

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

(на примере управления тепловыми объектами)

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов дневных и заочных отделений
специальностей 151000, 222000 и 222900*



Тамбов
Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
2012

УДК 681.5 (075)
ББК 32-5я73-5
У677

Р е ц е н з е н т ы:

Доктор технических наук, профессор
С.В. Карпушкин

Доктор технических наук, профессор
С.В. Фролов

С о с т а в и т е л и:

А.В. Щегольков, Е.Н. Туголуков, А.В. Рухов

У677 Управление техническими системами (на примере управления тепловыми объектами): метод. указания / сост. : А.В. Щегольков, Е.Н. Туголуков, А.В. Рухов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 48 с. – 50 экз.

Приведены методические указания к лабораторным работам по техническим средствам автоматизации в области тепло- и электрофизических исследований, изложен порядок их выполнения и обработки опытных данных.

Предназначены для студентов дневных и заочных отделений специальностей 151000, 222000 и 222900.

УДК 681.5 (075)
ББК 32-5я73-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО «ТГТУ»), 2012

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТВЁРДЫХ ТЕЛ БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ

Цель работы: ознакомление с методами измерения температуры твёрдых тел бесконтактным методом, овладение навыками определения степени черноты объекта для настройки ИК- пирометра.

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

Методические указания

Большинство систем автоматического регулирования 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 путём. В связи с этим в большинстве приборов данного класса предусмотрен ввод априори 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 температуру незакрытой лентой части объекта и подберите такую степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с результатом измерения температуры ленты.

3. Если часть объекта может быть окрашена, окрасьте её 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 температуру неокрашенной части объекта и подберите такую степень черноты, чтобы показания пирометра совпали с результатом измерения на окрашенном участке.

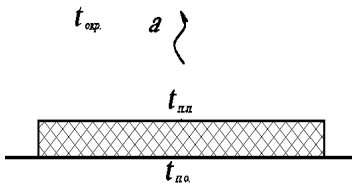


Рис. 1.1. Теплоотдача с поверхности полимерной ленты

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:

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

где λ – коэффициент теплопроводности 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 $\alpha = 2,54\sqrt{\Delta t}$;
- вертикальной поверхности $\alpha = 1,984\sqrt{\Delta t}$,

где $\Delta t = t_{\text{пл}} - t_{\text{окр}}$.

Но так как максимальная разность между температурами на поверхностях полимерной ленты и образца на всем рабочем диапазоне ИК-пирометра Optris СТ 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.

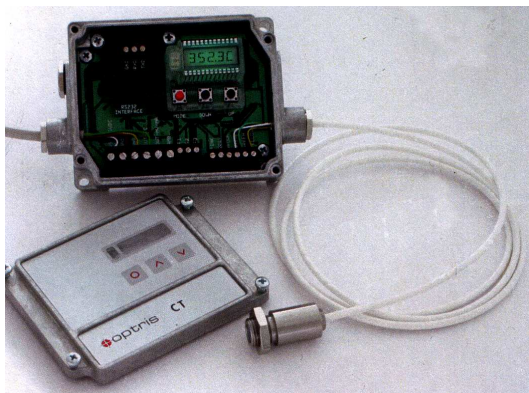


Рис. 1.2. ИК-пирометр Optris СТ

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

Характеристика оптической системы ИК-пирометра Optris СТ 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.

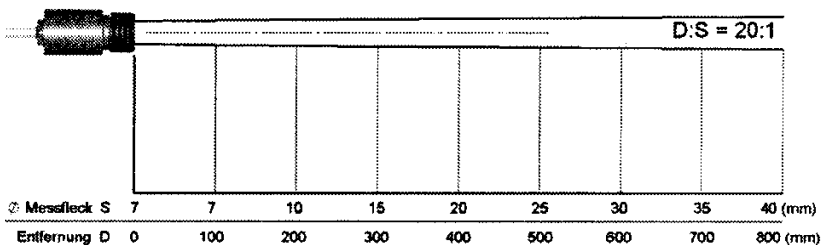


Рис. 1.3. Оптическая характеристика ИК-пирометра Optris CT

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 процессов, а также движущихся объектов;
- пирометр сохраняет точностные характеристики в течение более длительного времени и не подвержен вредным 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.

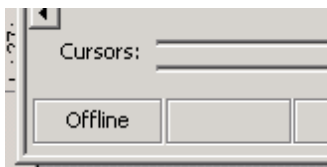


Рис. 1.4. Текущее состояние интерфейса ИК-пирометра

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 про-

верить 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 таблицу.

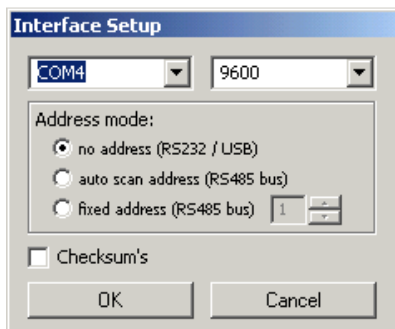


Рис. 1.5. Настройка связи с ИК-пирометром

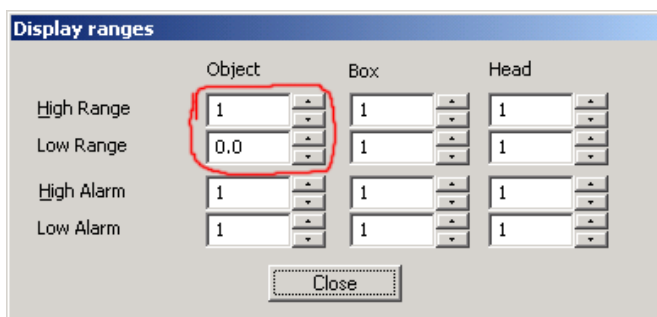


Рис. 1.6. Установка пределов отображения температуры образца

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.

14. Провести измерение температуры поверхности образца в месте приклеенной чёрной ленты с предварительной установкой степени черноты равной 0,95. Полученный результат занести в табл. 1.2.

15. Выполнить калибровку ИК-пирометра с использованием измеренной величины температуры бесконтактным способом. Рассчитанную программой степень черноты образца занести в табл. 1.3.

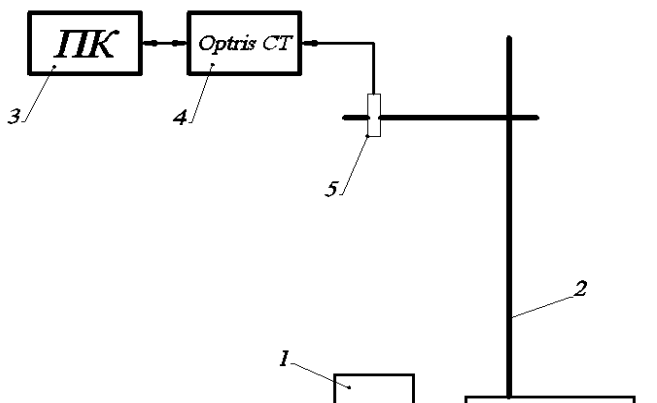


Рис. 1.7. Схема лабораторной установки:

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

16. Рассчитать среднеарифметическое значение степени черноты образца по результатам измерений, проведённых двумя способами. Рассчитанную величину занести в таблицу.

17. Повторить пункты 10 – 16 для других образцов.

18. Выключить компьютер и отсоединить ИК-пирометром от него.

19. Сформулировать выводы.

