

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОПЕРАЦИЙ**

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением
по аграрному техническому образованию в качестве
лабораторного практикума для студентов
учреждений высшего образования по специальностям:*

- 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства,*
- 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство
в сельском хозяйстве,*
- 1-36 12 01 Проектирование и производство
сельскохозяйственной техники*

Минск
БГАТУ
2018

УДК 681.5(076.5)
ББК 32.965я7
С56

Авторы:
старший преподаватель *В. В. Носко*,
старший преподаватель *В. В. Маркевич*,
кандидат технических наук, доцент *Ю. Т. Антонюшин*,
кандидат технических наук, доцент *В. Б. Ловкис*

Рецензенты:
заведующий кафедрой электроники учреждения образования
«Белорусский государственный университет информатики и
электроники», кандидат технических наук, доцент *С. М. Сацук*;
старший научный сотрудник лаборатории уборки
и послеуборочной обработки зерна и семян РУП
«Научно-практический центр национальной академии наук
Беларуси по механизации сельского хозяйства»,
кандидат технических наук *И. В. Барановский*

Средства автоматизации и автоматизация технологических
C56 операций : лабораторный практикум / В. В. Носко [и др.]. –
Минск : БГАТУ, 2018. – 188 с.
ISBN 978-985-519-928-2.

Содержится учебно-методический материал для выполнения лабораторных работ по учебной дисциплине «Средства автоматизации и автоматизация технологических операций».

Предназначен для студентов учреждений высшего образования по специальностям 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 03 Ремонтно-обслуживающее производство в сельском хозяйстве, 1-36 12 01 Проектирование и производство сельскохозяйственной техники.

УДК 681.5(076.5)
ББК 32.965я7

ISBN 978-985-519-928-2

© БГАТУ, 2018

Содержание

Введение.....	4
Лабораторная работа № 1	
Исследование характеристик датчиков тока и напряжения.....	5
Лабораторная работа № 2	
Исследование характеристик термоизмерительных преобразователей.....	18
Лабораторная работа № 3	
Исследование характеристик датчиков перемещения.....	37
Лабораторная работа № 4	
Исследование характеристик трансформаторных датчиков.....	56
Лабораторная работа № 5	
Исследование характеристик датчиков частоты вращения.....	69
Лабораторная работа № 6	
Исследование характеристик фотодатчиков и фотореле.....	79
Лабораторная работа № 7	
Исследование измерительных схем и преобразователей.....	90
Лабораторная работа № 8	
Исследование автоматической системы регулирования температуры.....	101
Лабораторная работа № 9	
Исследование систем регулирования уровня жидкости.....	112
Лабораторная работа № 10	
Исследование схемы управления микроклиматом.....	124
Лабораторная работа № 11	
Исследование прибора активного контроля АК-3М.....	131
Лабораторная работа № 12	
Программирование ПЛК на примере алгоритма движения штока цилиндра.....	139
Лабораторная работа № 13	
Исследование программной системы автоматического управления.....	154
Лабораторная работа № 14	
Исследование системы управления загрузочным транспортером.....	176
Список использованной литературы.....	187

Введение

Научно-технический прогресс в сельском хозяйстве связан с комплексной механизацией технологических процессов и широким применением средств автоматизации. Для повышения эффективности производства необходимо широкое внедрение современных приборов и средств автоматизации, создание эффективных систем управления технологическими процессами.

Целью приведенных лабораторных работ является изучение технических средств автоматики и систем автоматизации производственных процессов, освоение методов создания, описания и эксплуатации систем автоматического регулирования и управления, изучение типовых решений по автоматизации производственных процессов.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен *знать*:

- устройство, принцип работы, основные характеристики и принципы выбора функциональных элементов автоматики;
- устройство и принцип действия автоматических систем регулирования и управления основными технологическими процессами сельскохозяйственного производства;
- методы определения работоспособности, анализ качества и надежность работы систем;
- возможности использования микропроцессорной техники при автоматизации сельскохозяйственной техники;

уметь:

- определять статические и динамические свойства объектов и систем автоматического регулирования и управления;
- осуществлять технические решения автоматизации основных механизированных технологических процессов сельскохозяйственного производства;
- настраивать системы автоматики на оптимальный (качественный) режим работы.

Все лабораторные работы апробированы в учебном процессе со студентами Учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» на имеющемся оборудовании.

Лабораторная работа № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы: изучить принцип работы датчиков тока и напряжения, исследовать их статические характеристики.

Общие сведения

Шунт – устройство, которое позволяет электрическому току протекать в обход какого-либо участка схемы, обычно представляет собой низкоомный резистор, катушку или проводник.

Шунт является простейшим измерительным преобразователем тока в напряжение.

Измерительный шунт характеризуется номинальным значением входного тока $I_{\text{НОМ}}$ и номинальным значением выходного напряжения $U_{\text{НОМ}}$. Их отношение определяет номинальное сопротивление шунта (1.1):

$$R_{\text{Ш}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ}}}. \quad (1.1)$$

Шунты применяются для расширения пределов измерения измерительных механизмов по току, при этом большую часть измеряемого тока пропускают через шунт, а меньшую – через измерительный механизм. Шунты имеют небольшое сопротивление и применяются, главным образом, в цепях постоянного тока с магнитоэлектрическими измерительными механизмами (рисунок 1.1).

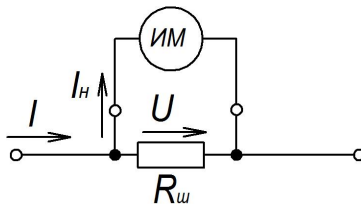


Рис. 1.1. Схема соединения измерительного механизма с шунтом

Трансформатор тока – трансформатор, первичная обмотка которого подключена к источнику тока, а вторичная обмотка замыкается на измерительные или защитные приборы, имеющие малые внутренние сопротивления.

Измерительный трансформатор тока – трансформатор, предназначенный для преобразования тока до значения, удобного для измерения. Первичная обмотка трансформатора тока включается последовательно в цепь с измеряемым переменным током, а во вторичную включаются измерительные приборы (рисунок 1.2). Ток, протекающий по вторичной обмотке трансформатора тока, пропорционален току, протекающему в его первичной обмотке.

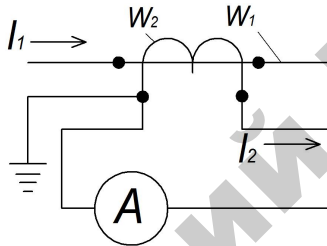


Рис. 1.2. Схема включения трансформатора тока

Трансформаторы тока широко используются для измерения электрического тока и в устройствах релейной защиты электроэнергетических систем, в связи с чем на них накладываются высокие требования по точности. Трансформаторы тока обеспечивают безопасность измерений, изолируя измерительные цепи от первичной цепи с высоким напряжением, часто составляющим сотни киловольт.

К трансформаторам тока предъявляются высокие требования по точности. Как правило, трансформатор тока выполняют с двумя и более группами вторичных обмоток: одна используется для подключения устройств защиты, другая, более точная — для подключения средств учета и измерения (например, электрических счетчиков).

Измерительные трансформаторы напряжения используют главным образом для подключения электроизмерительных приборов в цепи переменного тока высокого напряжения. При этом электроизмерительные приборы оказываются изолированными от цепей высокого напряжения, что обеспечивает безопасность работы обслуживающего персонала. Кроме того, измерительные

трансформаторы дают возможность расширять пределы измерения приборов, т. е. измерять большие токи и напряжения с помощью сравнительно несложных приборов, рассчитанных для измерения малых токов и напряжений. В ряде случаев измерительные трансформаторы служат для подключения к цепям высокого напряжения обмоток реле, обеспечивающих защиту электрических установок от аварийных режимов (рисунок 1.3).

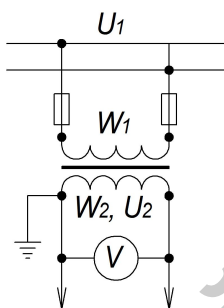


Рис. 1.3. Измерительный трансформатор напряжения, схема включения

Трансформаторы напряжения служат для включения вольтметров, а также других приборов, реагирующих на значение напряжения (например, катушек напряжения ваттметров, счетчиков, фазометров и различных реле). Трансформатор напряжения выполняют в виде двухобмоточного понижающего трансформатора. Для обеспечения безопасности работы обслуживающего персонала вторичную обмотку тщательно изолируют от первичной и заземляют. Условное обозначение трансформатора напряжения такое же, как двухобмоточного трансформатора.

Так как сопротивления обмоток вольтметров и других приборов, подключаемых к трансформатору напряжения, велики, то он практически работает в режиме холостого хода.

Датчики тока на эффекте Холла предназначены для измерения постоянного или переменного токов с гальванической развязкой силовой цепи и цепей контроля (рисунок 1.4).

Конструкция датчиков тока включает в себя магнитопровод с зазором и компенсационной обмоткой, датчик Холла и электронную плату обработки сигналов. Магниточувствительный датчик Холла закреплен в зазоре магнитопровода и соединен с входом электронного усилителя.

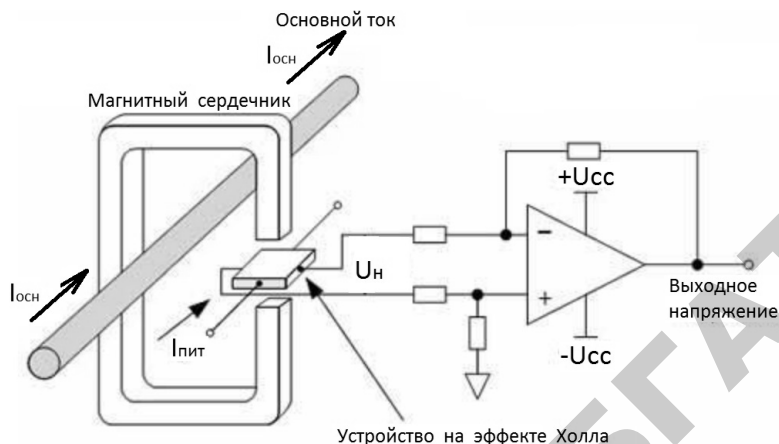


Рис. 1.4. Принцип действия датчика тока на эффекте Холла

При протекании измеряемого тока по шине, охватываемой магнитопроводом, в последнем наводится магнитная индукция. Датчик Холла, реагирующий на возникшее магнитное поле, вырабатывает напряжение, пропорциональное величине наведенной магнитной индукции. Выходной сигнал с датчика усиливается электронным усилителем и подается в компенсационную обмотку. В результате по обмотке течет компенсационный ток, пропорциональный измеряемому току по величине и соответствующий ему по форме.

Линейные датчики Холла могут быть использованы в составе измерителей силы тока в пределах от 250 мА до тысяч ампер. Важнейшим достоинством таких датчиков является полное отсутствие электрической связи с измеряемой цепью. Линейные датчики позволяют измерять постоянные и переменные токи, в том числе токи довольно высокой частоты. Если линейный датчик Холла расположен вблизи проводника с током, то выходное напряжение датчика пропорционально индукции магнитного поля, окружающего проводник. Величина индукции, в свою очередь, пропорциональна току.

Датчики напряжения, основанные на эффекте Холла, работают на тех же принципах, что и датчики тока. Практически они собраны на основе датчиков тока, а главное отличие состоит в первичной цепи, катушка которой изготовлена с большим количеством витков.

Это позволяет создать необходимое количество ампер-витков для создания первичной индукции, и таким образом при

минимальном значении первичного тока обеспечивается небольшое потребление из входной цепи, т. е. цепи преобразуемого напряжения.

Поэтому для измерения напряжения достаточно обеспечить первичный ток, эквивалентный этому напряжению, который и будет преобразовывать датчик. Это достигается с помощью резистора, последовательно соединенного с первичной обмоткой. Этот резистор может быть внешним или встроенным в корпус датчиком.

В датчиках напряжения с внешним резистором используется тот же принцип работы, что и в датчике тока, описанном ранее, для определения значений напряжения и нагрузочного резистора подходят аналогичные правила. Дополнительно должно быть рассчитано значение внешнего резистора R .

В датчиках напряжения со встроенным резистором в качестве входного резистора R установлен резистор с расчетной мощностью рассеивания при номинальном напряжении и собственной погрешностью, идентичной погрешности датчиков. Встроенный входной резистор, выбранный в соответствии с номинальным входным напряжением – преимущество этих датчиков. Однако их измерительный диапазон ограничен полуторным увеличением номинального значения.

Порядок выполнения работы

Исследование шунта

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Собрать с помощью перемычек схему источника регулируемого напряжения, как на рисунке 1.5.

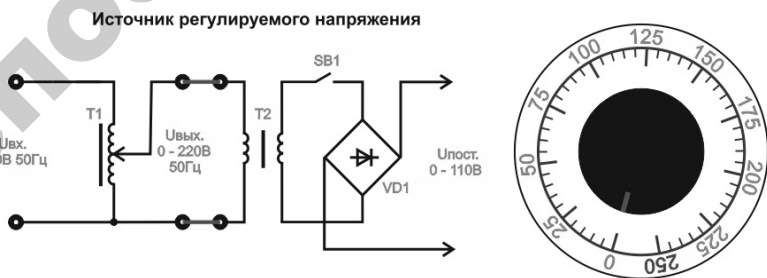


Рис. 1.5. Схема включения источника регулируемого напряжения

Собрать с помощью переключек схему для исследования шунта (рисунок 1.6). Подключить мультиметры. На одном выставить предел измерений 200 мВ переменного напряжения, на другом предел измерения 10 А переменного тока.

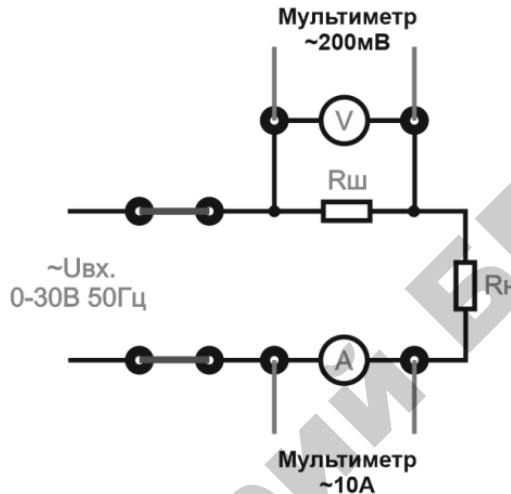


Рис. 1.6. Схема исследования шунта

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Плавно повышать входное напряжение переводом ручки источника регулируемого напряжения по часовой стрелке от 0 до 30 В, при этом регистрировать значения напряжения $U_{ш}$ и тока I_n по мультиметрам.

Для справки: в качестве источника регулируемого напряжения в стенде используется ЛАТР Т1 с диапазоном регулирования от 0 – 220 В. На выход ЛАТРа подключен трансформатор Т2 с тремя вторичными обмотками – первая на 110 В для питания электродвигателя М1, вторая на 30 В для питания схем исследования шунта и трансформатора тока, третья на 12 В для питания схемы исследования датчика тока на эффекте Холла. Регулируя напряжение на ЛАТРе, мы изменяем входное напряжение и выходное на трансформаторе Т2. В данной лабораторной работе диапазон регулирования напряжения для исследования шунта от 0 до 30 В.

Полученные данные занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Экспериментальные данные

$U_{вх}, В$	$U_{ш}, мВ$	$I_n, А$	$I_{ш}, А$
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			

С помощью закона Ома найти значения тока, протекающего через шунт (1.2). Сопротивление шунта 100 мОм.

$$I_{ш} = \frac{U_{ш}}{R_{ш}}. \quad (1.2)$$

Сравнить расчетные значения тока шунта с полученными во время эксперимента. Сделать соответствующие выводы.

Построить статическую характеристику $U_{ш}=f(U_{вх})$.

По окончании работы перевести регулятор ЛАТРа в крайнее левое положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить все перемычки и мультиметры.

Исследование трансформатора тока

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Собрать с помощью перемычек схему источника регулируемого напряжения, как на рисунке 1.5.

Собрать с помощью перемычек схему для исследования трансформатора тока (рисунок 1.7). Подключить мультиметры. На одном выставить предел измерений 200 мА переменного тока, на другом предел измерения 10 А переменного тока.

ВНИМАНИЕ! НЕ ВКЛЮЧАТЬ СХЕМУ БЕЗ МУЛЬТИМЕТРА НА ВТОРИЧНОЙ ОБМОТКЕ W_2 ВО ИЗБЕЖАНИЕ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА.

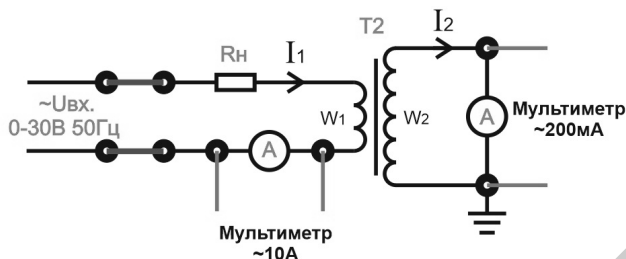


Рис. 1.7. Схема исследования трансформатора тока

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Плавно повышать входное напряжение переводом ручки источника регулируемого напряжения по часовой стрелки от 0 до 30 В, при этом регистрировать значения тока I_1 и тока I_2 по мультиметрам. Сопротивление нагрузки $R_n = 100$ Ом.

Полученные данные занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2

Экспериментальные данные

$U_{вх}, В$	$I_1, А$	$I_2, А$
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		

Построить статическую характеристику $I_2=f(I_1)$.

По окончании работы перевести регулятор ЛАТРа в крайнее левое положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить все перемычки и мультиметры.

Исследование измерительного трансформатора напряжения

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Собрать с помощью перемычек схему источника регулируемого напряжения, как на рисунке 1.5.

Собрать с помощью перемычек схему для исследования трансформатора напряжения (рисунок 1.8). Подключить мультиметры. На одном выставить предел измерений 700 В переменного напряжения, на другом предел измерения 200 В переменного напряжения.

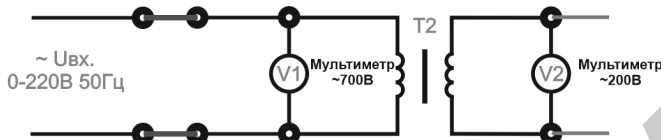


Рис. 1.8. Схема исследования измерительного трансформатора напряжения

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Плавно повышать входное напряжение переводом ручки источника регулируемого напряжения по часовой стрелке от 0 до 220 В, при этом регистрировать значения напряжения U_1 и тока I_2 по мультиметрам.

Полученные данные занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3

Экспериментальные данные

U_1 , В	U_2 , В
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	
200	
220	

Построить статическую характеристику $U_2 = f(U_1)$.

По окончании работы перевести регулятор ЛАТРа в крайнее левое положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить все перемычки и мультиметры.

Исследование датчика тока на эффекте Холла

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Собрать с помощью перемычек схему источника регулируемого напряжения, как на рисунке 1.5.

Собрать с помощью перемычек схемы для исследования датчика тока на эффекте Холла (рисунки 1.9 и 1.10).

Подключить мультиметры. На одном выставить предел измерений 200 мА переменного тока, на другом предел измерения 20 мА переменного тока. Для подключения мультиметров к гнездам использовать переходники, входящие в комплект стенда.

R_n – нагрузочный резистор, $R_n = 2 \text{ Ом}$;

R_m – измерительный резистор, $R_m = 300 \text{ Ом}$.

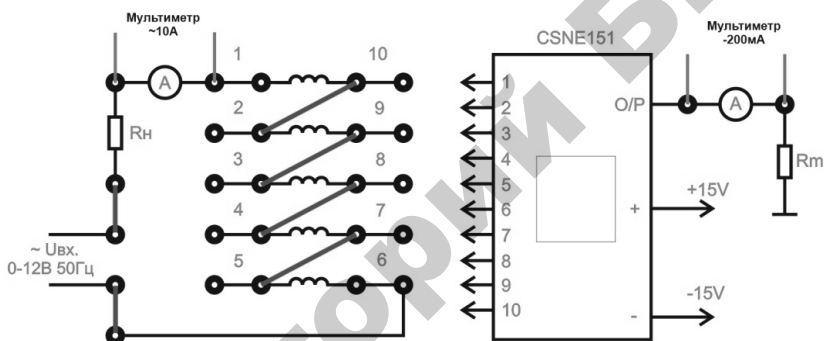


Рис. 1.9. Схема исследования датчика тока на эффекте Холла при $I_{BX} = 5 \text{ A}$

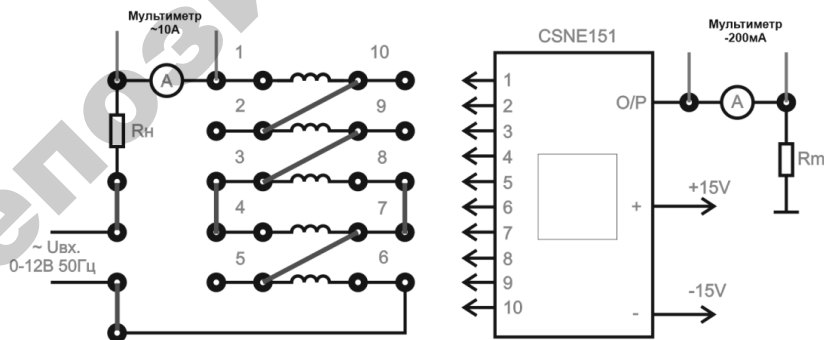


Рис. 1.10. Схема исследования датчика тока на эффекте Холла при $I_{BX} = 7 \text{ A}$

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Плавно повышать входное напряжение переводом ручки источника регулируемого напряжения по часовой стрелке от 0 до 12 В, при этом регистрировать значения входного тока I_1 и выходного тока I_2 по мультиметрам.

ВНИМАНИЕ! НЕ ВКЛЮЧАТЬ СХЕМЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ (БОЛЬШЕ 2 МИНУТ) ПРИ МАКСИМАЛЬНОМ ВХОДНОМ НАПРЯЖЕНИИ 12 В ВО ИЗБЕЖАНИЕ ПЕРЕГРЕВА ТРАНСФОРМАТОРА!

Полученные данные занести в таблицу 1.4.

Таблица 1.4

Экспериментальные данные

$U_{\text{вх}}, \text{В}$	$I_1, \text{А}$	$I_2, \text{мА}$
0		
2		
4		
6		
8		
10		
12		

Построить статическую характеристику $I_2=f(I_1)$.

По окончании работы перевести регулятор ЛАТРа в крайнее левое положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить все перемычки и мультиметры.

Исследование датчика напряжения на эффекте Холла

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Собрать с помощью перемычек схему источника регулируемого напряжения, как на рисунке 1.5.

Собрать с помощью перемычек схему для исследования датчика напряжения на эффекте Холла (рисунок 1.11).

Подключить мультиметры. На одном выставить предел измерений 700 В переменного напряжения, на другом предел измерения 200 мА постоянного тока.

R_n – нагрузочный резистор, $R_n=27 \text{ кОм}$.

R_m – измерительный резистор, $R_m=300 \text{ Ом}$.

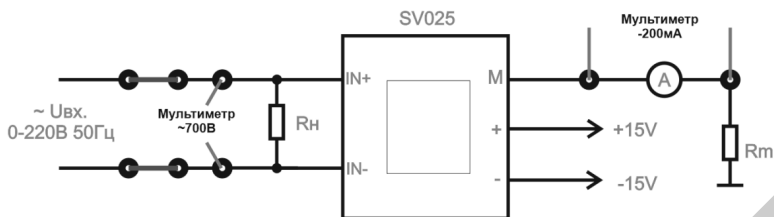


Рис. 1.11. Схема исследования датчика напряжения на эффекте Холла

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Плавно повышать входное напряжение переводом ручки источника регулируемого напряжения по часовой стрелке от 0 до 220 В, при этом регистрировать значения входного напряжения U и выходного тока I по мультиметрам.

Полученные данные занести в таблицу 1.5.

Таблица 1.5

Экспериментальные данные

U , В	I , мА
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	
200	
220	

Построить статическую характеристику $I = f(U)$.

По окончании работы перевести регулятор ЛАТРа в крайнее левое положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить все перемычки и мультиметры.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание принципа действия, конструкции и схем включения датчиков тока и напряжения.
4. Таблица и результаты измерений.
5. Графические изображения статических характеристик датчиков тока и напряжения.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия шунта, трансформатора тока, измерительного трансформатора напряжения, датчика тока на эффекте Холла, датчика напряжения на эффекте Холла.
2. Для каких целей используются шунты, трансформаторы тока, датчики тока на эффекте Холла, датчики напряжения на эффекте Холла в схемах автоматики?

Лабораторная работа № 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с принципом действия и конструкцией первичных преобразователей температуры: термометрами сопротивления (металлическими и полупроводниковыми) и термоэлектрическими термометрами (термопарами); экспериментально определить статические характеристики первичных преобразователей температуры; ознакомиться с принципом действия логометра.

Общие сведения

Температура – это один из параметров состояния вещества. Она определяет не только характеристики тепловых процессов, от нее зависят многие физические свойства веществ, а также объектов производства. Поэтому температура является одним из важнейших параметров технологических процессов, в частности сельскохозяйственного производства, а ее автоматический контроль и регулирование в производственных условиях находят все более широкое применение.

Первичные преобразователи температуры

В качестве первичных (измерительных) преобразователей (датчиков) температуры используют элементы, физические свойства которых существенно зависят от температуры и незначительно подвержены влиянию других факторов, например, влажности, состава среды и т. п. К таким физическим свойствам относятся явления теплового линейного или объемного расширения, изменения сопротивления, емкости или термоэлектродвижущей силы специального элемента, находящегося в контакте с контролируемой средой. Многие датчики используют принцип изменения физических параметров самой контролируемой среды под действием температуры: давления, плотности, вязкости и интенсивности радиационных излучений.

К датчикам, основанным на принципе теплового расширения жидкостей, газов и твердых тел, относятся жидкостные объемные и контактные термометры, манометрические термодатчики, дилатометрические и биметаллические термометры.

Для дистанционного контроля температуры служат термопары, металлические и полупроводниковые термометры сопротивления, принцип действия которых основан на температурной зависимости их электрических свойств.

С целью взаимозаменяемости датчики температуры, как и датчики других физических величин, унифицируют по выходным сигналам (параметрам), т. е. градуируют.

Металлические термометры сопротивления

Металлические термометры сопротивления (ТС) широко применяют для измерения температуры в интервале от минус 260 до плюс 750 °С, в отдельных случаях – до 1100 °С.

Принцип действия ТС основан на свойстве металлов изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Электрическое сопротивление металла увеличивается с повышением температуры в связи с возрастающим рассеянием электронов проводимости на неоднородностях кристаллической решетки, обусловленным увеличением тепловых колебаний ионов около своих положений равновесия.

В качестве материалов для изготовления ТС используют только чистые металлы, в основном платину и медь, поскольку другие металлы и сплавы обладают меньшим значением температурного коэффициента сопротивления и недостаточной воспроизводимостью термометрических свойств.

Этим требованиям в широком интервале температур удовлетворяет платина, при невысоком верхнем пределе измеряемой температуры – медь. Платиновые термометры обозначают ТСП, медные – ТСМ.

Зависимость сопротивления платинового термометра R_T от температуры T подчиняется следующим закономерностям (рисунок 2.1, кривая 1):

- при $-200^\circ\text{C} \leq T \leq 0^\circ\text{C}$:

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3]; \quad (2.1)$$

- при $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 750\text{ }^{\circ}\text{C}$:

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2], \quad (2.2)$$

где R_0 – сопротивление термометра при $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, Ом, зависящее от обозначения градуировки термометра;

$$A = 3,96847 \times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,847 \times 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$$

$$C = -4,22 \times 10^{-12}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-4}$$

– постоянные коэффициенты.

