЭДС холодного спаив при температуре θ_2 , т. е.

$$E_{AB} = e_{AB}(\theta_1) - e_{AB}(\theta_2) \tag{8.1}$$

Значения термоЭДС и ее направление зависят от материалов электродов А и В.

В приложении 1 приведены термоЭДС для разных материалов в паре с платиной при температуре холодного спаив 0°C (273 К).

8.2. Материалы, применяемые для термопар

К материалам для термоэлектродов термопар кроме требования получения большого значения термоЭДС предъявляются и другие требования. Пожалуй, наиболее важным из них является обеспечение взаимозаменяемости. Это означает, что термопары одного и того же типа должны иметь при одинаковых температурах одну и ту же термоЭДС. В этом случае замена термопары не должна привести к перенастройке или переградировке измерительного прибора. Поскольку термопары часто используются в очень тяжелых условиях (высокие температуры, агрессивная среда и т. п.), порой их необходимо

менять уже через 1-2 тыс. ч. А измерительные приборы способны работать годами, их менять при замене термопары нецелесообразно. К тому же в промышленности получили большое распространение так называемые обегаящие системы автоматического контроля, когда на один и тот же измерительный прибор последовательно подаются сигналы от нескольких десятков термопар, контролирующих температуру в разных местах. Поэтому необходима стабильность и повторяемость свойств термопар.

В зависимости от материала электродов термопары, получившие практическое применение, разделяются на две основные группы: из благородных и неблагородных металлов.

Наибольшее распространение из первой группы получила термопара типа ТПП. Один электрод ее изготовлен из платинородия (90% платины и 10% родия), другой – из чистой платины. Эта термопара может использоваться как образцовая. Достоинствами ее являются химическая стойкость к окислительной среде, взаимозаменяемость термоэлектродов, повторяемость характеристик. Недостаток – малое значение термоЭДС. Термопара типа ТПП может длительно работать при температуре 1300°C, термоЭДС ее при этой температуре составляет 13,152 мВ.

Для более высоких температур (длительно – до 1600°C, кратковременно – до 1800°C) применяется термопара ТПР. Один электрод платинородий (70% платины и 30% родия), другой электрод также платинородий (94% платины и 6% родия). При температуре 1800°C, термоЭДС составляет 13,927 мВ. Существенно большие значения термоЭДС имеют термопары из неблагородных металлов, материалом для электродов которых служат специально разработанные сплавы: хромель (89% никеля, 9,8% хрома, 1% железа, 0,2% марганца), алюмель (94% никеля, 2,5% марганца, 2% алюминия, 1% кремния, 0,5% железа), копель (55% меди, 45% никеля).

Наибольшее распространение получили термопары типа ТХА (хромель-алюмель) и типа ТХК (хромель-копель). Зависимость термоЭДС этих термопар от температуры показана на рисунке 8.2. Хромель-алюмелевые термопары применяют для измерения температур в пределах от – 50 до 1000°C. Они способны работать в окислительной среде, поскольку образуемая при нагреве тонкая защитная пленка препятствует проникновению кислорода внутрь металла. Зависимость термоЭДС от температуры для термопар ТХА близка к линейной. Хромель-копелевые термопары имеют самую высокую чувствительность: 6,95 мВ на 100°C. Однако диапазон измеряемых температур (от – 50 до 600°C) несколько ниже, чем у термопар типа ТХА. Несколько хуже у термопар типа ТХК и линейность характеристики. Их достоинством является более высокая влагостойкость.

Термопара типа ТНС (электроды выполнены из сплавов НС-СА) применяется в диапазоне температур от 300 до 1000°C. ТермоЭДС ее невелика – всего 13,39 мВ при 1000°C. Но характерной особенностью этой термопары является то, что на точность ее работы почти не влияет температура холодного спая. Объясняется это тем, что термоЭДС термопары типа ТНС в диапазоне низких температур (до +200°C) практически близка к нулю. Следовательно, изменения температуры холодного спая, вызванные

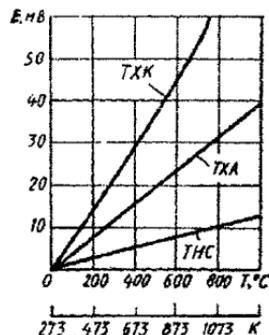


Рисунок 8.2 – Зависимости термоЭДС от температуры

обычными погодными колебаниями в помещении и даже на улице, почти не влияют на результаты измерения.

Так как термопары являются датчиками генераторного типа, то их в принципе можно использовать и для получения электроэнергии. Измерительные термопары для этой цели практически непригодны, поскольку их термоЭДС невелика. Но термопары с электродами из полупроводниковых материалов имеют термоЭДС, на порядок большую (до 65 мВ на 100°C). С помощью таких термопар может осуществляться, например, и преобразование солнечной энергии в электрическую. Нашли применение они в быту: термогенераторы используются для питания радиоприемников. КПД полупроводниковых термоэлементов достигает 10%. Для целей измерения полупроводниковые термопары пока не применяются из-за нелинейности характеристики, малой механической прочности и сравнительно малого (до 500°C) температурного диапазона.

8.3. Измерение температуры с помощью термопар

При автоматическом измерении температуры с помощью термопар используются два основных метода:

- непосредственное измерение термоЭДС с помощью милливольтметра;
- компенсационный метод.

Так как значение термоЭДС, развиваемой термопарой, невелико, для непосредственного измерения ее необходимы высокочувствительные милливольтметры магнитоэлектрического типа. Приборы этого типа работают на основе взаимодействия магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по подвижной рамке. Для создания достаточного вращающего момента при весьма небольшом токе рамка выполняется из большого числа витков тонкого медного провода. Противоводействующий момент создается спиральными пружинами, по которым и подводится ток в рамку. Шкала милливольтметра градуируется непосредственно в градусах и на ней указывается тип термопары, для которой предназначен данный милливольтметр.

Обозначим через R_B сопротивление милливольтметра, R_m – сопротивление термопары, R_n – сопротивление соединительных проводов. Ток, проходящий по рамке милливольтметра под действием термоЭДС E_{TP} ,

$$I_B = E_{TP} / (R_B + R_T + R_n). \quad (8.2)$$

Из этой формулы видно, что показания прибора зависят не только от термоЭДС E_{TP} , но и от сопротивлений R_B , R_T , R_n . Так как шкала прибора уже проградуирована для термопары определенного типа, то сопротивления R_T и R_B уже учтены при градуировке. А сопротивления внешней цепи также указываются на шкале (обычно 0,6; 5; 15 или 25 Ом).

Оценим показания прибора, шкала которого проградуирована в милливольттах. Напряжение на его зажимах $U_B = I_B R_B$.

С учетом (8.2)

$$U_B = E_{TP} R_B / (R_B + R_T + R_n). \quad (8.3)$$

Обозначим внешнее сопротивление цепи $R_{ВН} = R_T + R_n$ и выразим из (3) термоЭДС

$$E_{TP} = U_B (R_B + R_{ВН}) / R_B = U_B + U_B (R_{ВН} / R_B). \quad (8.4)$$

Из (8.4) видно, что измеряемое милливольтметром напряжение будет всегда меньше, чем ЭДС термопары, на $U_B (R_{ВН} / R_B)$. Эта величина будет тем меньше, чем больше сопротивление милливольтметра R_B по сравнению с внешним сопротивлением $R_{ВН}$. Обычно милливольтметры имеют кроме сопротивления рамки еще добавочное сопротивление из манганина, что в сумме дает не менее 100 Ом.