Обработка экспериментальных данных

Образец № 1: _____

Таблица 1.1

Способ	Измеренная температура t , °С	Степень черноты ε	Средняя степень черноты $\varepsilon_{\text{ср}}$
Контактный			
Бесконтактный			

Образец № 2: _____

Таблица 1.2

Способ	Измеренная температура t , °С	Степень черноты ϵ	Средняя степень черноты $\epsilon_{\text{ср}}$
Контактный			
Бесконтактный			

Образец № 3: _____

Таблица 1.3

Способ	Измеренная температура t , °С	Степень черноты ϵ	Средняя степень черноты $\epsilon_{\text{ср}}$
Контактный			
Бесконтактный			

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 об однозначной зависимости $R = f(t)$, где R – сопротивление ПТС, Ом; t – температура, °С.

Удельная проводимость λ металлов при комнатной температуре меняется примерно в пределах от $6 \cdot 10^3$ до $6 \cdot 10^5$ Ом⁻¹·см⁻¹. Твёрдые вещества с удельной проводимостью примерно от 10^4 до 10^{-10} Ом⁻¹·см⁻¹ принято относить к классу так называемых *полупроводников*, а вещества с еще меньшей λ (приблизительно 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 четвёртой группе периодической системы Менделеева. Это значит, что атом германия имеет во внешнем слое оболочки четыре валентных электрона. Всего же в оболочке 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, то он будет иметь положительный заряд, т.е. станет положительным ионом.

Германий – кристаллическое вещество: атомы германия расположены в его массе 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 заимствован 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 покинуть 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 рисунке 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 своём 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*).

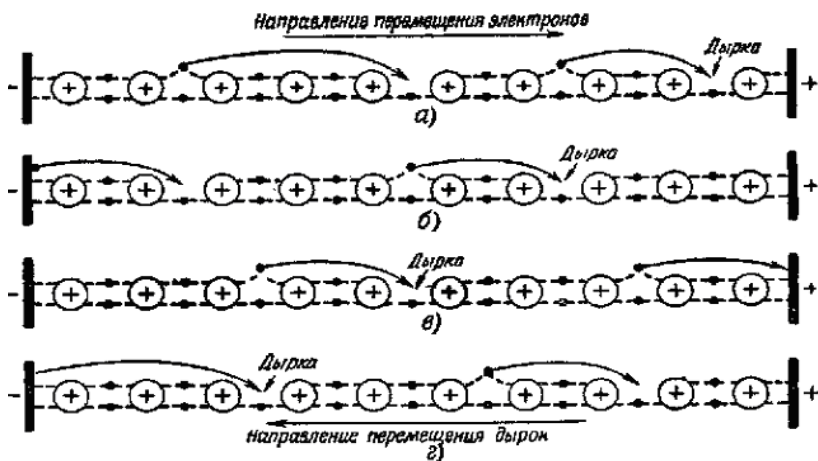


Рис. 2.1. Движение электронов и дырок в полупроводнике

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 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.

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

Другая картина 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 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, еще короче, 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.

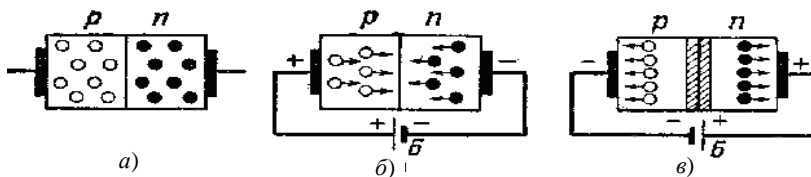


Рис. 2.2. Схематическое изображение полупроводникового диода

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 через пластинку 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 запиорным 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 идёт 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, обеднённая электронами и дырками. Однако небольшой обмен носителями тока между областями германиевой пластинки всё же будет. Поэтому через диод возникнет некото-

рый 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).

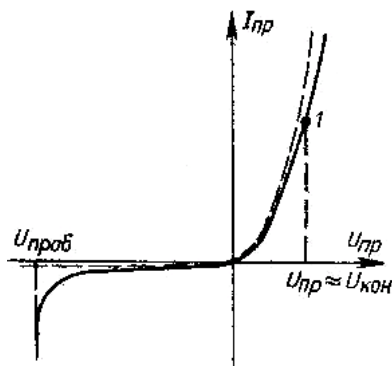


Рис. 2.3. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

Порядок выполнения работы

1. Внимательно изучить инструкцию мультиметра G980M и занести в табл. 2.1 необходимую информацию.

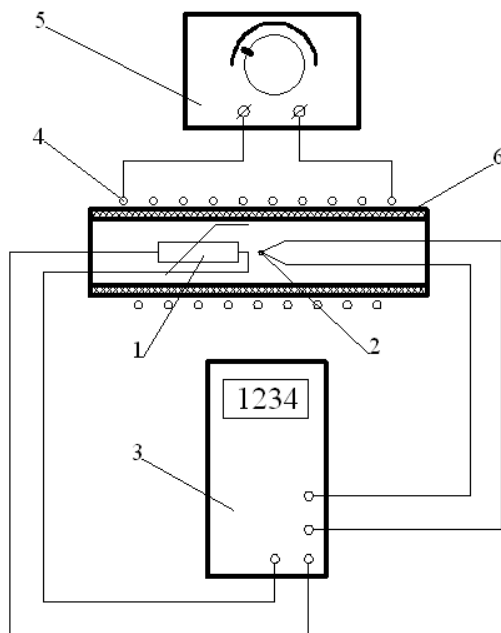


Рис. 2.4. Схема установки:

1 – исследуемый полупроводниковый термометр сопротивления;

2 – термопара; 3 – мультиметр; 4 – резистивный нагреватель;

5 – источник постоянного напряжения 0...12 В; 6 – керамическая трубка

2. Подключить исследуемый полупроводниковый термометр сопротивления (ПТС) к мультиметру по схеме измерения прямого сопротивления $p-n$ -перехода (рис. 2.4).
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.

Обработка экспериментальных данных

Таблица 2.1

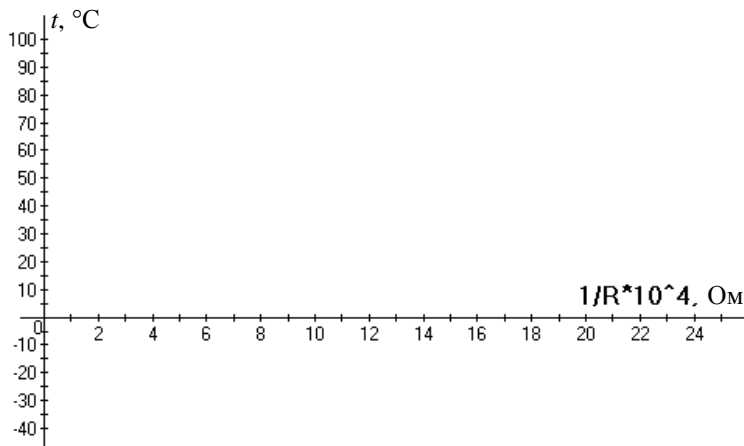
№ п/п	t , °С	$\gamma_{t \text{ пр.}}$, %	Δt , °С	$t - \Delta t$, °С	$t + \Delta t$, °С	R , Ом	$\gamma_{R \text{ пр.}}$, %	ΔR , Ом	$R - \Delta R$, Ом	$R + \Delta R$, Ом
1	0									
2										
3	30									
4	40									
5	50									
6	60									
7	70									
8	80									

10. Установить выходное напряжение на минимум и включить источник постоянного напряжения.

11. Изменяя выходное напряжение источника тока, нагревать ПТС с шагом 10 °С. 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.

13. Построить градуировочный график в координатах $t - 1/R$; где t – температура ПТС, °С; R – сопротивление ПТС, Ом, с указанием полей допусков измеренных величин.



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.

