

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 681.5.(075)
ББК 332-5я73-5
У677

Рецензент

Доктор технических наук, профессор, академик РАЕН, заведующий кафедрой «Информационные системы и защита информации» ТГТУ
Ю.Ю. Громов

Составители:

Е.Н. Туголуков, А.Г. Ткачёв, А.В. Рухов, Е.Ю. Филатова

У677 Управление техническими системами : рабочая тетрадь для лабораторных работ / сост : Е.Н. Туголуков, А.Г. Ткачёв, А.В. Рухов, Е.Ю. Филатова. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 32 с. – 100 экз.

Приведены лабораторные работы по курсу «Управление техническими системами». Изложены методические указания, последовательность выполнения работ и обработки результатов, бланки и формы для представления отчётов.

Предназначена для студентов специальностей 080502, 240801 и направлений подготовки 150400, 220600, 210600 всех форм обучения.

УДК 681.5.(075)

ББК 332-5я73-5

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный
технический университет» (ТГТУ), 2008

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

**УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ**

Рабочая тетрадь для лабораторных работ
для студентов специальностей 080502, 240801 и направлений подготовки 150400, 220600, 210600 всех форм обучения



Тамбов
Издательство ТГТУ
2008

Учебное издание

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рабочая тетрадь для лабораторных работ

Составители:

ТУГОЛУКОВ Евгений Николаевич,

ТКАЧЁВ Алексей Григорьевич,

РУХОВ Артём Викторович,

ФИЛАТОВА Елена Юрьевна

Редактор О.М. Я р ц е в а

Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано в печать 11.09.2008.

Формат 60 × 84/16. 1,86 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 382.

Издательско-полиграфический центр

Тамбовского государственного технического университета,

392000, Тамбов, Советская 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Данная рабочая тетрадь для лабораторных работ предназначена для облегчения студентам инженерных специальностей процесса подготовки к проведению, расчёту, оформлению и защите лабораторных работ по дисциплине «Управление техническими системами» (УТС).

Изучение основ УТС предполагает усвоение принципов и методов построения автоматизированных систем управления и регулирования, их технической реализации с использованием современных технических средств, которыми оснащена кафедра «Техника и технологии машиностроительных производств».

В результате знакомства с теоретической базой студенты должны освоить принципы построения и функционирования автоматизированных систем управления и регулирования; основы теории управления техническими системами; функциональное назначение технических средств, входящих в состав систем автоматического регулирования и управления; основные методы и технические средства автоматизации типовых производственных процессов.

Полученные теоретические знания закрепляются при выполнении лабораторных работ, на которых студенты учатся использовать современные технические структуры и средства автоматизации и управления, анализировать схемы автоматического контроля и управления производственными процессами.

В рабочей тетради представлены четыре лабораторные работы. В лабораторных работах рассмотрены принципы и законы управления техническими объектами, а также основные технические средства автоматизации (первичные преобразователи, промежуточные преобразователи, микропроцессорные измерители-регуляторы, исполнительные механизмы (устройства) и др.).

Лабораторная работа 1

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: ознакомление с методами измерения температуры поверхностей бесконтактным методом. Овладение навыками определения степени черноты объекта для настройки инфракрасного (ИК) пирометра.

Приборы и материалы: ИК пирометр Optris СТ, мультиметр с термопарой, персональный IBM совместимый компьютер, чёрная полимерная электроизоляционная лента, лабораторный штатив, угловая линейка 20 см, набор твердых тел с различной степенью черноты.

Методические указания

Преимущественно большинство систем автоматического регулирования в своем составе содержат первичные преобразователи, от правильного выбора которых, как правило, зависит качество регулирования в целом.

Принцип действия ИК пирометра основан на зависимости энергетической яркости теплового излучения объекта от его температуры. Эталонным тепловым излучателем является абсолютно чёрное тело (АЧТ). Плотность излучения любого реального тела не может быть больше плотности излучения АЧТ при той же температуре.

Для оценки излучательной способности реальных тел введено понятие степени черноты ε , которая определяется отношением энергетических яркостей данного тела и АЧТ при одной и той же температуре. Степень черноты ε зависит от состояния поверхности измеряемого объекта (шероховатость, загрязнённость, наличие окислов), а также от его температуры и длины волны излучения, поэтому в большинстве случаев она может быть определена только эмпирическим путем. В связи с этим в большинстве приборов данного класса предусмотрен ввод априорно известного значения степени черноты для последующего учёта её при расчёте температуры.

Степень черноты объекта можно определить одним из следующих способов (в порядке предпочтения):

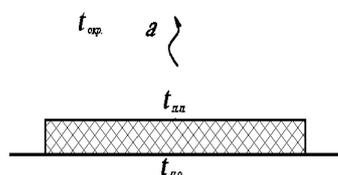
1. Определите действительную температуру объекта с помощью контактного датчика – термопары, термометра сопротивления и т.д. Затем измерьте температуру с помощью пирометра и подберите такую степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с показаниями контактного датчика.

2. При сравнительно низких температурах объекта (до 250 °С) можно наклеить на участок поверхности объекта ленту чёрного цвета (например, электроизоляционную). Затем измерьте температуру ленты с помощью пирометра при установленной степени черноты 0,95. После этого измерьте с помощью пирометра незакрытую лентой часть объекта и подберите такую степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с результатом измерения температуры ленты.

3. Если часть объекта может быть окрашена, окрасьте ее матовой чёрной краской, которая имеет степень черноты около 0,98. Затем измерьте температуру окрашенного участка с помощью пирометра при установленной степени черноты 0,98. После этого измерьте с помощью пирометра неокрашенную часть объекта и подберите такую степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с результатом измерения на окрашенном участке.

Использование последних двух способов справедливо только для случая определения степени черноты при температуре образца, равной температуре окружающей среды. Это вызвано теплоотдачей с поверхности полимерной ленты (краски) в окружающую среду, что ведёт к появлению температурного градиента в полимерной ленте (слое краски). В итоге температура на поверхности полимерной ленты (краски) будет отличаться от температуры поверхности образца рис. 1.1.

Температуру поверхности образца в данном случае можно определить из теплового баланса: $t_{\text{окр}}$



$$\frac{\lambda}{\delta}(t_{\text{п.о}} - t_{\text{п.л}}) = \alpha(t_{\text{п.л}} - t_{\text{окр}}), \quad (1.1)$$

Рис. 1.1. Теплоотдача с поверхности полимерной ленты

где λ – теплопроводность материала полимерной ленты, Вт/м · К; δ – толщина полимерной ленты, м; α – коэффициент теплоотдачи от поверхности полимерной ленты в окружающую среду, Вт/м² · К; $t_{п.о}$ – температура поверхности образца, °С; $t_{п.л}$ – температура поверхности полимерной ленты, °С; $t_{окр}$ – температура окружающей среды, °С.

Из уравнения (1.1) получаем:

$$t_{п.о} = t_{п.л} + \alpha \frac{\delta}{\lambda} (t_{п.л} - t_{окр}). \quad (1.2)$$

Коэффициент теплоотдачи может быть рассчитан для случая:

- горизонтальной поверхности $\alpha = 2,5\sqrt{\Delta t}$;
- вертикальной поверхности $\alpha = 1,98\sqrt{\Delta t}$, где $\Delta t = t_{п.л} - t_{окр}$.