Рассмотрим принципиальную схему включения термопары и милливольтметра, представленную на рисунке 8.3. Измерительный прибор может находиться на довольно значительном удалении от термопары. Длина соединительных проводов может составлять несколько метров. В местах присоединения этих проводов также возникают термоЭДС.

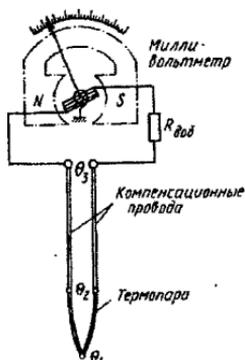


Рисунок 8.3 – Измерение термо-ЭДС милливольтметром

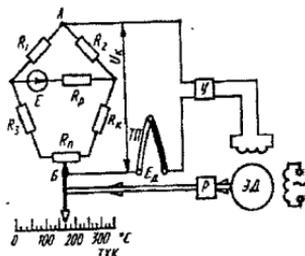


Рисунок 8.4 – Автоматический потенциометр для измерения температуры

Для точной компенсации этих термоЭДС необходим определенный подбор материалов проводов и термопар. Для присоединения термопар служат специальные так называемые *компенсационные провода*. Каждой паре материалов компенсационных проводов присваивают буквенное обозначение, а каждому материалу придают определенную расцветку, для чего используют оплетку из цветной пряжи или цветные опознавательные нити, проложенные в проводе.

Для термопар типа ТПП применяют компенсационные провода с обозначением П в красной и зеленой оплетке с зелено-белыми нитями внутри. Материал провода – медь в паре с медно-никелевым сплавом. Для термопар типа ТХА применяют провода с обозначением М в красной и коричневой оплетке с красно-белыми нитями из меди в паре с константаном. Для термопар ТХК применяют провода с обозначением ХК в фиолетово-желтой оплетке с нитями такого же цвета и материалом хромель-копель, т. е. компенсационными проводами могут быть и основные термоэлектроды.

Рассмотрим измерение температуры компенсационным методом с помощью термопары и автоматического потенциометра. На рис. 8.4 показаны термопара ТП, вырабатывающая термоЭДС E_d , и мостовая схема, вырабатывающая компенсирующее напряжение U_k , снимаемое между точками А и Б. Разность этих напряжений подается на вход усилителя (У), который питает управляющую обмотку исполнительного электродвигателя (ЭД). Обмотка возбуждения ЭД постоянно подключена к источнику переменного напряжения, а скорость вращения ЭД зависит (примерно пропорционально) от напряжения на его управляющей обмотке. Электродвигатель (ЭД) через редуктор (Р) перемещает движок калиброванного реохорда (потенциометрического датчика) $R_П$ до тех пор, пока напряжение U_k не сравняется с E_d . Одновременно перемещаются указатель на шкале прибора и перо самописца. При $U_k = E_d$ напряжение на входе усилителя равно нулю ($U_k - E_d = 0$) и электродвигатель (ЭД) остановится. Каждому значению выходного сигнала датчика $E_d = f(T^{\circ}\text{C})$ соответствует определенное положение указателя на шкале. Шкала проградуирована в $^{\circ}\text{C}$ и на ней указан тип термопары, для которой выполнена градуировка.

Мостовая схема в данном случае служит не для измерения, а для выработки компенсирующего напряжения U_k и автоматической коррекции из-за изменения температуры холодного спаев. Плечи моста состоят из проволочных резисторов $R_1 - R_3$, выполненных из материала с малым температурным коэффициентом сопротивления (например, из манганина), и терморезистора R_k , изготовленного из материала с большим температурным коэффициентом сопротивления (например, из меди или никеля). Резистор располагается вблизи холодных спаев термопары. Мост питается от источника постоянного тока E – обычно это батарейка (например, сухой элемент типа ЭСЛ-30). При всяком изменении температуры холодных спаев термопары изменяется E_d и одновременно меняется сопротивление R_k , что приводит к изменению компенсирующего напряжения U_k на ту же величину, на какую изменилось E_d . Следовательно, колебания окружающей температуры не изменяют показаний на шкале прибора. Регулировочное сопротивление R_p служит для установки тока питания моста при разряде батареи (уменьшении E).

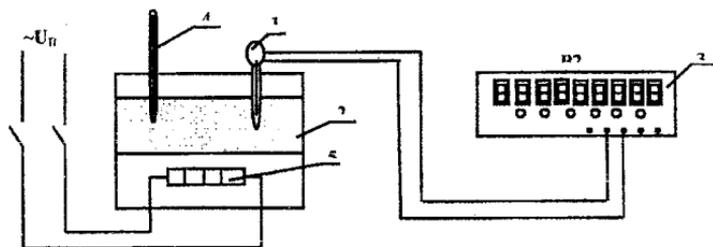
Обычно на панели автоматического потенциометра имеется кнопка с самовозвратом, обозначенная словами «Установка рабочего тока». При нажатии этой кнопки, не показанной на рисунке 8.4, рабочая цепь прибора размыкается, а усилитель включается на разность ЭДС батарейки и специального стабильного нормального элемента. Если батарейка разрядилась, то под действием разности этих ЭДС, усиленной усилителем, электродвигатель ЭД перемещает движок регулировочного резистора R_p , автоматически устанавливая требуемое значение тока питания моста.

Ответственной деталью в измерительной схеме является реохорд. Он выполнен из манганиновой проволоки, намотанной на медной изолированной основе.

Автоматические потенциометры могут поочередно подключить до 24 термопар.

8.4. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда, показанного на рисунке 8.5, входят следующие элементы:



1 - термопара ТХА; 2 - термостат; 3 - электронный потенциометр В2-34; 4 - спиртовой термометр; 5 - нагреватель
Рисунок 8.5 – Лабораторный стенд исследования термопары

Конструктивно потенциометрические измерительные преобразователи выполняют как измерительные преобразователи линейных, так и измерительные преобразователи угловых перемещений. Они работают на постоянном и переменном токе.

8.5. Порядок выполнения работы

1. Включить электронный потенциометр и прогреть его в течение 10-15 минут.
2. Подготовить таблицу для записи экспериментальных данных.
3. Поместить термопару и спиртовой термометр в термостат.

4. Подключить термопару к электронному потенциометру.
5. Подключить термостат к источнику питания.
6. В процессе изменения температуры среды в термостате снимать показания с измерительных приборов, результаты измерений свести в таблицу.
7. Построить характеристику термопары $E_T = f(T)$.

8.6. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Технические характеристики приборов, используемых в работе
4. Таблица-протокол.
5. Статическая характеристика термопары $E_T = f(T)$.
6. Примеры применения термопар при автоматизации технологических процессов пояснить рисунками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9

Исследование термометра сопротивления

Цель работы

1. Изучить принцип действия и устройства термометра сопротивления.
2. Снять статическую характеристику $R_T = f(T)$ для термометра сопротивления.

9.1. Краткие теоретические сведения

Термосопротивлениями (или термочувствительными сопротивлениями) называются сопротивления, выполненные из материалов (металлов или полупроводников), свойства которых зависят от температуры.

Чувствительность термосопротивления к изменению температуры характеризуется температурным коэффициентом электросопротивления α , который выражает относительное изменение сопротивления $\Delta R/R$ на единицу приращения температуры ΔT :

$$\alpha = \frac{\Delta R/R}{\Delta T} = \frac{1}{R} \frac{\Delta R}{\Delta T} \approx \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} \quad (9.1)$$

Характеристики металлических и полупроводниковых термосопротивлений различны, и поэтому должны быть рассмотрены отдельно.