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

Таблица 2.2

a	b

15. Сформулировать выводы.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: овладение навыками проектирования систем автоматического регулирования с использованием непрерывного закона, ознакомление с современным оборудованием автоматического регулирования температуры, определение параметров настройки ПИД-регулятора.

Приборы и материалы: микропроцессорный регулятор ОВЕН ТРМ10, термопара 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 измерения 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:

- входного устройства, предназначенного для обработки сигналов датчика;

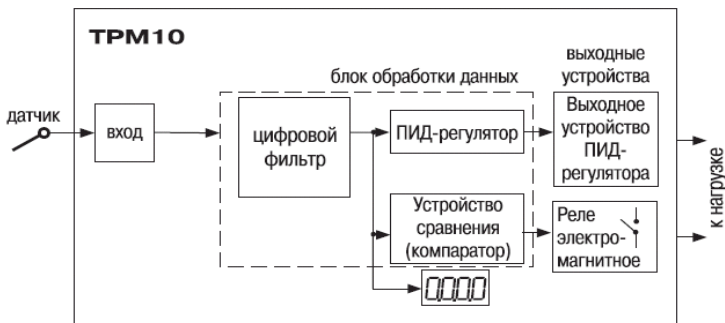


Рис. 3.1. Структурная схема измерителя-регулятора TRM10

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

Подключение термоэлектрических преобразователей к измерителю-регулятору TRM10 представлено на рис. 3.2.

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 TRM10 (клеммы 10 и 11) (рис. 3.2). Если температуры «рабочего» и «холодного спаев» различны, то термопара вырабатывает термоЭДС, которая и подаётся на измеритель. Поскольку термоЭДС зависит от разности температур двух спаев термопары, то для получения корректных показаний необходимо знать температуру «холодного спаев», чтобы компенсировать эту разницу в дальнейших вычислениях.

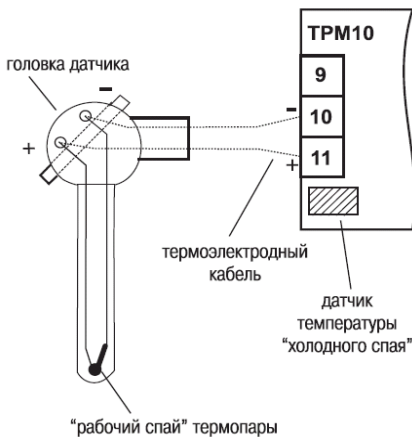


Рис. 3.2. Подключение термоэлектрического преобразователя к измерителю-регулятору TRM10

В модификациях приборов, предназначенных для работы с термопарами, предусмотрена схема автоматической компенсации температуры свободных концов термопары. Датчиком температуры «холодного спая» служит полупроводниковый диод, установленный рядом с соединительным 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 N измерений, для которых 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_i):

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

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

интегрирования; $\sum_{i=1}^n E_i$ – 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 $T_{\text{уст}}$. Отношение $\frac{E_i}{X_p}$ называется пропорциональной составляющей выходного сигнала;

2) накопленной ошибки регулирования $\sum_{i=1}^n E_i \Delta t_{\text{изм}}$, которая является дополнительным источником выходной мощности и позволяет добиться максимальной скорости достижения температуры уставки при отсутствии перерегулирования; выражение $\frac{1}{X_p} \frac{1}{\tau_u} \sum_{i=1}^n E_i \Delta t_{\text{изм}}$ 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 «правильные» для конкретного объекта регулирования значения коэффициентов ПИД-регулятора X_p , τ_d и τ_n , 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 (рис. 3.3).
2. Войти в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ.
3. Установить значения τ_n , 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 °С. Измеренное значение занести в табл. 3.1.
6. После выключения исполнительного механизма (точка 1 на рис. 3.4) 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 на рис. 3.4), установить значение $X_p = 2h$ (стадия II на рис. 3.4). Убедитесь, что при данном значении X_p не происходит достижения уставки $T_{\text{уст}}$. В противном случае увеличьте значение X_p .

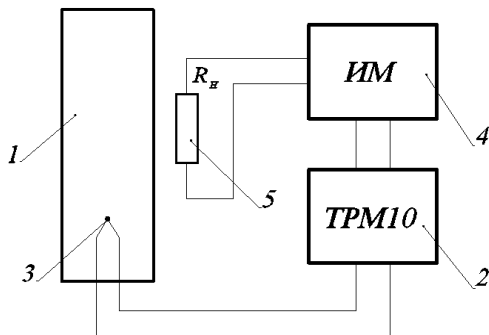


Рис. 3.3. Схема лабораторной установки:

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_o	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

8. Если при значении $X_p = 2h$ разница между установившейся температурой и уставкой $T_{уст} > h$ слишком велика, то значение X_p следует уменьшить.

9. Промежуточное и окончательное значение X_p занести в табл. 3.1.

10. Установить значение $\tau_n = 3t_o$. Убедиться, что при данном значении τ_n не возникают колебания температуры вокруг уставки (стадия III на рис. 3.4).

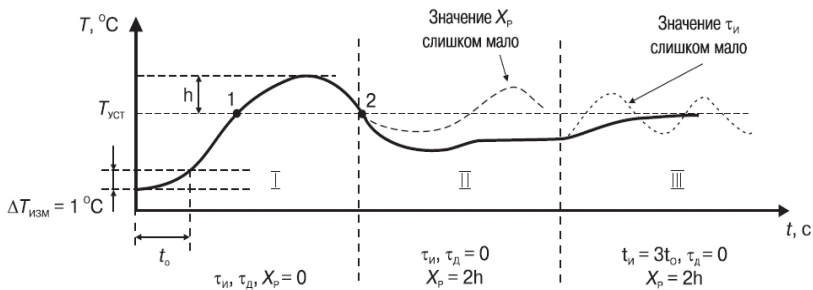


Рис. 3.4. Ручная настройка ПИД-регулятора

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 $\tau_{\text{д}}$.
14. Значение $\tau_{\text{д}}$ занести в табл. 3.1.
15. Выключить нагреватель и измеритель-регулятор ТРМ10.
16. Составить развёрнутую и упрощённую функциональные схемы автоматизации.
17. Сформулировать 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 G980M с термопарой ХК; индикатор включения нагревателя; биметаллический датчик.

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 технологических параметров. Особенно широкое распространение позиционные регуляторы получили для регулирования температуры электрических печей сопротивления и других установок с электрообогревом. Они используются также для регулирования таких параметров, как: давление, влажность, уровень, величина рН, 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 трёх-, четырёхпозиционного (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 рисунке 4.1 представлена структурная схема двухпозиционного регулирования, где d – величина зоны нечувствительности регулятора.

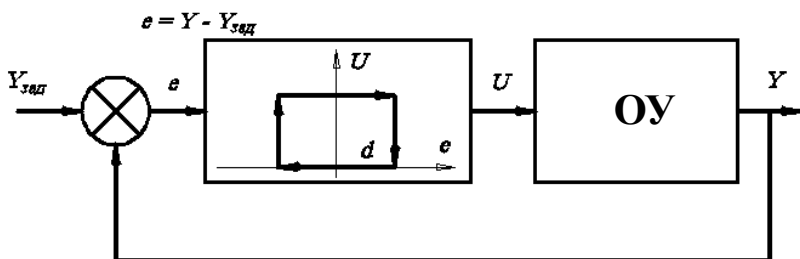


Рис. 4.1. Двухпозиционное регулирование с гистерезисом

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 установки, 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 подаётся на входы двух реле времени P1 и P2, причём 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.