Но, так как максимальная разность между температурами на поверхностях полимерной ленты и образца на всем рабочем диапазоне ИК пирометра Optiris CT приблизительно в два раза меньше абсолютной точности прибора, температурным градиентом в полимерной ленте в лабораторной работе пренебрегаем.

Пирометр состоит из двух блоков – оптического датчика и блока процессора, соединённых между собой информационным кабелем (рис. 1.2). Все части прибора, включая кабель, являются единым целым и не взаимозаменяемы.

Поток излучения, поступающий от объекта, воспринимается оптической системой датчика и направляется на приёмник излучения.

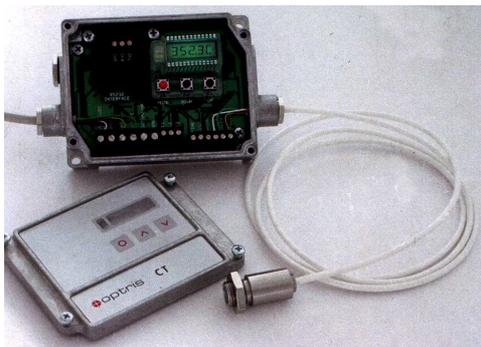


Рис. 1.2. ИК пирометр Optiris CT

Характеристика оптической системы ИК пирометра Optiris CT представлена на рис. 1.3. Приёмник излучения преобразует энергию излучения в электрический сигнал. Сигнал с приёмника усиливается и преобразуется в цифровой код. Далее цифровой код поступает в блок цифровой обработки, выполняющий следующие функции:

- вычисление температуры объекта;
- формирование выходных сигналов;
- реализация алгоритмов обработки;
- организация связи с компьютером.

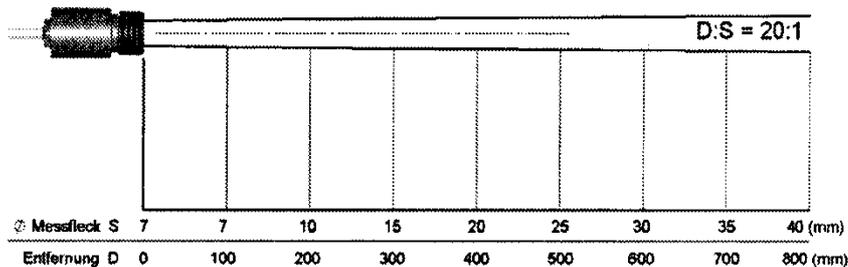


Рис. 1.3. Оптическая характеристика ИК пирометра Optiris CT

Пирометр имеет преимущества по сравнению с контактными измерительными устройствами, такие, как:

- установка и обслуживание пирометра проще и безопасней, поскольку он размещается на удалении от высокотемпературных или агрессивных областей, а также движущихся объектов;
- пирометр сохраняет точностные характеристики в течение более длительного времени и не подвержен внешним воздействиям;
- пирометр имеет более высокую точность, лучшую воспроизводимость и большее быстродействие.

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить инструкции приборов, используемых в лабораторной работе.
2. Закрепить вертикально измерительную головку ИК пирометра в лабораторном штативе.
3. Подключить питание к ИК пирометру стандартным разъёмом RBBY.

4. Подключить информационный кабель к IBM совместимому компьютеру по универсальной последовательной шине (USB).
5. Проверить правильность подключения.
6. Включить компьютер и дождаться загрузки операционной системы.
7. После загрузки операционной системы запустить программу сбора информации и настройки ИК пирометра – CT Connect
8. Проверить связь ИК пирометра с компьютером (нижний левый угол интерфейсного окна программы CT Connect рис. 1.4). В случае отсутствия связи проверить настройки связи «Setup → Interface» рис. 1.5.
9. Установить предел изменения температуры объекта от 0 до 40 °С, перейдя в пункт меню «Setup → Display Ranges» рис. 1.6.
10. Расположите образец под измерительной головкой ИК пирометра на расстоянии 0,1 м.
11. При помощи мультиметра с термопарой измерить температуру поверхности образца. Полученный результат занести в табл. 1.1.
12. Выполнить калибровку ИК пирометра с использованием измеренной величины температуры контактным способом. Для этого необходимо перейти «Setup → Sensor Setup → Signal processing → Calculate Emissivity». Рассчитанную программой степень черноты образца занести в табл. 1.1.
13. Приклеить на поверхность образца кусок чёрной пластиковой электроизоляционной ленты, размером 15 × 15 мм.

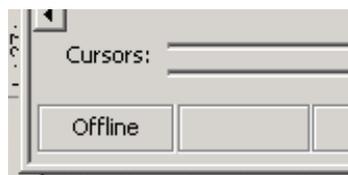
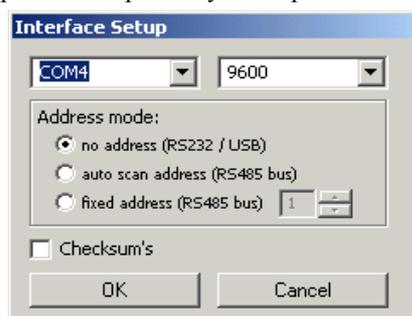


Рис. 1.4. Текущее состояние интерфейса ИК пирометра

Рис. 1.5. Настройка связи с ИК пирометром

14. Провести измерение температуры поверхности образца в месте приклеенной чёрной ленты с предварительной установкой степени черноты, равной 0,95. Полученный результат занести в табл. 1.1.
15. Выполнить калибровку ИК пирометра с использованием измеренной величины температуры бесконтактным и контактным способом. Рассчитанную программой степень черноты образца занести в табл. 1.1.
16. Рассчитать среднеарифметическое значение степени черноты образца по результатам измерений, проведенных двумя способами. Рассчитанную величину занести в табл. 1.1.
17. Повторить пункты 10 – 16 для других образцов.
18. Выключить компьютер и отсоединить ИК пирометр от него.
19. Сформулировать выводы.

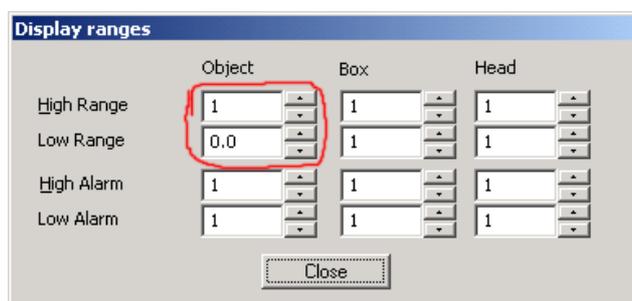


Рис. 1.6. Установка пределов отображения температуры образца
Схема установки

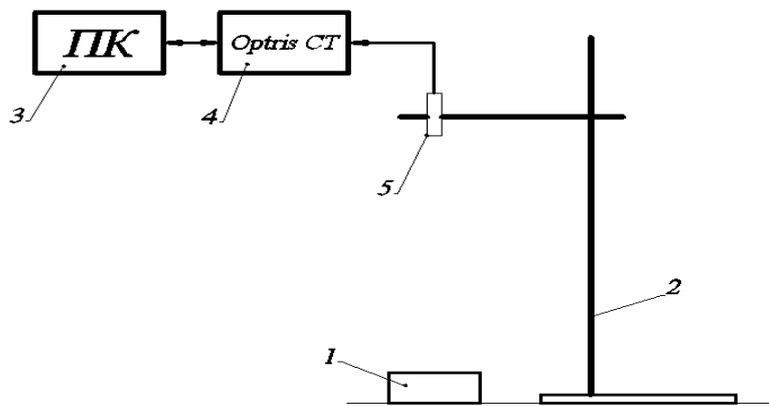


Рис. 1.7. Схема лабораторной установки:

1 – образец; 2 – лабораторный штатив; 3 – IBM совместимый компьютер; 4 – процессорный блок ИК пирометра Optris CT; 5 – оптический датчик ИК пирометра Optris CT

Обработка экспериментальных данных

Образец № 1: _____

Таблица 1.1

	Измеренная температура $t, ^\circ\text{C}$	Степень черноты ϵ	Средняя степень черноты $\epsilon_{\text{ср.}}$
Контактный способ			
Бесконтактный способ			

Образец № 2: _____

	Измеренная температура $t, ^\circ\text{C}$	Степень черноты ϵ	Средняя степень черноты $\epsilon_{\text{ср.}}$
Контактный способ			
Бесконтактный способ			

Образец № 3: _____

	Измеренная температура $t, ^\circ\text{C}$	Степень черноты ϵ	Средняя степень черноты $\epsilon_{\text{ср.}}$
Контактный способ			
Бесконтактный способ			

Выводы

Литература: [4, 6, 7].

ГРАДУИРОВКА ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ

Цель работы. изучение принципа работы полупроводникового термометра сопротивления. Приобретение навыков градуировки полупроводникового термометра сопротивления (ПТС).

Приборы и материалы. мультиметр с термопарой, источник постоянного напряжения 0 – 12 В, резистивный нагреватель, лёд, исследуемый полупроводниковый термометр сопротивления.

Методические указания

Полупроводниковые термометры сопротивления являются параметрическими первичными преобразователями, используемыми во многих системах автоматического регулирования температуры. Для использования данного класса приборов необходима информация зависимости $R = f(t)$, где R – сопротивление ПТС, Ом; t – температура, °С.

Удельная проводимость λ металлов при комнатной температуре меняется в пределах от $6 \cdot 10^3$ до $6 \cdot 10^5$ Ом⁻¹ · см⁻¹. Твёрдые вещества с удельной проводимостью от 10^4 до 10^{-10} Ом⁻¹ · см⁻¹ принято относить к классу так называемых *полупроводников*, а вещества с еще меньшей λ (от 10^{-10} до 10^{-20} Ом⁻¹ · см⁻¹) – к классу *диэлектриков* или *изоляторов*. Носителями тока в полупроводниках и диэлектриках могут быть как электроны, так и ионы.

К числу полупроводников относится гораздо больше веществ, чем к числу проводников и изоляторов, взятых вместе.

Проводимость полупроводников сильно зависит от окружающей температуры. При очень низкой температуре, близкой к абсолютному нулю ($-273,15$ °С), они ведут себя как изоляторы. Проводники, наоборот, при таких температурах обладают сверхпроводимостью, т.е. почти не оказывают току никакого сопротивления. С повышением температуры проводимость проводников ухудшается (сопротивление электрическому току увеличивается), а полупроводников улучшается (сопротивление уменьшается).

В атомах полупроводника, как и многих других веществ, есть валентные электроны, но в полупроводнике они не всегда могут стать свободными.

Возьмём, к примеру, германий, применяемый в некоторых полупроводниковых приборах.

Германий стоит в четвертой группе периодической системы Менделеева. Это значит, что атом германия имеет во внешнем слое оболочки четыре валентных электрона. Всего же в оболочках атома германия 32 электрона. Однако 28 из них находятся в трёх внутренних слоях оболочки и надёжно удерживаются ядром. Если отнять от атома германия валентные электроны, он будет иметь положительный заряд, т.е. сделается положительным ионом.

Германий – кристаллическое вещество: атомы германия расположены в строгом порядке. Каждый атом окружён четырьмя такими же атомами. При этом расстояние между любой парой атомов одинаковое. Любой атом связан с каждым соседним атомом двумя валентными электронами, один из которых свой, а другой – заимствованный от соседа. Оба эти электрона движутся одновременно вокруг ядер обоих связанных атомов. Такая связь называется двухэлектронной или ковалентной.

При температуре, близкой к абсолютному нулю, полупроводник с такой структурой ведёт себя как диэлектрик потому, что в нём нет свободных электронов. Но при повышении температуры связь валентных электронов с атомными ядрами ослабевает, и некоторые из них вследствие теплового движения могут покидать свои атомы. Вырвавшийся из межатомной связи электрон становится свободным, а там, где он был до этого в межатомной связи, образуется пустое место. Его в полупроводниковой технике называют «дыркой». Чем выше температура полупроводника, тем больше в нём свободных электронов и дырок.

Итак, образование в массе полупроводника дырок связано с уходом из оболочек атомов валентных электронов. Значит, возникновение дырки соответствует появлению в межатомной связи положительного электрического заряда, равного по величине отрицательному заряду электрона. Рассмотрим, как возникает электрический ток в полупроводнике под действием приложенного к нему электрического напряжения. В каждый момент времени во всей массе полупроводника вследствие теплового движения из межатомных связей вырывается некоторое количество электронов. На рис. 2.1 они обозначены точками со стрелками. Электроны, освободившиеся вблизи положительного полюса, притягиваются этим полюсом и уходят из массы полупроводника, оставляя после себя дырки. Электроны, ушедшие из межатомных связей в некотором удалении от положительного полюса, тоже притягиваются им и движутся в его сторону. Но, встретив на своем пути дырки, они «впрыгивают» в них (рис. 2.1, а). Происходит заполнение некоторых межатомных связей. Оставшиеся дырки в направлении к отрицательному полюсу быстро заполняются другими электронами, вырвавшимися из межатомных связей, расположенных ещё ближе к отрицательному полюсу (рис. 2.1, б).

В следующие моменты времени этот процесс продолжается: нарушаются одни межатомные связи – из них уходят валентные электроны, возникают дырки и заполняются другие межатомные связи – в дырки «впрыгивают» электроны, освободившиеся из каких-то других межатомных связей (рис. 2.1, в). Дырки, возникающие в самой левой части рисунка, т.е. у отрицательного полюса, заполняются электронами, пришедшими извне, от источника тока (рис. 2.1, б и г).

Можно считать, что, в то время как электроны движутся в направлении от отрицательного полюса к положительному, дырки перемещаются от положительного полюса к отрицательному.

Отметим, что в отсутствие внешних электрических сил при температуре выше абсолютного нуля свободные электроны и дырки тоже непрерывно возникают и исчезают, но только в этих условиях они движутся хаотически в разные стороны и не уходят за пределы полупроводника.

В чистом полупроводнике число высвобождающихся в каждый момент времени электронов равно числу образующихся при этом дырок. Общее их число при нормальной температуре относительно невелико. Поэтому электропроводность такого полупроводника, называемая собственной, также невелика.