Металлические термосопротивления изготавливаются из чистых металлов: меди, железа, никеля и платины. Изменение сопротивления чистых металлов составляет от 3,7 до 6,5% на 10°C , что соответствует температурному коэффициенту электросопротивления в пределах $(3,7 - 6,5) \cdot 10^{-3}$. Сопротивление чистых металлов монотонно возрастает при увеличении температуры, и эта зависимость отличается стабильностью. При добавлении примесей в металлы монотонность и стабильность характеристики нарушаются и температурный коэффициент электросопротивления уменьшается. Поэтому сплавы не применяются в качестве термосопротивлений. Металлические термосопротивления используются для измерения температуры от -120°C и ниже до $+500^\circ\text{C}$. Зависимость сопротивления от температуры приблизительно подчиняется линейному закону до температур $100-200^\circ\text{C}$, а далее отклоняется от линейности различно для разных металлов. Для меди в пределах от $T = -50^\circ\text{C}$ до $T = +150^\circ\text{C}$ зависимость сопротивления от темпе-

ратуры определяется приближенно следующим образом:

$$R_T = R_0(1 + \alpha T) \quad (9.2)$$

Здесь α – температурный коэффициент термосопротивления, для меди $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-3}$.

Наиболее стабильным и часто применяемым в автоматике является платиновое термосопротивление. Его характеристика в диапазоне от $T = -50^\circ\text{C}$ до $T = 660^\circ\text{C}$ выражается формулой

$$R_T = R_0(1 + AT + BT^2), \quad (9.3)$$

где $A = 3,94 \cdot 10^{-3}$; $B = -5,8 \cdot 10^{-7}$.

Конструктивные формы, значения сопротивлений и постоянные времени термосопротивлений могут быть весьма различными и зависят от условий их применения.

Для контроля *невысоких температур* применяют резисторные датчики из тонкой изолированной медной или платиновой проволоки, наматываемой на пластмассовый каркас, который помещают в защитный медный кожух.

Включается проволочный резисторный датчик температуры по мостовой схеме, приведенной на рисунке 9.1.

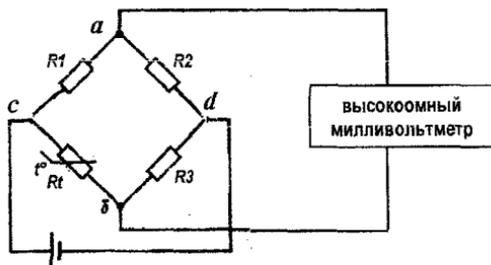


Рисунок 9.1 – Включение проволочного резисторного датчика по мостовой схеме

По этой схеме к источнику питания подключается две параллельные ветви. Одна состоит из двух последовательно соединенных резисторов R_1 и R_2 . Вторая ветвь состоит из проволочного резисторного датчика R_T и резистора R_3 . Сопротивления резисторов подбираются так, чтобы при температуре $T = 0^\circ\text{C}$ соблюдалась следующая пропорция:

$$\frac{R_T}{R_3} = \frac{R_1}{R_2} \quad (9.4)$$

При этом для напряжений будет соблюдаться аналогичная пропорция. Действительно, если I' – сила тока в ветви $R_1 - R_2$, а I'' – сила тока в ветви $R_1 - R_3$, то

$$\frac{I'' R_T}{I'' R_3} = \frac{I' R_1}{I' R_2}, \quad (9.5)$$

где R_{T0} – сопротивление датчика при температуре, $T = 0^\circ\text{C}$.

$$\text{или} \quad \frac{U_{T0}}{U_3} = \frac{U_1}{U_2}, \quad (9.6)$$

где U_1 , U_2 , U_3 , U_{T0} , соответственно напряжения на резисторах R_1 , R_2 , R_3 и

$$\frac{U_{T0}}{U_{T0} + U_3} = \frac{U_1}{U_1 + U_2} \quad (9.7)$$

Так как $U_{T0} + U_3 = U$ и $U_1 + U_2 = U$, то из последнего равенства следует, что $U_{T0} = U_1$. А это означает, что потенциалы в точках *a* и *б* (см. рисунок 9.1) одинаковы.

При повышении же температуры среды, в которую погружен датчик, сопротивление R_T увеличивается ($R_T > R_{T0}$). В этом случае баланс мостовой схемы нарушается:

$$\frac{R_T}{R_3} > \frac{R_1}{R_2} \quad (9.8)$$

Из этого соотношения при отсутствии измерительного прибора (или когда его цепь разомкнута) имеем:

$$\frac{I'' R_T}{I'' R_3} > \frac{I' R_1}{I' R_2} \quad (9.9)$$

или

$$\frac{U_T}{U_3} > \frac{U_1}{U_2} \quad (9.10)$$

Отсюда легко получить соотношение

$$\frac{U_T}{U_T + U_3} > \frac{U_1}{U_1 + U_2} \quad (9.11)$$

Учитывая, что $U_T + U_3 = U$ и $U_1 + U_2 = U$, приходим к выводу, что $U_T > U_1$. Это и понятно. Распределение напряжения источника между резисторами R_T и R_3 теперь изменилось: падение напряжения на R_T увеличилось, а на резисторе R_3 уменьшилось. Распределение же напряжения между резисторами R_1 и R_2 осталось прежним. Результатом этого является возникновение разности потенциалов между узлами *a* и *б*: потенциал точки *a* оказывается более высоким, чем потенциал точки *б*. Но при температурах датчика ниже $T = 0^\circ\text{C}$ более высоким будет потенциал точки *б*.

Таким образом, напряжение, снимаемое с мостовой схемы, по модулю будет тем больше, чем больше температура контролируемой среды отличается от 0°C . Электрическая полярность выходных зажимов мостовой схемы зависит от того, является ли температура контролируемой среды положительной ($T > 0^\circ\text{C}$) или отрицательной ($T < 0^\circ\text{C}$).

Подключаемый к точкам *a* и *б* измерительный прибор представляет собой как бы мост, перекинутый от одной ветви схемы к другой; отсюда и происходит термин *мостовая схема*. При автоматическом управлении снимаемый с моста сигнал поступает после усиления на приборы управления исполнительными органами (например, на обмотку электромагнитного реле).

Ценным свойством проволочных резисторных датчиков температуры является линейный характер зависимости их сопротивления от температуры. Недостатком же является их небольшая чувствительность, т. е. малое изменение сопротивления при данном изменении температуры.

Применение терморезисторов. При использовании терморезисторов в качестве датчиков систем автоматики различают два основных режима.

1. Температура терморезистора практически определяется только температурой окружающей среды. Ток, протекающий по термометру сопротивления, обычно выбирается настолько малым, чтобы можно было пренебречь погрешностью от нагрева, вызываемого этим током.

2. Терморезистор нагревается проходящим по нему током, а температура терморези-

стора определяется изменяющимися условиями теплоотдачи, например, интенсивностью обдува, плотностью окружающей газовой среды и т. п.

При использовании терморезисторов в первом режиме они играют роль датчиков температуры и называются обычно термометрами сопротивления. Металлические термометры сопротивления выполняются из проволоки (медной, никелевой или платиновой) диаметром около 0,1 мм, намотанной на слюдяной, фарфоровый или кварцевый каркас. Общее сопротивление термометров при нормальной температуре составляет обычно 50-100 Ом.

Наибольшее распространение получили термометры сопротивления типов ТСП (платиновые) и ТСМ (медные), включаемые в мостовые измерительные схемы.