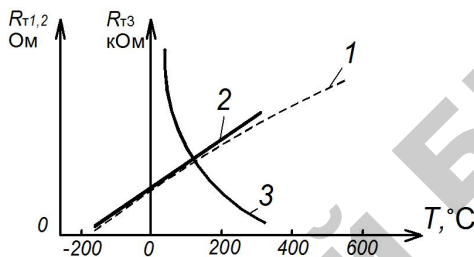


Рис. 2.1. Статические характеристики термометров сопротивления:
1 – платинового (ТСП); 2 – медного (ТСМ); 3 – термистора

К недостаткам ТСП следует отнести отклонение от линейного закона их градуировочных характеристик 1 рисунка 2.1. Однако устойчивость чистой платины в окислительной контролируемой среде и длительное время сохранения своих градуировочных данных в достаточной степени компенсируют указанный недостаток и позволяет считать ТСП наиболее точным из числа первичных преобразователей, предназначенных для измерения температуры в той же области.

К достоинствам ТСМ следует отнести дешевизну, простоту получения тонкой проволоки в различной изоляции, возможность получения проводниковой меди высокой чистоты и линейный характер градуировочной зависимости 2.

Зависимость электрического сопротивления медного термометра R_T от температуры T в интервале от -50 до $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ описывается линейным уравнением (рисунок 1, прямая 2):

$$R_T = R_0(1 + \alpha_M T), \quad (2.3)$$

где $\alpha_M = 2,26 \cdot 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ – температурный коэффициент электрического сопротивления.

К числу недостатков ТСМ относятся малое удельное сопротивление меди ($\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·М) и интенсивная окисляемость ее при невысоких температурах.

Чувствительность ТС характеризуется температурным коэффициентом сопротивления и, пренебрегая незначительной кривизной градуировочных характеристик ТСП (т. е. $B = C = 0$), может быть в общем виде выражена равенством:

$$K_{ТС} = \frac{dRT}{dT} = \alpha_{ТС} R_C, \quad (2.4)$$

где $\alpha_{ТС}$ – температурный коэффициент материала ТС, $^{\circ}\text{C}^{-1}$, равный соответственно A или α_M .

Термометры сопротивления из чистых металлов изготавливают обычно в виде обмотки из тонкой проволоки диаметром от 0,05 до 0,1 мм на специальном каркасе из изоляционного материала. Эту обмотку называют чувствительным элементом ТС. В целях предохранения от возможных механических повреждений и воздействия контролируемой среды чувствительный элемент термометра заключают в специальную защитную гильзу.

Особенности конструкции различных ТС представлены на лабораторном стенде и учебных плакатах.

Платиновые ТС в зависимости от назначения разделяются на эталонные, образцовые, лабораторные (повышенной точности) и технические. Медные ТС – только технические.

Технические ТСП изготавливаются с номинальными значениями сопротивления при 0°C (R_0), равными 10, 50, 100 Ом, которым присвоено обозначение градуировки соответственно 10 П, 50 П и 100 П, (устаревшее обозначение гр. 20, гр. 21 и гр. 22). Предназначаются для измерения температуры от минус 200 до плюс 650°C .

ТСП с гр. 10 П ($R_0 = 10$ Ом) целесообразно применять для измерения температуры выше 200°C , для низких температур (ниже 0°C) – ТСП с гр. 50 П ($R_0 = 50$ Ом) или гр. 100 П ($R_0 = 100$ Ом).

Для медных ТС величины R_0 установлены также равными 10, 50 и 100 Ом, которым присвоено обозначение градуировки соответственно 10 М, 50 М и 100 М (устаревшее обозначение гр. 50 М и 100 М – гр. 23 и гр. 24). Применяются ТСМ для измерения температуры от минус 50 до плюс 200°C .

К числу достоинств ТС следует отнести: высокую степень точности измерения температуры; возможность выпуска измерительных приборов к ним со стандартной градуировкой шкалы; возможность централизованного контроля температуры путем присоединения нескольких взаимозаменяемых термометров сопротивления через переключатель к одному измерительному прибору; возможность использования их с информационно-вычислительными машинами.

Основными недостатками ТС являются: большие размеры, не позволяющие использовать их для измерения температуры в малых объемах, значительная инерционность (постоянная времени до нескольких минут), необходимость в постороннем источнике и учете сопротивления подводящих проводов.

Полупроводниковые термометры сопротивления (ПТС)

В отличие от металлов в полупроводниках наблюдается иная картина – число электронов проводимости резко возрастает с увеличением температуры. Поэтому электрическое сопротивление типичных полупроводников столь же резко (обычно по экспоненциальному закону) уменьшается при их нагревании. При этом температурный коэффициент электрического сопротивления (ТКС) полупроводников на порядок выше, чем у чистых металлов. ПТС с отрицательным ТКС называют **термисторами**, а с положительным – **позисторами**.

Для изготовления чувствительных элементов термисторов, используемых для измерения температуры от минус 100 до плюс 300 °С применяют смеси различных полупроводниковых веществ. Форма и виды изготавливаемых термисторов разнообразны. Наиболее распространенными видами их являются цилиндрические, шайбовые и бушинговые. Особенности конструкции различных термисторов представлены на лабораторном стенде и учебных плакатах.

Промышленностью выпускаются несколько десятков терморезисторов с разнообразными электрическими параметрами, например медно-марганцевые типа ММТ; кобальтомарганцевые типа КМТ и ряд других, сопротивлением от 1 Ом до 1 МОм (при 20 °С) с отклонением от номинала не более 20 % .

Зависимость сопротивления термисторов от температуры в рабочем интервале определяется выражением (см. рисунок 2.1, кривая 3):

$$R_T = R_0 e^{B(20-T)/20T}, \quad (2.5)$$

где R_T , R_0 – сопротивление термистора при температуре T и 20°C соответственно, Ом;

T – температура, $^\circ\text{C}$;

B – постоянный коэффициент, определяемый в процессе градуировки.

Чувствительность ПТС:

$$K_d = \frac{dR_T}{dT} = \alpha_d R_T, \quad \text{Ом}/^\circ\text{C}. \quad (2.6)$$

Величину α_d , называют температурным коэффициентом термистора:

$$\alpha_d = -\frac{B}{T^2}, \quad ^\circ\text{C}^{-1} \quad (2.7)$$

Коэффициент α_d отрицателен, зависит от температуры и по величине в 10–15 раз выше, чем у металлических термометров сопротивления.

ПТС малоинерционны, их чувствительность в 5–30 раз выше, чем у металлических ТС; номинальное сопротивление составляет единицы и сотни килоОм, что позволяет при измерении температуры не учитывать сопротивления подводящих проводов, – все это способствует широкому применению ПТС в автоматике, электротехнике, термометрии.

К недостаткам ПТС следует отнести: отсутствие взаимозаменяемости, большой разброс номинальных значений сопротивлений и ТКС даже для ПТС одного и того же типа, нелинейный характер зависимости электросопротивления от температуры, малая допустимая мощность рассеяния (0,015–1,0 Вт) при прохождении измерительного тока, необходимость индивидуальной градуировки – экспериментального определения статической характеристики.

Термоэлектрические термометры

Термоэлектрические термометры (ТЭТ) – термопары широко применяются для измерения температур от минус 200 до плюс

2500 °С в различных областях техники и научных исследованиях. Однако в области низких температур ТЭТ получили меньшее распространение, чем термометры сопротивления.

Международный стандарт на термопары дает следующее определение термопары: Термопара – пара проводников из различных материалов, соединенных на одном конце и формирующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры.

Принцип действия ТЭТ основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в электрической цепи, составленной из двух разнородных проводников или полупроводников (термоэлектродов), например, *A* и *B* (рисунок 2.2*а*), при наличии разности температур между местами их соединения (спаями) возникает термоэлектродвижущая сила (термоЭДС), величина которой пропорциональна разности температур нагретого T_1 и свободного (холодного) T_2 концов спаев и зависит от материала термоэлектродов.

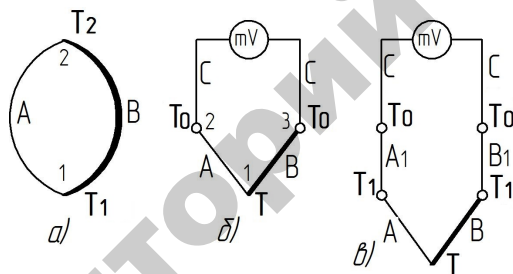


Рис. 2.2. Термоэлектрическая цепь (*а*) и схемы измерения термоЭДС термопары – без термоэлектродных проводов (*б*) и с термоэлектродными проводами (*в*):

A и *B* – электроды термопары; *A*₁ и *B*₁ – термоэлектродные (удлиняющие провода);

T_1 – температура мест соединений электродов термометра

с термоэлектродными проводами (*в*); *mV* – милливольтметр

Термопара состоит из двух специально подобранных термоэлектродов (проволок), одни концы которых спаяны или сварены (T_1), а другие (T_2) подключаются к вторичному прибору ИП (рисунок 2.2*б*): $T = T_1$, $T_0 = T_2$.

Термоэлектрод называют положительным, от которого термоток идет в спай, имеющем температуру $T_0 < T$, отрицательным – к которому ток идет в том же спайе.

Спай термопары T_1 , погружаемый в среду, температура которой измеряется, называют рабочим (горячим).

Концы термопары (T_2), которые подключаются к измерительному прибору ИП и должны находиться при постоянной температуре ($T_2 = T_0 = \text{const}$) называют свободными (холодными).

При условии $T_2 = \text{const}$ термоЭДС термопары $U_{\text{ТП}}$ будет зависеть только от температуры рабочего спая, т. е. температуры контролируемой среды $T_1 = T$,

$$U_{\text{ТП}} = E_{\text{AB}}(T, T_0) = F(T). \quad (2.8)$$

Для термопар статическая характеристика (рисунок 2.3) является непрерывной и, учитывая небольшую нелинейность на отдельных ее участках, чувствительность ТЭТ можно записать в виде

$$K_{\text{ТП}} = \frac{dU_{\text{ТП}}}{dT} = \frac{\Delta U_{\text{ТП}}}{\Delta T}, \text{ мВ/}^\circ\text{C}. \quad (2.9)$$

Величина $K_{\text{ТП}}$ зависит от температуры T и от природы термоэлектродов и составляет 0,006–0,07 мВ/°С – для металлов (рисунок 2.3, кривые 1,2); 0,1–1 мВ/°С – для полупроводниковых термопар (рисунок 2.3, кривая 3).

Наиболее распространенными в практике технологического контроля являются стандартные термопары с металлическими термоэлектродами из благородных и неблагородных металлов.

Платинородий-платиновые термопары типа ТПП (градуировка ПП) применяются для измерения температур в области 0–1300 °С, термоэлектроды изготавливают из проволоки диаметром 0,5 мм, что удовлетворяет условиям достаточной прочности и не слишком высокой стоимости;

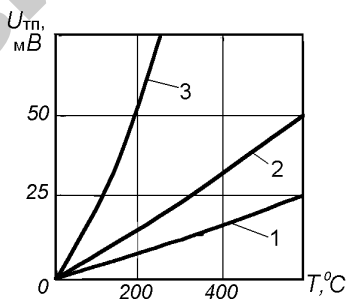


Рис. 2.3. Статические характеристики термопар:

- 1 – хромель-алюмелевой; 2 – хромель-копелевой (металлические);
3 – карбид кремния-графитовой (полупроводниковая)

– платинородий-платинородиевые термопары типа ТПР (градуировка ПР 30/6) применяются для измерения температур в области 300–1600 °С;

– хромель-копелевые термопары типа ТХК (градуировка ХК) применяются для измерения температур в области –200–600 °С;

– хромель-алюмелевые термопары типа ТХА (градуировка ХА) применяются для измерения температур в области –200–1000 °С, диаметр термоэлектродной проволоки до 3,2–5 мм.

Допустимая основная погрешность стандартных термопар составляет 0,01–0,23 мВ.

Стандартные термопары градуируют, определяя экспериментально зависимость термоЭДС от изменения температуры рабочего спая при строго постоянной температуре свободных концов термопары (обычно $T_0 = 0$ °С) методом сравнения с образцовым термометром.

С целью упрощения конструкции термопар и условий термостабилизации свободных концов термоэлектродов их удлиняют специальными проводами, которые называют термоэлектродными (иногда компенсационными, что неверно). Это позволяет удалить свободные концы термопары в зону, где температура окружающей среды изменяется незначительно. В этом случае свободными концами термопары считают места соединения термоэлектродных проводов с медными проводами подключения или с зажимами измерительного прибора, если термоэлектродные провода присоединяются к ним непосредственно. В качестве материала для термоэлектродных проводов используют недефицитные неблагородные металлы, которые в интервале температур окружающей среды развивают в паре между собой такую же термоЭДС, как и термопара, с которой они комплектуются. Для термопар типа ТПП применяют термоэлектродные провода марки ПП (положительный термоэлектрод – медь, отрицательный – сплав меди и никеля), для ТХК – марки ХК (положительный – хромель, отрицательный – копель), для ТХА – марки М (положительный – медь, отрицательный – константан).

Для исключения влияния изменения температуры окружающей среды, т. е. температуры свободных концов термоэлектродов, на работу термопары, в схему измерения вводят автоматическую термокомпенсацию при помощи специального устройства. Устройство

термокомпенсации КТ включают последовательно в измерительную цепь, составленную из термопары AB , термоэлектродных проводов $A1$ и $B1$, медных соединительных проводов C и измерительного (вторичного) прибора mV -милливольтметра (рисунок 2.4).

В простейшем виде устройство термокомпенсации представляет собой равноплечий мост, три плеча $R2, R3, R4$ которого выполнены из манганиновой проволоки (имеет очень малый температурный коэффициент сопротивления), а плечо $R1$ – из медной проволоки (с большим ТКС). Мост питается от стабилизированного источника напряжения U , R_d – добавочный манганиновый резистор в линии питания моста, R_y – уравнивательный манганиновый резистор для подгонки внешнего сопротивления милливольтметра mV до заданного значения. Устройство термокомпенсации выпускается отдельным блоком или встроенным во вторичный прибор.

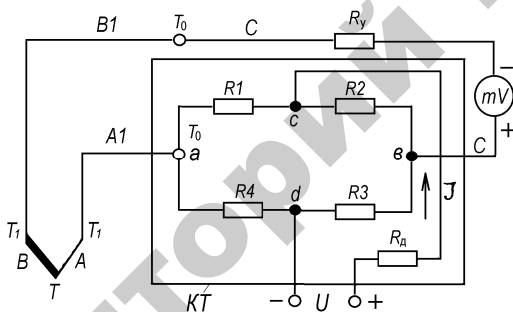


Рис. 2.4. Схема измерения температуры с автоматической термокомпенсацией

При температуре 0°C мост уравновешен, напряжение U_{AB} на зажимах a и b равно нулю, а термоЭДС термопары соответствует градуировочному значению $U_{\text{ТП}}(T, T_0)$. При изменении температуры окружающего воздуха, а следовательно, и температуры T_0 до значения $T_0' > T_0$, медный резистор $R1$ также увеличивает свое сопротивление до значения $R1'$. Вследствие этого нарушается равновесие моста и на зажимах a и b возникает напряжение U_{AB} , которое компенсирует изменение термоЭДС термопары до значения $U(T, T_0) = U(T, T_0') + U_{AB}$, здесь $U(T, T_0')$ термоЭДС термопары при температуре свободных концов T_0' , ($U(T, T_0') \leq U(T, T_0)$ при $T_0' > T_0$) и той же температуре T рабочего конца.

Для защиты от механических повреждений и воздействия контролируемой среды электроды (чувствительный элемент) термопары, армированные изоляцией, помещают в специальную защитную арматуру. Особенности конструкции различных типов термопар представлены на лабораторном стенде и учебных плакатах. Термопары типа ТПП и ТПР выпускаются нескольких разновидностей: эталонные, образцовые, рабочие повышенной точности и технические; типа ТХА и ТХК – только технические.

К числу достоинств термопар следует отнести простоту изготовления, достаточно высокую точность, возможность централизации контроля температуры путем присоединения нескольких термопар через переключатель к одному измерительному прибору, возможность автоматической записи измеряемой температуры при помощи самопишущего прибора, надежность в эксплуатации, возможность отдельной градуировки вторичного прибора и первичного преобразователя – термопары.

Недостатками термопар являются: большая инерционность (до 180 с), необходимость введения поправки на температуру свободных концов, а также применения удлиняющих термоэлектродных проводов.

Цифровые датчики температуры предназначены для измерения и мониторинга температуры собственного корпуса и температуры удаленного объекта. Во втором случае измерение производится при помощи внешних термодатчиков (кремниевых диодов). Цифровые датчики объединяют на кристалле кремниевый термодатчик, АЦП (до 14 бит), регистры верхнего и нижнего значения собственной температуры и температуры удаленных датчиков, регистры конфигурации и гистерезиса, аналоговые компараторы, логику управления и реализации протоколов последовательной передачи данных и стабилизатор питания. Цифровые датчики температуры обладают невысокой стоимостью, компактным исполнением и низким током потребления. Они позволяют просто и эффективно решить задачу отслеживания температуры важных компонентов устройства (силовые ПП модули и транзисторы, процессоры, обмотки двигателей и т. д.) и при возникновении перегрева сформировать сигнал тревоги или прерывания.

Вторичные приборы для измерения температуры

В зависимости от типа первичного преобразователя (датчика) применяют соответствующие вторичные приборы для измерения и регулирования температуры, которые серийно выпускаются промышленностью. С термометрами сопротивления используются логометры, автоматические уравновешенные мосты и специальные автоматические компенсационные приборы (с малоомными ТС); с термопарами – милливольтметры и электронные автоматические потенциометры. Эти приборы в зависимости от конструктивного исполнения могут быть использованы для измерения, записи, регулирования или сигнализации температуры. В практике технологического контроля и регулирования температуры широко применяются логометры и автоматические потенциометры.

Логометры

Логометры (от греч. «логос» – отношение) относятся к электроизмерительным приборам магнитоэлектрической системы.

Принципиальная схема логометра изображена на рисунке 2.5 и представляет симметричный измерительный мост. В плечи моста включены: постоянные резисторы R_1 , R_2 , R_3 ; резистор R_4 , служащий для подгонки параметров логометра; резистор R_5 – для компенсации изменений температуры окружающей среды; резистор R_6 является добавочным в цепи термометра сопротивления R_t , помещаемого в среду, температуру которой необходимо измерить. По условию симметричности сопротивления симметричных плеч моста выбирают равными, т. е. $R_2 = R_3$, $R_1 = R_t + R_6$. В измерительную диагональ включены две скрещенные (угол между рамками $15\text{--}20^\circ$ – для получения пропорциональной шкалы логометра) и жестко связанные между собой токовые рамки R_{p1} и R_{p2} из тонкой изолированной медной проволоки, закрепленные на одной оси и расположенные в магнитном поле полюсов постоянного магнита (на схеме магнит не показан). При протекании токов I_1 и I_2 по рамкам вокруг них создаются соответствующие магнитные поля, которые, взаимодействуя с полем постоянного магнита, создают вращающие моменты, действующие на рамки в противоположных направлениях. Под действием этих моментов подвижная часть (указатель) измерительного механизма поворачивается в сторону большего момента. При этом рамка с большим вращающим момен-

том благодаря специальной конструкции полюсов магнита попадает в более слабое магнитное поле, и ее момент уменьшается, момент другой рамки, наоборот, будет увеличиваться.

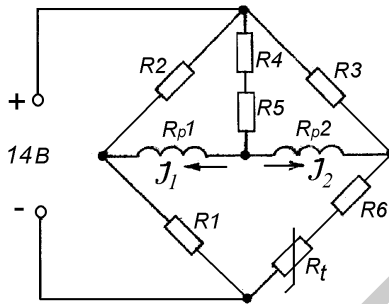


Рис. 2.5. Принципиальная электрическая схема логометра

Величина тока I_2 зависит от сопротивления термометра R_t , которое изменяется с изменением контролируемой температуры. При определенном угле поворота рамок, зависящем от отношения величин токов I_1/I_2 , вращающие моменты сравниваются, и стрелка логометра установится в положение, соответствующее определенному значению измеряемой температуры.

Конструкция стандартного логометра Ш69000 представлена на лабораторном стенде.

С целью обеспечения нормированной погрешности при измерении температуры термометр сопротивления, подключенный к логометру, должен иметь с ним одинаковое обозначение градуировки (например, гр. 21 и т. д.).

Порядок выполнения работы

ВНИМАНИЕ! ПЕРЕД КАЖДЫМ НОВЫМ ОПЫТОМ УБЕДИТЬСЯ, ЧТО НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ОСТЫЛ ДО 20–25 ГРАДУСОВ.

Исследование датчика температуры с отрицательным ТКС

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить первый мультиметр к гнездам термопары и выставить на нем режим измерения температуры. Другой мультиметр подключить к гнездам датчика температуры с отрицательным ТКС и выставить предел измерений 20 кОм.

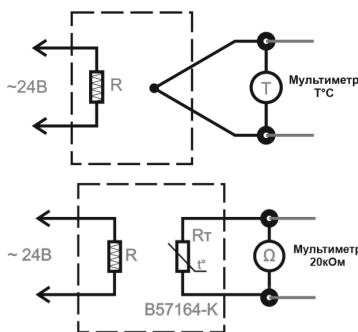


Рис. 2.6. Схема исследования датчика температуры с отрицательным ТКС

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Перевести тумблер «НАГРЕВ» в верхнее положение.

Регистрировать значения температуры и сопротивления датчика. Полученные данные занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

Экспериментальные данные

T, °C	R, кОм
20	
30	
40	
50	
60	
70	

Построить статическую характеристику $R=f(T)$.

По окончании работы перевести тумблер «НАГРЕВ» в нижнее положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить мультиметры.

Исследование датчика температуры с положительным ТКС

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить первый мультиметр к гнездам термопары и выставить на нем режим измерения температуры. Другой мультиметр подключить к гнездам датчика температуры с положительным ТКС и выставить предел измерений 1 кОм, рисунок 2,7.

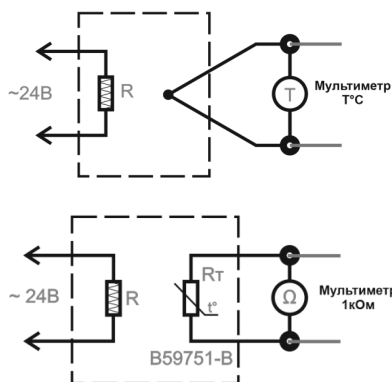


Рис. 2.7. Схема исследования датчика температуры с положительным ТКС

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Перевести тумблер «НАГРЕВ» в верхнее положение.

Регистрировать значения температуры и сопротивления датчика. Полученные данные занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Экспериментальные данные

$T, ^\circ\text{C}$	$R, \text{кОм}$
20	
30	
40	
50	
60	
70	

Построить статическую характеристику $R = f(T)$.

По окончании работы перевести тумблер «НАГРЕВ» в нижнее положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить мультиметры.

Исследование аналогового датчика температуры

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить первый мультиметр к гнездам термопары и выставить на нем режим измерения температуры. Другой мультиметр подключить

к гнездам аналогового датчика температуры и выставить предел измерений 20В постоянного напряжения (рисунок 2.8.).

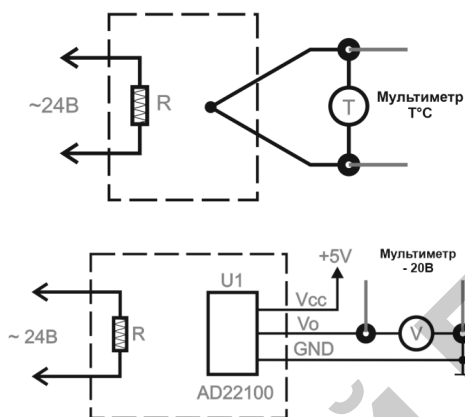


Рис. 2.8. Схема исследования аналогового датчика температуры

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Перевести тумблер «НАГРЕВ» в верхнее положение.

Регистрировать значения температуры и напряжения датчика температуры. Полученные данные занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Экспериментальные данные

$T, ^\circ\text{C}$	$U, \text{В}$
20	
30	
40	
50	
60	
70	

Построить статическую характеристику $U=f(T)$.

По окончании работы перевести тумблер «НАГРЕВ» в нижнее положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить мультиметры.

Исследование цифрового датчика температуры

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить первый мультиметр к гнездам термопары и выставить на нем режим измерения температуры (рисунок 2.9).

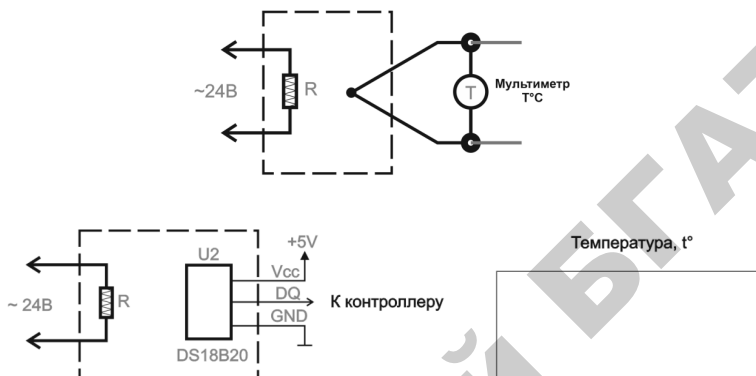


Рис. 2.9. Схема исследования цифрового датчика температуры

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Перевести тумблер «НАГРЕВ» в верхнее положение.

Регистрировать значения температуры термопары и цифрового датчика температуры, а также время разогрева цифрового датчика температуры. Полученные данные занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

Экспериментальные данные

T1, °C	T2, °C	t, с
20		
30		
40		
50		
60		
70		

Построить динамическую характеристику $t = f(T)$.

По окончании работы перевести тумблер «НАГРЕВ» в нижнее положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить мультиметры.

Исследование термопары

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить мультиметр к гнездам термопары и выставить на нем режим измерения 200 мВ. Для контроля над температурой использовать любой другой датчик, исследуемый ранее (рисунок 2.10).

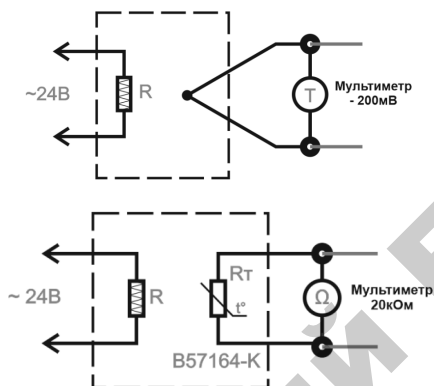


Рис. 2.10. Схема исследования цифрового датчика температуры

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Перевести тумблер «НАГРЕВ» в верхнее положение.

Регистрировать значения напряжения на выходе термопары. Полученные данные занести в таблицу 2.5.

Таблица 2.5

Экспериментальные данные

$T, ^\circ\text{C}$	$U_T, \text{мВ}$
20	
30	
40	
50	
60	
70	

Построить статическую характеристику $U_T = f(T)$.

По окончании работы перевести тумблер «НАГРЕВ» в нижнее положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить мультиметры.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание, принцип действия и конструкции первичных преобразователей температуры и логометра.
3. Электрическая схема логометра.
4. Таблица и результаты измерений.
5. Графические изображения статических характеристик датчиков температуры.

Контрольные вопросы

1. Назначение и принципы действия термометра сопротивления, термистора, термопары.
2. Обозначение градуировки датчиков температуры.
3. Достоинства и недостатки термометра сопротивления, термистора, термопары.
4. Назначение вторичных приборов.
5. Объясните принцип действия логометра.