Если же в полупроводник добавить даже ничтожное количество примесей в виде атомов других элементов, проводимость его резко улучшается. При этом в зависимости от структуры атомов примесных элементов

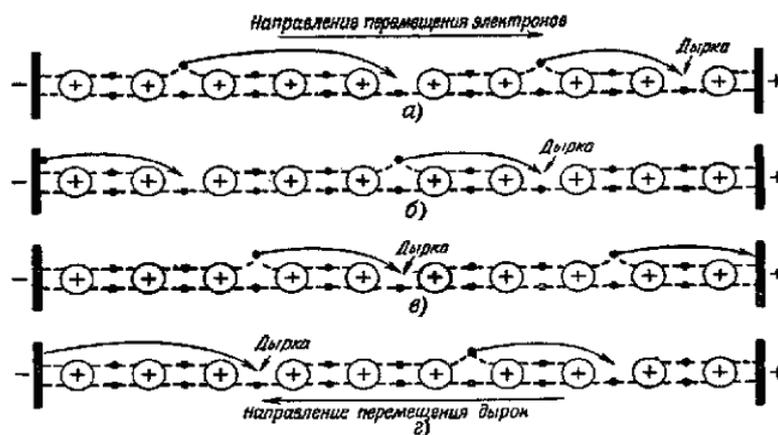


Рис. 2.1. Движение электронов и дырок в полупроводнике

проводимость полупроводника может иметь различный характер. Она может быть электронной или дырочной.

Если какой-либо атом в кристалле германия заменить атомом сурьмы, имеющим во внешнем слое электронной оболочки пять электронов, этот атом четырьмя электронами свяжется с четырьмя соседними атомами германия. Пятый же валентный электрон атома сурьмы окажется «лишним» и станет свободным. Чем больше в германий будет введено атомов сурьмы, тем больше в его массе окажется свободных электронов. Следовательно, германий с примесью сурьмы представляет собой полупроводник, по своим свойствам приближающийся к металлу: для того чтобы через него проходил электрический ток, не должна разрушаться ионная структура, и при этом носителями заряда становятся электроны.

Полупроводники, обладающие такими свойствами, называются полупроводниками с электронной проводимостью, полупроводниками с проводимостью *n*-типа или, еще короче, полупроводниками *n*-типа.

Другой эффект получается, если в германий ввести примесь в виде атомов индия, во внешних оболочках атомов которого имеются только по три электрона. Атом индия, занимая место какого-либо из атомов германия, должен был бы тоже связаться с четырьмя соседними атомами германия. Но у него всего три валентных электрона. Поэтому получаются заполненные связи между ним и только тремя соседними атомами германия. Для заполнения связи с четвертым атомом германия у атома индия не хватает одного электрона. Образуется дырка. Она может быть заполнена каким-либо электроном, вырвавшимся из валентной связи между другими атомами германия. Однако независимо от того, где будут дырки, в массе полупроводника с примесью индия не будет хватать электронов для их заполнения. Чем больше будет введено в германий примесных атомов индия, тем больше будет в нём и дырок.

Чтобы в таком полупроводнике могли двигаться электроны, должны обязательно разрушаться валентные связи между атомами. Высвободившиеся из них электроны или же поступившие в полупроводник электроны извне движутся от дырки к дырке. А во всей массе полупроводника в любой момент времени число дырок будет больше общего числа свободных электронов.

Полупроводники, обладающие таким свойством, называются полупроводниками с дырочной проводимостью, полупроводниками с проводимостью *p*-типа или, полупроводниками *p*-типа.

Полупроводники *p*-типа так же, как и полупроводники *n*-типа, обладают во много раз лучшей проводимостью по сравнению с чистыми полупроводниками – полупроводниками без примесей.

В качестве термометра сопротивления в данной работе используется германиевый точечный диод типа Д2.

Основной частью полупроводникового диода является квадратная пластинка, вырезанная из кристалла германия. Часть объёма пластинки обладает электронной, а другая часть дырочной проводимостью. Это упрощённо показано на рис. 2.2, *а*. На наружные поверхности пластинки нанесены контакты. Один из них имеет соединение с областью, имеющей дырочную проводимость, а другой – с областью, имеющей электронную проводимость. Если к этим контактам подключить батарею так, чтобы её положительный полюс был соединён с областью, имеющей проводимость *p*-типа, а отрицательный с областью *n*-типа (рис. 2.2, *б*), то в пластинке германия возникнет электрический ток.

Электроны в области с проводимостью *n*-типа перемещаются от минуса к плюсу, т.е. в сторону области с проводимостью *p*-типа, а дырки в области с проводимостью *p*-типа движутся навстречу электронам – от плюса к минусу. Встречаясь на границе областей с проводимостями различного типа, называемой электронно-дырочным переходом (*p-n*-переходом) или запирающим слоем. Контакт, соединённый с отрицательным полюсом батареи, может отдать области с проводимостью *n*-типа практически неограниченное количество электронов, пополняя убыль электронов в этой области, а контакт, соединённый с положительным полюсом батареи, может принять из области с проводимостью *p*-типа такое же количество электронов, что равнозначно введению в него соответствующего количества дырок. Вследствие этого через диод и идет ток, называемый прямым током. Чем больше напряжение батареи, тем больше прямой ток.

Если полюса батареи поменять местами (рис. 2.2, *в*), свободные электроны в области с проводимостью *n*-типа будут стремиться переместиться к электроду, соединённому с положительным полюсом батареи, т.е. будут удаляться от *p-n*-

перехода, а дырки в области с проводимостью p -типа будут стремиться отойти к электроду, соединённому с отрицательным полюсом батареи, т.е. также будут удаляться от p - n -перехода. В результате на границе областей с различными типами проводимости образуется зона, обедненная электронами и дырками. Однако небольшой обмен носителями тока между областями германиевой пластинки всё же будет. Поэтому через диод возникнет некоторый ток, но значительно меньший, чем прямой ток. Этот ток называют обратным током.

Вольтамперная характеристика полупроводникового диода приведена на рис. 2.3 (пунктиром обозначена вольтамперная характеристика идеального полупроводникового диода).