В процессе измерения температуры с помощью термометров сопротивления могут возникать следующие погрешности:

- 1) от колебания напряжения питания;
- 2) от изменения сопротивления соединительных проводов при колебаниях температуры окружающей среды;
- 3) от собственного нагрева датчика под действием протекающего через него тока.

Измерительные цепи. Отличия измерительных цепей для терморезисторов от обычных цепей омметров заключаются в более узком диапазоне изменения измеряемого сопротивления и в необходимости учета сопротивлений проводов, соединяющих термометр сопротивления с измерительной цепью. Если используется простейшая двухпроводная соединительная линия, то может возникнуть погрешность от температурного изменения сопротивления этой линии связи, которая вызвана колебанием температуры окружающей среды.

Если, например, сопротивление медной линии равно 5 Ом и используется термометр с $R_0 = 50$ Ом, то изменение температуры линии на 10°C приведет к изменению показания прибора примерно на 1°C .

Для уменьшения погрешности изменения сопротивления соединительной линии часто применяют *трехпроводную линию*. При этом термометр подключают к мостовой цепи так, чтобы два провода линии вошли в разные плечи моста, а третий оказался подключенным последовательно с источником питания или указателем. На рисунке 9.2 показана схема моста, содержащего термометр сопротивления, присоединенный трехпроводной линией. Трехпроводная схема подключения датчика позволяет уменьшить погрешность измерения, возникающую при изменении сопротивления проводов линии (например, при изменении их температуры). К одному из выводов терморезистора R_T подсоединяются два провода, а третий подключается к другому выводу датчика. При этом необходимо соблюдать условие равенства сопротивлений всех трех проводов линии связи.

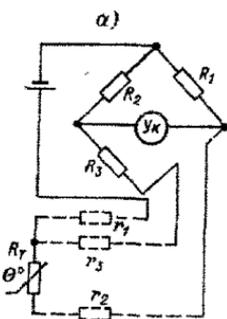


Рисунок 9.2

В данной лабораторной работе исследуется термометр сопротивления R_T , который включен в мостовую измерительную схему в соответствии с рисунком 9.3.

Измерительная схема подключается к источнику питания постоянного напряжения – U_n . В качестве измерительного прибора применяется электронный вольтметр, который подключается к измерительной диагонали мостовой схемы.

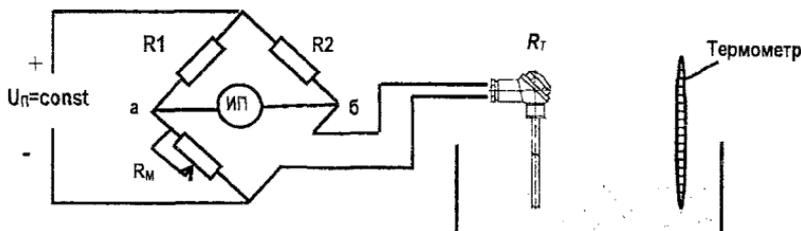


Рисунок 9.3 – Схема исследования термометра сопротивления

9.2. Порядок выполнения работы

1. Убедиться в наличии заземления на термостате.
2. Поместить термометр сопротивления в термостат, в котором обеспечивается контроль изменения температуры среды с помощью спиртового термометра.
3. Определить величину $U_{п}$, при которой величина тока в цепи термометра сопротивления не должна превышать 8 ± 10 мА.
4. Собрать схему лабораторной установки в соответствии с рисунком 9.3.
5. Уравновесить мостовую измерительную схему и записать параметры уравновешенной схемы в таблице 9.1.

Таблица 9.1

$U_{п}, В$	$R_T, Ом$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_M, Ом$	$T, ^\circ C$

6. Подключить термостат к источнику питания.
7. В процессе изменения температуры среды в термостате снимать показания с измерительных приборов. Результаты измерений свести в таблицу.
8. Построить характеристику $U_{вых} = f(T)$.

Примечания:

1. Статическую характеристику $R_T = f(T)$ термометра сопротивления можно снять экспериментально, пользуясь прибором «Измеритель сопротивления» и термостатом. В определенные моменты времени отсчитываются показания:

- температура среды в термостате;
- сопротивление датчика.

По результатам измерений строится статическая характеристика $R_T = f(T)$.

2. При автоматическом контроле температуры электрическое напряжение, снимаемое с мостовой схемы, подается на усилитель, после чего – на нормирующий преобразователь и в дальнейшем на измерительные устройства.

9.3. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Расчет величины напряжения источника питания – $U_{п}$ лабораторной установки.
4. Технические характеристики приборов, используемых в работе.
5. Таблица-протокол.
6. Статическая характеристика $U_{вых} = f(T)$.
7. Статическая характеристика термометра сопротивления $R_T = f(T)$.
8. Примеры применения термометров сопротивления при автоматизации технологических процессов пояснить рисунками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10

Исследование полупроводниковых датчиков температуры (термисторов)

Цель работы

1. Изучить устройство и принцип действия термистора.
2. Снять статическую характеристику $R = f(T)$ для термистора.

10.1. Краткие теоретические сведения

Полупроводниковые термосопротивления, часто называемые *термисторами*, изготавливаются из окислов металлов (окиси меди, никеля, марганца, кобальта, магния, титана, урана и т. д.), а также из сульфидов, нитридов и карбидов этих металлов. Окиси в порошкообразном виде спрессовываются или спекаются. Иногда к ним добавляется измельченная медь. Удельное сопротивление таких полупроводников зависит от их состава, но всегда больше сопротивления металлов и может превышать удельное сопротивление металлов в 10^{10} - 10^{12} раз. Сопротивление полупроводников, в отличие от металлов, уменьшается при увеличении температуры, т. е. они имеют отрицательный температурный коэффициент электросопротивления. Зависимость между сопротивлением и температурой для широкого класса полупроводников выражается формулой:

$$R = Ae^{-\frac{B}{T}} \quad (10.1)$$

где A и B – постоянные; T – температура в градусах Кельвина.

Температурный коэффициент полупроводниковых термосопротивлений равен:

$$\alpha = \frac{1}{R} \frac{dR}{dT} = -\frac{B}{T^2} \quad (10.2)$$

и, следовательно, уменьшается с увеличением температуры. Чувствительность полупроводниковых термосопротивлений к изменению температуры значительно выше, чем металлических. Если для металлов температурный коэффициент примерно составляет $\alpha = (4+6) \cdot 10^{-3}$, то для полупроводников он достигает $\alpha = -40 \cdot 10^{-3}$ и выше, т. е. в 6-10 раз больше. Сопротивления меди и платины при нагреве от 0 до 100°C возрастают приблизительно на 40%, а сопротивление полупроводника уменьшается в 20-25 раз и более. Полупроводниковые термосопротивления имеют при температуре 20°C сопротивление от сотен Ом до сотен тысяч Ом. Они могут работать при температурах от -100°C и ниже до $+400^\circ\text{C}$ и выше.

Постоянная времени полупроводниковых термосопротивлений в зависимости от их конструкции может изменяться от долей секунды до десятков секунд. Вольт-амперная характеристика полупроводникового термосопротивления является резко нелинейной. По мере увеличения тока падение напряжения на термосопротивлении сначала возрастает, а затем вследствие увеличивающегося нагрева током и резкого уменьшения величины сопротивления снова уменьшается.

Благодаря этому вольт-амперные характеристики полупроводниковых термосопротивлений часто имеют падающий участок.