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Цель работы: Изучить принцип работы и исследовать характеристики датчиков перемещения, ознакомиться с конструктивными схемами и принципом действия датчиков перемещения различных типов, построить статические характеристики датчиков, определить статическую чувствительность.

Общие сведения Емкостные датчики

Принцип работы емкостных датчиков основан на свойстве конденсатора изменять емкость с изменением геометрических размеров или относительной диэлектрической проницаемости.

Емкостные датчики применяются для измерения влажности почвы, зерна, толщины различных материалов, уровней жидкости и сыпучих материалов, размеров деталей, давлений, ускорений, вибраций и т. д.

Емкость плоского датчика определяется по формуле:

$$C = 0,088 \frac{\varepsilon S}{d}, \quad (3.1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость (для воздуха $\varepsilon \approx 1$);

S – действующая площадь пластин (обкладок), составляющих конденсатор, см²;

d – толщина диэлектрика (или зазора).

Из формулы (3.1) видно, что емкость может изменяться в зависимости от трех величин: ε , S , d . Следовательно, в зависимости от того, какой параметр подвергается воздействию измеряемой величины, можно выполнить соответствующий емкостный датчик. На рисунке 3.1а изображен емкостный датчик, в котором измеряемая

величина вызывает изменение зазора d между пластинами, из которых 1 – подвижная, а 2 – неподвижная. Такой датчик применяется для измерений небольших перемещений. Если обозначить начальную емкость (до измерения) через C_0 , а в момент измерения через C_1 , то абсолютное изменение емкости:

$$\Delta C = C_0 - C_1 = \frac{0,088\epsilon S}{d} \quad (3.2)$$

и относительное изменение

$$\frac{\Delta C}{C} = \Delta d(d \pm \Delta d), \quad (3.3)$$

где Δd – изменение зазора между пластинами.

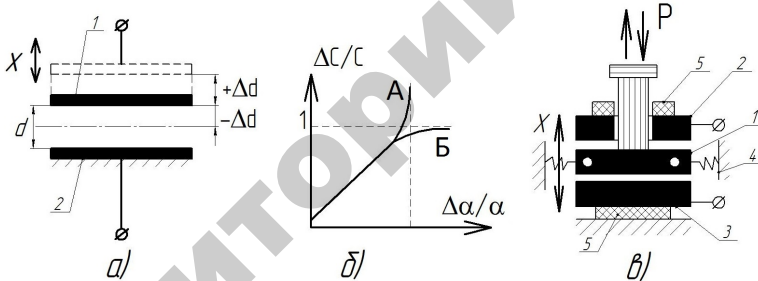


Рис. 3.1. Емкостные датчики

В формуле (3.2) знак (+) соответствует уменьшению емкости, а (-) увеличению.

Чувствительность датчика:

$$S = \frac{\Delta C / C}{\Delta d} = \frac{1}{d \pm \Delta d}. \quad (3.4)$$

На рисунке 3.1б показана зависимость относительного изменения емкости $\Delta C/C$ от относительного изменения зазора $\Delta d/d$. В случае уменьшения зазора ($d - \Delta d$) кривая А круто поднимается вверх и при $\Delta d/d \rightarrow 1$ стремится к бесконечности. При увеличении зазора

$d + \Delta d$ кривая Б при $\Delta d/d \rightarrow \infty$ плавно приближается к предельному значению $\Delta C/C = 1$. При этом чувствительность датчика уменьшается. Обе кривые будут иметь линейный характер в случае, когда зазор изменяется не более чем на 5 %, т. е. $\Delta d = \pm 0,05d$.

На рисунке 3.1в приведена схема дифференциального конденсатора. Применение его позволяет увеличить чувствительность схем емкостных ИП. Конденсатор содержит подвижную пластину 1, расположенную между двумя неподвижными пластинами 2 и 3. Подвижная пластина закреплена с двух сторон на упругих подвесках 4 с малой жесткостью и может перемещаться вверх и вниз под действием измеряемого усилия. Во избежание утечки зарядов пластины 2 и 3 тщательно изолированы от корпуса прокладками 5. При перемещении подвижной пластины вверх увеличивается емкость C_1 между пластинами 1 и 2 и уменьшается C_2 между пластинами 1 и 3. Емкостные ИП с таким дифференциальным конденсатором служат для измерения линейных перемещений до 1 мм с точностью 0,1–0,01 мкм.

При изменении емкости конденсатора изменяется его емкостное сопротивление:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (3.5)$$

Для преобразования изменения сопротивления в электрический сигнал конденсатор включают в мостовую схему рисунка 3.2, работающие на переменном токе, или в резонансные схемы, основанные на резонансе токов или напряжений.

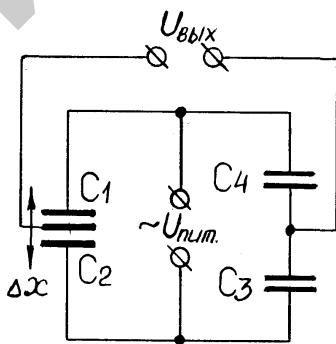


Рис. 3.2. Мостовая схема включения датчиков

Мостовая схема емкостного ИП содержит два конденсатора постоянной емкости ($C4$ и $C3$) и трехэлектродный воздушный конденсатор со средней подвижной пластиной, перемещение которой вызывает изменение емкостей $C1$ и $C2$).

Если мост уравновешен, т. е. $X_{C1} X_{C3} = X_{C2} X_{C4}$, то $U_{\text{вых}} = 0$. При перемещении подвижной пластины дифференциального конденсатора нарушается равновесие моста и появляется $U_{\text{вых}}$ в измерительной диагонали моста, т. е. $U_{\text{вых}} = f(x)$.

На рисунке 3.3а показан датчик для измерения линейных перемещений, в котором входная величина x преобразуется за счет изменения площади пластин. Здесь b , h , d – соответственно ширина, высота обкладки и расстояние между обкладками.

Используя обозначения, принятые на рисунке 3.1а, находим абсолютное изменение значения емкости:

$$C = C_0 - C_1 = \frac{0,088\epsilon\Delta S}{d} = 0,088\epsilon b\Delta h. \quad (3.6)$$

Обычно для увеличения чувствительности датчика применяют многопластинчатые конденсаторы, в этом случае емкость

$$C = \frac{0,088\epsilon S(n-1)}{d}, \quad (3.7)$$

где n – общее число пластин.

Абсолютное изменение емкости:

$$\Delta C = \frac{0,088\epsilon S(n-1)}{d}. \quad (3.8)$$

В основе работы емкостных датчиков перемещения лежит взаимосвязь емкости конденсатора с его геометрической конфигурацией. В простейшем случае речь идёт об изменении расстояния между пластинами вследствие внешнего физического воздействия (рисунок 3.3).

Поскольку емкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине зазора между пластинами, определение емкости при прочих известных параметрах позволяет судить о расстоянии между пластинами. Изменение емкости можно зафиксировать различными способами (например, измеряя его импеданс), однако в любом случае конденсатор необходимо включить в электрическую цепь.

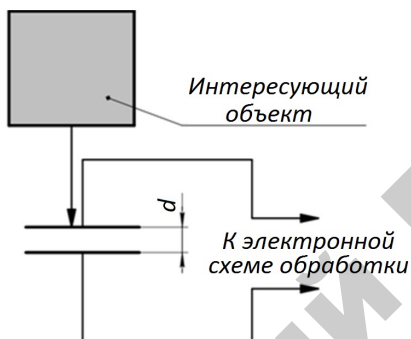


Рис. 3.3. Емкостной датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора

Другой схемой, где выходным параметром является электрическая емкость, является схема, содержащая конденсатор с подвижным диэлектриком (рисунок 3.4). Перемещение диэлектрической пластины между обкладками конденсатора также приводит к изменению его емкости. Пластина может быть механически связана с интересующим объектом, и в этом случае изменение емкости свидетельствует о перемещении объекта. Кроме того, если сам объект обладает свойствами диэлектрика и имеет подходящие габариты – он может быть использован непосредственно в качестве диэлектрической среды в конденсаторе.

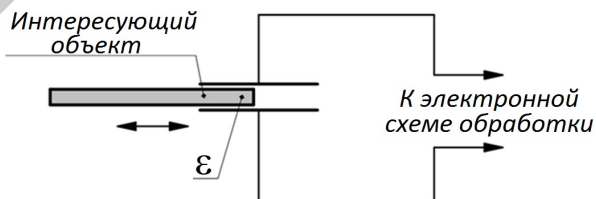


Рис. 3.4. Емкостной датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком

Достоинства емкостных датчиков: высокая чувствительность, малый вес и размеры, малая инерционность, простота конструкции, отсутствие подвижных контактов.

Недостатки: не пригодны для работы от напряжения сети промышленной частоты и требуют источника питания повышенной частоты 400 Гц и более (из-за наличия высокого внутреннего сопротивления X_c), сложны в наладке, чувствительны к посторонним электрическим полям и паразитным емкостям, к изменению влажности и температуры среды.

Потенциометрические датчики

Потенциометрические датчики относятся к типу датчиков, преобразующих линейные и угловые перемещения в электрический сигнал и представляющие собой переменное электрическое сопротивление, величина которого зависит от положения токоъемного устройства. На стенде в левом верхнем углу расположены различные виды потенциометров.

Потенциометры в схемах работают с источником постоянного и переменного тока. Потенциометрические датчики применяются в различных системах автоматического контроля и регулирования, когда любая регулируемая или контролируемая физическая величина может быть преобразована в перемещение движка датчика.

Таким образом, входной величиной датчика является перемещение X или угол поворота движка, тогда как выходной величиной можно считать сопротивление R , ток I или напряжение U .

Потенциометрическим проволочным датчикам присуще наличие зоны нечувствительности, которая обусловлена диаметром токопроводящей проволоки.

Потенциометр (рисунки 3.5–3.6) представляет собой электрическое сопротивление R с линейным и угловым перемещением ползунка.

Основой потенциометра (линейного) является керамическая труба, закрепленная торцами между двумя металлическими щеками при помощи стяжных болтов. В щеках имеются вентиляционные отверстия для охлаждения керамики. На наружной поверхности керамической трубы вплотную навита обмотка сопротивления, концы которой закреплены хомутами. Каждый хомут соединен перемычкой со своей клеммой, расположенной на щеке. Над обмоткой укреплены направляющие стержни, вдоль которых

по зачищенной поверхности обмотки перемещается ползун с контактными роликами или плоскими пружинными контактами. Ползунок соединяется с выходом третьей клеммой потенциометра.

В потенциометрах с угловым перемещением обмотка наматывается на изоляционный материал, выполненный в виде кругового сектора.

Потенциометры бывают проволочные и непроволочные. У непроволочных потенциометров токопроводящий слой состоит из углерода на лаковой основе или специального металлического сплава высокого удельного сопротивления, нанесенных тонким слоем на поверхность керамики или иного изоляционного материала. Такие датчики обладают линейной статической характеристикой.

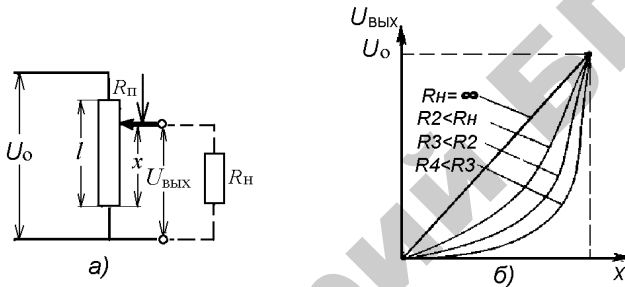


Рис. 3.5. Потенциметрический измерительный преобразователь (ИП) линейных перемещений в электрический сигнал:
 а – схема включения, б – статическая характеристика

У проволочных датчиков токопровод состоит из однослойной проволочной обмотки, с диаметром проволоки 0,03–0,1 мм для датчиков высокого класса точности и 0,3–0,4 мм для датчиков низкого класса.

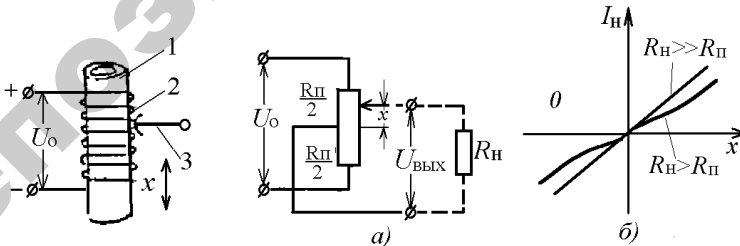


Рис. 3.6. Конструкция потенциометра:
 1 – каркас; 2 – провод;
 3 – ползунок

Рис. 3.7. Реверсивный потенциметрический преобразователь:
 а – схема включения; б – статическая характеристика

В системах автоматики используются и различные функциональные потенциометры (с переменной высотой каркаса, изменяющимся шагом намотки, с фигурным каркасом, с сопротивлениями, с шунтирующими участками с линейным распределением сопротивления), квадратные, логарифмические, синусные, синусно-косинусные.

В простых датчиках между сопротивлением и перемещением (статическая характеристика) существует линейная зависимость:

$$R_x = R_n \frac{X}{L} \text{ — для прямых,}$$

$$R_x = R_n \frac{\alpha}{f} \text{ — угловых,}$$

где f — длина кругового сектора.

Основными эксплуатационными характеристиками потенциометров являются: величина активного сопротивления, номинальная мощность рассеивания, уровень внешних шумов, износоустойчивость и вибропрочность, стабильность величины сопротивления.

Статическая характеристика определяет функциональную зависимость выходного напряжения потенциометра от перемещения его движка:

$$U_{\text{вых}} = U_2 = f(x) \text{ или } U_2 = f(\alpha).$$

Для большинства типов потенциометров, используемых в автоматических системах, эта зависимость линейна при условии компенсации влияния нагрузки на точность работы потенциометра.

Влияние нагрузки R_n , подключенной к выходу потенциометра, характеризуется погрешностью, величина которой выражается в абсолютных (в единицах напряжения) или относительных (в процентах) единицах.

Относительная статистическая погрешность измерений для каждой ступени нагрузки (тарировки) вычисляется по формуле:

$$\Delta_{\text{ст}} = \frac{U_{2\text{пр}} - U_{2\text{об}}}{U_{2\text{пр}} + U_{2\text{об}}} 100 \%,$$

где $U_{2\text{пр}}$ — показания измерительного прибора при прямом ходе;

$U_{2\text{об}}$ — показания измерительного прибора при обратном ходе.

Статическая чувствительность определяется крутизной выходного напряжения и характеризует приращение выходного напряжения на единицу линейного или углового перемещения его движка ($V/\text{мм}$ или $V/\text{рад}$).

Номинальная мощность рассеивания определяется максимальной допустимой мощностью, длительно рассеиваемой на сопротивлении потенциометра без нарушения его нормальной работы.

Номинальная величина активного сопротивления характеризуется значением активного сопротивления потенциометра при его изготовлении. Потенциометры в зависимости от номинального значения делятся на классы.

Уровень собственных шумов потенциометра оценивается величиной ложного сигнала, появляющегося на его выходе вследствие мгновенного нарушения контакта, возникающего при больших скоростях перемещения или вибрации ползунка.

Износостойчивость потенциометра определяется числом перемещений (поворотов) ползунка от упора до упора, которое потенциометр может выдержать без нарушения его нормальной работы.

Вибропрочность оценивается временем, в течение которого потенциометр выдержит колебания в заданном диапазоне частот и с заданным ускорением без нарушения его нормальной работы.

Стабильность сопротивления характеризуется изменением величины сопротивления потенциометра с течением времени под влиянием температуры, влажности, рассеивания мощности и т. д. при подаче напряжения.

Типовые схемы включения потенциометра, наиболее часто применяемые в автоматических системах, представлены на рисунках 3.5, 3.7.

Основные соотношения ненагруженного прямого потенциометра (рисунок 3.5а) $U_2 = U_0 K$ – выходное напряжение, где $K = \frac{X}{L}$ – относительное перемещение ползунка.

Выходное напряжение потенциометра практически является функцией перемещения его ползунка. Погрешность преобразования механического перемещения в электрический сигнал определяется собственной погрешностью потенциометра.

Влияние нагрузки. Выходное напряжение, снимаемое с потенциометра, отличается от заданного на величину, зависящую от от-

ношения полных сопротивлений потенциометра и нагрузки, а также от положения ползунка потенциометра.

При витом сопротивлении, по которому скользит контакт, величина $R_{п2}$ пропорциональна расстоянию ползунка от крайнего положения, а $R_{п1}$ пропорционально длине потенциометра:

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{R_{п2}}{R_{п1} + R_{п2}} = \frac{R_{п2}}{R_{п}};$$

$$U_2 = U_0 \times \frac{R_{п2}}{R_{п1} + R_{п2}} = U_0 \frac{x}{L} = U_0 k.$$

Это соотношение справедливо лишь при условии, что на выходе имеется большое нагрузочное сопротивление R_n (по сравнению с величиной сопротивления потенциометра $R_{п}$ в этом случае напряжение U_2 является собственно напряжением холостого хода).

Если $R_n < R_{п}$, то

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{R_{п2} R_n / R_{п2} + R_n}{R_{п1} + R_{п2}} = \frac{R_{п2} R_n}{R_{п1} R_{п2} + R_{п1} R_n + R_{п2} R_n},$$

и тогда U_2 зависит непосредственно от R_n .

Оптические датчики перемещения

Существует множество вариаций схем датчиков перемещения, основанных на различных оптических эффектах. Пожалуй, наиболее популярной является схема оптической триангуляции – датчик положения является, по сути, дальномером, который определяет расстояние до интересующего объекта, фиксируя рассеянное по поверхности объекта излучение и определяя угол отражения, что дает возможность определить длину d – расстояние до объекта (рисунок 3.8). Важным достоинством большинства оптических датчиков является возможность производить бесконтактные измерения, кроме того, такие датчики обычно довольно точны и имеют высокое быстродействие.

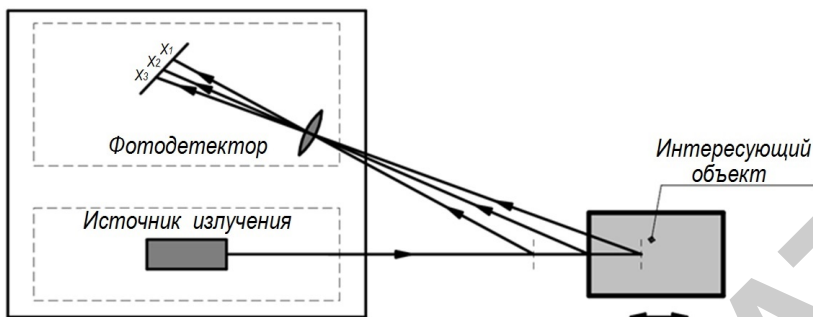


Рис. 3.8. Оптический датчик перемещения на основе схемы оптической триангуляции

В другой реализации оптического датчика, предназначенной для регистрации и определения параметров малых перемещений и вибраций, используется двойная решетчатая конструкция, а также источник света и фотодетектор (рисунок 3.9). Одна решетка неподвижна, вторая подвижна и может быть механически закреплена на интересующем объекте или каким-либо способом передавать датчику его движение.

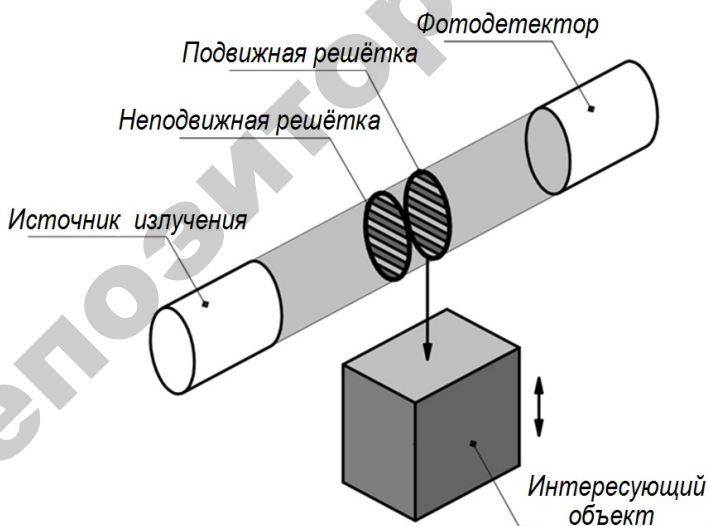


Рис. 3.9. Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток

Малое смещение подвижной решетки приводит к изменению интенсивности света, регистрируемой фотодетектором, причем с уменьшением периода решетки точность датчика возрастает, однако сужается его динамический диапазон.

Дополнительными возможностями применения обладают оптические датчики, учитывающие поляризацию света. В таких датчиках может быть реализован алгоритм селекции объектов по отражательным свойствам поверхности, т. е. датчик может «обращать внимание» только на объекты с хорошей отражающей способностью, прочие объекты игнорируются. Разумеется, чувствительность к поляризации негативно сказывается на стоимости подобных устройств.

Индуктивные датчики перемещения

В одной из конфигураций датчика данного типа чувствительным элементом является трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокосцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора (рисунок 3.10). Поскольку амплитуда сигнала во вторичной обмотке зависит от потокосцепления, по величине амплитуды вторичной обмотки можно судить о положении сердечника, а значит и о положении внешнего объекта.

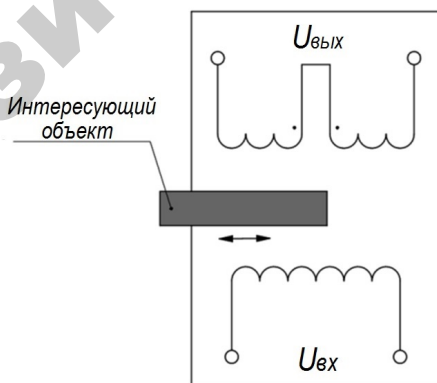


Рис. 3.10. Индуктивный датчик перемещения на трансформаторе

Другая конфигурация имеет более простую схему, однако она пригодна лишь для небольшого количества приложений, где требуется определять незначительные перемещения или вибрации объектов, состоящих из ферромагнитного материала. В данной схеме интересующий ферромагнитный объект играет роль магнитопровода, положение которого влияет на индуктивность измерительной катушки (рисунок 3.11).

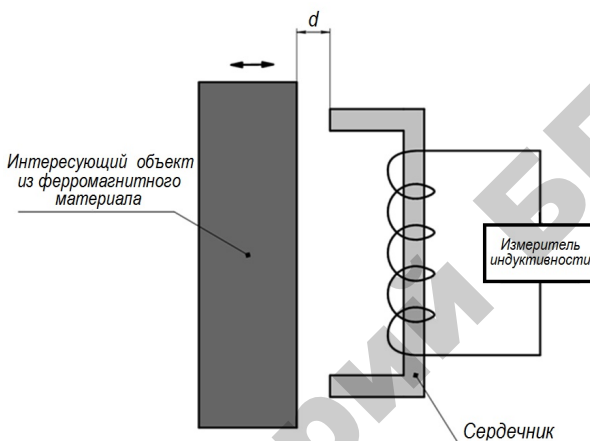


Рис. 3.11. Индуктивный датчик перемещения для объектов из ферромагнитных материалов

Ультразвуковые датчики перемещения

В ультразвуковых датчиках реализован принцип радара – фиксируются отраженные от объекта ультразвуковые волны, поэтому структурная схема обычно представлена источником ультразвуковых волн и регистратором (рисунок 3.12), которые обычно заключены в компактный корпус. Определение временной задержки между моментами отправки и приема ультразвукового импульса позволяет измерять расстояние до объекта с точностью, достигающей до десятых долей миллиметра. Наряду с оптическими ультразвуковые датчики на сегодняшний день являются, пожалуй, наиболее универсальным и технологичным бесконтактным средством измерения. Использование этого принципа измерений опять же можно найти в детекторах обнаружения дефектов, только на этот раз уже в ультразвуковых дефектоскопах.

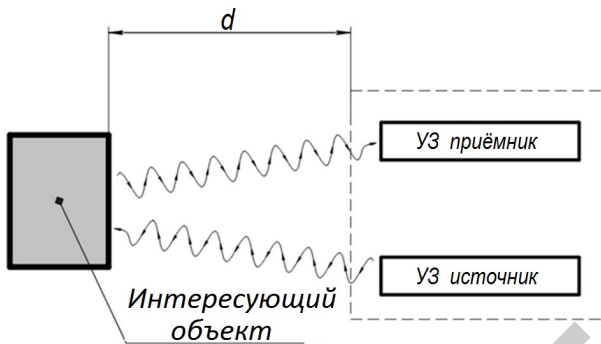


Рис. 3.12. Ультразвуковой датчик перемещения

Порядок выполнения работы

1 Исследование резистивного датчика линейного перемещения

1.1 Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

1.2 Подключить мультиметр к гнездам резистивного датчика (рисунок 3.13). Выставить предел измерения 200 кОм.

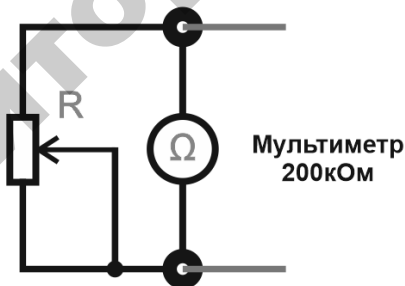


Рис. 3.13. Схема подключения мультиметра для исследования резистивного датчика линейного перемещения

1.3 Перемещая ползунок резистора вправо, регистрировать значения сопротивления R и перемещения X . Полученные данные занести в таблицу 3.1.

Экспериментальные данные

X, м	R, Ом

1.4 Построить статическую характеристику $R = f(X)$.

1.5 По окончании работы переместить ползунок резистора в начальное положение, отсоединить мультиметр, отключить питание стенда переводом автоматического выключателя «СЕТЬ» в нижнее положение.

2 Исследование оптоэлектрического датчика линейного перемещения

2.1 Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

2.2 Вставить кодовую линейку в отверстие.

Параметры кодовой линейки:

Длина кодовой линейки L , $L=123$ мм.

Количество отверстий N , $N=20$.

2.3 Выставить кодовую линейку на нулевое значение. При необходимости сбросить показания счетчика нажатием кнопки SB4.

2.4 Перевести тумблер SB3 в верхнее положение «Диодная оптопара».

2.5 Передвигать кодовую линейку вправо, регистрировать количество «шагов» N и перемещение X . Полученные данные занести в таблицу 3.2.

2.6 Перевести тумблер SB3 в нижнее положение «Транзисторная оптопара».

2.7 Повторить п. 2.3–2.5.

Экспериментальные данные

Диодная оптопара		Транзисторная оптопара	
X , м	N , шаг	X , м	N , шаг

2.8 Построить статическую характеристику $N = f(X)$ для каждого типа оптопары.

2.9 По окончании работы извлечь кодую линейку, отключить питание стенда переводом автоматического выключателя «СЕТЬ» в нижнее положение.

3 Исследование емкостного датчика линейного перемещения

3.1 Подключить мультиметр к гнездам емкостного датчика линейного перемещения (рисунок 3.14). Для этого переставить измерительные щупы на мультиметре в гнездо Cx и COM , выставить предел измерения 20 nF, нажать кнопку Cx/Lx .

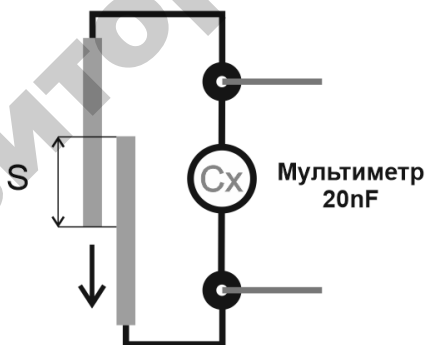


Рис. 3.14. Схема подключения мультиметра для исследования емкостного датчика линейного перемещения

3.2 Передвигать пластину датчика ручкой вправо, регистрируя значения емкости и перемещения. Полученные данные занести в таблицу 3.3.