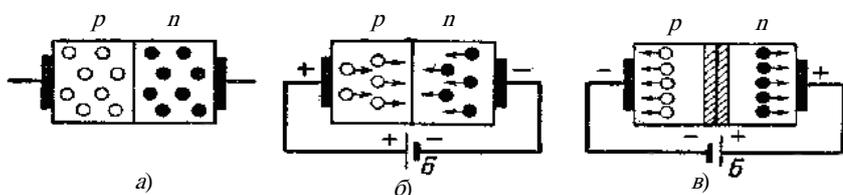


Рис. 2.2. Схематическое изображение полупроводникового диода

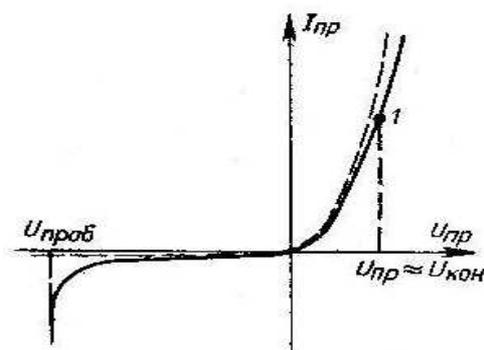


Рис. 2.3. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить инструкцию мультиметра G980M и занести в табл. 2.1 необходимую информацию.
2. Подключить исследуемый полупроводниковый термометр сопротивления (ПТС) к мультиметру по схеме измерения прямого сопротивления p - n -перехода.
3. Подключить термопару к мультиметру.
4. Определить значение сопротивления ПТС при комнатной температуре. Измеренное значение занести во второй столбец табл. 2.1.
5. Разместить ПТС на поверхности льда.
6. Убедиться в охлаждении ПТС (показание мультиметра должно стабилизироваться). Измеренное значение сопротивления занести в первый столбец табл. 2.1.
7. Разместить ПТС и термопару внутри резистивного нагревателя.
8. Подключить резистивный нагреватель к источнику постоянного напряжения.
9. Подключить источник постоянного напряжения к сети 220 В (выполняется преподавателем).
10. Установить выходное напряжение на минимум и включить источник постоянного напряжения.
11. Изменяя выходное напряжение источника тока, нагревать ПТС с шагом 10 град. На каждой температурной площадке измерять и заносить в табл. 2.1 значения температуры и сопротивления ПТС.
12. Отключить источник постоянного напряжения от сети 220 В (выполняется преподавателем).
13. Построить градуировочный график в координатах $t - 1/R$ (с указанием полей допусков измеренных величин); где t — температура ПТС, °С; R — сопротивление ПТС, Ом.
14. Найти градуировочную формулу вида: $t = a \frac{1}{R} + b$, где a и b — коэффициенты. В зависимости от варианта коэффициенты уравнения a и b определить графическим, численным или аналитическим способом. Коэффициенты a и b занести в табл. 2.2.
15. Сформулировать выводы.

Схема установки

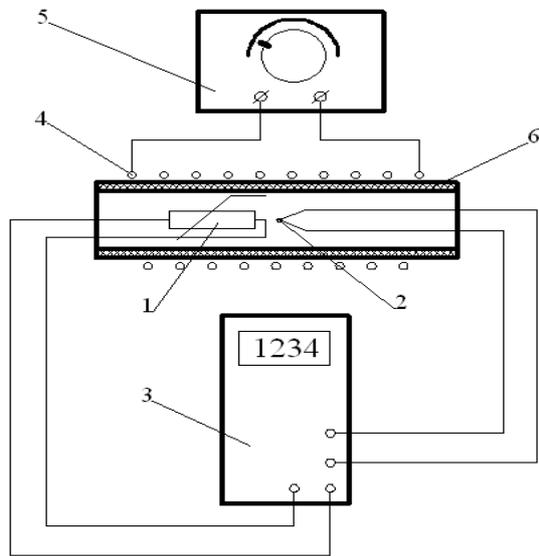


Рис. 2.4. Схема установки: 1 – исследуемый полупроводниковый термометр сопротивления; 2 – термопара; 3 – мультиметр; 4 – резистивный нагреватель; 5 – источник постоянного напряжения 0 – 12 В; 6 – керамическая трубка

Обработка экспериментальных данных

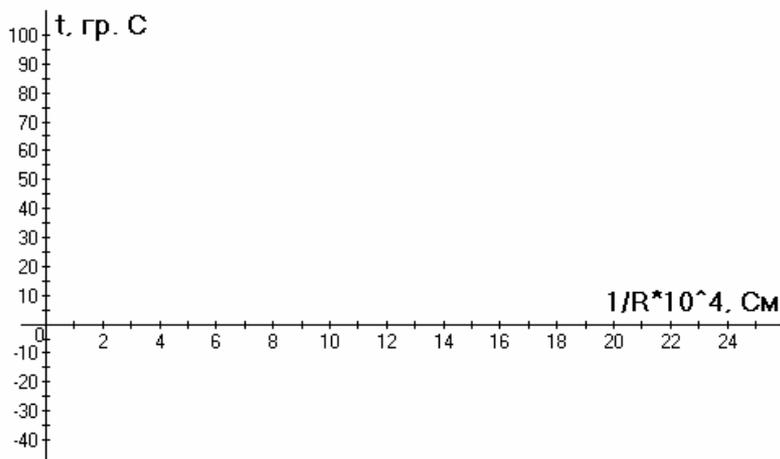
Таблица 2.1

№ п/п	$t, \text{ }^\circ\text{C}$	$\gamma_{\text{нр.}}, \%$	$\Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	$t - \Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	$t + \Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$	$R, \text{ Ом}$	$\gamma_{R\text{нр.}}, \%$	$\Delta R, \text{ Ом}$	$R - \Delta R, \text{ Ом}$	$R + \Delta R, \text{ Ом}$
1	0									
2										
3	30									
4	40									
5	50									
6	60									
7	70									
8	80									

Градуировочная формула: $t = a \frac{1}{R} + b$

Таблица 2.2

a	b



Выводы

Литература: [2; 3; 6]

Лабораторная работа 3

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: овладение навыками проектирования систем автоматического регулирования с использованием непрерывного закона управления. Ознакомление с современным оборудованием автоматического регулирования температуры. Определение параметров настройки ПИД-регулятора.

Приборы и материалы: микропроцессорный регулятор ОВЕН ТРМ10, термopара ТХА, секундомер, экспериментальная установка.

Методические указания

Измеритель-регулятор микропроцессорный ТРМ10 предназначен совместно с первичным преобразователем (датчиком) для измерения и регулирования (при наличии внешнего регулирующего исполнительного механизма или устройства) температуры и других физических параметров, значение которых входным датчиком может быть преобразовано в сигналы активного сопротивления, напряжения постоянного тока или постоянный ток.

Прибор может быть использован для измерения и регулирования технологических процессов в различных отраслях промышленности.

Прибор позволяет осуществлять следующие функции:

- измерение температуры и других физических величин (давления, влажности, расхода, уровня и т.п.) с помощью стандартных датчиков в соответствии с модификацией входного устройства;
- отображение текущего значения измеренной величины на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- регулирование измеряемой величины по пропорционально-интегрально-дифференциальному (ПИД) закону;
- автоматическое определение коэффициентов ПИД-регулятора (автонастройка);
- формирование дополнительного сигнала управления на выходе компаратора по двухпозиционному закону (реле «Авария»).

Параметры работы прибора задаются пользователем и сохраняются при отключении питания в энергонезависимой памяти прибора.

Структурная схема прибора приведена на рис. 3.1.

Прибор состоит из:

- входа (входного устройства), предназначенного для обработки сигналов датчика;

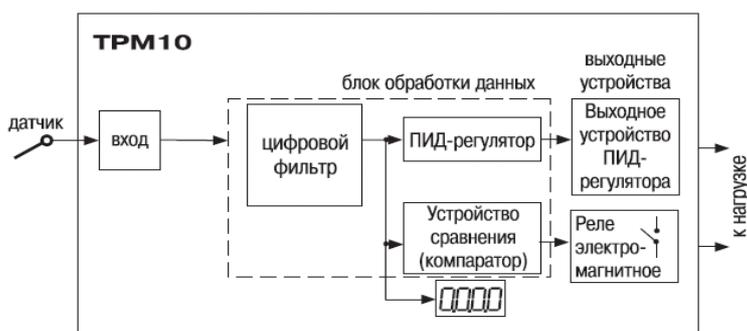


Рис. 3.1. Структурная схема измерителя-регулятора ТРМ10

- блока обработки данных, содержащего цифровой фильтр, ПИД-регулятор и устройство сравнения;
- выходных устройств, предназначенных для управления внешним оборудованием;
- четырёхразрядного светодиодного цифрового индикатора.