Стабильность полупроводниковых термосопротивлений ниже, чем металлических. В первые месяцы после изготовления такое термосопротивление меняет свои параметры, а потом остается постоянным с точностью примерно до 1%.

Полупроводниковые термосопротивления оформляются в виде маленьких стерженьков (примерные размеры: диаметр 2 мм, длина 10 мм), пластинок или бусинок. Иногда

они помещаются внутри стеклянного баллона, наполняемого в ряде случаев инертным газом.

Наиболее распространенными термисторами являются медно-марганцевые типов ММТ, представленные на рисунке 10.1, и кобальто-марганцевые типов КМТ, которые в основном используют для измерения и регулирования температуры различных сред в пределах 200-900° С.

Удельное сопротивление полупроводниковых материалов очень велико, поэтому термисторы даже при малых размерах имеют очень большое сопротивление, что исключает влияние колебаний температуры на сопротивление проводов, соединяющих термистор с измерительной схемой.

Свойства термисторов определяются также вольт-амперными характеристиками, представленными на рис. 10.2, устанавливающими зависимость между напряжением на термисторе U_T и протекающим через него током I_T при заданной температуре T_0 измеряемой среды

Вид вольт-амперной характеристики определяется тем, что термистор сам нагревается проходящим через него током. Пока ток мал, влияние собственного нагрева незначительно, и сопротивление термистора практически не зависит от тока (участок 0 – а).

В этом режиме термистор используют для измерения температуры окружающей среды. По мере увеличения тока напряжение на термисторе уменьшается вследствие его разогрева и резкого уменьшения сопротивления (участок а – б). В таком режиме термистор может быть использован как термореле, стабилизатор, индикатор напряжения и т. п.

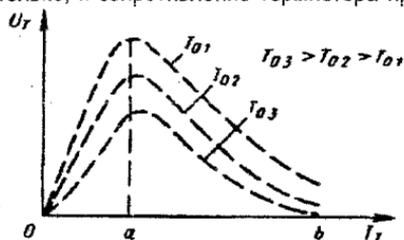


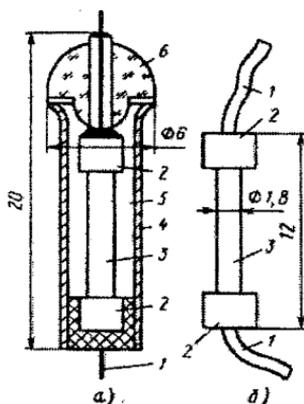
Рисунок 10.2 – Вольт-амперные характеристики термисторов

10.2. Термосопротивление в качестве датчика

Полупроводниковый термометр сопротивления обладает меньшей стабильностью, но значительно большей чувствительностью, чем металлический. С его помощью можно обнаруживать отклонения температуры на тысячные доли градуса.

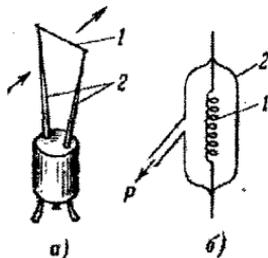
Полупроводниковое термосопротивление удобно использовать для компенсации температурной погрешности в измерительных схемах путем, например, последовательного включения его с медной обмоткой какого-либо элемента схемы. Поскольку температурные коэффициенты у термосопротивления и обмотки имеют разные знаки, их можно подобрать так, чтобы при изменении температуры суммарное сопротивление не изменялось.

Второй вид использования термосопротивлений в качестве датчика широко применяется в автоматике для измерения различного рода неэлектрических величин, тем или иным способом изменяющих отдачу тепла от термосопротивления.



а – герметизированного; б – незащищенного; 1 – выводы; 2 – контактные колпачки; 3 – тело терморезистора; 4 – чехол; 5 – металлическая фольга; 6 – стеклянный изолятор
Рисунок 10.1 – Общий вид термистора

На рисунке 10.3 показаны два примера такого использования термосопротивления: анемометр, вакуумметр.



а – термоанемометр (1 – платиновая нить; 2 – стойки); б – вакуумметр (1 – платиновая нить; 2 – баллон)
Рисунок 10.3 – Применение термосопротивлений для измерения неэлектрических величин

Анемометром называется устройство, служащее для измерения скорости потока газа. Анемометр с термосопротивлением, или термоанемометр (рис. 10.3, а), представляет собой тонкую платиновую нить, припаянную к стойкам 2. Нить располагается на пути газового потока и нагревается проходящим по ней током. По мере возрастания скорости потока увеличивается теплоотдача. При этом температура, а следовательно, и сопротивление проволоки падают. Для характеристики чувствительности термоанемометра можно указать, что для одной из конструкций увеличение скорости потока от 5 до 20 м/сек вызывает уменьшение сопротивления примерно от 5 до 3,5 Ом.

Вакуумметр с термосопротивлением (рис. 10.4, б) служит для измерения глубокого вакуума. Он основан на изменении теплопроводности газа в зависимости от его давления. При снижении давления ниже 0,1 мм рт. ст. теплопроводность газа начинает значительно уменьшаться. Вакуумметр представляет собой стеклянный баллон, соединенный с пространством, в котором измеряется вакуум. Внутри баллона помещается тонкая платиновая нить 1, нагреваемая током. При уменьшении давления, вызывающего снижение теплопроводности газа, теплоотдача ухудшается и температура нити, а также ее сопротивление возрастают.

Заметим, что на принципе изменения теплопроводности основан также газоанализатор с термосопротивлением.

В данной лабораторной работе исследуется термистор R_T , который включен в мостовую измерительную схему в соответствии с рисунком 10.4. Измерительная схема подключается к источнику питания постоянного напряжения – U_n . В качестве измерительного прибора применяется электронный вольтметр, который подключается к измерительной диагонали мостовой схемы.

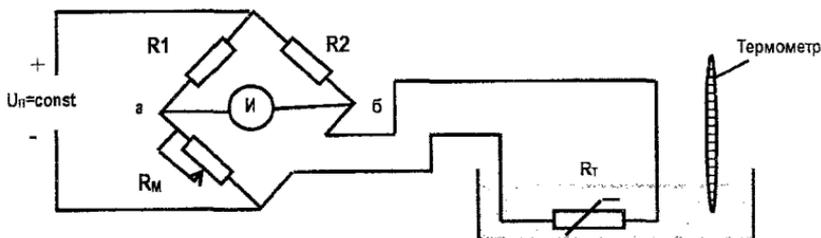


Рисунок 10.4 – Схема исследования термистора

10.3. Порядок выполнения работы

1. Поместить термистор в термостат, в котором осуществляется контроль изменения температуры среды с помощью спиртового термометра.

2. Определить величину U_n , при которой величина тока в цепи термистора не должна превышать – 2+5 мА.

3. Собрать схему лабораторной установки в соответствии с рисунком 10.4.
4. Уравновесить мостовую измерительную схему и записать параметры схемы в табл. 10.1.

Таблица 10.1

$U_{п}, В$	$R_{T0}, Ом$	$R_1, Ом$	$R_2, Ом$	$R_{M0}, Ом$	$T_1, °C$

5. Подключить термостат к источнику питания.
6. В процессе изменения температуры среды в термостате T изменяется сопротивление термистора, а это в свою очередь вызывает появление напряжения в цепи измерительной диагонали – U_{AB} .

Для снятия статической характеристики $R_T = f(T)$ необходимо:

- Уточнить величину сопротивления, установленного на магазине сопротивлений – R_{M0} при начальной температуре T_0 .