Экспериментальные данные

X, м	Cx, nF

3.3 Построить статическую характеристику $C_x = f(X)$.

3.4 По окончании работы вернуть пластину датчика в исходное положение.

4 Исследование индуктивного датчика линейного перемещения

4.1 Подключить мультиметр к гнездам индуктивного датчика линейного перемещения (рисунок 3.15). Для этого переставить измерительные щупы на мультиметре в гнездо Lx и COM, выставить предел измерения 20mH, нажать кнопку Cx/Lx.

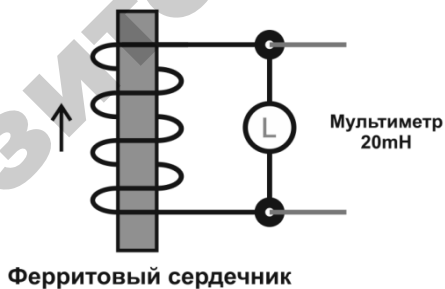


Рис. 3.15. Схема подключения мультиметра для исследования индуктивного датчика линейного перемещения

4.2 Передвигать ферритовый сердечник (входит в комплект стенда) влево, регистрируя значения индуктивности катушки и перемещения сердечника. Полученные данные занести в таблицу 3.4.

Экспериментальные данные

X , м	Lx , мН

4.3 Построить статическую характеристику $C_x = f(X)$.

4.4 По окончании работы извлечь ферритовый сердечник из катушки, отсоединить и отключить мультиметр.

5 Исследование ультразвукового датчика линейного перемещения

5.1 Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

5.2 Подключить ультразвуковой датчик в разъем XS1 (рисунок 3.16).



Рис. 3.16. Схема подключения ультразвукового датчика линейного перемещения

5.3 Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

5.4 Направить датчик на объект или поверхность (например, стена или пол) на расстояние не более 1.8 м. Индикатор X показывает расстояние в метрах до объекта, вспомогательные светодиоды указывают, насколько близко или далеко находится объект.

5.5 С помощью рулетки или линейки (не входит в комплект) снять и сравнить показания датчика и рулетки (линейки). Полученные данные занести в таблицу 3.5.

Экспериментальные данные

Ультразвуковой датчик	Рулетка (линейка)
X, м	X, м

По окончании работы отключить ультразвуковой датчик, отключить питание стенда переводом автоматического выключателя «СЕТЬ» в нижнее положение.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание принципа действия, конструкции и схем включения датчиков перемещения.
3. Таблица и результаты измерений.
4. Графические изображения статических характеристик датчиков перемещения.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы емкостных датчиков.
2. Устройство емкостных датчиков, используемых для измерения линейных и угловых перемещений.
3. Какие физические величины можно измерять при помощи емкостных датчиков?
4. Преимущества и недостатки емкостных датчиков.
5. Объяснить устройство и принцип работы потенциометрических датчиков.
6. Назовите основные эксплуатационные характеристики потенциометров.
7. Как влияет нагрузка на статическую характеристику потенциометрического датчика?
8. К какому типу динамического звена относятся потенциометрические датчики?
9. Объяснить устройство и принцип работы оптических, индуктивных, ультразвуковых датчиков перемещения.

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией и принципом действия трансформаторных датчиков; ознакомиться с конструкцией контактных и бесконтактных сельсинов; провести исследование сельсинов в трансформаторном и индикаторном режимах.

Общие сведения

Трансформаторные датчики являются разновидностью индуктивных преобразователей. Принцип их действия основан на изменении взаимной индуктивности обмоток при перемещении относительно друг друга или при перемещении якоря датчика.

Трансформаторные датчики являются генераторными и подразделяются на две основные группы в зависимости от способа изменения взаимной индуктивности: а) с перемещающимся или поворотным якорем (рисунок 4.1а, б, в); б) с перемещающейся обмоткой (обмотка находится на якоре) (рисунок 4.1г, д). Датчики этого типа позволяют получить любое напряжение на выходе нагрузки независимо от величины напряжения источника питания. Во вторичной обмотке W_2 (рисунок 4.1а) датчика индуцируется ЭДС E_2 , величина которой находится в определенной зависимости от величины зазора δ . При $I = \text{const}$,

$$E_2 = wW_2\Phi = f(\delta), \quad (4.1)$$

где w – угловая частота;
 Φ – магнитный поток.

На рисунке 4.1б приведена схема трехстержневого датчика с поворотным якорем.

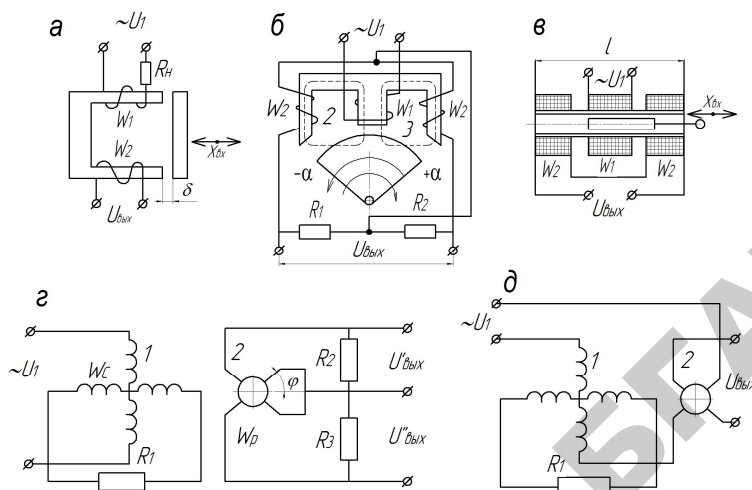


Рис. 4.1. Схемы подключения трансформаторных датчиков

Первичная обмотка питается от сети переменного тока. Вторичные обмотки 2 и 3 соединены последовательно и встречно. При нейтральном положении якоря магнитные потоки Φ_1 и Φ_2 равны и напряжение на выходе равно нулю. Отклонение якоря в ту или иную сторону приводит к изменению магнитного сопротивления цепей потоков Φ_2 и Φ_1 и на выходе появляется напряжение, которое пропорционально отклонению якоря:

$$U_{\text{вых}} = k\alpha. \quad (4.2)$$

Для трансформаторного датчика соленоидного типа (рисунок 4.1в):

$$U_{\text{вых}} = kU_1 \frac{W_2}{W_1} x_{\text{вых}}, \quad (4.3)$$

где $x_{\text{вых}} = (0,1-0,2)L$.

Чувствительность трансформаторных преобразователей составляет 0.5–3 мВ/мк на 1 В первичного напряжения. Для измерения угловых перемещений трансформаторные датчики выполняются часто в виде электрических машин (вращающиеся трансформаторы, сельсины), у которых первичная обмотка располагается на ста-

торе, а вторичная – на роторе. Вращающиеся трансформаторы имеют по две перпендикулярные обмотки на статоре и роторе и приспособлены для работы в режиме синусно-косинусного вращающегося трансформатора (СКВТ) (рисунок 4.1з) и режима линейного вращающегося трансформатора (ЛВТ).

Разновидностью вращающихся трансформаторов являются сельсины – специальные индуктивные миниатюрные машины.

При дистанционном управлении и сигнализации, при передаче показаний контрольно-измерительных приборов на расстояние, при передаче на расстояние угловых перемещений двух или нескольких валов, не связанных механически между собой, и т. п. требуется воспроизведение с заданной точностью некоторых величин (линейное перемещение, угол поворота, скорость вращения и т. д.). В этих случаях вместо кинетической связи обычного типа может быть использована синхронная (сельсинная) передача. Следовательно, сельсины используются в самосинхронизирующихся дистанционных передачах и в следящих системах в качестве датчиков угла рассогласования.

Синхронная связь осуществляется на трехфазном и однофазном токе. Синхронная связь на трехфазном токе используется обычно там, где нужно осуществлять синхронное вращение двух находящихся на расстоянии машин при значительных моментах сопротивления на валах.

Синхронная связь на однофазном токе имеет большое распространение в схемах синхронной передачи угла, т. е. где нужно повернуть на некоторый угол механически не связанные валы машин.

Сельсины разделяются на контактные и бесконтактные.

Конструктивно сельсины выполнены в виде машин переменного тока с явно или не явно выраженными полюсами. Основными частями сельсина являются ротор и статор (рисунок 4.2).

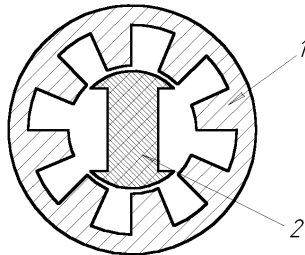


Рис. 4.2. Общий вид сельсина

Ротор представляет собой собранный из отдельных пластин стальной сердечник, на который намотана обмотка (обмотка возбуждения). Сердечник насажен на ось, вращающуюся свободно на подшипниках. Концы обмотки ротора припаяны к двум кольцам, к которым прижаты токоснимающие пластины (контактные сельсины).

Статор является неподвижной частью. Он собран из тонких, изолированных друг от друга пластин и имеет специальные пазы, в которых размещены три отдельные обмотки (синхронизирующие обмотки), расположенные одна относительно другой под углом 120° . Концы трех обмоток соединены в общую точку, а начала выведены на зажимы статора (соединение в звезду). Обмотка ротора может питаться напряжением переменного тока частотой 50, 400, 500 Гц и напряжением 36–110 В.

В некоторых типах сельсинов трехфазная (синхронизирующая обмотка) размещена в пазах ротора, а однофазная – в пазах статора.

Бесконтактные сельсины подобно контактным имеют однофазную обмотку возбуждения, включаемую в сеть переменного тока, и трехфазную обмотку синхронизации. Принцип работы контактных и бесконтактных сельсинов тот же, но у бесконтактных сельсинов обе обмотки неподвижны и расположены на статоре. Однофазная обмотка выполнена в виде двух катушек, имеющих форму колец и расположенных между статором и тороидами. Индуктивная связь между обмотками первичной и вторичных цепей осуществляется через подвижную часть сельсина ротор, который состоит из двух магнитопроводящих частей специальной формы, разделенных немагнитным промежутком. При повороте ротора бесконтактного сельсина изменяется величина магнитного потока, проходящего через фазовые обмотки, поэтому ЭДС, наведенные им в обмотках вторичной цепи, пропорциональны угловому перемещению ротора.

В системах автоматического регулирования сельсины обычно используются в двух основных режимах работы: трансформаторном (рисунок 4.3а) и индикаторном (рисунок 4.3б).

В трансформаторном режиме передается сигнал, воздействующий на исполнительный механизм таким образом, чтобы заставить его отработать заданный поворот. В этом режиме работы к обмотке возбуждения сельсина-датчика (СД) от сети подводится переменное напряжение U_1 , создающее переменный магнитный поток ротора Фрд, который наводит в обмотках статора ЭДС, под влиянием которой в обмотках статора СД потекут токи, создающие магнитный поток Фсд.

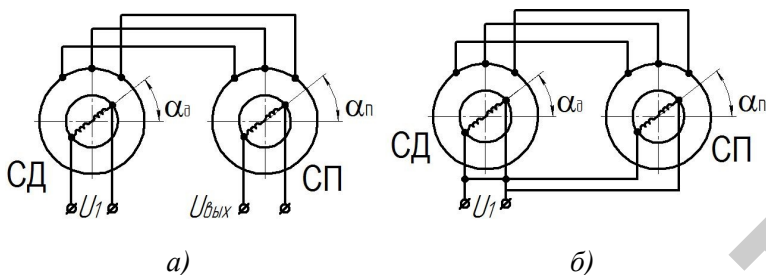


Рис. 4.3. Схемы соединения обмотки сельсинов:

a – трансформаторный режим; *б* – индикаторный режим

Магнитный поток $\Phi_{сд}$ направлен против потока $\Phi_{рд}$. Если повернуть на некоторый угол $\alpha_{д}$ ротор СД, то на такой же угол повернутся магнитные потоки $\Phi_{рп}$ и $\Phi_{сд}$. По обмоткам статора сельсина-приемника (СП) потекут те же токи, что и по обмоткам статора СД, и создадут магнитный поток $\Phi_{сп}$, который будет поворачиваться на тот же угол $\alpha_{д}$. Переменное магнитное поле, созданное токами, протекающими по обмоткам статора СП, наведет ЭДС в обмотке ротора СП.

Если магнитная ось обмотки ротора СП совпадает по направлению с ЭДС; если она перпендикулярна, то в обмотке ротора ЭДС не наводится. Следовательно, напряжение U_2 на обмотке ротора СП является функцией от разности углов $\alpha = \alpha_{д} - \alpha_{п}$. При малых углах рассогласования:

$$U_2 = K_2 \alpha. \quad (4.4)$$

Если в формуле (4.4) выходное напряжение выражать в вольтах и угол рассогласования α в градусах, то

$$K_2 = (\pi / 180) U_m, \text{ в/град.} \quad (4.5)$$

Для сельсинов, выпускаемых отечественной промышленностью, значение K_2 лежит в диапазоне 0,5–2 В/град.

Ротор СД обычно жестко соединяется с командной осью следящей системы, ротор СП через регулятор жестко связан с исполнительной осью следящей системы. Из схемы следящей системы видно, что сельсинный датчик угла рассогласования одновременно играет роль измерительного элемента и элемента сравнения.

Если согласовать СД и СП и затем поворачивать их на одинаковые углы, то на выходе СП может появиться напряжение с частотой напряжения питания. Дополнительный угол поворота ротора СП или СД, на который их нужно повернуть для ликвидации напряжения на выходе СП, называется статической ошибкой $\Delta\alpha$ сельсинов. По величине статической ошибки сельсины разделяются на три класса точности:

- I класс – $\Delta\alpha$ не превосходит 0,25;
- II класс – 0,5;
- III класс – 0,75.

Наличие статической ошибки обусловлено в основном несинусоидальным законом распределения индукции в воздушном зазоре, неравномерностью воздушного зазора и несимметричностью трехфазной обмотки.

Если роторы СД и СП вращать с одинаковой постоянной скоростью, то появляется скоростная ошибка, которая обусловлена появлением на выходе СП напряжения, пропорционального скорости вращения сельсинов.

Сельсинный датчик рассогласования как динамическое звено является идеальным звеном с коэффициентом передачи K_2 .

Индикаторный режим работы сельсинов (рисунок 4.3б) применяется при их использовании в качестве датчиков угла рассогласования следящих систем.

При равенстве углов поворота СД и СП ЭДС, которые наводятся в обмотках синхронизации СД и СП, равны по величине и противоположны по направлению. По обмоткам синхронизации токи не протекают, а вращающие моменты, действующие на роторы СД и СП, равны нулю.

При наличии угла рассогласования ЭДС в обмотках синхронизации будут различны по величине и по обмоткам синхронизации потекут уравнивающие токи, которые создадут магнитные потоки статора, не совпадающие по направлению с магнитными потоками ротора. Магнитные потоки ротора и статора СД и СП, взаимодействуя, создают синхронизирующий момент M_c , стремящийся устранить угол рассогласования. При малых рассогласованиях:

$$M_c = M_{уд}\Delta\alpha, \quad (4.6)$$

где $M_{уд} = (dM_c/d\alpha) / \alpha$ – удельный синхронизирующий момент.

Выражение для статической ошибки сельсинной самосинхронизирующей передачи имеет вид:

$$\Delta\alpha_{ст} = M_n / M_{уд} + \Delta\alpha_{пр}, \quad (4.7)$$

где M_n – момент нагрузки на роторе СП, ($M_n = M_c$);

$\Delta\alpha_{пр}$ – составляющая ошибки, обусловленная в основном несимметричностью воздушного зазора и неточностью балансировки ротора.

При малых нагрузках ошибка $\Delta\alpha_{ст}$ лежит в диапазоне от $0,5^\circ$ до 5° . При вращении ротора СД с постоянной скоростью с такой же скоростью будет вращаться и ротор СП. Чем больше скорость вращения ротора СП, тем меньше удельный синхронизирующий момент, тем больше ошибка сельсинной передачи.

Порядок выполнения работы

Исследование индуктивных и индукционных измерительных преобразователей

1. Собрать схему, как показано на рисунке 4.4.

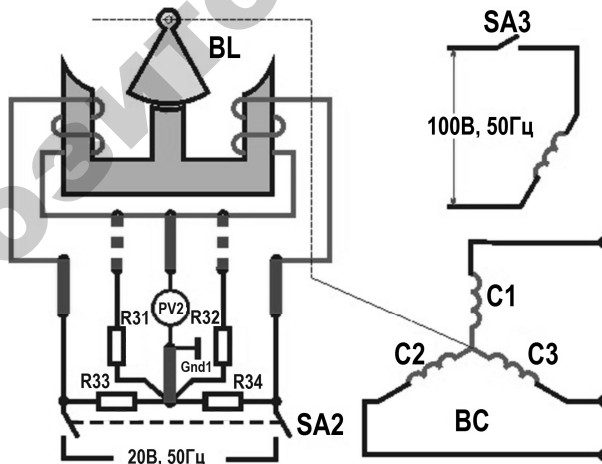


Рис. 4.4. Схема для исследования индуктивного датчика

2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключатели, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».

3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

4. Включить переключатели SA2, SA3.

5. Плавно вращая ручку BL вправо и влево от 0, определить диапазон угла поворота, при котором $U_{\text{вых}}$ нарастает от 0 до максимума. Выбрать в полученном диапазоне 6 точек угла φ , данные занести в таблицу 4.1.

6. Плавно поворачивая ручку датчика BL, по выбранным 6 точкам, снять статическую характеристику $U_{\text{вых}} = f(\varphi)$ в режиме холостого хода, данные занести в таблицу 4.1.

7. Выключить переключатели SA2, SA3.

8. Включить в цепь сопротивление R31. Включить переключатели SA2, SA3. Плавно поворачивая ручку датчика BL, по выбранным 6 точкам, снять статическую характеристику $U_{\text{вых}} = f(\varphi)$, данные занести в таблицу 4.1.

9. Выключить переключатели SA2, SA3.

10. Включить в цепь сопротивление R32. Включить переключатели SA2, SA3. Плавно поворачивая ручку датчика BL, по выбранным 6 точкам, снять статическую характеристику $U_{\text{вых}} = f(\varphi)$, данные занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Исследование индуктивных и индукционных измерительных преобразователей

№ опыта	Измерено			
	$\varphi, 0$	$U_{\text{вых}}, \text{В}$ (х.х)	$U_{\text{вых}}, \text{В}$ (R31)	$U_{\text{вых}}, \text{В}$ (R32)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

11. Выключить переключатели SA2, SA3.
12. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть»).
13. Разобрать схему.

Исследование сельсинов, работающих в индикаторном и трансформаторном режимах

Исследование сельсинов в индикаторном режиме

1. Собрать схему, как показано на рисунке 4.5.
2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта перемычки, тумблеры SA2, SA3, SA5, SA6, SA7, SA8, SA22, SA23, SA25, SA70 находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы R21, R22 установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры SA10, SA11 установить в положение «Измерение».
3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
4. Включить переключатель SA3.
5. Установить ручку сельсина-датчика (BL) в положение 0 град.
6. Плавно поворачивая ручку сельсина-датчика (BL) **по часовой стрелке**, ТОЧНО снять зависимость поворота сельсина-приемника (BE) на полном обороте вала (360 град.) с интервалом 30 град.

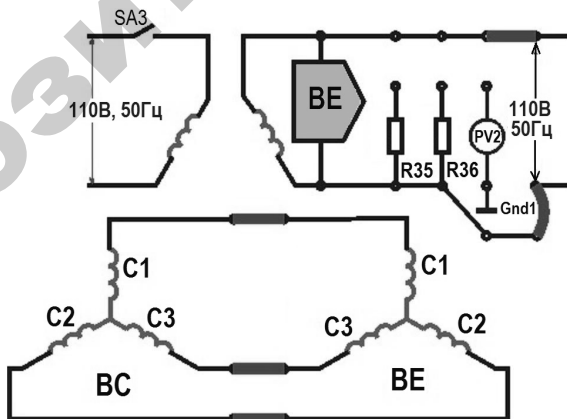


Рис. 4.5. Схема включения сельсинов в индикаторном режиме

Данные занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

Исследование сельсинов в индикаторном режиме
(вращение по часовой стрелке)

№ опыта	Измерено		Вычислено	
	$\varphi_{BL}, 0$	$\varphi_{BE}, 0$	ошибка $\Delta, 0$	погрешность $\delta, \%$
1				
2				
...				

7. Плавно поворачивая ручку сельсина-датчика (BL) **против часовой стрелки** ТОЧНО снять зависимость поворота сельсина-приемника (BE) на полном обороте вала (360 град.) с интервалом 30 град. Данные занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3

Исследование сельсинов в индикаторном режиме
(вращение против часовой стрелки)

№ опыта	Измерено		Вычислено	
	$\varphi_{BL}, ^\circ$	$\varphi_{BE}, ^\circ$	ошибка $\Delta, ^\circ$	погрешность $\delta, \%$
1				
2				
...				
12				

8. Выключить переключатель SA3.

9. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть»).

10. Разобрать схему.

11. Вычислить и занести результаты в таблицу по следующим формулам:

– ошибку Δ :

$$\Delta = |\varphi_{BE} - \varphi_{BL}|, \text{град};$$

– погрешность δ :

$$\delta = \frac{\Delta}{30} \cdot 100, \%. \quad (4.9)$$

Исследование сельсинов в трансформаторном режиме

1. Собрать схему, как показано на рисунке 4.6.

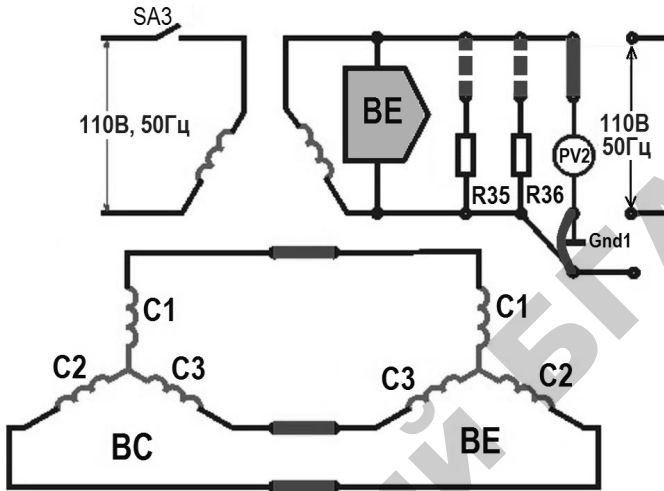


Рис. 4.6. Схема включения сельсинов в трансформаторном режиме

2. Убедиться, что схема собрана правильно и на панели стенда присутствуют только необходимые для проведения данного опыта переключки, тумблеры $SA2$, $SA3$, $SA5$, $SA6$, $SA7$, $SA8$, $SA22$, $SA23$, $SA25$, $SA70$ находятся в нижнем положении («Выключено»). Регуляторы $R21$, $R22$ установить в крайнее левое положение. Если необходимо использовать измерительные приборы на панели стенда, тумблеры $SA10$, $SA11$ установить в положение «Измерение».

3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

4. Включить переключатель $SA3$.

5. Зафиксировать ротор сельсина-приемника (BE).

6. Плавно перемещая ручку сельсина-датчика (BL), установите положение, при котором напряжение на выходе сельсина-приемника (BE) $U_{BE}=0$. Принять это положение за 0.

7. Плавно поворачивая ручку сельсина-датчика (BL), снять статическую характеристику $U_{BE}=f(\varphi_{BC})$ на полном обороте вала (360 град.) с интервалом 30 град.

8. Выключить переключатель SA3.

9. Добавить нагрузку R35. Включить переключатель SA3. Плавно поворачивая ручку сельсина-датчика (BL), снять статическую характеристику $U_{BE}=f(\varphi_{BC})$ на полном обороте вала (360 град) с интервалом 30 град.

10. Выключить переключатель SA3.

11. Добавить нагрузку R36. Включить переключатель SA3. Плавно поворачивая ручку сельсина-датчика (BL), снять статическую характеристику $U_{BE}=f(\varphi_{BC})$ на полном обороте вала (360 град.) с интервалом 30 град, данные занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

Исследование сельсинов в трансформаторном режиме

№ опыта	Измерено			
	φ, BL	U_{BE}, B	U_{BE}, B (R35)	U_{BE}, B (R36)
1				
2				
...				
12				

12. Выключить переключатель SA3.

13. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть»).

14. Разобрать схему.

15. Пользуясь данными из таблицы 4.1, построить характеристики $U_{вых}=f(\varphi)$ для всех случаев.

16. Пользуясь данными из таблицы 4.2 и 4.3, графически отобразить отличие поворота сельсина-датчика (BL) и сельсина-приемника (BE) ($\varphi=f(N)$), по часовой стрелке и против часовой стрелки).

17. Пользуясь данными из таблицы 4.4, построить характеристику $U_{BE}=f(\varphi_{BL})$ для всех случаев.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Общие сведения о трансформаторных датчиках.
3. Устройство и схемы включения сельсинов.
4. Таблицы результатов измерений.
5. Графические зависимости.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия трансформаторных датчиков, сельсина-датчика и сельсина-приемника.
2. Для каких целей используются сельсины в схемах автоматики?
3. К какому типу динамического звена относятся трансформаторные датчики?
4. Чем обусловлено наличие статической ошибки в сельсинах?

Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Цель работы: изучить принцип действия, конструкции и область применения тахогенераторов постоянного тока; изучить принцип действия импульсного датчика частоты вращения; изучить схему цифрового тахометра; определить приведенную погрешность тахогенератора постоянного тока.

Общие сведения

Тахогенератором называется электрическое устройство, преобразующее механическое вращение в электрический сигнал. Тахогенераторы относятся к индукционным датчикам.

Тахогенератор представляет собой маломощную электрическую машину постоянного или переменного тока, работающую в режиме генератора и вырабатывающую напряжение, пропорциональное скорости вращения.

Выходная величина тахогенератора (электрическое напряжение) при определенных условиях является линейной функцией угловой скорости вращения его вала.

Тахогенераторы постоянного тока

При вращении в магнитном поле проводника на его концах возникает электродвижущая сила (ЭДС), определяемая выражением:

$$E = LnB, \quad (5.1)$$

где L – длина проводника;
 n – скорость вращения;
 B – магнитная индукция.

Если в магнитном поле находится катушка с числом витков W , то

$$E = LnBW. \quad (5.2)$$

На этом принципе основаны все тахогенераторы постоянного тока. На рисунке 5.1а приведена конструкция тахогенератора постоянного тока.

Тахогенератор постоянного тока состоит из постоянных магнитов 1, расположенных на статоре и создающих магнитный поток Φ , цилиндрического ферромагнитного сердечника 2, предназначенного для увеличения магнитного потока внутри якоря тахогенератора 3. Якорь представляет собой тонкостенный стаканчик, на котором расположена обмотка 4. Выводы обмотки выведены на коллектор 5.

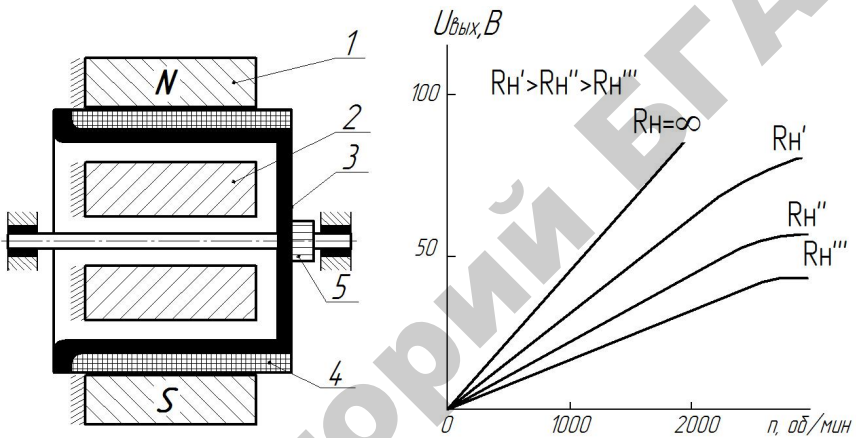


Рис. 5.1. Конструкция тахогенератора постоянного тока, зависимость выходного напряжения тахогенератора от частоты вращения

При вращении якоря в магнитном поле со щеток коллектора снимается ЭДС, которая определяется из выражения:

$$E = K_e \Phi n. \quad (5.3)$$

$$K_e = \frac{PW}{2\pi d}, \quad (5.4)$$

где P – число пар полюсов;

W – число витков обмоток якоря;

$2d$ – число параллельных ветвей обмотки якоря.