Подключение термоэлектрических преобразователей к измерителю-регулятору ТРМ10.

Термоэлектрический преобразователь (термопара) состоит из двух соединённых на одном из концов проводников, изготовленных из металлов, обладающих разными термоэлектрическими свойствами. Соединённые концы, называемые рабочим спаем, опускают в измеряемую среду, а свободные концы термопары (холодный спай) подключают ко входу ТРМ10 (клеммы 10 и 11) (рис. 3.2). Если температуры «рабочего» и «холодного спаев» различны, то термопара вырабатывает термоЭДС, которая и подается на измеритель. Поскольку термоЭДС зависит от разности температур двух спаев термопары, то для получения корректных показаний необходимо знать температуру «холодного спаев», чтобы скомпенсировать эту разницу в дальнейших вычислениях.

В модификациях приборов, предназначенных для работы с термопарами, предусмотрена схема автоматической компенсации температуры свободных концов термопары. Датчиком температуры «холодного спаев» служит полупроводниковый диод, установленный рядом с присоединительным клеммником.

Для улучшения эксплуатационных качеств прибора в блок обработки данных введён цифровой фильтр, позволяющий уменьшить влияние случайных помех на измерение контролируемых величин.

Работа фильтра описывается параметром «глубина цифрового фильтра» N , определяющим количество последних l измерений, для которых

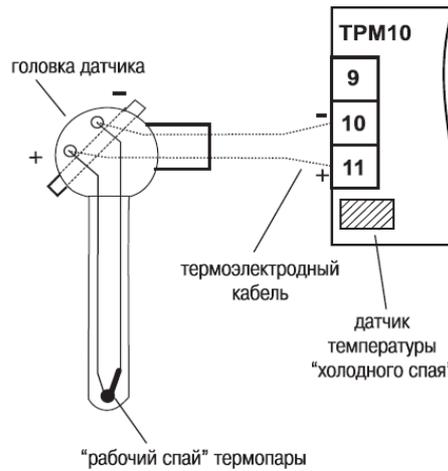


Рис. 3.2. Подключение термоэлектрического преобразователя к измерителю-регулятору ТРМ10

прибор вычисляет среднее арифметическое. Полученная величина поступает на входы ПИД-регулятора и устройства сравнения.

Основные параметры работы ПИД-регулятора.

На выходе регулятора вырабатывается управляющий сигнал Y (выходная мощность), действие которого направлено на уменьшение отклонения текущего значения контролируемой величины от заданного (E_j):

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \left(E_i + \tau_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{изм}} + \frac{1}{\tau_i} \sum_{j=1}^n E_j \Delta t_{изм} \right) \cdot 100 \% , \quad (3.1)$$

где X_p – полоса пропорциональности; E_i – разность между заданным $T_{уст}$ и текущим T_i значением измеряемой величины, или рассогласование; τ_d – постоянная времени дифференцирования; ΔE_i – разность между двумя соседними рассогласованиями E_j и E_{j+1} ; $\Delta t_{изм} = 1,5$ с – время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i+1} ; τ_i – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{j=1}^n E_j$ – накопленная сумма рассогласований.

Из формулы (3.1) видно, что при ПИД регулировании сигнал управления зависит от:

1) E_i – разницы между текущим значением измеряемой величины T_i и заданным значением параметра $T_{уст}$. Отношение $\frac{E_i}{X_p}$ называется пропорциональной составляющей выходного сигнала;

2) накопленной ошибки регулирования $\sum_{j=1}^n E_j \Delta t_{изм}$, которая является дополнительным источником выходной мощности и позволяет добиться максимальной скорости достижения температуры уставки при отсутствии перерегулирования; вы-

ражение $\frac{1}{X_p} \frac{1}{\tau_i} \sum_{j=1}^n E_j \Delta t_{изм}$ называется интегральной составляющей выходного сигнала;

3) скорости изменения параметра $\frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{изм}}}$, вызывающей реакцию регулятора на резкое изменение измеряемого параметра, возникшее, например, в результате внешнего возмущающего воздействия; выражение $\frac{1}{X_p} \tau_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t_{\text{изм}}}$ называется дифференциальной составляющей выходного сигнала.

Для эффективной работы ПИД-регулятора необходимо установить соответствующие для конкретного объекта регулирования значения коэффициентов ПИД-регулятора X_p , τ_d и $\tau_{\text{и}}$, которые пользователь может определить либо в режиме АВТОНАСТРОЙКА, либо ручной настройкой.

Для аналогового управления выходной сигнал ПИД-регулятора преобразуется в пропорциональный ему ток 4 ... 20 мА. Для импульсного управления выходной сигнал преобразуется в последовательность управляющих импульсов с периодом следования $T_{\text{сл}}$ и длительностью каждого импульса D , которая определяется по формуле:

$$D = Y_i \frac{T_{\text{сл}}}{100 \%}. \quad (3.2)$$

Порядок выполнения работы

1. Включить измеритель-регулятор ТРМ10.
2. Войти в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ.
3. Установить значения $\tau_{\text{и}}$, τ_d и X_p равными 0. Установить значение $T_{\text{уст}}$, равным уставке регулятора, т.е. равным тому, которое в дальнейшем будет поддерживать прибор. После перехода в режим регулирования (режим РАБОТА, исполнительный механизм будет включён до тех пор, пока не будет достигнута температура регулирования (уставка) $T_{\text{уст}}$.
4. Включить нагреватель.
5. Измерить t_0 – время от момента включения исполнительного механизма до момента изменения температуры на 1 градус. Измеренное значение занести в табл. 3.1.