- В процессе изменения температуры жидкости в термостате необходимо уравновешивать мостовую измерительную схему, при этом необходимо уточнить величину сопротивления, установленного на магазине R_{M1} , которая будет соответствовать температуре T_1 .

- Разность между величинами $R_{M1} - R_{M0} = \Delta R_{T1}$ будет соответствовать приращению температуры ΔT , т.е. $T_1 - T_0 = \Delta T_1$.

Аналогично: $R_{M2} - R_{M0} = R_{T2}$ и т.д.

7. Построить характеристику $R_T = f(T)$.

Примечание:

Статическую характеристику $R_T = f(T)$ термистора можно снять экспериментально, пользуясь прибором «Измеритель сопротивления» и термостатом. В определенные моменты времени отсчитываются показания:

- температура среды в термостате – T ;
- сопротивление термистора R_T .

По результатам измерений строится статическая характеристика $R_T = f(T)$.

10.4. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Расчет величины напряжения источника питания лабораторной установки.
4. Технические характеристики приборов, используемых в работе.
5. Таблица-протокол.
6. Статическая характеристика термистора $R_T = f(T)$.
7. Примеры применения термисторов при автоматизации технологических процессов пояснить рисунками.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11

Исследование нормирующего преобразователя «Термометр сопротивления – аналоговый токовый выход»

Цель работы

1. Изучить принцип работы нормирующего преобразователя «Термометр сопротивления – аналоговый токовый выход».
2. Снять статическую характеристику преобразователя $I = f(T^\circ)$.

11.1. Нормирующие преобразователи

Нормирующие преобразователи (нормализаторы) – это устройства, преобразующие сигналы от датчиков в сигналы унифицированных диапазонов.

Основной структурной единицей любой измерительной системы является измерительный канал, выполняющий законченную измерительную функцию, предусмотренную алгоритмом его функционирования. Нормирующие преобразователи составляют неотъемлемую часть структуры измерительного канала, обеспечивая информационную совместимость системы посредством унификации входных и выходных сигналов и применением стандартных интерфейсов. Таким образом, от того, насколько качественным и надежным будет нормализатор, насколько полно он будет выполнять свои функции, зависит качество всей измерительной системы.

Нормализаторы могут быть как одноканальными, так и многоканальными. В последнем случае они могут иметь несколько независимых каналов или могут быть построены по схеме с мультиплексированием. И наконец, нормализаторы могут иметь настраиваемые или фиксированные диапазоны входных и выходных сигналов.

Настройка параметров нормализаторов, как правило, производится при помощи компьютера и специальных программных средств. При этом допускается и программная калибровка измерительных каналов нормализатора.

11.2. Достоинства нормирующих преобразователей

В идеале каждый датчик должен обеспечивать нормирование сигнала в точке измерения и передавать унифицированный сигнал системе сбора данных или управления. Уменьшение длины линии связи между датчиком и нормирующим преобразователем снижает вероятность наводок. Сигналы с высоким уровнем напряжения более устойчивы к помехам, воздействующим на любой измерительный канал. Тем не менее, этот идеал вступает в конфликт с технологическими и экономическими реалиями, так как нормирование сигналов в точке измерения гораздо дороже, чем в любой другой части измерительной системы. Поэтому приходится идти на компромисс между достоверностью сигнала и стоимостью системы.

Еще одна особенность заключается в том, что *большинство датчиков имеет отклонение от идеальной линейной зависимости между входом и выходом*, т.е. они являются нелинейными. Например, заданное изменение температуры не вызывает прямо пропорционального изменения ЭДС термопары. Поэтому еще одна задача, которую призваны решать нормализаторы, состоит в *аппроксимации кривой зависимости выход – вход* для разных типов датчиков. В подавляющем большинстве случаев используется аппроксимация полиномами либо кусочно-линейная. И тот и другой вид дает хорошие результаты, и выбор способа аппроксимации целиком зависит от производителя нормализаторов.

Нормирующие преобразователи делятся на несколько серий. Все они обеспечивают преобразование сигналов большинства применяющихся в промышленности датчиков, гальваническую развязку и усиление сигналов. Имеются достаточно уникальные преобразователи действующего значения входного сигнала переменного тока в пропорциональный выходной сигнал постоянного тока. Алгоритмы нормирования сигналов включают фильтрацию, изоляцию, усиление и линеаризацию.

Основные свойства нормирующих преобразователей:

- одно- и многоканальные;

- с фиксированными и программно настраиваемыми диапазонами;
- трехуровневая гальваническая изоляция до 1500 В действующего значения;
- точность измерения $\pm 0,01...0,05\%$;
- 5...7-полюсный входной фильтр;
- улучшенная линейризация;
- коэффициент подавления помех общего вида 160 дБ;
- коэффициент подавления помех нормального вида 80...95 дБ;
- усиление и аттенюация сигналов различных диапазонов;
- защита от скачков напряжения;
- низкий уровень шума на выходе;
- высокая стабильность измерений в течение длительного времени;
- питание 5 В или 15...30 В постоянного тока;
- уменьшенное энергопотребление;
- диапазон рабочих температур $-40...80^{\circ}\text{C}$;
- крепление на DIN-рейку, установка на кросс-плату или в арматуру датчика;
- отсутствие необходимости перекалибровки;
- 100% выходной контроль в течение 48 часов.

11.3. Функциональная схема нормирующего преобразователя «Термометр сопротивления – аналоговый токовый выход»

Схема преобразователя сопротивления в нормированный токовый выход приведена на рисунке 11.1.

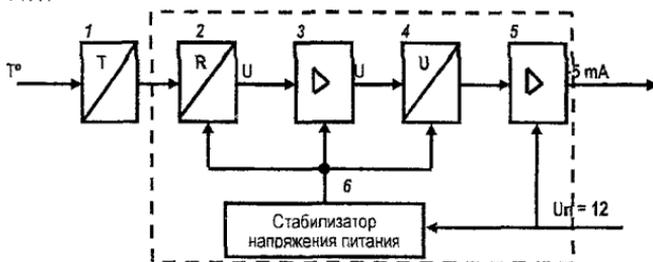


Рисунок 11.1 – Функциональная схема нормирующего преобразователя

Датчик температуры 1 установлен на объекте технологического контроля, где необходимо контролировать температуру. В качестве датчика температуры используется термометр сопротивления. Выходная величина датчика температуры описывается выражением:

$$R_T = R_0 [1 + 2(T - T_0)]$$

В свою очередь датчик температуры подключен к нормирующему преобразователю, входным каскадом которого является мостовая измерительная схема 2, которая преобразует изменение сопротивления датчика в напряжение U, снимаемое с выхода измерительной схемы. Измерительная схема позволяет производить настройку моста на минимальную измеряемую температуру – 0°С. Балансировка производится с помощью магазина сопротивления. С выхода мостовой измерительной схемы напряжение, соответствующее измеряемой температуре, поступает на усилитель 3, в котором происходит масштабирование и линейризация измеряемого сигнала. В усилителе задается диапазон изменения выходного напряжения, который должен соответствовать необходимому

диапазону изменения контролируемой температуры. Линеаризация статической характеристики датчика производится для обеспечения линейной зависимости выходного напряжения усилителя 3 при изменении температуры датчика 1. С выхода усилителя 3 сигнал подается на преобразователь 4, это «напряжение – токовый выход», в котором происходит линейное преобразование «напряжение – ток» и одновременно происходит нормализация выходного сигнала, при котором выходное значение температуры соответствует выходному току – $0 \div 5$ мА.