Существуют также тахогенераторы с возбуждением от специальной обмотки. При работе тахогенератора на нагрузку R_n напряжение на щетках коллектора определяется выражением:

$$U = E - I_n R_n, \quad (5.5)$$

где I_n – ток нагрузки,

$$I_n = \frac{E}{R_n + R_{я}};$$

$R_{я}$ – сопротивление обмотки якоря.

Уменьшение напряжения U вызывается также магнитным потоком реакции якоря:

$$\Phi_{р.я} = K_{р.я} I_n n. \quad (5.6)$$

Магнитный поток реакции якоря $\Phi_{р.я}$ направлен встречно основному потоку и уменьшает результирующий поток возбуждения тахогенератора. Поэтому линейность статической характеристики сохраняется в ограниченном диапазоне скоростей вращения. Это видно из рисунка 5.1б.

При скорости вращения тахогенератора, близкой к нулю, возникает зона нечувствительности, в пределах которой отсутствует выходное напряжение.

Величина, определяемая выражением

$$S = \Delta U / \Delta n, \quad (5.7)$$

где ΔU – приращение напряжения при приращении скорости вращения Δn , называется крутизной его выходной характеристики.

Одним из основных требований, предъявляемых к тахогенераторам, является точность преобразования механического вращения в электрический сигнал. Причинами погрешностей тахогенераторов постоянного тока могут являться старение постоянных магнитов, вследствие чего уменьшается магнитный поток, а также зависимость выходного напряжения от сопротивления нагрузки как

вследствие падения напряжения в обмотке его якоря и щеточных контактов, так и вследствие реакции якоря. Недостатком тахогенераторов постоянного тока является наличие щеток и коллектора, имеющих нестабильное электрическое сопротивление.

Тахогенераторы переменного тока

Тахогенераторы переменного тока подразделяются на синхронные и асинхронные. Основным преимуществом тахогенераторов переменного тока является отсутствие коллектора и щеток. Конструкция синхронного тахогенератора и зависимость его выходного напряжения от скорости вращения ротора приведены на рисунке 5.2.

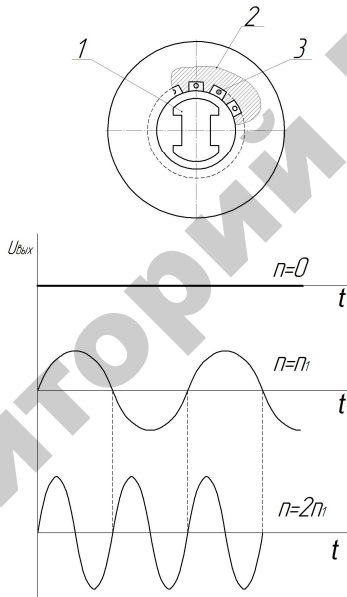


Рис. 5.2. Конструкция синхронного тахогенератора; зависимость выходного напряжения тахогенератора от частоты вращения

Тахогенератор состоит из статора 2, в пазах которого размещена обмотка 3, и якоря 1, представляющего собой магнит постоянного тока с несколькими полюсами. При вращении якоря в обмотке статора наводится переменная ЭДС, имеющая синусоидальную форму. Амплитуда и частота ЭДС пропорциональны скорости вращения якоря, что видно из рисунка 5.2.

Синхронные тахогенераторы не получили большого распространения из-за наличия следующих недостатков:

- частота его выходного напряжения не постоянна;
- фаза выходного напряжения не зависит от направления вращения, т. е. тахогенератор нечувствителен к изменению направления вращения.

Асинхронные тахогенераторы более широко распространены. Конструкция асинхронного тахогенератора изображена на рисунке 5.3.

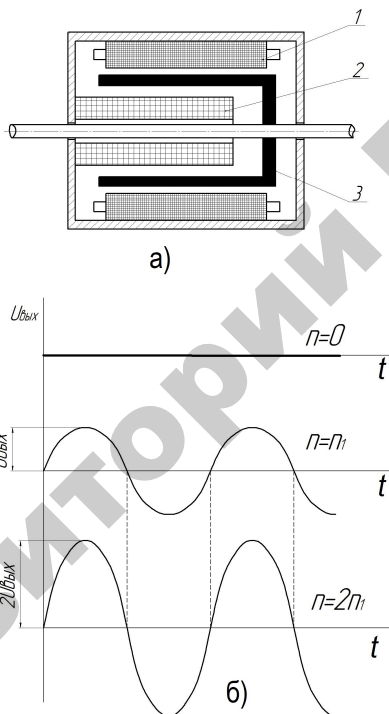


Рис. 5.3. Тахогенератор асинхронный:

а – конструкция асинхронного тахогенератора; *б* – зависимость выходного напряжения тахогенератора от частоты вращения

Синхронные и асинхронные тахогенераторы не имеют скользящих контактов, просты по конструкции и поэтому надежнее и дешевле тахогенераторов постоянного тока, но имеют меньшую точность и линейность характеристики.

Энкодеры

Энкодеры – преобразователи угловых перемещений – устройства, предназначенные для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота. Энкодеры подразделяются на инкрементальные и абсолютные, которые могут достигать очень высокого разрешения.

Инкрементальный энкодер выдает за один оборот определенное количество импульсов, а абсолютные энкодеры позволяют в любой момент времени знать текущий угол поворота оси, в том числе и после пропадания и восстановления питания. Многооборотные абсолютные энкодеры, кроме того, также подсчитывают и запоминают количество полных оборотов оси.

Энкодеры могут быть как оптические, резисторные, так и магнитные и могут работать через шинные интерфейсы или промышленную сеть.

Энкодеры широко применяются для контроля промышленных процессов, в измерительных устройствах, промышленных роботах, при позиционировании и контроле скорости и координат в самых различных областях, включая металлообрабатывающие станки, подъемное и упаковочное оборудование и др.

Импульсный индукционный датчик частоты вращения

Для измерения частоты вращения применяются также импульсные индукционные датчики (рисунок 5.4), у которых выходной величиной является частота следования импульсов выходного напряжения. Такой датчик содержит постоянный магнит 1, на котором размещена обмотка и прерыватель магнитного потока, в качестве которого используется стальной диск 4 с отверстиями 2 или крыльчатка. Диск укрепляется на валу 3, скорость вращения которого нужно измерить. При вращении диска, когда отверстие окажется против катушки, воздушный зазор в магнитной цепи увеличивается, магнитный поток уменьшается. За счет изменения магнитного потока в катушке наводится импульс напряжения. Таким образом, за один оборот диска в катушке возникает один импульс напряжения, если в диске одно отверстие. Чтобы за один оборот диска получилось больше импульсов, увеличивают число отверстий. При этом частота следования импульсов будет пропорциональна скорости вращения диска. Частоту импульсов измеряют цифровым частотомером или специализированным прибором – цифровым тахометром.

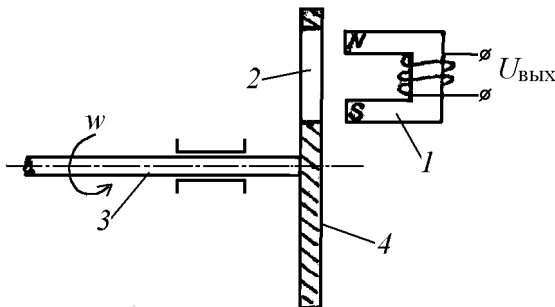


Рис. 5.4. Импульсный индукционный датчик частоты вращения

Структурная схема цифрового тахометра приведена на рисунке 5.5.

Импульсы с датчика частоты вращения ДИ поступают на вход формирователя ФИ, который формирует импульсы прямоугольной формы и стабильной амплитуды. Эти импульсы поступают на вход электронного ключа К, который управляется от распределителя импульсов РИ, открывающего ключ на фиксированный промежуток времени, в течение которого импульсы с датчика частоты вращения через ключ поступают на вход счетчика СЧ и подсчитываются.

При истечении интервала счета распределитель РИ закрывает ключ и переписывает вторым импульсом информацию из счетчика СЧ в регистр памяти с дешифратором ДШ. Третий импульс с РИ сбрасывает счетчик в нулевое положение, после чего процесс измерения повторяется. При каждом цикле на цифровом индикаторе ЦИ отображается значение частоты вращения в об/мин. Например, если крыльчатка датчика частоты вращения имеет 20 зубьев, то за один оборот с датчика импульсов на вход цифрового измерителя частоты поступит 20 импульсов.

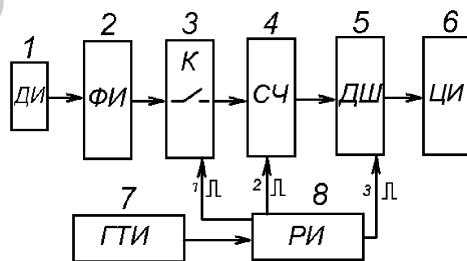


Рис. 5.5. Структурная схема цифрового тахометра

При времени измерения, равном 1 с, частота импульсов с датчика:

$$f = n_1 m, \quad (5.8)$$

где n_1 – количество оборотов вала двигателя за 1 секунду;

m – число зубьев; $n = 60 f/m$, об/мин;

или

$m = 20$; $n = 3f$.

Если используется стандартный цифровой частотомер обычно имеющий измерительный интервал 1 секунду, его показания при числе зубьев $m = 20$ следует умножить на 3, чтобы получить значение частоты вращения в об/мин. Если использовать крыльчатку с 60 зубьями, то $n = f$.

Порядок выполнения работы

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц. Собрать схему источника регулируемого напряжения, как на рисунке 1.5.

Подключить мультиметр к гнездам тахогенератора, как на рисунке 5.6. Выставить предел измерения 20 вольт постоянного напряжения.

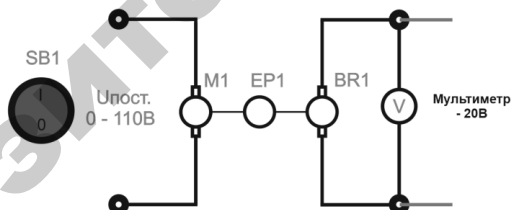


Рис. 5.6. Схема исследования тахогенератора и энкодера

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение. Перевести переключатель SB1 в верхнее положение

Плавно повышать напряжение ЛАТРа от 0 до 220 В, тем самым увеличивать частоту вращения гонного двигателя М1.

Регистрировать значение частоты вращения на приборе EP1 и значение выходного напряжения на тахогенераторе. Полученные данные занести в таблицу 5.1.

Экспериментальные данные

n , об/мин	U_r , В	n_r , об/мин
200		
400		
600		
800		
1000		
1200		
1400		
1600		
1800		
2000		
2200		
2400		
2600		
2800		
3000		
3200		

Построить характеристику $U_r=f(n)$.

Найти скорость вращения тахогенератора из расчета $1B = 928$ об/мин.

Сравнить показания скорости вращения тахогенератора и энкодера.

По окончании работы перевести тумблер $SB1$ в нижнее положение, перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение, отсоединить мультиметры.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Устройство и характеристики тахогенераторов и импульсного датчика частоты вращения.
3. Таблицы результатов измерений.
4. Графические зависимости.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия тахогенераторов постоянного и переменного тока.
2. Для каких целей используются тахогенераторы в схемах автоматики?
3. Объяснить устройство и принцип действия импульсного индукционного датчика частоты вращения.
4. Для каких целей используются энкодеры в схемах автоматики?
5. Преимущества и недостатки тахогенераторов постоянного и переменного тока.
6. Чем обусловлено наличие статической ошибки в тахогенераторах?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОДАТЧИКОВ И ФОТОРЕЛЕ

Цель работы: ознакомиться с устройством и характеристиками фотодатчиков с внешним (фотоэмиссионным) и внутренним (фоторезистивным и фотогальваническим) фотоэффектами; снять и построить вольтамперные и световые характеристики; изучить устройство и работу фотореле.

Общие сведения

Фотодатчики, или фотоэлементы – это устройства, изменяющие свои параметры под действием меняющегося светового потока.

В сельскохозяйственной автоматике фотоэлементы используются как датчики, входной величиной которых может быть: изменение потока лучистой энергии вследствие поглощения, рассеяния, изменения траектории луча в контролируемом объекте; изменение яркости и спектрального состава излучения, количество, частота, амплитуда и длительность световых импульсов. Выходной величиной является фототок, напряжение или фотоэлектродвижущая сила.

Фотоэлементы могут быть с внешним фотоэффектом (фотоэмиссионные) и внутренним фотоэффектом (фоторезистивные и фотогальванические).

Фотоэлементы с внешним фотоэффектом бывают вакуумные и газонаполненные.

Внешним фотоэффектом называют излучение, т. е. выход в окружающее пространство потока свободных электронов с поверхности металла (фотоэмиссия) под действием энергии электромагнитного излучения.

Вакуумный фотоэлемент (рисунок 6.1) представляет собой стеклянный баллон, внутри которого расположены фотокатод и анод, имеющие выводы к наружным контактным штырькам. Катодом является светочувствительный слой из щелочных металлов, например, окиси цезия, нанесенный на металлическую пластинку, стенку баллона или на серебряную подложку, предварительно осажденную химическим способом на внутреннюю стенку стеклянного баллона.

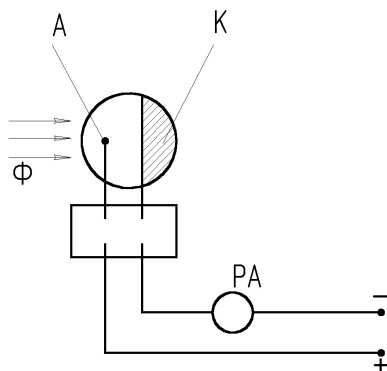


Рис. 6.1. Вакуумный фотоэлемент

Катод занимает около половины внутренней поверхности баллона, а остальная прозрачная часть служит входным окном. Анод представляет собой металлическое кольцо, стержень или сетку.

К аноду прикладывается положительное напряжение, а к катоду – отрицательное. Вакуум обычно составляет 10^{-6} – 10^{-7} мм рт. ст.

Газонаполненные (ионные) фотоэлементы (рисунок 6.1, например, элемент ЦГ-4) конструктивно ничем не отличаются от вакуумных. Внутри колбы газонаполненных фотоэлементов имеется инертный газ под небольшим давлением.

Газонаполненные элементы более чувствительны, чем вакуумные, но обладают большой инертностью. Вакуумные фотоэлементы практически безынерционные.

Еще большей инертностью обладают фотоумножители, представляющие собой фотоэлемент с несколькими промежуточными электродами-эмиттерами.

Фотоэлементы с внутренним фотоэффектом. Различают два вида внутреннего фотоэффекта: фоторезистивный и вентильный. Фоторезистивный эффект состоит в изменении электрического сопротивления полупроводника под воздействием энергии электромагнитного излучения. Фоторезистивным эффектом обладают фоторезисторы (фотосопротивления), в них под действием света увеличивается количество свободных электронов, а, следовательно, и электропроводность. В большинстве случаев фоторезистор представляет собой нанесенный на стеклянную пластинку 5 тонкий слой полупроводникового вещества 4 (рисунок 6.2).

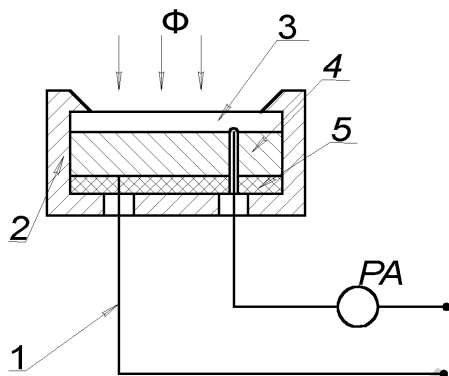


Рис. 6.2

К противоположным сторонам полупроводникового слоя припаиваются металлические электроды 1. В качестве светочувствительного материала используется сернистый свинец, сернистый висмут, сернистый кадмий и др. Поверх полупроводникового слоя наносится пленка светопроницаемого лака 3 для предохранения фоторезистора от внешней среды. Корпус фоторезистора, в который помещен светочувствительный элемент, может иметь различную форму.

Промышленность выпускает сернисто-свинцовые фоторезисторы ФСА-1, ФСА-2, ФСА-6 и др.; селенисто-кадмиевые ФСД-Г1, ФСД-1; сернисто-кадмиевые ФСК-1, ФСК-2, ФСК-4, ФСК-6, ФСК-7 и пленочные ФСК-П, ОФ и др.

Фоторезисторы характеризуются высокой светочувствительностью, простотой конструкции, малыми габаритами, значительной мощностью и большим сроком службы. Фоторезисторы могут работать в цепях переменного и постоянного тока. Однако фоторезисторам присуще нелинейная зависимость силы фототока от светового потока, относительно высокая инерционность и некоторая зависимость параметров от температуры. Постоянная времени у фоторезисторов составляет порядка 3×10^{-3} , 3×10^{-5} с при световом потоке 10^{-5} лм.

Другим видом внутреннего эффекта является фотогальванический (вентильный) эффект, сущность которого состоит в возникновении электродвижущей силы между двумя разнородными слоями

полупроводника, обладающими электронной n и дырочной p проводимостями, под действием электромагнитного излучения. На этом принципе работают фотодиоды, фототриоды, фототиристоры.

Фотодиод – это приемник лучистой энергии, имеющий направленное движение носителей тока при воздействии светового потока.

Фотодиод может включаться в схему с внешним источником питания (фотопреобразовательный режим) и без него (генераторный режим).

Вентильные элементы конструктивно аналогичны, отличаются лишь формой и размерами, исходными полупроводниковыми материалами и т. п. (рисунок 6.3).

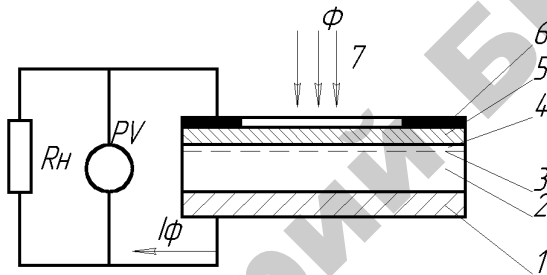


Рис. 6.3

Вентильный фотодиод имеет металлическое основание 1 толщиной $1\text{--}2$ мм, выполняющее функции электрода и подложки, на которую нанесен тонкий слой селена 2 , покрытый сверху полупрозрачным металлическим слоем или сеткой 5 , изготовленной из серебра, золота или платины менее 1 мкм. Металлический слой пропускает световой поток в слой селена и выполняет функцию верхнего электрода.

Путем специальной обработки над исходным слоем p -селена 2 , обладающим дырочной проводимостью, образован слой n -селена 4 с электронной проводимостью, а между ними – тончайший запирающий слой 3 , называемый $p\text{--}n$ – переходом; фотоэлемент заключается в эбонитовую пластмассовую оправу 6 в форме диска или прямоугольника с окном и двумя клеммами.

Для значительного увеличения чувствительности вентильных фотоэлементов применяют германиевые или кремниевые фототранзисторы (рисунок 6.4) которые под действием лучистой энергии

усиливают фототок. Трехслойная структура фототранзисторов (эмиттер–база–коллектор) подобна структуре обычных плоскостных или диффузионных транзисторов. Конструктивно фототранзистор представляет собой полупроводниковую пластину с тремя чередующимися областями *p-n-p*-проводимостей. Под действием света в базовой области образуются пары электрон-дырка, которые под влиянием электрического поля диффундируют в эмиттерную и коллекторную части триода. В результате создается ток, проходящий через эмиттерно-базовый переход, который усиливает ток коллектора. При помощи фототранзистора можно управлять не только световым потоком, но и электрическим сигналом.

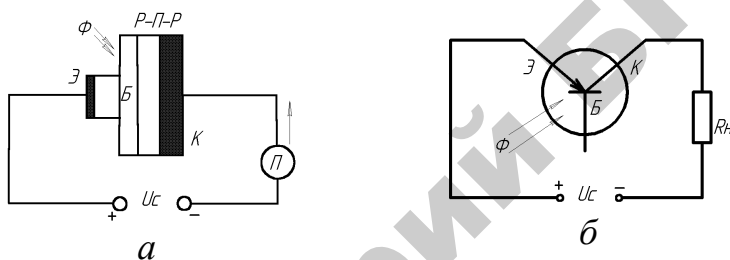


Рис. 6.4. Фототранзистор:
a – схематичное изображение устройства; *б* – схема включения

Фототиристор является полупроводниковым прибором, который сочетает в себе положительные свойства тиристора и преобразователя оптической энергии в электрическую. Принцип действия фототиристора аналогичен принципу действия фототранзистора.

Светодиоды – электронные приборы, служащие для непосредственного преобразования электрической энергии в световую и обладают высокой экономичностью, быстродействием, небольшими размерами и т. д. Светодиод способен создавать некогерентное оптическое излучение при прохождении через него прямого тока. В основе принципа действия светодиодов лежат два явления: инжекция неосновных носителей через электронно-дырочный переход при прямом напряжении на нем и излучение света при рекомбинации пар электрон–дырка.

Основными характеристиками фотоэлементов являются:

- световая $I_{\Phi} = f(\Phi)$ – зависимость фототока от интенсивности падающих на фотокатод лучей;
- спектральная $I_{\Phi} = f(\lambda)$ – зависимость фототока от длины волны падающих лучей;
- вольтамперная $I_{\Phi} = f(U)$ – зависимость фототока от напряжения (при заданной интенсивности лучистого потока);
- частотная (инерционная) $I_{\Phi} = f(F)$ – зависимость фототока от частоты изменения интенсивности падающего светового потока;
- температурная $I_{\Phi} = f(T)$ и $\lambda = f(T)$ – зависимость фототока и спектрального состава от температуры (превышение некоторых значений температур вызывает резкое изменение фотоэлектрических свойств фотоэлемента).

Описание конструкции и схемы стенда для исследования фотоэлементов

Стенд для исследования фотоэлементов и фотореле представляет собой электрический шкаф, на передней панели которого установлены органы управления, сигнализации, измерительные приборы.

Питание стенда осуществляется от универсального блока питания УИП-1. Электрическая схема стенда прикреплена на передней панели.

В конструкцию стенда входят: исследуемые датчики – вакуумные элементы СЦВ-3 и СЦВ-4, фоторезистор ФСК-1 и фотодиод ФД-2; вольтметр $PV1$ для контроля напряжения 400 В постоянного тока, вольтметр $PV2$ для контроля напряжения 12 В постоянного тока; исследуемое фотореле КЕ с фотодатчиком ФСК-1; люксметр А с фотодатчиком $BL6$ для измерения освещенности источника света $HL2$; сигнальные лампы: $HL1$ – о подаче напряжения 12 В и $HL3$ – о срабатывании фотореле КЕ.

Резистор $R3$ служит для регулирования освещенности, $R4$ – для регулирования напряжения 12 В постоянного тока.

Переключатели предназначены: $SA1$ – для выбора исследуемого фотодатчика; $SA2$ – для подключения миллиамперметра РА к датчикам $BL1$ – $BL3$ или к $BL4$; $SA3$ – для изменения пределов измерения прибора РА; $SA4$ – для включения питания 12 В; $SA5$ – для изменения нагрузки датчика $BL4$; $SA6$ – для включения питания фотореле КЕ.

Порядок выполнения работы

1. Снять и построить вольтамперные статические характеристики вакуумных СЦВ-3, СЦВ-4 фотоэлементов, фоторезистора ФСК-1, фотодиода ФД-2 при двух значениях освещенности ($\Phi_1 = 60$ люкс и $\Phi_2 = 90$ люкс) и определить статическую чувствительность по напряжению:

$$K_{ст} = \frac{dI_{\phi}}{dU}, \text{ мА/В.} \quad (6.1)$$

Перед началом работы необходимо включить источник питания УИП-1 тумблером с надписью «Сеть» на лицевой панели источника и тумблер SA4 в положение «12 В» на стенде. Все остальные тумблеры должны быть выключены.

А. При снятии вольтамперной характеристики элемента BL1 переключатель SA1 перевести в положение «СЦВ-3». Включить тумблер SA2 в положение стрелки вниз «СЦВ-3», переключатель SA3 – в положение «50». Установить переменным резистором R3 «Яркость» вначале световой поток $\Phi_1 = 60$ люкс, затем $\Phi_2 = 90$ люкс. Величина освещенности измеряется по встроенному в стенд люксметру А при нажатой кнопке с надписью «100–10³–10⁴–10⁵». Отключение прибора осуществляется нажатием кнопки «OFF».

Изменяя напряжение питания фотоэлементов переменным резистором на источнике УИП-1 от 0 до 220 В через каждые 20 В, напряжение контролируют по вольтметру PV1, по микроамперметру РА отмечают значение тока. Результат измерений заносят в таблицы 6.1 и 6.2.

Таблица 6.1

Вольтамперная характеристика при $\Phi_1 = 60$ люкс

$U, \text{ В}$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
СЦВ-3 $I_{\phi 1}, \text{ мА}$												
СЦВ-4 $I_{\phi 2}, \text{ мА}$												
ФСК-1 $I_{\phi 3}, \text{ мА}$												

Таблица 6.2

Вольтамперная характеристика при $\Phi_2 = 90$ люкс

$U, \text{В}$	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
СЦВ-3	$I_{\Phi_1}, \text{мА}$											
СЦВ-4	$I_{\Phi_2}, \text{мА}$											
ФСК-1	$I_{\Phi_3}, \text{мА}$											

Б. При снятии вольтамперной характеристики фотоэлемента *BL2* переключатель *SA1* перевести в положение «СЦВ-4». Повторить пункт 1А.

В. При снятии вольтамперной характеристики фоторезистора переключатель *SA1* перевести в положение «ФСК-1». Переключатель *SA3* перевести в положение «100 мА». Повторить пункт 1А.

Г. При снятии вольтамперной характеристики фотодиода (ФД-2) тумблер *SA2* установить в положение «Фотодиод» переключатель *SA3* – в положение «50 мА», переключатель *SA5* – в положение «R6».

Установить переменным резистором *R3* «Яркость» вначале световой поток Φ_1 , затем Φ_2 . Регулируя переменным резистором *R4* напряжение питания от 0 до 12 В при световом потоке Φ_1 и Φ_2 через каждые 2 В, напряжение контролируют по вольтметру *PV2*, величину тока – по микроамперметру *РА*.

Результаты измерений записать в таблицу 6.3.

Таблица 6.3

Вольтамперная характеристика фотодиода

$U, \text{В}$	0	2	4	6	8	10	12
I_{Φ_1} ($\Phi = 60$ люкс)							
I_{Φ_2} ($\Phi = 90$ люкс)							

2. Снять и построить световые характеристики для фотоэлементов.

А. При снятии световых характеристик для элементов СЦВ-4, СЦВ-3 и ФСК-1 установить напряжение питания 220 В.

Переключатель *SA1* перевести в положение «СЦВ-4», тумблер *SA2* – в положение стрелки вниз «СЦВ-3», переключатель *SA3* – в положение «50 мА».

Величина освещенности контролируется по люксметру. Изменяя освещенность от 0 (условно) до 90 люкс через каждые 10 люкс при помощи переменного резистора *R3*, контролируют значение тока для исследуемого фотоэлемента по прибору *РА*.