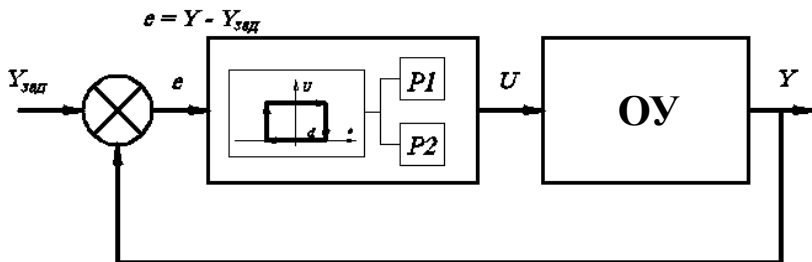


Рис. 4.2. Прерывистое двухпозиционное регулирование

Двухпозиционно-статическое регулирование (рис. 4.3) применяется в системах, где $OУ$ 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.

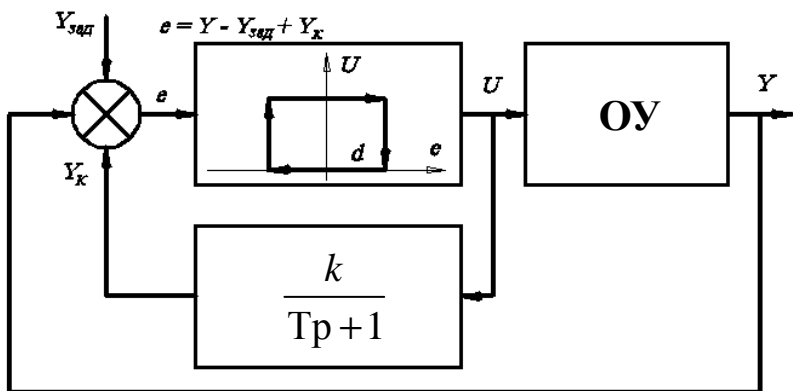


Рис. 4.3. Двухпозиционно-статическое регулирование

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.

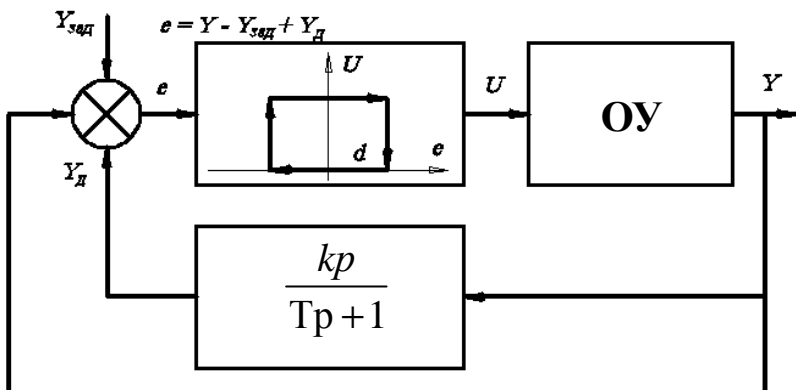


Рис. 4.4. Двухпозиционное регулирование с дополнительным воздействием по первой производной

Порядок выполнения работы

1. Установить термопару внутрь камеры (рис. 4.5).
2. Подключить термопару к мультиметру G980M.
3. Через индикатор включения подключить резистивный нагреватель к ЛАТР.

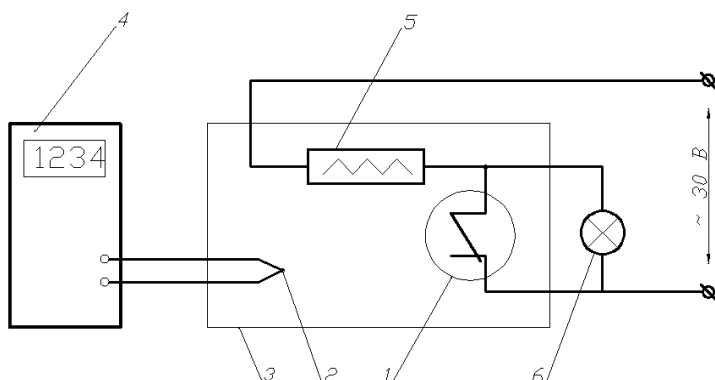


Рис. 4.5. Схема лабораторной установки:

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

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.

Обработка экспериментальных данных

Таблица 4.1

№ п/п	$t_{\text{выкл}_i}$	$\Delta t_{\text{выкл}_i}$	$\Delta t_{\text{выкл}_i}^2$	S_n	$\Delta t_{\text{выкл}}$
1					
2					
3					
4					
5					
— $t_{\text{выкл}}$			$\sum_{i=1}^n \Delta t_{\text{выкл}_i}^2$		

Таблица 4.2

№ п/п	$t_{\text{вкл}_i}$	$\Delta t_{\text{вкл}_i}$	$\Delta t_{\text{вкл}_i}^2$	S_n	$\Delta t_{\text{вкл}}$
1					
2					
3					
4					
5					
— $t_{\text{вкл}}$			$\sum_{i=1}^n \Delta t_{\text{вкл}_i}^2$		

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 $t_{\text{уст}}$ и абсолютную статистическую ошибку $\Delta t_{\text{уст}}$ биметаллического датчика-регулятора по формулам:

$$t_{\text{уст}} = \frac{\overline{t_{\text{выкл}}} + \overline{t_{\text{вкл}}}}{2}; \quad (4.2)$$

$$\Delta t_{\text{уст}} = \frac{\Delta t_{\text{выкл}} + \Delta t_{\text{вкл}}}{\overline{t_{\text{выкл}}} + \overline{t_{\text{вкл}}}} t_{\text{уст}}, \quad (4.3)$$

полученный результат занести в табл. 4.3.

10. Сформулировать выводы.

Таблица 4.3

$t_{\text{уст}}$	$\Delta t_{\text{уст}}$

ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ПОСТРОЕННЫЕ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА

Цель работы: изучение первичных измерительных преобразователей, построенных на эффекте Холла.

Приборы и материалы: источник питания; ЛАТР; мультиметр G980M с термопарой ХК.

Методические указания

Широкое применение ферромагнитных материалов в различных областях техники привело к развитию самостоятельной области электрических измерений – магнитных измерений.

Наибольшее применение получили преобразователи, использующие явления электромагнитной индукции; гальваномагнитный эффект (эффект Холла); измерение магнитных свойств материалов при одновременном воздействии на них переменного и постоянного магнитных полей; внутриатомные взаимодействия.

Гальваномагнитные явления возникают в полупроводниках при одновременном воздействии электрического и магнитного полей, а термомагнитные явления – при одновременном воздействии магнитного и теплового полей. К гальваномагнитным явлениям относятся эффекты Холла, Эттингсгаузена, а к термомагнитным – эффекты Риги–Ледюка, Нернста–Эттингсгаузена.

Существуют различные способы измерения магнитного поля. В данной лабораторной работе магнитное поле соленоида измеряется с помощью первичного измерительного преобразователя (ПИП) Холла. Эффект Холла – это возникновение в металле или полупроводнике с током плотностью \vec{j} , помещённом в магнитное поле \vec{B} , электрического поля с напряжением, перпендикулярным \vec{B} и \vec{j} . Поместим металлическую пластинку с током плотностью \vec{j} в магнитное поле \vec{B} , перпендикулярное \vec{j} (рис. 5.1). При данном направлении тока скорость носителей тока в металле, электронов, направлена справа налево. Электроны испытывают действие силы Лоренца ($\vec{F} = e[\vec{v}\vec{B}]$), которая в данном случае направлена вверх. Таким образом, у верхнего края

пластинки возникает повышенная концентрация электронов, а у нижнего – их недостаток, и, следовательно, верхний край зарядится отрицательно, а нижний – положительно. В результате этого между краями пластинки возникает дополнительное поперечное электрическое поле, направленное снизу вверх. Когда напряжённость E_v этого поперечного поля достигает такой величины, что его действие на заряды будет уравновешивать силу Лоренца, то установится стационарное распределение зарядов в поперечном направлении.