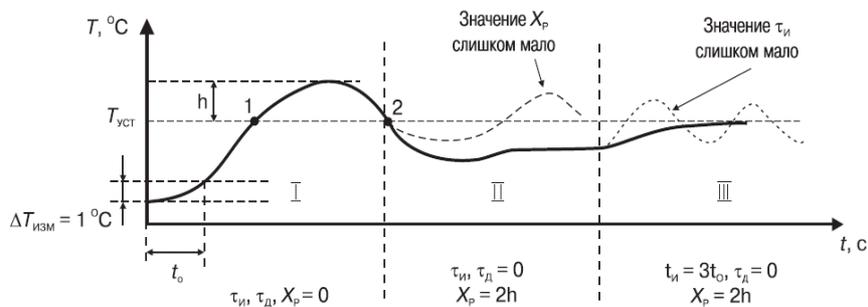


Рис. 3.3. Ручная настройка ПИД-регулятора

6. После выключения исполнительного механизма (точка 1 рис. 3.3) некоторое время температура будет изменяться по инерции. Определить максимальное отклонение температуры от уставки $T_{\text{уст}} - h$ и занести его значение в табл. 3.1.
7. После того как температура вновь станет ниже уставки $T_{\text{уст}}$ (точка 2, рис. 3.3) установить значение $X_p = 2h$ (стадия II на рис. 3.3). Убедитесь, что при данном значении X_p не происходит достижения уставки $T_{\text{уст}}$. В противном случае увеличьте значение X_p .
8. Если при значении $X_p = 2h$ разница между установившейся температурой и уставкой $T_{\text{уст}} > h$ слишком велика, то значение X_p следует уменьшить.
9. Промежуточное и окончательное значение X_p занести в табл. 3.1.
10. Установить значение $\tau_{\text{и}} = 3t_0$. Убедитесь, что при данном значении $\tau_{\text{и}}$ не возникают колебания температуры вокруг уставки (стадия III на рис. 3.3).
11. Для уменьшения колебаний увеличить значение $\tau_{\text{и}}$, для увеличения скорости выхода на уставку – уменьшить $\tau_{\text{и}}$.
12. Промежуточное и окончательное значение $\tau_{\text{и}}$ занести в табл. 3.1.
13. Полученное значение $\tau_{\text{и}}$ разделить на 5 и установить результат в параметр τ_d .
14. Значение τ_d занести в табл. 3.1.
15. Выключить нагреватель и измеритель-регулятор ТРМ10.
16. Составить развёрнутую и упрощённую функциональную схему автоматизации.
17. Сформулировать выводы.

Схема установки

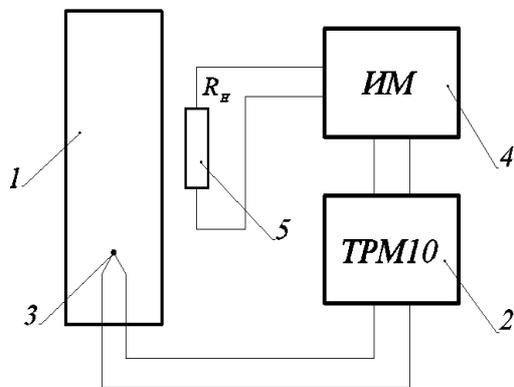


Рис. 3.4. Схема лабораторной установки:

1 – объект автоматического регулирования; 2 – измеритель-регулятор ОВЕН ТРМ10; 3 – термоэлектрический преобразователь ТХА; 4 – исполнительный механизм; 5 – нагреватель резистивного типа

Обработка экспериментальных данных

Таблица 3.1

$T_{уст}$	t_0	h	X_p'	X_p	τ_n'	τ_n	τ_d

Параметры настройки ПИД-регулятора τ_n , τ_d и X_p

$T_{уст}$	X_p	τ_n	τ_d

Развернутая функциональная схема автоматизации

Упрощенная функциональная схема автоматизации

Выводы

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХПОЗИЦИОННОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: овладение навыками проектирования систем автоматического регулирования с использованием двухпозиционного закона управления. Определение параметров настройки двухпозиционного датчика-регулятора.

Приборы и материалы: резистивный нагреватель; ЛАТР; мультиметр с термопарой; индикатор включения нагревателя; исследуемый биметаллический датчик-регулятор.

Методические указания

Регулирование с использованием позиционных законов является одним из наиболее распространённых способов автоматического регулирования. Причиной широкого применения систем позиционного регулирования являются простота их реализации, высокая надёжность в эксплуатации и невысокая стоимость технических средств, входящих в состав этих систем. Область применения подобных систем ограничивается областями, где не требуется высокое качество регулирования технологическими параметрами. Особенно широкое распространение позиционные регуляторы получили для регулирования температуры резистивных электрических печей и других установок с электрообогревом. Они используются также для регулирования таких параметров, как давление, влажность, уровень, величина pH , концентрация веществ в газообразных и жидких средах и т.д.

Схемы двухпозиционного регулирования подразделяются на:

- двухпозиционное регулирование с бесконечно большой чувствительностью (на практике применяется редко);
- двухпозиционное регулирование с гистерезисом;
- прерывистое двухпозиционное регулирование;
- двухпозиционно-статическое регулирование;
- двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной;

Существуют также схемы трех-, четырехпозиционного (n -позиционного) регулирования.

Двухпозиционным автоматическим регулированием называется такое регулирование, при котором управляющее воздействие имеет только два устойчивых положения. Следовательно, приток U вещества или энергии в объект управления (ОУ) в зависимости от некоторой величины Y , например, температуры, в ОУ будет иметь только два значения – максимальное и минимальное.

Двухпозиционное регулирование с гистерезисом заключается в такой работе регулятора, когда управляющее воздействие не строго соответствует регулируемой величине, а изменяется лишь, когда эта величина выходит за пределы некоторого заданного коридора значений, называемого зоной нечувствительности. На рис. 4.1 представлена структурная схема двухпозиционного регулирования, где d – величина зоны нечувствительности регулятора.

Следовательно, для уменьшения амплитуд автоколебательного изменения регулируемой величины требуется выбирать регулятор с наименьшей величиной зоны нечувствительности. Необходимо учитывать, что частота изменения уровня управляющего воздействия увеличивается с уменьшением величины зоны чувствительности. Поэтому иногда, с целью уменьшения частоты и уменьшения износа элементов регулятора и уста-

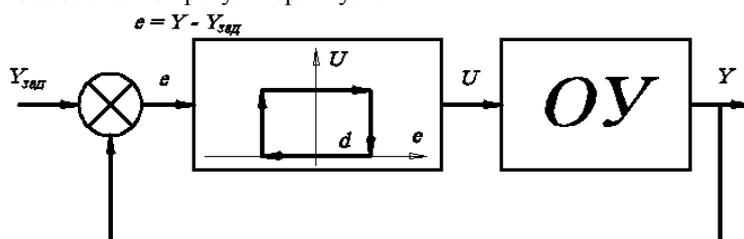


Рис. 4.1. Двухпозиционное регулирование с гистерезисом

новки, диапазон регулирования (зону нечувствительности) искусственно увеличивают.

В схеме прерывистого двухпозиционного регулирования (рис. 4.2) дополнительно используются реле времени, которые принудительно по времени включают или выключают приток массы или энергии. Сигнал с выхода двухпозиционного регулятора подается на входы двух реле времени P1 и P2, притока, причем длительность этих интервалов различна. Таким образом, включение и выключение притока зависит не только от значения регулируемой величины в данный момент времени (как при обычном двухпозиционном регулировании), но и от величин установленных периодов работы реле времени.