Результаты измерений записать в таблицу 6.4.

Таблица 6.4

Световая характеристика фотоэлементов

Φ, люкс		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
СЦВ-3	$I_{\phi 1}, \text{мА}$										
СЦВ-4	$I_{\phi 2}, \text{мА}$										
ФСК-1	$I_{\phi 3}, \text{мА}$										
ФД-2	$I_{\phi 4}, \text{мА}$										

Устанавливая переключатель SA1 последовательно в положение «СЦВ-3» «ФСК-1» снимаем световые характеристики. В случае зашкаливания стрелки прибора РА переключатель SA3 в положение «100 мА».

Б. При снятии световой характеристики для фотодиода ФД-2 установить напряжение питания 12 В потенциометром R4. Тумблер SA2 перевести в положение «Фотодиод» переключатель SA3 – в положение «50 мА», переключатель SA5 – в положение «R6».

Повторить п. 2А в части снятия зависимости $I_{\phi 4} = f(\Phi)$.

3. По данным таблиц 6.1–6.4 построить характеристики:

$$I_{\phi i} = f(U),$$

$$I_{\phi i} = f(\Phi).$$

Построение выполнить в одном масштабе.

По полученным характеристикам $I_{\phi i} = f(U)$ определить статическую чувствительность $K_{ст}$, по $I_{\phi i} = f(\Phi)$ – интегральную $K_{и}$ и удельную $K_{о}$ чувствительность:

$$K_{и} = \frac{I_{\phi i}}{\Phi};$$

$$K_{о} = \frac{I_{\phi i}}{\Phi U},$$

где $I_{\phi i}$ – фототок i -го фотоэлемента.

4. Изучить устройство и работу фотореле ФР-2.

Фотореле как средство автоматики широко используется в промышленности и сельском хозяйстве в качестве устройств автоматического отключения и включения уличного освещения, автоматических сигнализаторов дымности воздуха и мутности воды, устройств контроля пламени в топках котлов, а также в различных защитных устройствах.

Принцип действия фотореле основан на преобразовании светового потока в электрический сигнал. Оно состоит из фотодатчика, электронного усилителя и слаботочного реле, являющегося выходным регулирующим (сигнализирующим) устройством.

Усилитель и слаботочное реле конструктивно выполняют в виде отдельного блока КЕ, к входным зажимам которого дистанционно подключается блок фотодатчика, устанавливаемый непосредственно на объекте контроля. В качестве фотодатчика используют один из выше рассмотренных фотоэлементов.

Конструкция одного из типов фотореле представлена в лабораторном стенде, его принципиальная схема изображена на рисунке 6.5.

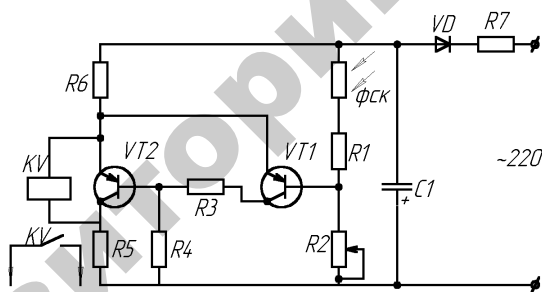


Рис. 6.5. Схема фотореле

Реле работает следующим образом. При уменьшении освещенности сопротивление датчика (фоторезистора ФСК-1) увеличивается. Увеличение сопротивления датчика приводит к уменьшению тока базы транзистора $VT1$. При этом транзисторы $VT1$ и $VT2$ закрываются, в результате возрастает напряжение на участке эмиттер-коллектор транзистора $VT2$, параллельно которому включена катушка KV реле РПНВ. Реле срабатывает и своими контактами включает цепи освещения. При увеличении освещенности процессы в фотореле происходят в обратном порядке.

При исследовании работы фотореле включить тумблер $S46$ в положение «Фотореле», тумблер $S44$ должен быть установлен в положение «12 В». Переменный резистор $R3$ установить в крайнее положение, обеспечивающее минимальную освещенность лампы $HL2$.

Регулируя резистором $R3$ освещенность от нуля (условно) до момента включения лампы $HL3$, сигнализирующей срабатывание фотореле, измерить величину освещенности Φ_{cp} по люксметру и записать ее в отчет по работе.

Содержание отчета

1. Устройство и схемы включения фотоэлементов: фото- и вакуумного резистора, фото- и вентильного транзистора.
2. Таблицы результатов измерений.
3. Графические вольтамперные и световые характеристики исследованных фотоэлементов.
4. Коэффициент статической $K_{ст}$, интегральной $K_{и}$ и удельной $K_{о}$ чувствительности, определенные по соответствующим экспериментальным характеристикам.
5. Принципиальная схема фотореле ФР-2.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия фотоэмиссионных, фоторезистивных и фотогальванических (полупроводниковых) фотоэлементов.
2. Как определить статическую, интегральную и удельную чувствительность фотоэлементов?
3. Для каких целей используются фотоэлементы в схемах автоматики?
4. Объяснить физическую сущность явлений внешнего и внутреннего фотоэффектов.
5. Что понимают под световой и вольтамперной характеристиками?
6. Объяснить работу фотореле.

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить мостовую и дифференциальную измерительные схемы; исследовать различные типы мостовых схем с тензOMETрическими датчиками и сравнить их чувствительность; исследовать дифференциальную схему; ознакомиться с работой преобразователей типа «напряжение–частота»; исследовать работу преобразователя «напряжение–частота».

Общие сведения

Измерительные схемы и преобразователи применяют для преобразования выходного сигнала датчика в сигнал удобный для дальнейшего использования (для дистанционной передачи и обработки).

Из измерительных схем наиболее широко применяются мостовая и дифференциальная схемы.

Мостовая измерительная схема

Схема, имеющая четыре плеча, к одной диагонали которой подводится питающее напряжение, а с другой диагонали снимается выходное напряжение, называется мостовой измерительной схемой или просто мостом.

Мостовая схема используется для преобразования изменения активного сопротивления, индуктивности или емкости датчика в изменение величины или амплитуды напряжения.

Мостовая измерительная схема имеет четыре вершины A , B , C , D (рисунок 7.1). Между вершинами находятся плечи моста: Z_1 – первое плечо; Z_2 – второе; Z_3 – третье и Z_4 – четвертое. В диагонали BD действует питающее напряжение E . Выходное напряжение снимается с диагонали AC .

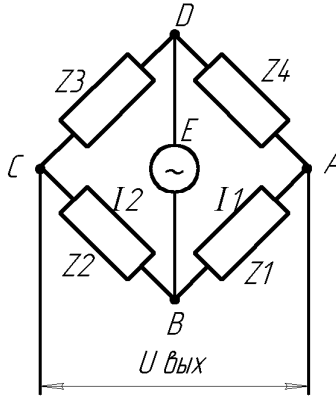


Рис. 7.1. Мостовая измерительная схема

Под действием питающего напряжения возникают токи I_1 и I_2 . Ток I_1 создает на Z_1 падение напряжения U_{z1} , а I_2 создает на Z_2 падение напряжений U_{z2} . На выход схемы подается разность напряжений U_{z1} и U_{z2} , поэтому для комплексных амплитуд напряжений и токов:

$$U_{\text{вых.}} = U_{z1} - U_{z2} = I_1 Z_1 - I_2 Z_2 = \frac{E Z_1}{Z_1 + Z_4} - \frac{E Z_2}{Z_2 + Z_3},$$

или

$$U_{\text{вых.}} = E \frac{Z_1(Z_2 + Z_3) - Z_2(Z_1 + Z_4)}{(Z_1 + Z_4)(Z_2 + Z_3)} = E \frac{Z_1 Z_2 + Z_1 Z_3 + Z_2 Z_1 + Z_2 Z_4}{(Z_1 + Z_4)(Z_2 + Z_3)}$$

После сокращения получим

$$U_{\text{вых}} = E \frac{Z_1 Z_3 - Z_2 Z_4}{(Z_1 + Z_4)(Z_2 + Z_3)}. \quad (7.1)$$

Из выражения (7.1) следует, что

$$U_{\text{вых}} = 0, \text{ если } Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4.$$

Это свойство называют свойством баланса или равновесия моста.

Рассмотрим второе свойство мостовой схемы. Предположим, что $Z_1 = Z + \Delta Z$, где Z – значение сопротивления первого плеча, при котором выполняется условие баланса моста, т. е.

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4, \quad (7.2)$$

где ΔZ – приращение сопротивления первого плеча.

Подставляя значение Z_1 в выражение (7.1), найдем выходное напряжение:

$$U_{\text{вых}} = E \frac{Z_3(Z + \Delta Z) - Z_2 Z_4}{(Z + \Delta Z + Z_4)(Z_2 + Z_3)} = E \frac{ZZ_3 + \Delta ZZ_3 + Z_2 Z_4}{(Z + \Delta Z + Z_4)(Z_2 + Z_3)}.$$

Полагая $\Delta Z \leq Z + Z_4$ и учитывая (2.2), получим

$$U_{\text{вых}} = \frac{EZ_3 \Delta Z}{(Z + Z_4)(Z_2 + Z_3)}. \quad (7.3)$$

При наличии на выходе мостовой схемы напряжения говорят, что мост разбалансирован. Если приращения сопротивлений плеч активные ($\Delta Z = \Delta R$) или реактивные ($\Delta Z = j\omega \Delta L$ или $\Delta Z = \frac{1}{j\omega \Delta C}$), то разбаланс моста называют прямым при одних знаках этих приращений и обратным при других (обратных знаках этих приращений).

Из формулы (7.3) следует, что при изменении величины приращения при прямом разбалансе начальная фаза выходного напряжения остается постоянной и изменяется на 180° при изменении знака приращения, т. е. при обратном разбалансе моста.

Основной характеристикой мостовой схемы является ее чувствительность. В зависимости от условий работы моста чувствительность его может определяться по току или напряжению:

$$S_{MI} = \frac{\Delta I_{\text{ПП}}}{\Delta R}; \quad S_{MU} = \frac{\Delta U_{\text{ПП}}}{\Delta R}.$$

(в плечах моста только активные сопротивления).

Определим чувствительность моста при нулевом методе измерения. Рассмотрим мост, в одно плечо которого включен тензорезистор (рисунок 7.2а).

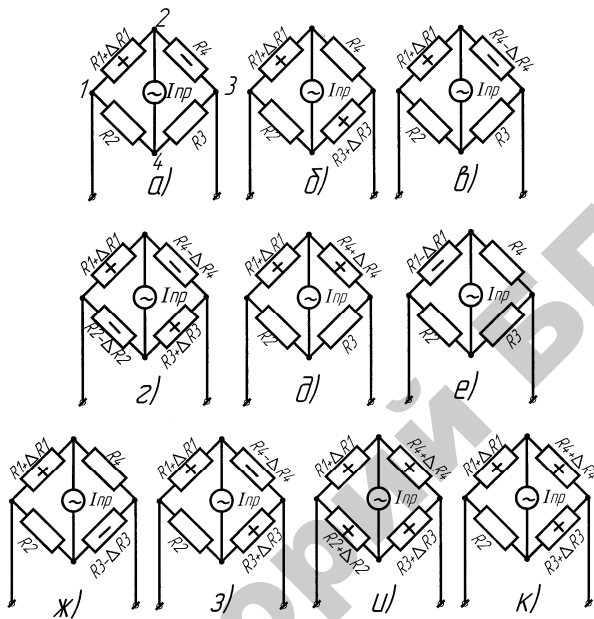


Рис. 7.2. Варианты образования схем моста (а–к)

Допустим, что мост предварительно сбалансирован, т. е. $I_{np} = 0$. Под влиянием измеряемой величины сопротивление тензорезистора изменяется на величину $+\Delta R_1$ (растяжение). Кроме того, в результате нагревания детали, на которую наклеен тензорезистор, его сопротивление увеличивается на величину $+\Delta R_{1T}$. Остальные резисторы должны иметь ту же температуру, что и рабочий. Обычно для схемы моста выбираются резисторы с $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$. Тогда для схемы 7.2а можно записать:

$$\begin{aligned}
 I_{np} &= I \frac{(R + \Delta R + \Delta R_T)(R + \Delta R_T) - (R + \Delta R_T)^2}{(4R + 4\Delta R + \Delta R)R_{np} + (2R + 2\Delta R_T + \Delta R)(2R + 2\Delta R_T)} = \\
 &= I \frac{R\Delta R}{4R(R_{np} + R)} = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R_{np} + R} = S_0 \Delta R.
 \end{aligned}
 \tag{7.4}$$

Если принять чувствительность моста с одним рабочим датчиком за исходную единицу, то чувствительность всех других мостовых схем можно выразить:

- для схемы рисунка 7.2б – два рабочих тензорезистора в противоположных плечах:

$$I_{\text{ПРб}} = \frac{U}{2} \frac{\Delta R}{R(R_{\text{ПР}} + R)} = 2I_{\text{ПРА}}; \quad (7.5)$$

- для схемы рисунка 7.2в – два рабочих тензорезистора в смежных плечах:

$$I_{\text{ПРв}} = \frac{U}{4} \frac{2\Delta R}{R(R_{\text{ПР}} + R)} = 2I_{\text{ПРА}}; \quad (7.6)$$

- для схемы рисунка 7.2г – четыре рабочих тензорезистора:

$$I_{\text{ПРг}} = \frac{U}{4} \frac{4\Delta R}{R(R_{\text{ПР}} + R)} = 4I_{\text{ПРА}}; \quad (7.7)$$

- для схемы рисунка 7.2д – $I_{\text{ПРд}} = 0$;
- для схемы рисунка 7.2е – $I_{\text{ПРЕ}} = 2 I_{\text{ПРА}}$;
- для схемы рисунка 7.2ж – $I_{\text{ПРж}} = 0$;
- для схемы рисунка 7.2з – $I_{\text{ПРз}} = 3 I_{\text{ПРА}}$;
- для схемы рисунка 7.2и – $I_{\text{ПРИ}} = 0$;
- для схемы рисунка 2.2к – $I_{\text{ПРк}} = I_{\text{ПРА}}$.

Дифференциальная измерительная схема

Дифференциальной измерительной схемой называется схема (рисунок 7.3), в соседних плечах которой действуют согласованные ЭДС, а выходное напряжение снимается с диагонали, имеющей общую точку подключения обоих ЭДС (точка А). Найдем выходное напряжение схемы:

$$I_{\text{Пл}} = \frac{E_1 + E_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (7.8)$$

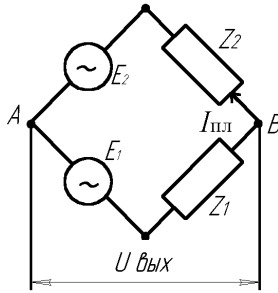


Рис. 7.3. Дифференциальная измерительная схема

В формуле (7.8) взята сумма ЭДС, так как они включаются согласованно. Ток $I_{\text{пл}}$ создает на Z_1 падение напряжения $U_{Z_1} = I_{\text{пл}} Z_1$, которое действует навстречу E_1 , поэтому

$$U_{\text{вых}} = U_{Z_1} - E_1 = \frac{E_1 + E_2}{Z_1 + Z_2} Z_1 - E_1 = \frac{E_1 Z_1 + E_2 Z_1 - E_2 Z_1 - E_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

После сокращения получим

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_2 Z_1 - E_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (7.9)$$

Отсюда видно, что $U_{\text{вых}} = 0$ при $E_2 Z_1 = E_1 Z_2$. (7.10)

Предположим, что вместо Z_1 включен датчик $Z_1 = Z + \Delta Z$. Пусть при $\Delta Z = 0$ схема сбалансирована. Тогда из уравнения (7.10) имеем

$$E_2 Z = E_1 Z_2. \quad (7.11)$$

С учетом (7.11) по формуле (7.9) получим

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_2 Z + E_2 \Delta Z - E_1 Z_2}{Z + \Delta Z + Z_2} = \frac{E_2 \Delta Z}{Z + Z_2}, \quad (7.12)$$

где приняли $\Delta Z \ll Z + Z_2$.

Из формулы (7.12) видно, что при обратном разбалансе схемы фаза выходного напряжения изменяется на 180° . Таким образом, дифференциальная схема обладает теми же свойствами, что и мостовая.

Аналого-цифровые преобразователи (АЦП)

АЦП предназначены для преобразования аналоговых (непрерывных) сигналов тока или напряжения в импульсы, длительность или частота следования которых пропорциональны напряжению или току датчика. АЦП позволяют согласовывать сигналы аналоговых датчиков с цифровыми устройствами и с цифровыми вычислительными машинами. Времяимпульсный преобразователь применяется для преобразования выходного напряжения датчика в импульсы, длительность которых пропорциональна напряжению.

Рассмотрим работу преобразователя, функциональная схема которого показана на рисунке 7.4. Генератор тактовых импульсов (ГТИ) вырабатывает тактовые импульсы с постоянной частотой следования, которые используются для запуска преобразователя.

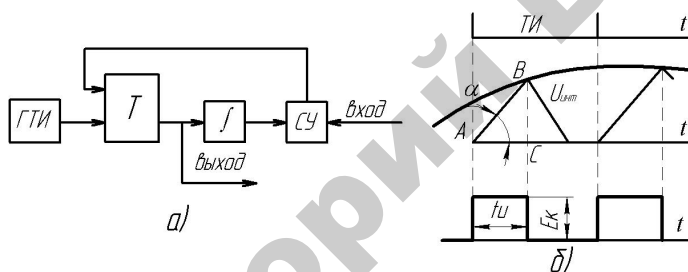


Рис. 7.4. Времяимпульсный преобразователь напряжения

Очередной тактовый импульс переводит триггер в другое устойчивое состояние. При этом напряжение на выходе триггера скачком изменяется от 0 до E_k (рисунок 7.4б). Этот скачок напряжения интегрируется. На выходе интегратора получается линейно-нарастающее напряжение. Когда это напряжение сравнивается с напряжением датчика U_d , то сравнивающее устройство (СУ) выдает импульс, называемый импульсом сброса, который возвращает триггер в исходное состояние. При этом напряжение на выходе триггера скачком уменьшается от E_k до 0. В результате на выходе триггера получается импульс напряжения положительной полярности – выходной импульс. После этого напряжение на выходе интегратора уменьшается до 0. С приходом следующего тактового импульса все повторяется снова. Из треугольника ABC имеем $AC = BC \operatorname{ctg} \alpha$. Так как $AC = t_{и}$ и $BC = MU_d$, то получим

$$t_{и} = Mctg\alpha \cdot U_{д} = KU_{д},$$

где $K = Mctg\alpha$ – коэффициенты передачи;
 M – масштаб коэффициента передачи.

Таким образом, на выходе преобразователя получаются импульсы напряжения, длительность которых $t_{и}$ пропорциональна мгновенному значению напряжения датчика в момент сравнения.

Преобразователь напряжения – частота предназначен для преобразования выходного напряжения датчика в частоту следования импульсов, амплитуда и длительность которых постоянна.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из двух балок равного сопротивления l с наклеенными проволочными тензорезисторами 2, пульта управления 3, милливольтметра 4, подвеса 5, грузов 6 (рисунок 7.5).

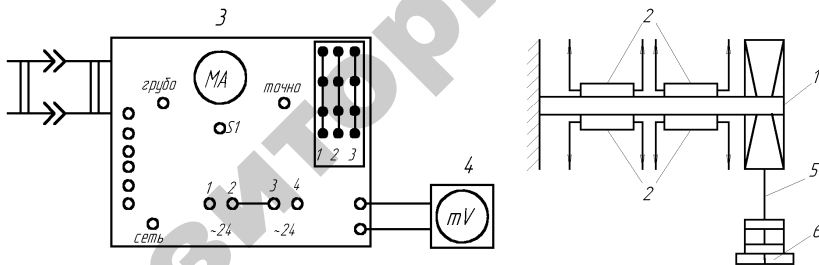


Рис. 7.5. Схема лабораторной установки

К выводам каждого тензорезистора припаяны одноцветные провода, оканчивающиеся штекерами, с помощью которых на наборном поле пульта набирается схема моста согласно рисунку 7.6. На передней панели пульта расположены ручки «баланс грубо» и «баланс точно», выключатель «сеть», а также ручки регулировки напряжения 0–10 В, клеммы ± 10 В, клеммы «вход преобразователя $\langle U-f \rangle$ », «выход преобразователя $\langle U-f \rangle$ ». В комплект оборудования входит также частотомер типа ЧЗ-33.

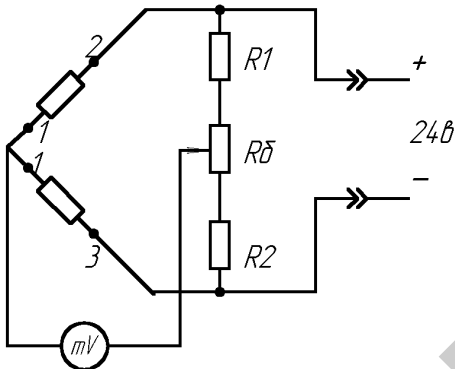


Рис. 7.6. Схема включения тензорезисторов в мостовую схему

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с мостовыми и дифференциальными измерительными схемами.
2. Собрать мостовую измерительную схему с тензодатчиками (по заданию преподавателя).
3. Снять и построить зависимость для собранной схемы

$$U_{\text{вых}} = f(P),$$

где P – вес груза кг.

Для этого необходимо:

- набрать поочередно схемы, заданные преподавателем на наборном поле;
- к измерительной диагонали подключить милливольтметр (тумблер S_1 должен находиться в положении «грубо»);
- ручкой «баланс грубо» установить минимальное напряжение на выходе моста;
- тумблер S_1 перевести в положение «баланс точно» и ручкой «баланс точно» установить милливольтметр на «0»;
- произвести постепенное нагружение балок с тензодатчиками, записывая результаты каждого нагружения в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

P , кг	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{ВЫХ.}}$, В										

- построить зависимость для собранной схемы $U_{\text{ВЫХ}} = f(P)$;
- определить чувствительность каждой схемы:

$$K = \Delta U / \Delta P;$$

- дать заключение, о преимуществах той или иной схемы моста.

4. Собрать дифференциальную схему включения тензодатчиков на переменном токе. Для этого необходимо:

- собрать схему согласно рисунку 7.7;
- снять и построить статическую характеристику схемы по методике для мостовых схем;
- определить чувствительность схемы.

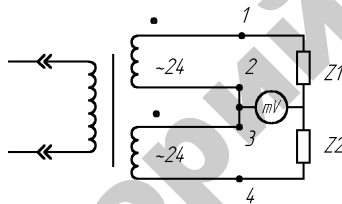


Рис. 7.7. Дифференциальная схема включения тензорезисторов

5. Изучить принцип действия преобразователя «напряжение–частота», для этого:

- собрать схему согласно рисунку 7.8;
- снять и построить статическую характеристику преобразователя напряжение–частота $f = F(U)$;
- определить чувствительность преобразователя.

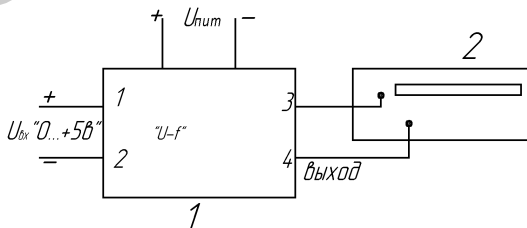


Рис. 7.8. Схема исследования преобразователя «U–f»

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Устройство, описание работы и основные математические зависимости схем включения датчиков и преобразователей.
3. Таблицы результатов измерения.
4. Графические изображения статических характеристик $U_{\text{вых}} = f(P)$ для мостовой и дифференциальной схем включения, $f = F(U)$ для преобразователя «напряжение–частота».
5. Коэффициенты чувствительности, определенные по экспериментальным характеристикам

Контрольные вопросы

1. Запишите условие равновесия мостовой схемы.
2. Для чего предназначены мостовая и дифференциальные схемы включения датчиков?
4. Назначение аналого-цифровых преобразователей.
3. Объяснить работу схемы времяимпульсного преобразователя.
4. Какие преимущества имеет представление результатов измерения в цифровой форме?

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы: изучить принцип действия релейной системы автоматического регулирования температуры (САРТ) при помощи электронного автоматического потенциометра КСП-4; определить экспериментально переходную функцию САРТ и показатели качества регулирования.

Общие сведения

Автоматическое регулирование температуры

Практическое применение первичных термопреобразователей (датчиков температуры) и вторичных приборов к ним рассмотрим на примере релейного (позиционного) регулирования температуры в сушильной камере при помощи автоматического/электронного потенциометра КСП-4 в комплекте с термопарой градуировки ХА.

Автоматические электронные потенциометры

Принцип действия автоматических электронных потенциометров основан на компенсационном методе измерения термоЭДС, заключающемся в автоматическом уравнивании (компенсации) измеряемой ЭДС известным напряжением, получаемым от строго определенного (рабочего) тока на сопротивлении с известным значением.

Типовая принципиальная схема таких потенциометров (рисунок 8.1) содержит: компенсационную мостовую измерительную схему А1, которая вырабатывает напряжение U_{AB} , компенсирующее измеряемую термоЭДС E_x ; входное устройство U_z , предназначенное для преобразования поступающего из измерительной схемы сигнала небаланса (некомпенсированного напряжения) постоянного тока ΔU в сигнал (напряжение) переменного тока; усилитель сигнала небаланса переменного тока А2; реверсивный асинхронный двигатель конденсаторного типа, управляющая обмотка которого питается выходным напряжением с усилителя А2 и который

кинематически связан с движком реохорда 1 и кареткой 2, перемещающей указатель (стрелку) 3 вдоль шкалы 4 и перо самописца 5 (если модификация потенциометра с записью измеряемой величины) вдоль диаграммной ленты 6; систему кинематической передачи 7; состоящую из приводного ролика 8 и натяжных роликов 9, связанных между собой тросовой передачей; синхронный двигатель М2 (если модификация потенциометра с записью) для продвижения диаграммной ленты 6.

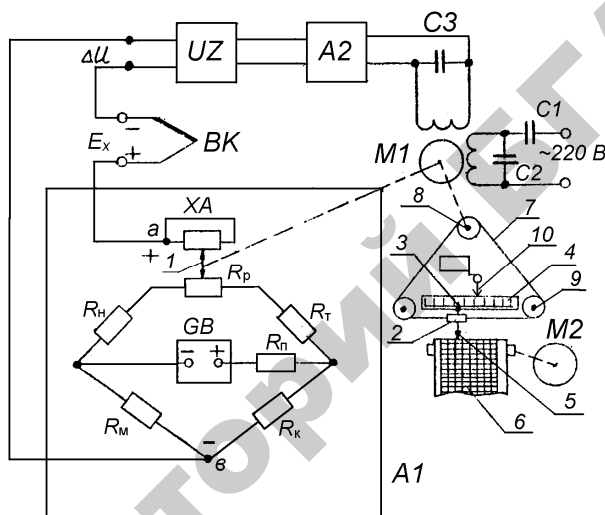


Рис. 8.1. Принципиальная схема автоматического электронного потенциометра

Над шкалой 4 установлена стрелка 10, перемещаемая вдоль шкалы вручную и являющаяся задатчиком измеряемой температуры. Со стрелкой 10 жестко соединен микропереключатель SQ , переключающий свои контакты в момент совмещения стрелок 3 и 10 и являющийся выходным сигнализирующим (регулирующим) устройством.