Условие равновесия

$$eE_v = evB, \quad (5.1)$$

где $E_v = \frac{\Delta\phi_x}{a}$, a – ширина пластины; $\Delta\phi_x$ – поперечная (ЭДС Холла)

разность потенциалов между верхней и нижней поверхностями.

Разность потенциалов $\Delta\phi_x \equiv U_x$ (электрическое напряжение) называют как ЭДС Холла, так и холловской разностью потенциалов.

В соответствии с (5.1)

$$U_x = vBa. \quad (5.2)$$

С учётом того, что сила тока $I = jS = n' evS$ (S – площадь поперечного сечения пластинки толщиной d ; n' – концентрация электронов; v – средняя скорость упорядоченного движения электронов), получим

$$U_x = \frac{IBa}{\pi ead} = \frac{1}{en'} \frac{IB}{d} = K_x \frac{IB}{d}, \quad (5.3)$$

т.е. U_x прямо пропорциональна магнитной индукции B ; $K_x = \frac{1}{en'}$ – постоянная Холла, зависящая от вещества. С другой стороны:

$$K_x = \frac{U_x d}{BI}. \quad (5.4)$$

Таким образом, если величина K_x известна, то измеряя холловскую разность потенциалов, можно определить величину магнитного поля

$$B = \frac{U_x d}{RI}. \quad (5.5)$$

Из формул (5.4) и (5.5) следует, что большей чувствительностью к магнитному полю обладают датчики Холла с низкой концентрацией

носителей зарядов n' . У полупроводниковых материалов n' на несколько порядков меньше, чем у металлов, и соответственно во столько же раз больше возникающая ЭДС Холла, поэтому на практике датчики Холла изготавливают из полупроводниковых материалов.

При отсутствии магнитного поля ЭДС Холла равна нулю. Однако вследствие различных причин (например, недостаточно точной установки выходных электронов датчика на одной эквипотенциальной поверхности) измерительный прибор может показать некоторую разность потенциалов U_0 даже при $B = 0$. А при $B \neq 0$ показания прибора, измеряющего разность потенциалов, составляют

$$U = U_x + U_0 = U_0 + K_x \frac{I}{d} B, \quad (5.6)$$

т.е. U линейно зависит от B и, следовательно, изменение $\Delta U = K_x \frac{I}{d} \Delta B$ и $K_x = \frac{\Delta U}{\Delta B} \frac{d}{I}$. Отношение $\frac{\Delta U}{\Delta B}$ может быть определено из графика зависимости U от B , полученного на основе экспериментальных измерений. При линейной зависимости U от B отношение $\frac{\Delta U}{\Delta B}$ есть тангенс угла наклона прямой, а U_0 – значение U при $B = 0$.

Описание установки

Принципиальная схема установки приведена на рис. 5.1. Соленоид I подключён к универсальному блоку питания 2. Соленоид имеет 2300 витков, намотанных проводом диаметром 1,18 мм в двадцать сло-

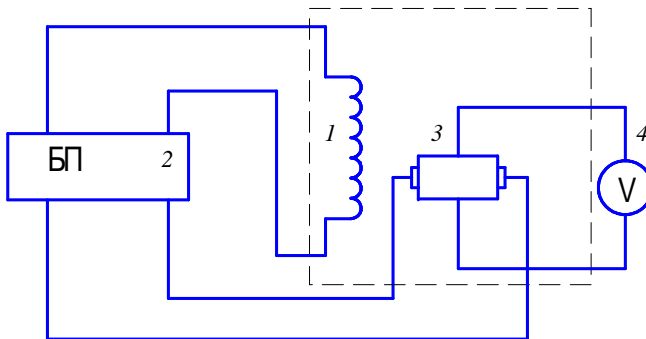


Рис. 5.1. Схема установки

ёв, и имеет постоянную K_c , равную $1,3 \cdot 10^{-2}$ Тл/А. Через соленоид протекает постоянный ток, величина которого задаётся с помощью регулятора, расположенного на передней панели блока питания, а измеряется амперметром, встроенным в блок питания.

Датчик Холла 3, с помощью которого измеряется величина магнитного поля внутри соленоида, представляет собой полупроводниковую небольшую пластинку толщиной $d = 0,2$ мм с напыленными металлическими контактами, два из которых являются токовыми, а два других – потенциальными. Токовые контакты подключаются к блоку питания 2, и через датчик Холла течет постоянный ток $I_{\text{дат}}$ величиной 90 мА. Холловская разность потенциалов измеряется цифровым вольтметром 4. Датчик укреплен на специальном держателе и находится внутри соленоида. Конструкция держателя позволяет перемещать датчик вдоль оси соленоида от одного его конца до другого. Держатель имеет линейку с ценой деления 10 мм. Соленоид с датчиком Холла укреплен в специальном корпусе.

Порядок выполнения работы

I. Определение постоянной Холла (R).

1. Поместить датчик Холла в центре соленоида.
2. Изменяя ток через соленоид в пределах от 0 до 3 А, измерить с помощью вольтметра соответствующие значения холловской разности потенциалов. Провести 5-6 подобных измерений, результаты занести в табл. 5.1.

3. По известным значениям тока, используя формулу (5.5), рассчитать значения магнитного поля, результаты занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

I	U_x	B	I	U_x	B	I	U_x	B

4. Построить график зависимости холловской разности потенциалов от величины магнитного поля ($U_x = f(B)$).

5. Из графика рассчитать тангенс угла наклона прямой U_x от B , как $\text{tg}\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta B}$ и величину U_0 как значение $U(0)$.

6. Рассчитать величину постоянной Холла для датчика по формуле

$$K_x = \text{tg}\alpha \frac{d}{I_{\text{дат}}}.$$

II. Исследование зависимости индукции магнитного поля на оси соленоида от координаты.

1. В соответствии с указанием преподавателя задать величину тока в соленоиде.

2. Изменяя положение датчика Холла от одного края соленоида до другого, вдоль его с шагом $\Delta L = 10$ мм измерить показания вольтметра U . Рассчитать значения холловской разности потенциалов с учётом U_0 . Значения U_x занести в табл. 5.2.

3. Рассчитать величину поля на оси соленоида, используя формулы (5.2) – (5.5). Результаты занести в табл. 5.2.

4. Построить график зависимости $B(Z)$.

Таблица 5.2

Z	U_x	B	Z	U_x	B	Z	U_x	B

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКИХ СРЕД

Цель работы: изучение принципов действия устройств для измерения уровня жидких сред.

Приборы и материалы: уровнемер, бак и регулирующий прибор ТРМ 148.

Методические указания

Для ведения технологических процессов большое значение имеет контроль за уровнем жидкостей в производственных аппаратах. Кроме того, зная площадь ёмкости, по величине уровня можно определить количество вещества в ней. Часто по условиям технологического процесса нет необходимости в измерении уровня по всей высоте аппарата. В таких случаях применяют узко предельные, но более точные уровнемеры. Особую группу составляют сигнализаторы уровня, предназначенные для дистанционного контроля и сигнализации достижения заданных предельных значений уровня (в точке установки первичного преобразователя) с выдачей дискретного сигнала (светового, звукового, электрического или пневматического).

Для измерения уровня жидкости применяют поплавковые, буйковые, гидростатические, акустические, электрические (ёмкостные, резонансные, резистивные), вибрационные и радиоизотопные приборы.