Далее токовый сигнал подается на выходной усилитель 5, который обеспечивает необходимое значение тока в требуемом диапазоне питающих напряжений $12 \div 24$ В, а также защищает преобразователь от неправильного подключения полярности источника питания.

Стабилизатор напряжения 6 обеспечивает стабильным напряжением блоки 2, 3, 4, так как точность измерения зависит от стабильности питающего напряжения. Для питания выходного усилителя 5 стабилизатор напряжения не требуется.

Таким образом, нормирующий преобразователь, функциональная схема которого приведена на рисунке 11.1, преобразует изменение сопротивления датчика ТСМ-50М в диапазон температур $0 \div 120^\circ\text{C}$ в нормированный токовый сигнал $0 \div 5$ мА, при питающем напряжении $12 \div 24$ В постоянного напряжения.

11.4. Порядок выполнения работы

1. Подготовить таблицу для записи результатов измерений.
2. Собрать схему лабораторной установки в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 11.2.

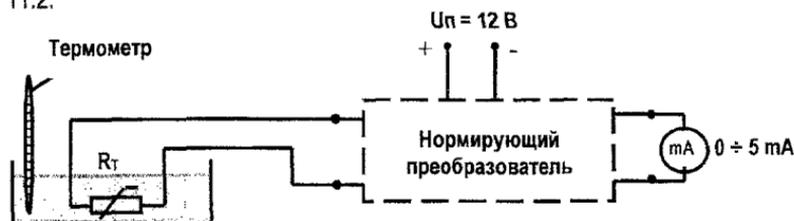


Рисунок 12.2 – Схема лабораторной установки

3. Поместить датчик температуры в термостат.
4. Включить источник питания $U_p = 12$ В.
5. Изменение температуры среды в термостате контролировать по показаниям термометра.
6. Результаты измерений $I = f(T)$ свести в таблицу.

11.5. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание работы нормирующего преобразователя.
3. Схема лабораторной установки.
4. Результаты измерений, сведенные в таблицу.
5. Графики зависимостей $I = f(T)$, $I = f(R)$.
6. Достоинства нормирующих преобразователей.
7. Перечень приборов, использованных при выполнении лабораторной работы.
8. Выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12

Исследование полупроводникового преобразователя «Температура – частота импульсов»

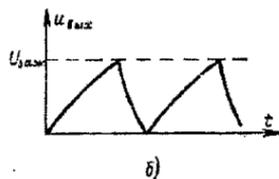
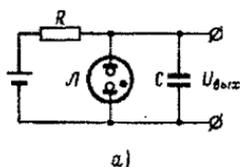
Цель работы

1. Изучить устройство и принцип работы преобразователя «Температура – частота импульсов» на основе транзисторного мультивибратора.
2. Снять статическую характеристику мультивибратора $f = f(T^{\circ})$.

12.1. Симметричный мультивибратор

Симметричный мультивибратор относится к группе импульсных устройств, известных под названием релаксационных генераторов. Релаксационными генераторами называются устройства, вырабатывающие сигналы сложной формы, отличной от синусоидальной (формы «пилы», прямоугольной формы и др.). Релаксационные генераторы имеют накопитель энергии (чаще всего в виде конденсатора) и ключ (электронная лампа, транзистор), переключение которого обусловлено запасом энергии в накопителе.

Примером простейшего релаксационного генератора является генератор на неоновой лампе, показанный на рис. 12.1. Когда лампа погашена и ее внутреннее сопротивление велико, происходит заряд конденсатора C через большое сопротивление K . Как только напряжение на конденсаторе $U_{\text{вых}}$ достигает потенциала зажигания, неоновая лампа зажигается и происходит быстрый разряд конденсатора через лампу до напряжения, равного потенциалу гашения. Затем процесс повторяется.



а – принципиальная схема; б – временная диаграмма

Подобной автоколебательной релаксационной системой становится триггер, если одну или обе из его коллекторно-базовых реостатно-емкостных связей сделать чисто емкостными. Тогда одно или оба из устойчивых состояний равновесия превращаются в неустойчивые, длительность которых определяется постоянной времени цепи заряда и разряда конденсаторов связи. Генераторы импульсов, построенные таким образом, называются мультивибраторами.

12.2. Мультивибратор на транзисторе

Мультивибратором называется релаксационный генератор почти прямоугольных импульсов. Спектр частот колебаний его является широким. Отсюда название – генератор многих колебаний. Транзисторный мультивибратор представляет собой двухкаскадный резисторный усилитель, у которого выход первого каскада соединен со входом второго, а выход второго – со входом первого. Обратная связь является положительной, осуществляется в широком диапазоне частот, коэффициент обратной связи равен единице.

Наиболее распространены мультивибраторы с включением транзисторов по схеме с общим эмиттером и токозадающими резисторами в цепях баз приведен на рисунке 12.2. В симметричном мультивибраторе оба каскада содержат одинаковые элементы.

Казалось бы, в симметричном мультивибраторе в цепях баз и коллекторов транзисторов должны установиться одинаковые токи и напряжения баз и коллекторов. На самом

деле из-за наличия положительной обратной связи такой режим сохраниться не может. Например, при некотором увеличении коллекторного тока первого транзистора U_{K1} часть зарядов уйдет с обкладок конденсатора. Напряжение на конденсаторе $C1$ и одновременно коллекторное напряжение U_{K1} начнут уменьшаться (см. рис. 12.3, а), в цепи конденсатора появится разрядный ток i_{P1} . Прохождение этого тока через эмиттерный переход транзистора $VT2$ невозможно, ток i_{P1} пойдет через источник питания и по резистору R_{B2} . Постоянная цепи разрядки $i_{P1} = C1R_{B2}$.

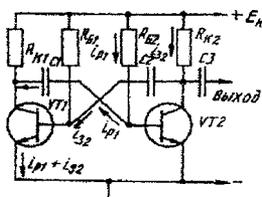
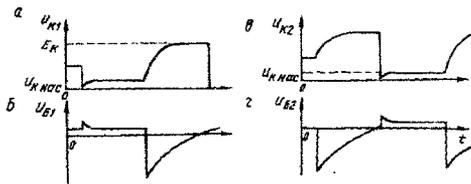


Рисунок 12.2 – Схема транзисторного мультивибратора



а – напряжение коллектора транзистора $VT1$; б – напряжение базы транзистора $VT1$; в – напряжение коллектора транзистора $VT2$; г – напряжение базы транзистора $VT2$
Рисунок 12.3 – Напряжение электродов транзисторов в симметричном мультивибраторе

Через открытый транзистор $VT1$ напряжение U_{C1} прикладывается к переходу «база – эмиттер» транзистора $VT2$, выступает как запирающее напряжение (см. рис. 12.3, г). Ток i_{K2} в цепи коллектора транзистора $VT2$ отсутствует. Происходит зарядка конденсатора $C2$ через резистор R_{K2} и эмиттерный переход транзистора $VT1$ и постепенное увеличение напряжения U_{K2} (см. рис. 12.3, в). Зарядный ток i_{B2} конденсатора $C2$ является током базы i_{B1} транзистора $VT1$. Этот ток достигает максимального значения в начальный момент, когда происходит запирающее напряжение транзистора $VT2$. Одновременно коллекторное напряжение снижается до напряжения насыщения (см. рис. 12.3, а), а потенциал базы транзистора $VT1$ достигает максимального значения (см. рис. 12.3, б).

Таким образом, незначительное увеличение тока i_{K1} приводит к мгновенному переходу транзистора $VT1$ в режим насыщения и запирающему транзистора $VT2$.