Измерительный мост А1 питается от источника стабилизированного напряжения, обеспечивающего постоянство рабочего тока в измерительной схеме. В одну вершину моста включен реохорд R_p с токоотводом (вспомогательной спиралью) XA, предназначенный для изменения компенсирующего напряжения. Плечи моста составлены из резисторов: R_H – для установления диапазона измерения

ЭДС; R_T – для установки величины рабочего тока; R_K – для контроля рабочего тока при градуировке или поверке прибора; R_M – вспомогательный резистор из медной проволоки для автоматического введения поправки на изменение термоЭДС термопары ВК при изменении температуры ее свободных концов; R_{II} – для ограничения регулировки тока в цепи источника питания GB при градуировке. Все резисторы, кроме R_M , изготавливают из стабилизированной манганиновой проволоки. Термопара ВК, как видно из схемы, подключена последовательно с усилителем $UZ-A2$ к диагонали AB моста $A1$, при этом напряжение небаланса направлено навстречу измеряемой термоЭДС.

Схема потенциометра работает следующим образом. В исходном состоянии мост сбалансирован так, что при температуре градуировки термопары (0°C) и при крайнем левом положении подвижного контакта реохорда напряжение на выходе моста $U_{AB} = E_x = \Delta U = 0$. Параметры плеч моста $A1$ выбраны таким образом, что величина напряжения U_{AB} зависит только от положения движка реохорда 1 , т. е. от изменения сопротивления R_p . С учетом кинематической связи каждому положению движка 1 соответствует определенное положение указателя 3 на шкале 4 . Поэтому для каждого значения измеряемой ЭДС E_x можно найти такое положение движка реохорда, при котором компенсирующее напряжение U_{AB} будет равно E_x . При этом напряжение небаланса $\Delta U = 0$ и исполнительный механизм $M1$ следящей системы компенсации находится в покое. При измеряемой температуре, отличной от ее градуировочной величины, измеряемая термоЭДС E_x не равна компенсирующему напряжению U_{AB} , в результате чего возникший сигнал небаланса ΔU подается через преобразователь UZ на вход усилителя $A2$. Этот сигнал усиливается до значения, достаточного для приведения в действие реверсивного двигателя $M1$, выходной вал которого будет вращаться в направлении, зависящем от полярности сигнала ΔU . Полярность сигнала обуславливается знаком большей величины E_x или U_{AB} . Выходной вал двигателя $M1$ через систему кинематической передачи 7 воздействует на движок реохорда измерительной схемы $A1$, изменяя компенсирующее напряжение U_{AB} до тех пор, пока оно не уравнивает измеряемую термоЭДС E_x . Одновременно приводится в движение каретка 2 с указателем 3 и пером 5 , фиксируя значение измеряемой температуры.

При применении потенциометра только в качестве измерителя контролируемой величины задатчик 10 и выходное регулирующее устройство SQ не используются.

Конструкция стандартного автоматического электронного потенциометра КСП-4 представлена на лабораторном стенде.

С целью обеспечения нормированной погрешности при измерении и регулировании температуры термopара, подключаемая к потенциометру, должна иметь с ним одинаковое стандартное обозначение градуировки (например, гр. ХА, ХК и т. д.).

Описание системы автоматического регулирования

Система автоматического регулирования температуры (САРТ) в сушильной камере предназначена для поддержания заданной температуры в определенном интервале.

Упрощенная принципиальная схема САРТ изображена на рисунке 8.2.

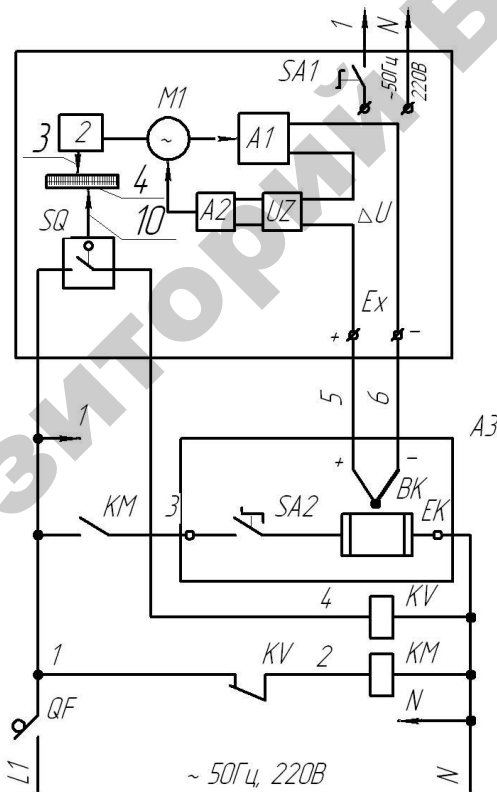


Рис. 8.2. Принципиальная схема САРТ температуры

Объект регулирования – муфельная печь АЗ, которая предназначена для термической обработки металлов при температуре до 1000 °С. Температура в печи измеряется термопарой ВК, которая подключена на вход потенциометра А.

При включении системы в сеть автоматическим выключателем QF и потенциометра тумблером $SA1$ указатель 3 покажет температуру печи, близкую к комнатной. Стрелка (указатель) 3 находится вблизи левого края шкалы. Одновременно со стрелкой 3 двигатель М1 перемещает подвижный контакт реохорда R_p , (см. рисунок 8.1) в положение, при котором напряжение термопары E_x становится равным напряжению на диагонали моста U_{AB} . Механическая связь между валом двигателя и реохордом является внутренней отрицательной обратной связью потенциометра. Благодаря этой связи при любом напряжении термопары двигатель вращается до тех пор, пока U_{AB} не станет равным E_x . Этим обеспечивается пропорциональная зависимость между напряжением термопары и перемещением стрелки 3.

Если задатчик 10 установлен на более высокую температуру, чем та, которую в данный момент показывает прибор, то контакт микропереключателя SQ разомкнут, катушка реле KV обесточена, его контакт в цепи питания катушки пускателя KM замкнут. Пускатель своим замыкающим контактом KM подключает нагревательный элемент ЕК печи к сети при включенном (замкнутом) положении переключателя $SA2$. При повышении температуры в печи соответственно возрастает выходное напряжение термопары E_x . Разность напряжений термопары и моста ΔU – пропорциональное изменению температуры печи, отслеживается следящей системой потенциометра непрерывно уравнивая измерительно-компенсационную схему (мост) А1. Одновременно стрелка 3 перемещается на величину, пропорциональную изменению температуры. Когда температура в печи повысится до заданного значения T_z , указатель 3 достигнет положения стрелки 10 задатчика, при этом контакт регулирующего устройства SQ замыкается и включает катушку реле KV . Своим размыкающим контактом KV реле обесточивает катушку пускателя KM , его контакт KM размыкается, отключая нагревательный элемент ЕК печи от сети.

Некоторое время после отключения нагревателя ЕК температура в печи продолжает увеличиваться вследствие инерционности тепловых процессов. Стрелка 3 перемещается вправо, при этом контакт регулирующего устройства SQ замкнут. Затем печь начинает

остывать. При снижении температуры указатель 3 перемещается влево и контакт SQ размыкается, нагреватель печи снова подключается к сети по вышеописанному алгоритму. Дальнейший процесс регулирования температуры носит колебательный характер. Амплитуда колебаний зависит от параметров, характеризующих инерционные свойства объекта регулирования – печи.

Функциональная схема САРТ приведена на рисунке 8.3.

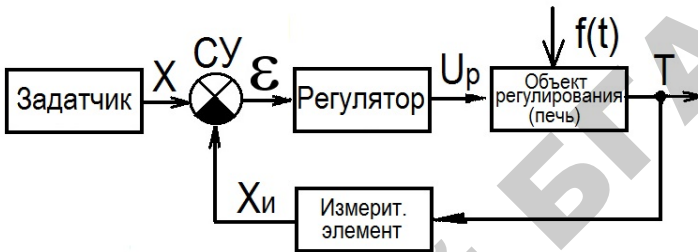


Рис. 8.3. Функциональная схема САРТ

Задатчиком является стрелка 10 с микропереключателем SQ . Задающий сигнал X – положение стрелки 10, отсчитываемое от нуля шкалы потенциометра до заданного значения температуры T_3 . Выходная (регулируемая) величина САРТ – температура T в печи АЗ. Измерительным элементом является прибор А (КСП-4) с термопарой ВК. Измерительный элемент преобразует температуру T в положение $X_{и}$ подвижной стрелки (указателя) 3 (см. рисунок 8.2.), т. е. в величину, удобную для сравнения с задающим сигналом X . Сравнивающее устройство СУ на функциональной схеме отражает сравнение положений стрелок 10 (X) и 3 ($X_{и}$) относительно шкалы 4 прибора А. Разность положений стрелок $X - X_{и} = \varepsilon$ соответствует отклонению температуры в печи от заданного значения $\varepsilon = \Delta T = T_3 - T$ и является ошибкой регулирования САРТ. Регулятор объединяет микропереключатель SQ (выходное регулирующее устройство), промежуточное реле KV (усилитель) и магнитный пускатель KM (исполнительное устройство). Регулирующим элементом (рабочим органом) САРТ является нагреватель печи EK , входящий в структуру объекта регулирования.

Входной сигнал для регулятора – ошибка регулирования ε , выходной – коммутируемое напряжение U_p , подаваемое исполнительным элементом KM на рабочий орган EK объекта регулирования.

В зависимости от знака величины ε выходная величина U_p может принять только два значения. При $\varepsilon > 0$ ($X_u < X$ или $T < T_3$) $U_p = U_c$, и нагреватель печи подключается регулятором к сети напряжением $U_c = 220$ В. При $\varepsilon < 0$ ($X_u > X$ или $T > T_3$) $U_p = 0$, и нагреватель отключается. Поскольку регулятор работает в режиме «включено–выключено», его называют двухпозиционным. Аналогично называют и закон регулирования, при котором выходной сигнал регулятора принимает только два значения. Статическая характеристика двухпозиционного регулятора соответствует типовому звену «двухпозиционное реле с гистерезисом», у которого ширина петли гистерезиса характеризует зону нечувствительности (дифференциал) регулятора $2B$ (рисунок 8.4а). При $B = 0$ регулятор называют идеальным двухпозиционным (рисунок 8.4б).

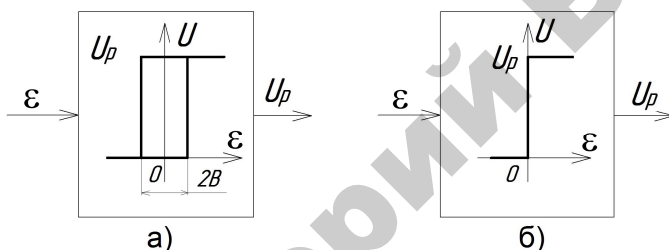


Рис. 8.4. Статическая характеристика двухпозиционного регулятора:
 а – с зоной нечувствительности $2B$; б – идеального ($2B = 0$)

Двухпозиционное регулирование инерционных объектов, к которым относится муфельная печь, характеризуется колебательным установившимся процессом. Однако в других САР возможен монотонный переходный процесс, когда скорость изменения регулируемой величины не меняет знака в течение всего времени регулирования.

Качество процесса регулирования

Одной из оценок качества регулирования служит оценка качества переходной характеристики САР относительно задающего воздействия. В частности, для САРТ в сушильной камере переходная характеристика представляет собой график изменения во времени температуры в печи (регулируемой величины) при отработке ступенчатого задающего сигнала T (рисунок 8.5). На графике: T_0 – начальное значение температуры; T_3 – заданное значение температуры.

Качество САР по переходной характеристике оценивается следующими показателями (см. рисунок 8.5):

- величиной перерегулирования h ;
- временем переходного процесса t_n ;
- числом колебаний C (колебательность);
- максимальной величиной отклонения от T_3 , (δ).

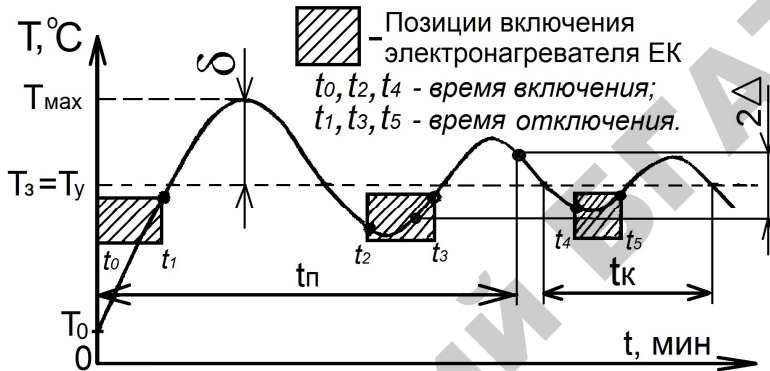


Рис. 8.5. Переходная характеристика САРТ

Перерегулирование определяется по выражению:

$$h = \frac{T_{\max} - T_y}{T_y} 100\%,$$

где T_{\max} — максимальное значение переходной характеристики;
 $T_y = T_3$ — установившееся значение параметра.

Перерегулирование косвенно определяет также запас устойчивости системы. В большинстве случаев считается, что запас устойчивости является достаточным, если величина $h \leq 10-30$.

Время переходного процесса (время регулирования) t_n характеризует быстрдействие системы, под которым понимается промежуток времени от начала приложения воздействия до момента пересечения графика переходного процесса с линиями $\pm \Delta$ от величины единичного воздействия T_3 , откладываемыми от значения $T_y = T_3$. Обычно принимают величину $\Delta = 0,01-0,05$, т. е. переход-

ной процесс в САР считают закончившимся, когда регулируемая величина $T(t)$ отличается от своего установившегося значения T_y не более чем на 1–5 %. Часто Δ выбирают равным 5 %.

Колебательность или число колебаний за время переходного процесса определяется числом максимумов или минимумов за время t_p . Иногда колебательность оценивают отношением соседних максимумов переходной характеристики $C = T_{\max 1}/T_{\max 2}$. Обычно $C = 1-2$, иногда 3–4 колебания. У некоторых систем колебания вообще не допускаются. При $1 < C < 2$ запас устойчивости САР считается достаточным. Переходной колебательный процесс характеризуется также собственной частотой колебаний системы.

$$W_k = \frac{2\pi}{t_k},$$

где t_k – период собственных колебаний системы.

Рассмотренные показатели качества переходной характеристики называют прямыми. Чем лучше переходная характеристика (в смысле качественных показателей), тем лучше система будет обрабатывать произвольное задающее воздействие.

Наряду с прямыми существуют и косвенные оценки качества переходных процессов: частотные, корневые и интегральные. Эти оценки являются приближенными и применяются в том случае, когда переходная характеристика отсутствует.

Порядок выполнения работы

Конструкцию и принцип действия САРТ изучить по методическим указаниям к настоящей работе, натурным образцам и рекомендуемой литературе.

Исследование работы САРТ сушильной камеры провести на лабораторной установке, принципиальная схема которой изображена на рисунке 8.6.

Она состоит из сушильной камеры А2 (объект САРТ) с термопарой ВК1, настенного автоматического выключателя QF1, потенцио-

метра А1 (КСП-4), а также настенного стенда – пульта управления. Внутри пульта установлены магнитный пускатель *КМ1* и промежуточное реле *КВ1*, являющиеся функциональными элементами САРТ.

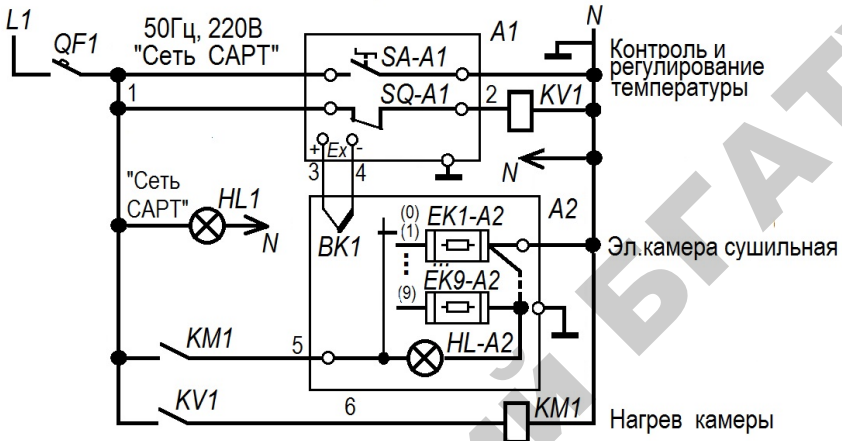


Рис. 8.6. Электрическая принципиальная схема лабораторной установки

Снять и построить переходную характеристику системы.

1. Включить автоматический выключатель *QF1* и потенциометр КСП-4.

2. Измерить температуру в печи А2 по показаниям прибора А1.

3. Включить печь А2 переключателем *SA-A2* (на печи), переводя его из положения «0» в положение «1». В результате мгновенного замыкания контактов переключателя на нагревательный элемент печи *EK1-A2* поступит напряжение сети, изменяющееся в этот момент скачком от 0 до 220 В. Реакция САРТ на ступенчатое изменение управляющего воздействия будет характеризоваться переходным процессом температуры.

4. Регистрировать по шкале потенциометра А1 значение температуры в печи с интервалом времени в 2 мин.

Снимать показания прибора КСП-4 до момента времени третьего-четвертого включения нагревательного элемента печи (6 срабатываний пускателя *КМ1*).

Результаты измерений записать в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

Время, мин	0	2	4	6	8	10	12	14	16	...	64
Температура, °С											

5. После окончания измерений все органы ручного управления установкой установить в исходное положение: выключить переключатель SA-A2 и автоматический выключатель QF1. Открыть дверцу печи A2.

6. По данным таблицы построить график $T = f(t)$.

7. Определить показатели качества процесса регулирования.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Принципиальная и функциональная схемы САР температуры.
3. Таблица и результаты измерений.
4. Графическое изображение переходной характеристики САРТ.
5. Показатели качества процесса регулирования температуры, определенные по переходной характеристике САРТ.

Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия релейной САР температуры.
2. Характеристика двухпозиционного регулятора.
3. Нарисовать функциональную схему прибора КСП-4.
4. Устройство и принцип действия автоматического электронного потенциометра.
5. Какие бывают переходные характеристики САР по управляющему воздействию?
6. Назначение внутренней обратной связи в автоматическом потенциометре КСП-4. Положительна или отрицательна эта связь?
7. Что покажет потенциометр КСП-4, если в нем отключить внутреннюю обратную связь?
8. Какими параметрами характеризуется качество процессов регулирования? Их графическое определение.

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ

Цель работы: изучение системы автоматического статического и астатического регулирования с регулированием по уровню, экспериментальное исследование работы систем регулирования уровня жидкости.

Общие сведения

Системой автоматического регулирования (САР) называют совокупность взаимодействующих в процессе работы элементов, предназначенных для поддержания значения регулируемой величины (координаты) в заданных пределах.

Автоматическое регулирование является разновидностью автоматического управления.

Все автоматические системы регулирования по их свойствам в установившемся режиме можно разбить на две группы - статические и астатические.

Статическими системами называются такие, у которых отклонение регулируемой величины от заданного значения в установившемся режиме пропорционально величине возмущения вызвавшего это отклонение. В этих системах погрешность регулирования различна при разных нагрузках и лежит в основе самого принципа регулирования.

Автоматическую систему статического регулирования в установившемся режиме характеризуют следующие основные свойства:

- равновесие системы статического регулирования наступает при различных значениях регулируемой величины;
- каждому значению регулируемой величины соответствует определенное положение регулирующего органа.

Астатическими системами автоматического регулирования называются такие системы, у которых погрешность регулирования в установившемся режиме равна нулю (в пределах зоны нечувствительности регулятора) и не зависит от нагрузки объекта.

Любая астатическая система в установившемся режиме обладает следующими свойствами:

- равновесие системы наступает всегда при одном и том же значении регулируемой величины (в пределах зоны нечувствительности);
- регулирующий орган при одном и том же значении регулируемой величины может занимать различные положения;
- любому возмущению соответствует нулевое значение статической ошибки (в пределах зоны нечувствительности).

В статических системах при изменении нагрузки (расхода) от нуля до максимума регулируемая величина (уровень) изменяется от максимума до минимума. За номинальное значение выходной величины (уровень) чаще всего принимается начальное значение регулируемой величины.

На рисунке 9.1 представлена функциональная схема САР с регулированием по отклонению. САР состоит из объекта регулирования ОР и регулятора Р.

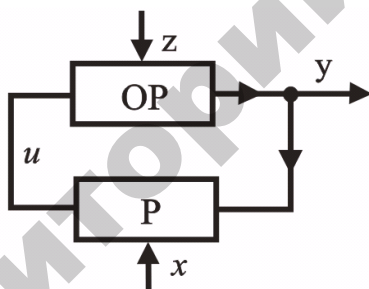


Рис. 9.1. Функциональная схема САР

Все воздействия, приложенные к элементам системы, можно разделить на **внешние и внутренние**.

Внешние воздействия, в свою очередь, делятся на **возмущающие z** и **задающие x**. Возмущающие воздействия приложены к объекту регулирования ОР. Внешние воздействия на САР часто называют **входными величинами**.

Величину, по которой осуществляется регулирование, называют **регулируемой** или **выходной** величиной (обозначена на рисунке 9.1 буквой “y”).

Воздействия, передаваемые от одного элемента системы к другому, являются **внутренними воздействиями** системы. Примером внутреннего воздействия в системе на рисунке 9.1 является управляющее воздействие ***u***, вырабатываемое регулятором Р под влиянием задающего воздействия ***x*** и регулируемой величины ***y***.

Если к системе приложена одна входная величина, а регулирование осуществляется по одной выходной (регулируемой) величине, то такую САР называют **одномерной**.

В приведенной схеме САР реализуется принцип регулирования по отклонению, так как алгоритм регулирования формируется в зависимости от отклонения регулируемой величины ***y*** относительно заданного ее значения ***x***. Управляющее воздействие формируется только при условии $\Delta = x - y \neq 0$, то есть при возникновении отклонения Δ . В этом случае

$$u = f(x - y) \quad (9.1)$$

Для измерения отклонения Δ и формирования управляющего воздействия ***u*** в схему (рисунок 9.1) введена **обратная связь**. Если в обратную связь включен регулятор (как это имеет место в рассматриваемом случае), то такую обратную связь называют **главной**. В рассматриваемой САР обратная связь является **отрицательной**, поскольку, как видно из формулы (9.1), регулируемая величина ***y*** и управляющее воздействие ***u*** – величины, противоположные по знаку.

Преимуществом принципа регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется независимо от того, какая причина вызвала отклонение регулируемой величины. В этом случае нет необходимости анализировать возмущающие воздействия и выяснять, какое из них привело к отклонению.

Недостатком регулирования по отклонению является то, что управляющее воздействие формируется только после того, как возникнет ошибка $\Delta = x - y$ в выполнении заданного алгоритма функционирования системы.

На стенде имеется возможность проводить экспериментальные исследования двух типов наиболее распространенных в водоснабжении САР с регулированием по отклонению (уровня и давления).

Экспериментальная установка

Общий вид станда представлен на рисунке 9.2.

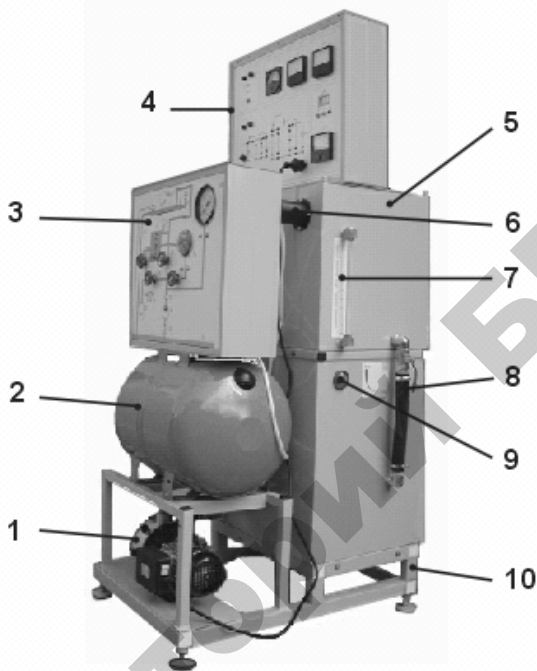


Рис. 9.2. Общий вид станда

Стенд состоит из следующих основных устройств:

- 1 – насосная установка, в состав которой входят центробежный насос (Н) и однофазный приводной электродвигатель;
- 2 – пневматический бак (ПБ);
- 3 – модуль гидравлического управления (МГУ);
- 4 – модуль электрического управления;
- 5 – гидробак верхний (Б2);
- 6 – потенциометрический датчик уровня (ДУ);
- 7 – указатель уровня воды в верхнем гидробаке (УУ);
- 8 – гидробак нижний (Б1);
- 9 – указатель уровня воды в нижнем гидробаке (заменен на трубчатый указатель);
- 10 – рама станда.

Модули гидравлического и электрического управления, представляющие собой конструктивно законченные устройства, предназначены для управления, измерения регистрируемых величин и контроля за работой стенда.

На рисунке 9.3 приведена гидравлическая схема стенда (эта же схема показана на передней панели модуля гидравлического управления). В корпусе модуля гидравлического управления установлены все устройства, которые на гидравлической схеме (рисунок 9.3) изображены внутри прямоугольника, выделенного штрихпунктирной линией. Это следующие устройства:

- КО – клапан обратный;
- РД – реле давления;
- В1...В5 – вентили;
- П – имитатор потребителей воды;
- Т – датчик температуры;
- РА – расходомер;
- МН – манометр.

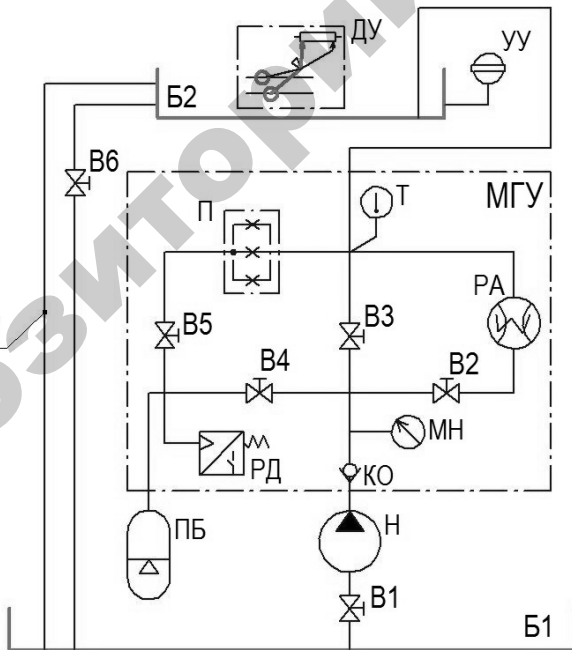


Рис. 9.3. Гидравлическая схема стенда

Обратный клапан в напорную линию насоса установлен с целью предотвращения утечек воды из пневматического бака ПБ через неработающий гидронасос Н в нижний гидробак Б1.

Вентиль В1 установлен во всасывающем трубопроводе, соединяющем нижний гидробак с насосом. Этот вентиль в процессе эксплуатации станда всегда открыт. Закрывают вентиль при демонтаже насоса и проведении ремонтных работ. Вентиль В6 установлен в трубопроводе, соединяющем верхний и нижний гидробаки.

В дно верхнего гидробака вварена труба перелива (гидролиния 1 на рисунке 9.3) с большим внутренним диаметром. Перелив предусмотрен на высоте 0,26 м от дна верхнего гидробака. То есть максимальный уровень воды в верхнем гидробаке примерно 0,26 м. Вода из верхнего гидробака через трубу перелива перетекает в нижний гидробак. Благодаря этому при любых ситуациях, которые только могут возникнуть при работе станда, в нижнем гидробаке всегда есть вода, что предотвращает выход из строя гидронасоса Н, так как работа насоса всухую невозможна.

Электрическая схема станда приведена на рисунке 9.4 (эта же схема показана на передней панели модуля электрического управления). На схеме обозначено:

ДУ – потенциометрический датчик уровня (установлен в верхнем гидробаке, поз. 6 на рисунке 9.2);

ЭМР – электромагнитное реле;

РД – реле давления (установлено в корпусе модуля гидравлического управления);

ЭД – электродвигатель привода гидронасоса;

R_H – сопротивление нагрузки;

A, V, W – амперметр, вольтметр, ваттметр соответственно;

HL2 – лампочка световой индикации.