Поплавковые уровнемеры. В поплавковых уровнемерах имеется плавающий на поверхности жидкости поплавок, в результате чего измеряемый уровень преобразуется в перемещение поплавка. В таких средствах измерения используется лёгкий поплавок, изготовленный из коррозионно-стойкого материала. Показывающее устройство соединено с поплавком тросом или с помощью рычагов. Поплавковыми уровнемерами можно измерять уровень жидкости в открытых ёмкостях.

Буйковые уровнемеры. В буйковых уровнемерах (рис. 5.1) применяется неподвижный погружённый в жидкость буйёк 1. Принцип действия буйковых уровнемеров основан на том, что на буйёк действует со стороны жидкости выталкивающая сила F_A . По закону Архимеда эта сила равна весу жидкости, вытесненной буйком:

$$F_A = \rho g V, \quad (6.1)$$

где ρ – плотность жидкости; V – объём поплавка.

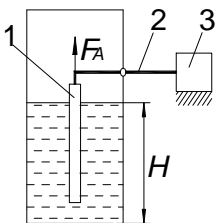


Рис. 6.1. Схема буйкового уровнемера

первого уровнемера – унифицированный пневматический (давление 0,02...01 МПа), второго – унифицированный электрический (например, постоянный ток 4...20 или 0...5 мА). Принцип действия буйковых уровнемеров позволяет в широких пределах изменять их диапазон измерения. Это достигается как заменой буйка, так и изменением передаточного отношения рычажного механизма промежуточного преобразователя. Уровнемеры УБ могут измерять уровень в пределах от 40 мм до 16 м.

Гидростатические уровнемеры. Гидростатический способ измерения уровня основан на том, что гидростатическое давление P в жидкости пропорционально глубине H , т.е. расстоянию от поверхности жидкости

$$P = \rho g H. \quad (6.2)$$

Для измерения уровня гидростатическим способом могут быть использованы средства измерения давления или перепада давлений. Поэтому такие уровнемеры называют также дифманометрическими.

При включении дифманометра I по схеме, показанной на рис. 6.2, *а*, перепад давления ΔP на нём будет равен гидростатическому давлению жидкости, которое пропорционально измеряемому уровню H .

Если жидкость в ёмкости находится под избыточным давлением, то дифманометр I включают по схеме, приведённой на рис. 6.2, *б*, причём его плюсовую камеру соединяют с пространством над жидкостью через уравнильный сосуд 2. Этот сосуд заполняют жидкостью, столб которой создаёт постоянное гидростатическое давление в плюсовой камере дифманометра. Поэтому измеряемый перепад давлений ΔP , равный разности гидростатических давлений жидкости в камерах дифманометра, будет пропорционален разности между уровнем H_{\max} в уравнильном сосуде и измеряемым уровнем H . Так как уровень в уравнильном сосуде постоянен и известен, то его всегда можно учесть в показаниях прибора.

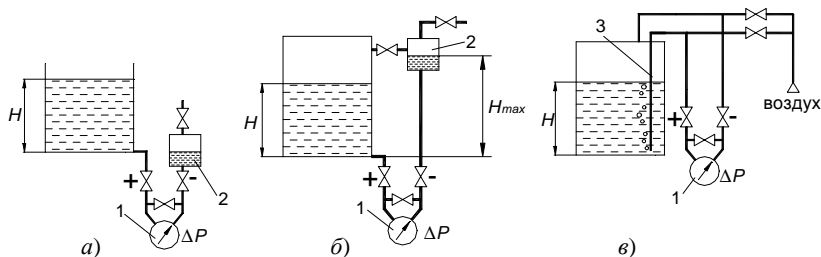


Рис. 6.2. Схемы гидростатических уровнемеров

При измерении уровня агрессивных жидкостей дифманометр защищается разделительными сосудами или мембранными разделителями, что позволяет заполнить его камеры и трубки неагрессивной жидкостью.

При измерении уровня суспензий и шламов, осадки которых могут забивать импульсные трубки дифманометров, их непрерывно продувают сжатым воздухом. В этом случае дифманометр 1 включают по схеме, приведённой на рис. 6.2, в. Импульсные (пьезометрические) трубки 3 всё время заполнены продуваемым воздухом. При небольшом расходе воздуха его давление в минусовой камере оказывается равным давлению над жидкостью в ёмкости, а в плюсовой – давлению в жидкости. Поэтому перепад давлений ΔP в дифманометре будет равен гидростатическому давлению жидкости и, следовательно, пропорционален измеряемому уровню H . Такие уровнемеры часто называются пневмометрическими.

Уровень можно измерять и без дополнительного уравнивающего сосуда. Для этого манометр устанавливается непосредственно на стенке нижней части ёмкости.

Ёмкостные уровнемеры. Работа уровнемеров основана на различии диэлектрических проницаемостей жидкостей и газов. Простейший первичный преобразователь уровня ёмкостного типа представляет собой электрод 1 (металлический стержень), коаксиально расположенный в вертикальной металлической трубке 2 (рис. 6.3). Стержень вместе с трубкой образует конденсатор. Ёмкость такого конденсатора зависит от уровня жидкости, так как при его изменении от нуля до максимума диэлектрическая проницаемость будет изме-

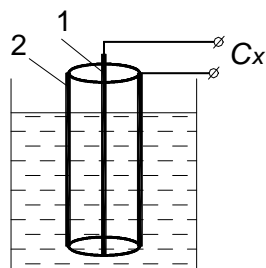


Рис. 6.3. Схема ёмкостного уровнемера

няться от значения диэлектрической проницаемости газа (воздуха) до значения диэлектрической проницаемости жидкости:

$$C = \epsilon S / d , \quad (6.3)$$

где ϵ – коэффициент диэлектрической проницаемости среды; S – площадь поверхности электродов конденсатора; d – расстояние между ними.

Для измерения уровня электропроводящих или агрессивных сред электроды покрываются изолирующими обкладками (фторопласт, винипласт и т.д.). Электрическую ёмкость измеряют обычно с помощью резонансных схем. Первичный преобразователь – конденсатор включается параллельно с катушкой индуктивности. При этом образуется резонансный контур, настроенный в резонанс с частотой питающего напряжения при определённой начальной ёмкости. Изменение ёмкости первичного преобразователя приводит к изменению собственной частоты контура и срыву резонанса.

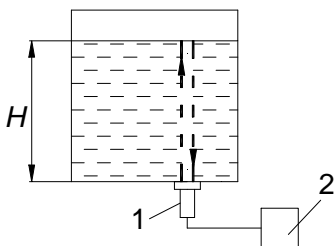


Рис. 6.4. Схема ультразвукового уровнемера

Акустические уровнемеры. Действие уровнемеров (рис. 6.4) основано на измерении времени τ прохождения импульса акустической волны от излучателя до границы раздела фаз (поверхность жидкости – газ) и обратно:

$$\tau = 2H / v , \quad (6.4)$$

где v – скорость распространения волны, зависящая от свойств среды (сжимаемость, давление, температура и т.д.).

При приёме отражённого импульса излучатель становится чувствительным датчиком (приёмником). Если излучатель расположен внутри жидкости, то используется ультразвуковой диапазон волн и уровнемер называется ультразвуковым, если над жидкостью – используется акустический диапазон волн. Ультразвуковой уровнемер состоит из пьезоэлектрического излучателя 1, совмещённого с приёмником, электронного блока 2, в который входят: генератор частоты, генератор импульсов, приёмный усилитель и измеритель времени.

Электрические и акустические уровнемеры часто применяют как сигнализаторы уровня.

Описание лабораторной установки

Общий вид установки и щита КИП показаны на рис. 6.5. Функциональная схема установки представлена на рис. 6.6.