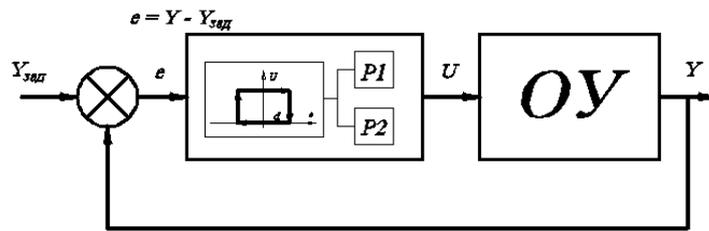


Рис. 4.2. Прерывистое двухпозиционное регулирование

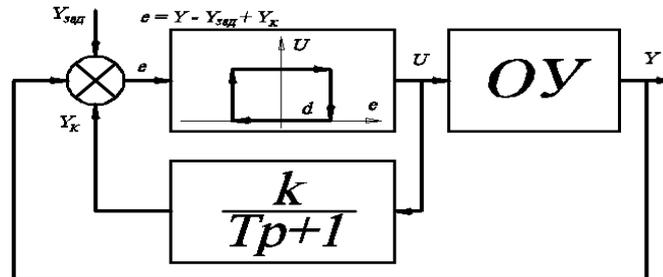


Рис. 4.3. Двухпозиционно-статическое регулирование

Двухпозиционно-статическое регулирование (рис. 4.3) применяется в системах, где ОУ обладает значительным запаздыванием, и, как следствие, амплитуда колебаний регулируемой величины становится недопустимо большой. Сущность двухпозиционно-статического регулирования заключается во введении в систему корректирующего устройства в виде звена экспоненциальной положительной обратной связи, что позволяет снизить амплитуду колебаний и повысить качество регулирования.

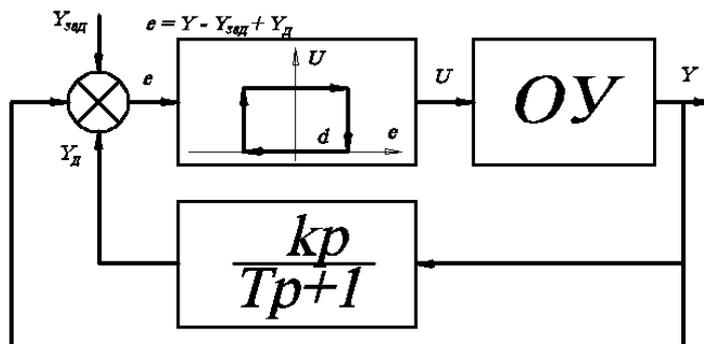


Рис. 4.4. Двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной

Двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной (рис. 4.4) заключается в контроле не только величины регулируемого параметра, но и скорости его изменения во времени.

Порядок выполнения работы

1. Установить термопару внутрь камеры.
2. Подключить термопару к мультиметру.
3. Через индикатор включения подключить резистивный нагреватель к ЛАТР.
4. Включить ЛАТР и установить выходное напряжение, равное 30 В.
5. Последовательно измерить и занести в табл. 4.1 и 4.2 пять температур отключения и пять температур включения биметаллического датчика-регулятора, соответственно.
6. Выключить установку.
7. Рассчитать среднеарифметическое значение температур выключения ($\overline{t_{\text{выкл}}}$) и включения ($\overline{t_{\text{вкл}}}$) биметаллического датчика-регулятора и полученные значения занести в табл. 4.1 и 4.2, соответственно.
8. По методу Стьюдента рассчитать абсолютную ($\Delta t_{\text{выкл}}$, $\Delta t_{\text{вкл}}$) и относительную ($E_{t_{\text{выкл}}}$, $E_{t_{\text{вкл}}}$) статистическую ошибку измерения температур выключения и включения биметаллического датчика-регулятора.

$$S_n = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i^2}{n(n-1)}} \quad \Delta t = \bar{t} S_n \quad (4.1)$$

9. Рассчитать температуру уставки $t_{уст}$ и абсолютную статистическую ошибку $\Delta t_{уст}$ биметаллического датчика-регулятора по формулам:

$$t_{уст} = \frac{\overline{t_{ВЫКЛ}} + \overline{t_{ВКЛ}}}{2} \quad (4.2)$$

и

$$\Delta t_{уст} = \frac{\Delta t_{ВЫКЛ} + \Delta t_{ВКЛ}}{t_{ВЫКЛ} + t_{ВКЛ}} t_{уст}, \quad (4.3)$$

полученный результат занести в табл. 4.3.

10. Сформулировать выводы.

Схема установки

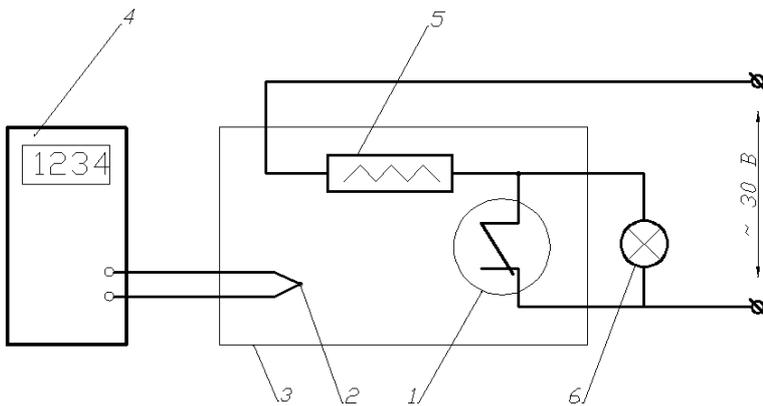


Рис. 4.5. Схема лабораторной установки:

1 – исследуемый биметаллический датчик-регулятор; 2 – термопара; 3 – корпус лабораторной установки; 4 – мультиметр; 5 – резистивный нагреватель; 6 – сигнальное устройство включения нагревателя

Обработка экспериментальных данных

Таблица 4.1

№ п/п	$t_{ВЫКЛ_i}$	$\Delta t_{ВЫКЛ_i}$	$\Delta t_{ВЫКЛ_i}^2$	S_n	$\Delta t_{ВЫКЛ}$
1					
2					
3					
4					
5					
$\overline{t_{ВЫКЛ}}$			$\sum_{i=1}^n \Delta t_{ВЫКЛ_i}^2$		

Таблица 4.2

№ п/п	$t_{ВКЛ_i}$	$\Delta t_{ВКЛ_i}$	$\Delta t_{ВКЛ_i}^2$	S_n	$\Delta t_{ВКЛ}$
1					
2					
3					
4					
5					
$\overline{t_{ВКЛ}}$			$\sum_{i=1}^n \Delta t_{ВКЛ_i}^2$		

Таблица 4.3

$t_{уст}$	$\Delta t_{уст}$

Выводы

Литература: [1; 2; 3; 4; 5; 7].

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодров, В.И. Теория линейных систем автоматического регулирования: лекции к курсу "Теория автоматического управления" : учебник / В.И. Бодров, Т.Я. Лазарева. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 1994. – 215 с.
2. Технические средства автоматизации химических производств / В.С. Балакирев, Л.А. Барский, А.В. Бугров и др. – М. : Химия, 1991. – 272 с.
3. Автоматизация и электрификация сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности : учебник / Л.В. Дворецкая, В.Ф. Калинин, В.И. Загинайлов и др. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 1999. – 116 с.
4. Автоматика и автоматизация производственных процессов / И.И. Мартыненко, Б.Л. Головинский, Р.Д. Проценко, Т.Ф. Резниченко. – М. : Агропромиздат, 1985. – 335 с.
5. Практикум по автоматике и системам управления производственными процессами / под ред. И.М. Масленникова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
6. Промышленные приборы и средства автоматизации : справочник / под ред. В.В. Черенкова. – Л. : Машиностроение, 1987. – 847 с.
7. Кулаков, М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М.В. Кулаков. – М. : Машиностроение, 1984. – 315 с.