По мере зарядки конденсатора $C2$ напряжение U_{K2} (рис. 12.3, в) повышается до значения E_K , ток i_{B1} становится меньше, несколько увеличивается напряжение U_{K1} (см. рис. 12.3, а). Одновременно снижаются напряжение на конденсаторе $C1$ и запирающее напряжение U_{B2} (рис. 12.3, г).

После полной разрядки конденсатора $C1$ начинается его зарядка через резистор R_{B2} и транзистор $VT1$, напряжение U_{B2} становится положительным. При его значении, равном долям вольта, транзистор $VT2$ отпирается и начинается разрядка конденсатора $C2$. Постоянная цепи разрядки $i_{P2} = C2R_{B1}$. Транзистор $VT2$ переходит в режим насыщения, а транзистор $VT1$ запирается. К эмиттерному переходу $VT1$ приложено отрицательное напряжение U_{B1} , по величине близкое к значению E_K . В цепи развиваются процессы, аналогичные тем, которые были описаны для случая запирающего транзистора $VT2$.

В процессе работы мультивибратора коллекторные напряжения транзисторов изменяются в пределах от $U_{Kнас}$ до E_K (небольшой обратный ток коллекторного перехода не учитывается). Перепадом этих напряжений, близким к значению E_K , определяется амплитуда колебаний транзисторного мультивибратора.

12.3. Мультивибратор на операционном усилителе

Схема мультивибратора, показанная на рисунке 12.4 а, содержит цепь положительной обратной связи в виде делителя напряжения на резисторах R_3, R_4 . На неинвертирующий вход усилителя поступает напряжение положительной обратной связи

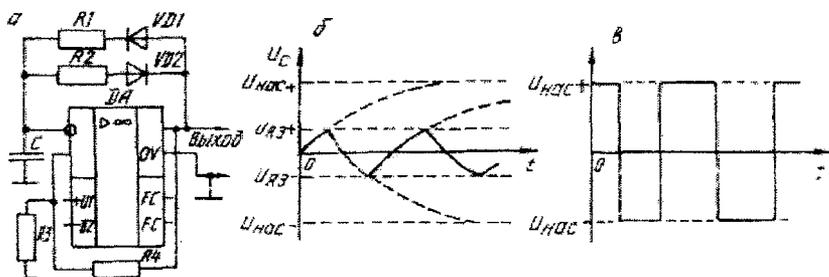
$$U_{\text{н.з.}} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} U_{\text{вых.}}$$

К инвертирующему входу подключен конденсатор C , который через резистор R_1 и диод $VD1$, а также через резистор R_2 и диод $VD2$ соединен с выходом усилителя.

При подаче напряжения питания на выходе усилителя устанавливается максимально возможное напряжение положительной $U_{\text{нас.}+}$ или отрицательной $U_{\text{нас.}-}$ полярности. Положим, оно является положительным. Тогда через диод $VD1$ и резистор R_1 будет происходить зарядка конденсатора (см. рис.12.4, б). Когда величина напряжения достигнет значения U_{R3+} , произойдет быстрая смена полярности выходного напряжения, значение его станет равным $U_{\text{нас.}-}$ (см. рис.12.4, в).

На неинвертирующем входе установится напряжение U_{R3-} . Начнется разрядка конденсатора C через резистор R_2 и диод $VD2$. Когда конденсатор разрядится, между его обкладками будет расти напряжение отрицательной полярности. При U_{R3-} опять произойдет смена полярности выходного напряжения.

Импульсы напряжения на выходе генератора являются двухполярными. Длительности их T_1, T_2 определяются постоянной цепей зарядки конденсаторов (CR_1, CR_2) и коэффициентом передачи напряжения обратной связи на неинвертирующий вход.



а – схема; б – напряжение на конденсаторе; в – выходное напряжение

Рисунок 12.4 – Мультивибратор на операционном усилителе

Как и блокинг-генераторы, мультивибраторы могут работать в ждущем режиме, в режиме синхронизации и деления частоты.

12.4. Описание лабораторного стенда

В лабораторной установке исследуется мультивибратор на транзисторе, в базовых цепях которого включены термисторы. Термисторы помещаются в среду, температура которой изменяется, что в свою очередь вызывает изменение сопротивления термистора, а следовательно, и изменение частоты генератора импульсов.

В процессе подготовки к выполнению лабораторной работы **необходимо составить схему внешних соединений мультивибратора с осциллографом, частотомером и источником питания.**

12.5. Порядок выполнения работы

Подготовить таблицу для записи результатов измерений.

1. Собрать схему лабораторной установки в соответствии со схемой внешних соединений мультивибратора.
2. Поместить термисторы в термостат.
3. Подключить мультивибратор к источнику питания $U_n = 10$ В.
4. Изменение температуры среды в термостате контролировать по показаниям термометра.
5. Результаты измерений $F = f(T)$ свести в таблицу.
6. Температуру среды в термостате изменять в диапазоне $20+90^\circ\text{C}$.

12.6. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема транзисторного мультивибратора с внешними соединениями измерительных приборов.
3. Результаты измерений, сведенные в таблицу.
4. График зависимости $F = f(T)$.
5. Осциллограммы напряжений мультивибратора:
 - а) напряжение коллектора транзистора VT2;
 - б) напряжение базы транзистора VT2.
6. Перечень приборов, используемых при выполнении лабораторной работы.
7. Выводы по выполненной работе.

Список литературы

1. Коновалов, Л.И. Элементы и системы электроавтоматики / Л.И. Коновалов, Д.П. Петелин. – М.: Высшая школа, 1980.
2. Келим, Ю.М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики / Ю.М. Келим. – М.: Высшая школа, 1981.
3. Мясковский, И.Г. Основы автоматизации производства. – М.: Высшая школа, 1986.
4. Гинзбург, С.А. Основы автоматики и телемеханики / С.А. Гинзбург [и др.]. – М.: Энергия, 1969.
5. Кабеш, К. Прецизионные потенциометры для автоматизации. – М.: Энергия, 1969.
6. Борисов, Н.М. Автоматические устройства контроля и управления. – М.: Энергия, 1976.
7. Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: «Измерительные преобразователи» Энергоатомиздат, 1983.
8. Шишмарев, В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.
9. Гинзбург, С.А. Основы автоматики и телемеханики / С.А. Гинзбург, И.Я. Лехтман, В.С. Малов. – М.: Энергия, 1968.
10. Электрические измерения неэлектрических величин / Под ред. П.В. Новицкого – М.: Энергия, 1975.
11. Лейтман, М.Б. Нормирующие измерительные преобразователи / М.Б. Лейтман – М.: Энергоатомиздат, 1986.
12. Корслев, Г.В. Электронные устройства автоматики. – М.: Высшая школа, 1991.

Учебное издание

Составители:

Клопоцкий Анатолий Васильевич
Клопоцкий Александр Анатольевич

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ по дисциплине
«ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ»

для студентов специальности 1-53 01 01

«Автоматизация технологических процессов и производств»

Часть первая

Ответственный за выпуск **Страчук И.В.**

Редактор **Строкач Т.В.**

Компьютерная вёрстка **Кармаш Е.Л.**

Корректор **Никитчик Е.В.**

Подписано к печати 13.01.2011 г. Формат 60×84^{1/16}. Бумага «Снегурочка». Гарнитура «Arial Narrow». Усл. п. л. 3,5. Уч.-изд. л. 3,75. Заказ № 62. Тираж 50 экз. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, Брест, ул. Московская, 267.