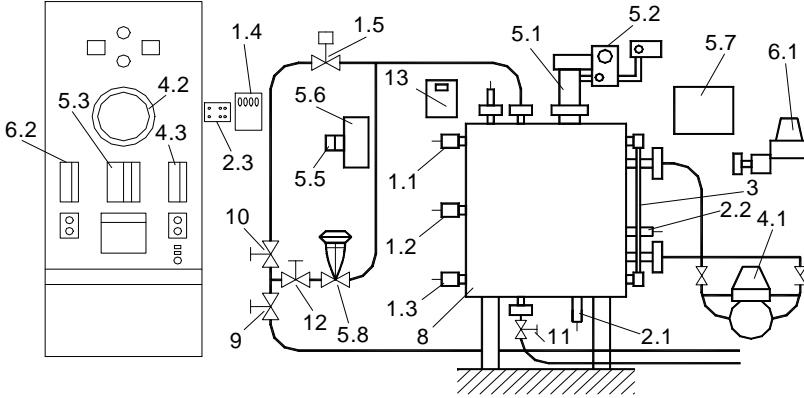


Рис. 6.5. Общий вид лабораторной установки и щита КИП

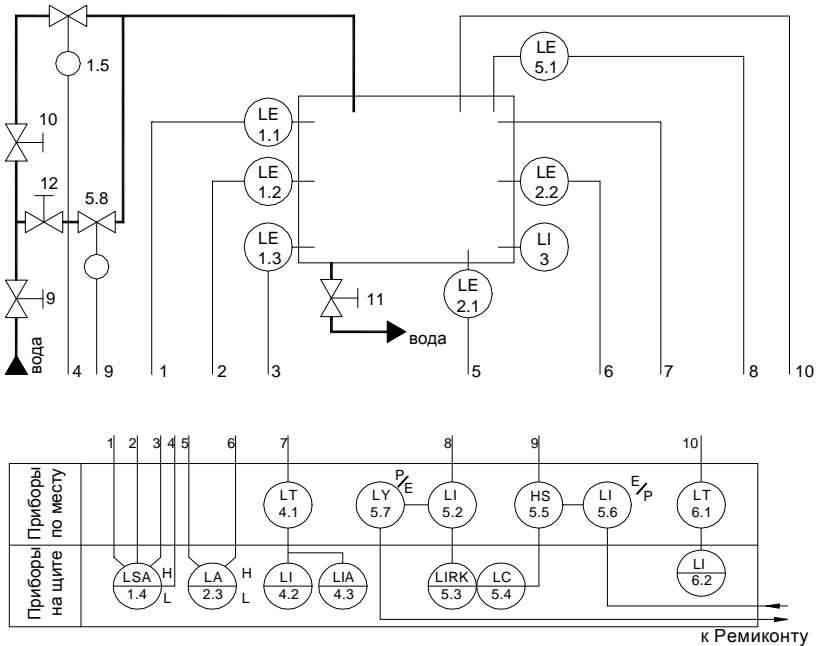


Рис. 6.6. Функциональная схема лабораторной установки

Объектом контроля и регулирования является бак 8, в который при открытых вентилях 9, 10 по трубопроводу поступает вода. Вентиль 11 должен быть закрыт. На трубопроводе установлен отсечной клапан 12, перекрывающий подачу жидкости, когда уровень достигает верхнего значения. На дополнительном трубопроводе установлен регулирующий клапан 5.8 с мембранным пневмоприводом. Слив воды из бака осуществляется по трубопроводу через вентиль 11.

В работе изучаются следующие уровнемеры и сигнализаторы:

1. Буйковый уровнемер 5.1, 5.2 типа УБ-П. Для регистрации величины уровня используется вторичный пневматический прибор 5.3 типа ПВ.10.1Э.

2. Гидростатический дифманометрический уровнемер 4.1 типа ДМ-П2, показывающий пневматический прибор 4.2 типа ППВ.1.2 и показывающий пневматический с сигнализацией 4.3 типа ППВ.1.4.

3. Гидростатический пневмометрический уровнемер, в состав которого входят пневматический измерительный преобразователь разности давления 6.1 типа 1ЗДД11 и показывающий пневматический прибор 6.2 типа ППВ.1.4.

4. Акустический двухканальный сигнализатор 2.1 – 2.3 заданного уровня жидкости типа ЗВУК-М2.

5. Ёмкостные трёхканальные сигнализаторы 1.1 – 1.4 предельных значений уровня жидкости типа ЕР-53N1057Z.

На крышке бака имеется три фланца. Левый фланец предназначен для ввода в бак пьезометрической трубки, через которую продувается воздух при работе гидростатического пневмометрического уровнемера 6.1. Средний фланец обеспечивает подачу воды по трубопроводу. Правый фланец предназначен для ввода в бак буйка 5.1 буйкового уровнемера 5.2. Слева в стенке бака вмонтировано три электрода 1.1 – 1.3 ёмкостного сигнализатора уровня 1.4.

Справа на стенке бака имеются два фланца, которые используются при измерении уровня жидкости дифманометрическим уровнемером 4.1. Здесь же смонтирована водомерная трубка 3 для визуальной регистрации уровня в баке.

Датчики двухканального акустического уровнемера 2.1 и 2.2 смонтированы в нижней и правой частях бака.

При достижении уровнем жидкости верхнего предельного положения включается табло 13 ПЕРЕЛИВ и происходит отсечка подачи воды в бак клапаном 1.5.

На щите КИП расположены регистрирующие и самопишущие приборы, а также вспомогательные устройства и блоки, размещаемые, как правило, на обратной стороне щита.

Дополнительно на базе буйкового уровнемера установлена одноконтурная система автоматического регулирования (САР) уровня. Она состоит из первичных измерительных преобразователей уровня 5.1, 5.2 – буйкового уровнемера УБ-П, вторичного пневматического показывающего и регистрирующего прибора (ВП) 5.3 типа ПВ.10.1 со встроенной станцией управления, пневматического автоматического регулятора (АР) 5.4 типа ПР.3.31 и регулирующего пневматического клапана 5.8.

Вторичный прибор имеет три вертикальные шкалы. Он обеспечивает показания (по левой шкале) или запись на диаграммной ленте текущего значения регулируемой величины P_y , указание сигнала задания (по средней шкале) P_z и выходного сигнала (по правой шкале) P_p . Станция управления ВП предназначена для обеспечения работы АР в трёх режимах (ручного дистанционного управления – Р, автоматического регулирования – А и программного регулирования – АП) и для плавного перехода с одного режима на другой. Органами управления станции управления являются пятикнопочный переключатель и ручной задатчик. При ручном управлении регулирующей сигнал P_p формируется задатчиком, а при автоматическом и программном регулировании – автоматическим регулятором (АР).

Сигнал задания P_z при автоматическом режиме устанавливается задатчиком, а при программном регулировании – программным задатчиком. Кнопки переключателя расположены слева направо в следующем порядке: Р – ручное управление, А – автоматическое регулирование, АП – программное регулирование, ВКЛ – включение регулятора и ОТКЛ – отключение регулятора.

Одновременно могут быть включены только две кнопки: одна из кнопок Р, А или АП и одна из кнопок ВКЛ или ОТКЛ. При ручном управлении, а также во всех промежуточных положениях, АР должен быть отключен: нажата кнопка ОТКЛ.

Для установки режима ручного управления кнопкой ОТКЛ отключают выход АР от ИУ и, нажав кнопку Р, подают на ИУ сигнал от задатчика, определяя его величину P_p по правой шкале ВП. По левой шкале ВП определяют текущее значение технологической переменной P_y .

При переходе с ручного режима на автоматическое регулирование кнопкой А отсекают выход задатчика от ИУ и сообщают его со шкалой задатчика прибора и АР. Следя по левой и средней шкалам ВП, устанавливают задатчиком сигнал задания P_z равным P_y для избежания гидравлического удара на линии ИУ и, нажимая кнопку ВКЛ, соединяют выход АР и ИУ с левой шкалой ВП.

При переходе с автоматического режима регулирования на ручное управление кнопкой ОТКЛ отключают АР, ручным задатчиком по шкале задания ВП устанавливают давление, равное давлению P_p в линии ИУ и, нажав кнопку Р, переходят на ручное управление объектом.

Пневмоэлектрический преобразователь 5.7 типа ППЭ-2 и электропневматический преобразователь 5.6 типа ЭПП предназначены для работы в составе САР с управлением от микропроцессорного контроллера РЕМИКОНТ Р-100.

Методика проведения работы и обработки экспериментальных данных

В ходе лабораторной работы по указанию преподавателя необходимо экспериментально определить статическую характеристику, чувствительность и пороговую чувствительность уровнемера.

Перед определением статической характеристики уровнемера следует определить такое положение уровня с помощью водомерной трубки, при котором стрелка уровнемера будет находиться против нулевой отметки. Затем постепенно повышают уровень жидкости, отмечая при этом значения уровня по шкале прибора α_n и соответствующие им величины по водомерной трубке H . Эти измерения проводятся при повышении и понижении уровня. Экспериментальные данные записываются в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Уровень жидкости по шкале прибора, %	Уровень жидкости по шкале уровнемерной трубки H , м			
	При повышении уровня	При понижении уровня	При повышении уровня	Среднее значение уровня
1	2	3	4	5

По результатам эксперимента строится статическая характеристика (рис. 6.7)

$$\alpha_n = f(H). \tag{6.5}$$

С помощью статической характеристики находится чувствительность уровнемера в средней части характеристики

$$S = \lim_{\Delta H} \frac{\Delta \alpha_{\Pi}}{\Delta H} = \frac{d\alpha_{\Pi}}{dH} = \frac{m_{\alpha}}{m_H} \operatorname{tg} \beta, \quad (6.6)$$

где m_{α} , m_H – масштабы графика на соответствующих осях; β – угол наклона касательной.

Если характеристика линейная, то чувствительность – величина постоянная во всем диапазоне шкалы прибора:

$$S = \frac{\Delta \alpha_{\Pi}}{\Delta H}. \quad (6.7)$$

Для экспериментального определения пороговой чувствительности уровнемера следует так изменить положение уровня жидкости, чтобы вызвать видимое перемещение стрелки уровнемера (половина деления шкалы). Величина этого перемещения уровня и составляет пороговую чувствительности прибора.

По указанию преподавателя построить статическую характеристику $y_{\text{вых}} = f(H)$ (рис. 6.8) одного из сигнализаторов уровня. Определить размах, разность переключений и наибольшую относительную погрешность переключений для верхней и нижней точек.

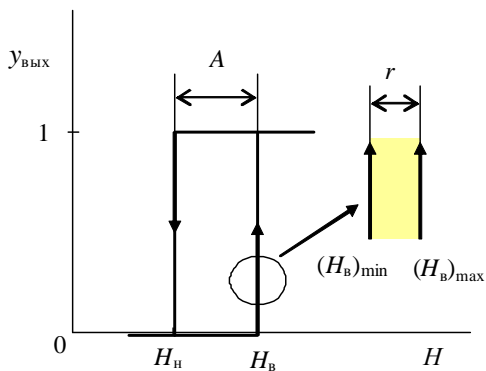


Рис. 6.8. Статическая характеристика сигнализатора уровня

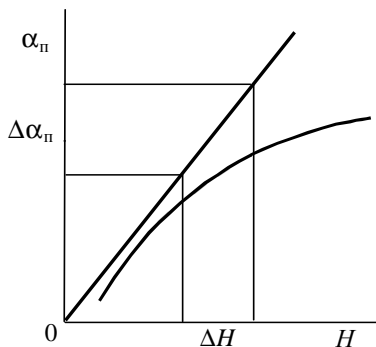


Рис. 6.7. Статические характеристики уровнемеров

Размах (r) – наибольшая разность значений выходного сигнала отдельно для восходящего или нисходящего изменения входного сигнала:

$$r = H_{\max} - H_{\min}. \quad (6.8)$$

Разность переключений (A) – наибольшая разность между средними значениями верхней $\bar{H}_в$ и нижней $\bar{H}_н$ точек коммутации (переключения, срабатывания, включения – отключения):

$$A = \bar{H}_в - \bar{H}_н. \quad (6.9)$$

Среднее значение точек коммутации (верхней или нижней) определяется по формуле

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_i, \quad (6.10)$$

где H_i – соответствующая точка коммутации, определённая из эксперимента.

Наибольшая относительная погрешность переключений находится по формуле

$$\delta = \frac{|H_i - \bar{H}|_{\max}}{\bar{H}} 100\%. \quad (6.11)$$

Для получения экспериментальных данных необходимо в момент срабатывания световой сигнализации (включение – отключение) несколько раз зафиксировать величину уровня при прямом и обратном ходе (наполнение бака и слив воды).

Экспериментальные данные и необходимые математические расчёты заносятся в протокол измерений, который предъявляется на проверку преподавателю.

Указания по составлению отчёта

Отчёт должен содержать:

- Принципиальную схему экспериментальной установки.
- Схему исследуемого расходомера.
- Результаты наблюдений и последующих вычислений, сведённые в таблицы.
- Графики по результатам работы.
- Основные выводы, сделанные в результате проведения эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бодров, В.И. Теория линейных систем автоматического регулирования : лекции к курсу «Теория автоматического управления» : учеб. / В.И. Бодров, Т.Я. Лазарева. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 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. Автоматика и автоматизация производственных процессов / И.И. Мартыненко, Б.Л. Головинский, Р.Д. Проценко, Т.Ф. Резниченко. – М. : Агропромиздат, 1985. – 335 с.
4. Практикум по автоматике и системам управления производственными процессами / под ред. И.М. Масленникова. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 272 с.
5. Промышленные приборы и средства автоматизации : справочник / под ред. В.В. Черенкова. – Л. : Машиностроение, 1987. – 847 с.
6. Кулаков, М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств / М.В. Кулаков. – М. : Машиностроение, 1984. – 315 с.
7. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М. : Высш. шк., 1986. – 432 с.
8. Электричество и магнетизм : практикум по физике / под ред. Ф.А. Николаева. – М. : Высш. шк., 1991. – 151 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа 1. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТВЁРДЫХ ТЕЛ БЕСКОНТАКТНЫМ МЕТОДОМ	3
Лабораторная работа 2. ГРАДУИРОВКА ПОЛУПРОВОДНИКО- ВОГО ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ	10
Лабораторная работа 3. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ	18
Лабораторная работа 4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХПОЗИЦИОН- НОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ	24
Лабораторная работа 5. ПЕРВИЧНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ, ПОСТРОЕННЫЕ НА ЭФФЕКТЕ ХОЛЛА	30
Лабораторная работа 6. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ЖИДКИХ СРЕД	35
Список литературы	45

Для заметок

Учебное издание

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ
(на примере управления тепловыми объектами)

Методические указания

С о с т а в и т е л и:

ЩЕГОЛЬКОВ Александр Викторович,
ТУГОЛУКОВ Евгений Николаевич,
РУХОВ Артем Викторович

Редактор Т.М. Г л и н к и н а
Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Р ы ж к о в а

Подписано в печать 19.10.2012
Формат 60 × 84/16. 2,79 усл. печ. л. Тираж 50 экз. Заказ № 538

Издательско-полиграфический центр ФГБОУ ВПО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14