Напряжение питания электрической системы 220 В, ток переменный, 50 Гц. Напряжение питания потенциометрического датчика уровня – 12 В, ток постоянный.

На передней панели станда также установлен электронный секундомер:

– СЕК – цифровое табло секундомера (трехразрядное);

– Вкл., Счет, Сброс – кнопки управления секундомером (Вкл. – включение питания; Счет – включение и выключение секундомера; Сброс – сброс показаний цифрового табло).

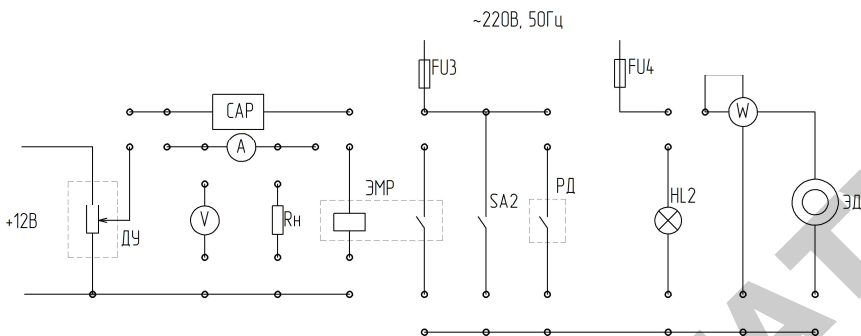


Рис. 9.4. Электрическая схема стенда

Внимание! При работе секундомера (когда идет подсчет времени), **запрещается нажимать** кнопку «Сброс».

В нижнем правом углу панели модуля электрического управления установлен прибор, регистрирующий температуру рабочей жидкости (T , °C).

В линиях питания электрической системы стенда (на входе) установлены предохранители $FU1$, $FU2$, $FU3$ и $FU4$, а также предусмотрена световая индикация исправности электрической системы ($HL1$).

Структурирование электрической системы стенда, которое необходимо выполнять перед началом каждой новой лабораторной работы, осуществляется путем установки перемычек со штекерами в гнезда, установленные на передней панели модуля электрического управления. Установка перемычек производится в соответствии со схемой электрических соединений, приводимой в методических указаниях к каждой лабораторной работе. Места установки перемычек на схемах отмечены «жирной» штриховой линией.

Включение питания стенда осуществляется путем установки тумблера «СЕТЬ» в верхнее положение. Тумблер расположен в верхнем левом углу передней панели модуля электрического управления.

Объектом регулирования (ОР) является верхний гидробак стенда Б2, который имитирует водонапорную башню (см. рисунки 9.2 и 9.3 – Описание лабораторного стенда). При открытии вентиля В6 вода начинает перетекать из верхнего бака Б2 в нижний Б1, тем самым имитируется забор воды из водонапорной башни потребителями. Расход воды из верхнего бака является **возмущающим**

воздействием (z), которое приводит к отклонению **регулируемой величины** (y) – уровня воды в баке. Процесс подачи воды в верхний бак механизирован, так как для этого используется насосная установка. Таким образом, основными устройствами объекта регулирования являются верхний гидробак (водонапорная башня) и насосная установка.

Применение в обратной связи (см. рисунок 9.1) объекта регулирования (ОР) регулятора (Р) позволяет автоматизировать процесс управления объектом. В состав регулятора входят потенциометрический датчик уровня поплавкового типа (ДУ), установленный в верхнем баке, и электромагнитное реле (ЭМР).

Управляющее воздействие u представляет собой электрический сигнал, подаваемый на электродвигатель насосной установки.

Порядок выполнения работы

Перед включением установки необходимо:

1. С помощью переключателей со штекерами обеспечить схему электрических соединений в соответствии с рисунком 9.5 (на передней панели модуля электрического управления).

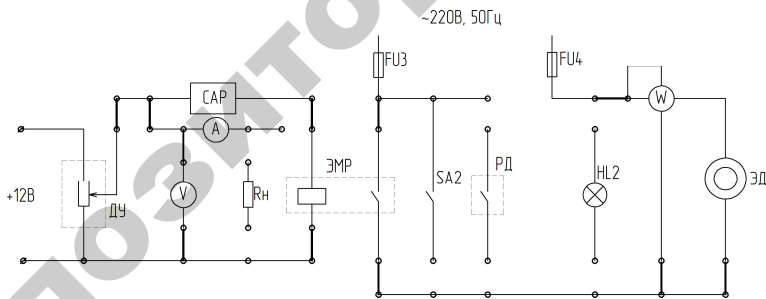


Рис. 9.5. Схема электрических соединений

2. На модуле гидравлического управления закрыть вентили В3, В4 и В5 (закрытие вентилей осуществляется путем вращения маховичка управления по часовой стрелке). Вентиль В2 необходимо открыть, при этом при работе насоса вода из нижнего бака будет подаваться в верхний бак через расходомер РА.

3. Включить на модуле электрического управления питание электронного секундомера (нажать кнопку «ВКЛ»).

После подготовки установки к работе необходимо:

1. Провести два опыта при различных степенях открытия вентиля В6. В первом опыте вентиль В6 открыть полностью – на 100 % (при этом рукоятку управления вентилем необходимо установить параллельно оси трубопровода).

2. Зафиксировать начальное показание скоростного расходомера (РА) – $V_{\text{нач}}$.

3. Включить электрическое питание стенда. Для этого тумблер «СЕТЬ» на модуле электрического управления необходимо установить в верхнее положение. При этом насосная установка начнет подавать воду в верхний бак и в дальнейшем будет работать в автоматическом режиме. Одновременно с включением насосной установки необходимо начать с помощью электронного секундомера отсчет времени, для чего следует нажать кнопку «Счет». Опыт закончить сразу же после пятого срабатывания насосной установки. При каждом срабатывании насосной установки необходимо (не останавливая секундомера) фиксировать время $t_{p\ i}$, в течение которого работает насосная установка, а также мощность $W_{\text{эл } i}$, подаваемую на вход электродвигателя (для получения мощности в ваттах показания ваттметра W необходимо умножить на 100), (1 дел = 4,6 мм).

Результаты испытаний занести в таблицу 9.1.

4. Далее при работающей САР прикрыть вентиль В6 и добиться заметного уменьшения расхода воды из верхнего бака в нижний (открыть вентиль на 75 %), что будет соответствовать уменьшению забора воды потребителями (осуществляя настройку вентиля, необходимо следить за скоростью уменьшения уровня в трубке, установленной на верхнем баке). Затем необходимо выключить питание стенда и дождаться полного опорожнения верхнего бака, а также нажать кнопку «Сброс» секундомера.

5. После подготовки стенда к новому опыту необходимо повторно выполнить пункты 2 и 3.

6. После проведения двух опытов необходимо отключить электрическое питание стенда и снять переключки со штекерами с модуля электрического управления.

Обработка результатов

Средний расход воды (расход, подаваемый насосом в бак Б2, примерно равен потребляемому расходу), то есть:

$$Q_{\text{ср } i} = \frac{V_{\text{кон } i} - V_{\text{нач } i}}{t_{\text{н } i}}$$

Продолжительность работы насосной установки:

$$t_{\text{н } i} = t_{\text{р } i \text{ выкл}} - t_{\text{р } i \text{ вкл}}$$

Потребляемая в течение i -го включения насосной установки энергия:

$$A_i = W_{\text{эл } i} \cdot t_{\text{н } i}$$

При вычислении A_i необходимо значение $W_{\text{эл } i}$ подставлять в Вт, а $t_{\text{н } i}$ – в часах.

Результаты вычислений необходимо занести в таблицу 9.1, а затем построить графические зависимости $A_i=f(Q_{\text{ср } i})$ и характеристику работы насосной установки в автоматическом режиме $H=f(t_{\text{р } i})$.

Пример зависимости $H=f(t_{\text{р } i})$ показан на рисунке 9.6.

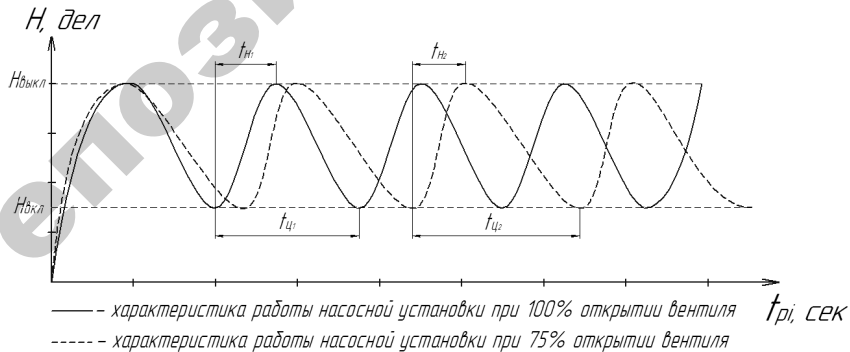


Рис. 9.6. Характеристика работы насосной установки

$H_{\text{вкл}}$, $H_{\text{выкл}}$ – уровень воды в баке при включении и выключении насосной установки;

$t_{\text{ц1}}$, $t_{\text{ц2}}$ – время цикла (заполнение и опорожнение бака до заданного уровня) при открытии вентиля на 100 % и 75 % соответственно;

$t_{\text{н1}}$, $t_{\text{н2}}$ – время заполнения бака до заданного уровня при открытии вентиля на 100 % и 75 % соответственно.

Таблица 9.1

Результаты исследований

Номер опыта	i – срабатывания насосной установки		Вкл Выкл	$t_{\text{рi}}$ – время работы насосной установки при i-ом срабатывании	$W_{\text{элi}}$ – потребляемая электродвигателем мощность, Вт	Показания расходомера		$t_{\text{нi}}$ – продолжительность опыта, с	$Q_{\text{срi}}$ – средний расход воды, м ³ /с	A_i – потребляемая в течение опыта энергия, кВт·час	$H_{\text{вкл i}}$ – включения насосной установки, дел	$H_{\text{выкл i}}$ – выключение насосной установки, дел	Среднее значение $H_{\text{вкл}}$	Среднее значение $H_{\text{выкл}}$
	1	2				$V_{\text{начi}}$ – начальное, м ³	$V_{\text{конi}}$ – конечное, м ³							
1	1										×	×		
	2													
	3													
	4													
	5													
2	1										×	×		
	2													
	3													
	4													
	5													

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Определения и основные свойства астатического и статических систем регулирования.
3. Принципиальные схемы регуляторов.
4. Таблицы результатов измерений.
5. Графические характеристики.
6. Расчет основных показателей качества процесса регулирования.

Контрольные вопросы

1. Дать определения статической и астатической систем регулирования.
2. Охарактеризовать основные свойства статической и астатической систем.
3. В чем достоинства и недостатки принципа регулирования по отклонению?
4. Что представляют собой объект регулирования и регулятор в исследуемой САР?
5. Какие возмущающие и управляющие воздействия действуют на САР? По какому параметру осуществляется регулирование?
6. Поясните методику экспериментальных исследований САР.
7. Как зависит количество энергии, потребляемое САР, от расхода воды?

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ

Цель работы: изучение системы автоматического управления микроклиматом, экспериментальное исследование работы системы управления микроклиматом.

Общие сведения

Микроклимат в помещении – это климат ограниченного пространства, включающий в себя совокупность факторов среды: температура, влажность, скорость движения и охлаждающая способность воздуха, атмосферное давление, уровень шума, содержание взвешенных в воздухе пылевых частиц и микроорганизмов, газовый состав воздуха и др. Создание оптимального микроклимата – это производственный процесс, заключающийся в регулировании техническими средствами параметров микроклимата до получения такого их сочетания, при котором условия среды наиболее благоприятствуют нормальному протеканию физиологических процессов в растениях или организмах животных. Микроклимат производственных помещений не может быть постоянным. Он меняется в течение вегетации культур (по сезонам года), со сменой дня и ночи, при солнечной и пасмурной погоде, от проветривания сооружения. Разные сельскохозяйственные культуры и животные требуют своих оптимизированных параметров микроклимата. Микроклимат создается действием всех систем технологического оборудования – отопительной, вентиляционной, поливной, системой питания, подкормки углекислым газом, искусственным освещением, а также оказывают влияние климатические факторы. Например, в теплице микроклимат определяет все процессы формирования урожая от прорастания семян до конца плодоношения. В связи с этим возникает необходимость дифференцировать режимы микроклимата: в течении суток, по фазам роста и развития и в зависимости от состояния растений (возрастного, фитосанитарного).

интенсивности роста и пр.). Режимы учитывают, прежде всего, особенности видов и сортов, технологий выращивания и периодов выращивания культур в течение года.

Система автоматизированного контроля и управления температурно-влажностным режимом теплицы представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, позволяющих достоверно измерять состояние климата в теплице и состояние окружающей среды и на основе этого управлять исполнительными механизмами теплицы. Система автоматизированного управления микроклиматом предназначена для задания суточного цикла микроклимата в теплице, контроля климата в теплице и слежения за внешним климатом, анализа полученных данных и расчета управляющих воздействий на исполнительные механизмы для поддержания заданных параметров микроклимата.

Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят кондиционер, осушитель воздуха, ультразвуковой увлажнитель воздуха, датчики влажности и температуры, два двухканальных измерителя-регулятора, цифровой вольтметр, панель управления, корпус из алюминиевого профиля и теплокамера.



Рис. 10.1

Кондиционер представляет собой сплит-систему, состоящую из двух разделенных блоков. Один из них размещен внутри теплокамеры, а второй снаружи. Обе части системы объединены трубкой, через которую циркулирует фреон.

Наружный блок кондиционера состоит из вентилятора 1, конденсатора 2, компрессора 3, платы управления 4, четырехходового клапана 5, штуцерного соединения 6, фильтра фреоновой системы 7, защитной крышки (рисунок 10.2).

Вентилятор – создает поток воздуха, обдувающего конденсатор.

Конденсатор – радиатор, в котором происходит охлаждение и конденсация фреона.

Компрессор – сжимает фреон и поддерживает его движение по холодильному контуру.

Плата управления – обеспечивает управление кондиционером.

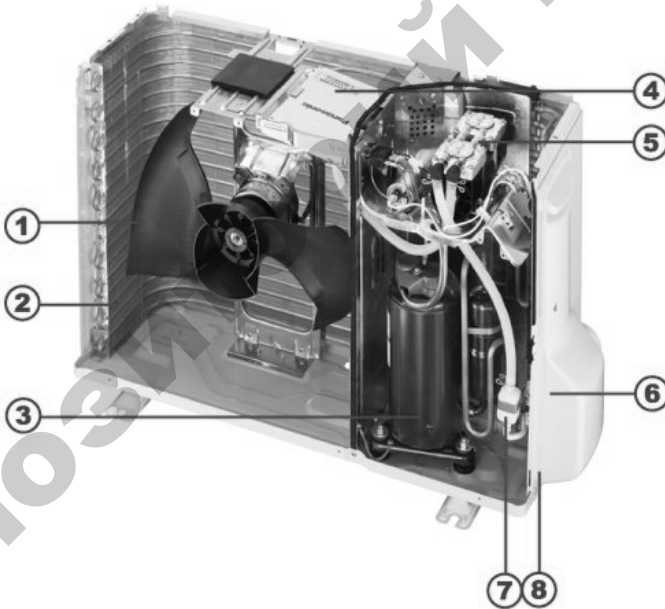


Рис. 10.2. Наружный блок кондиционера

Четырехходовой клапан – обеспечивает реверсивный (тепло – холод) режим работы кондиционера. В режиме обогрева этот клапан изменяет направление движения фреона. При этом внутренний

и наружный блоки как бы меняются местами: внутренний блок работает на обогрев, а наружный – на охлаждение.

Штуцерные соединения – к ним подключаются медные трубы, соединяющие наружный и внутренний блоки.

Фильтр фреоновой системы – защищает кондиционер мелких частиц.

Защитная крышка – закрывает штуцерные соединения и клеммник, используемый для подключения электрических кабелей.

Внутренний блок кондиционера состоит из передней панели 1, фильтра грубой очистки 2, фильтра тонкой очистки 3, вентилятора 4, испарителя 5, горизонтальных жалюзи 6, индикаторной панели 7, вертикальных жалюзи 8 (рис.10.3).

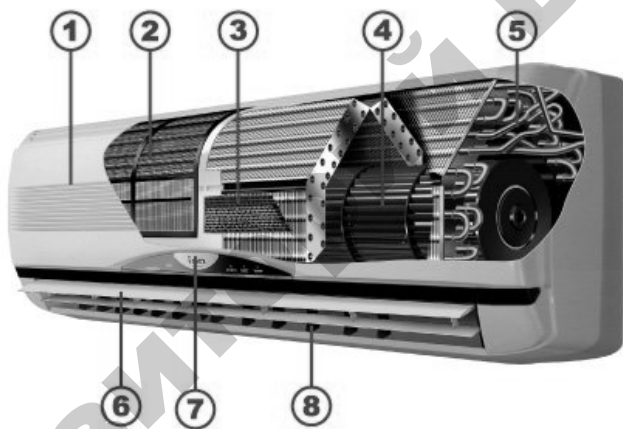


Рис.10.3. Внутренний блок кондиционера

Принцип работы кондиционера

Процесс работы кондиционера построен на основе свойства жидкости (фреона) поглощать и отдавать тепло при изменении температуры. Как это происходит, можно увидеть на следующем рисунке 10.4.

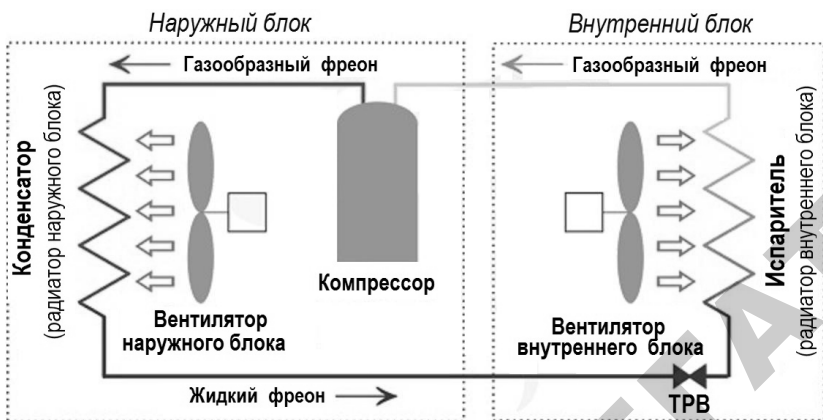


Рис. 10.4

Начинается процесс охлаждения в наружном блоке, где фреон находится в газообразном состоянии.

Потом он перемещается в компрессор, который увеличивает давление, газ сжимается и повышается его температура.

Фреон переходит в конденсатор (теплообменник – состоящий из медных трубок с тонкими алюминиевыми пластинками), где всасываемый воздух с помощью вентилятора продувает его, при этом охлаждая – это приводит к тому, что происходит переход газа в жидкое состояние.

Дальше он в виде жидкости попадает в терморегулирующий вентиль (тонкая медная трубочка в виде спирали), который уменьшает давление в системе, чем понижает температуру кипения фреона. Это провоцирует его кипение и начало испарения.

Попав потом в испаритель (теплообменник во внутреннем блоке), где фреон обдувается теплым воздухом из комнаты. Поглощая тепло, он переходит опять в газообразное состояние, а охлажденный воздух выходит из кондиционера через решетку в помещении.

Фреон в виде газа перемещается опять в наружный блок на вход компрессора уже с низким давлением, и цикл работы кондиционера повторяется.

По такому же принципу осуществляется и нагрев воздуха в помещении.

Отличие этих процессов заключается в том, что благодаря установленному во внешнем блоке кондиционера четырехходовому

клапану, газообразный хладагент (то есть фреон) меняет направление движения, и теплообменники меняются местами – во внутреннем теплообменнике происходит отдача тепла, а в наружном – нагревание.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с паспортными данными сплит-системы и порядком работы с ней. Изучить принцип действия кондиционера.
2. Снять и построить переходную характеристику системы.
3. Установить переключатели SA1-SA4 в среднее положение. Отодвинуть термокамеру от стенда, чтобы обеспечить доступ к внутреннему блоку кондиционера.
4. Подать на стенд питающее напряжение автоматическими выключателями QF1.
5. Задать на «регуляторе температуры» температуру второго канала – (Кондиционер) уставку на некоторое значение меньше измеренного.
6. Переключателем SA2 (верхнее положение) включить цепь питания кондиционера.
7. С пульта установить режим кондиционирования и задать температуру 16 °С.
8. Через 2–3 мин после начала работы кондиционера мультиметром измерить температуру на входе и выходе внутреннего блока и на входе и выходе наружного блока.
9. Надвинуть на стенд термокамеру до соприкосновения.
10. Регистрировать по табло двухканального измерителя-регулятора значение температуры в термокамере с интервалом времени в 1 мин.
11. Результаты измерений записать в таблицу 10.1.

Таблица 10.1

Время, мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	...	20
Температура, °С											

12. Снимать показания двухканального измерителя-регулятора до момента времени пятого-шестого включения кондиционера.
13. Фиксировать температуру, при которой кондиционер включается и выключается.

14. После завершения опыта отключить с пульта управления кондиционер и дождаться, когда он полностью отключится.
15. Отключить кондиционер переключателем $SA2$.
16. Выключить стенд автоматическими выключателями $QF1$.
17. По данным таблицы построить график $T = f(t)$.
18. Определить показатели качества процесса регулирования.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема и принцип действия кондиционера.
3. Таблица и результаты измерений.
4. Графическое изображение переходной характеристики системы автоматического регулирования температуры в теплице.
5. Показатели качества процесса регулирования температуры, определенные по переходной характеристике САРТ.

Контрольные вопросы

1. Что называется микроклиматом?
2. Какие факторы необходимо учитывать при создании микроклимата производственных помещений?
3. Устройство и принцип действия кондиционера.
4. Какими параметрами характеризуется качество процессов регулирования? Их графическое определение.

Лабораторная работа № 11

ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРА АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ АК-3М

Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия индуктивного преобразователя перемещений и прибора АК-3М; изучить схему контроля и управления процессом обработки деталей с помощью прибора АК-3М; экспериментально определить точность автоматического контроля обработки деталей.

Общие сведения

Назначение и конструкция прибора АК-3М

Прибор АК-3М предназначен для контроля изделий в процессе наружного шлифования методом врезания и управления процессом обработки по результатам измерений.

В комплект прибора входят два основных узла: датчик и электронный преобразующий блок.

Во время измерения датчик находится на обрабатываемой детали, соприкасаясь с ней своими элементами. Изменение размера детали вызывает перемещение измерительного элемента датчика, которое с помощью электронной схемы прибора преобразуется в электрические сигналы, служащие для управления станком и визуальным указателем хода обработки.

Датчик

Конструктивная схема датчика приведена на рисунке 11.1. Датчик содержит измерительную скобу 1 и дифференциальный индуктивный преобразователь перемещений 2. В рабочем положении датчик ориентируется на контролируемом диаметре твердосплавными вставками 3 и 4 скобы 1. Измерительный шток 5 подвешен к корпусу датчика на плоских пружинах 6, на которых он имеет возможность перемещаться вдоль своей оси. Пружина 7 прижимает шток 5 к контролируемой детали. Второй конец измерительного штока 5 несет якорь 8 индуктивного преобразователя перемещений и гайки 9, ограничивающие перемещение штока 5 относительно преобразователя 2.

Дифференциальный индуктивный преобразователь 2 содержит два ферромагнитных сердечника 10, на средних стержнях которых размещены обмотки 11. Якорь 8 перемещается в воздушном зазоре между сердечниками 10.

Преобразователь 2 подвешен на плоских пружинах 12 и прижимается пружиной 13 к регулировочному микрометрическому винту 14, установленному в корпусе датчика.

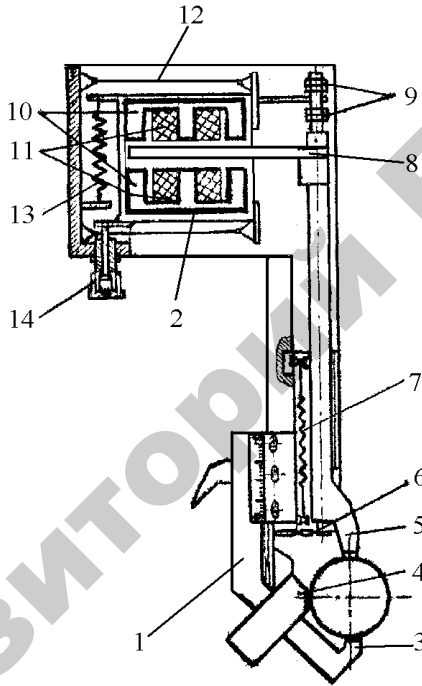


Рис. 11.1

При изменении контролируемого диаметра в результате обработки измерительный шток 5 перемещается под действием пружины 7. Вместе со штоком перемещается якорь 8. Перемещения якоря 8 преобразуются индуктивным преобразователем в электрический сигнал, по которому срабатывает система контроля. Принцип действия дифференциального индуктивного преобразователя перемещений поясняется схемой на рисунке 11.2.

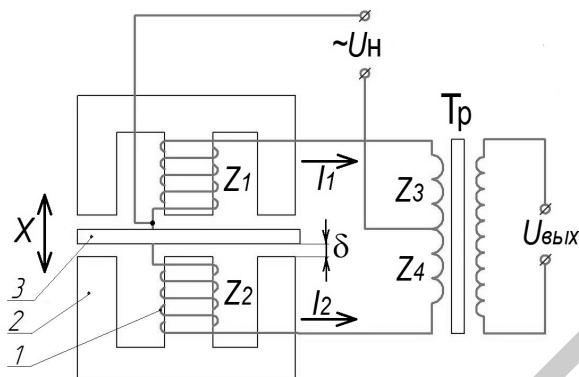


Рис. 11.2

Обмотки Z_1 и Z_2 дифференциального индуктивного преобразователя включены в мостовую схему с первичными обмотками Z_3 и Z_4 трансформатора T_p . Мостовая схема питается переменным напряжением $U_{\text{п}}$. Входным сигналом преобразователя является перемещение x якоря 3, выходным сигналом – напряжение на вторичной обмотке трансформатора $U_{\text{вых}}$.

Каждая половина преобразователя представляет собой магнитную цепь, состоящую из катушки 1 со стальным сердечником 2, подвижного якоря 3 и двух воздушных зазоров δ . При питании катушки переменным напряжением ее полное сопротивление

$$Z(j\omega) = R + j\omega L,$$

где R – активное сопротивление обмотки;

L – индуктивность обмотки;

ω – круговая частота питающего напряжения.

Индуктивность обмотки в рассматриваемом преобразователе приближенно определяется по формуле:

$$L = \frac{0,4\pi W^2}{R_{\text{м.ст}} + R_{\delta}} 10^{-8}, \text{ Гн},$$

где $R_{\text{м.ст}}$ – магнитное сопротивление стальных участков цепи;

R_{δ} – магнитное сопротивление воздушных зазоров;

W – число витков обмотки.

Для преобразования перемещений используется зависимость L от R_δ .

Перемещение преобразуется в изменение магнитного сопротивления за счет изменения воздушного зазора δ . Зависимость между δ и R_δ определяется формулой

$$R_\delta = \frac{2\delta}{\mu_0 S},$$

где δ – величина зазора в см;

S – площадь воздушного зазора в см²;

μ – магнитная проницаемость воздушного зазора.

Зависимость величины зазора δ от входного сигнала перемещения X имеет вид

$$\delta = \delta_0 + x,$$

где δ_0 – начальный зазор между якорем и сердечником.

Зависимость величины индуктивности одной обмотки преобразователя от перемещения X якоря выражается формулой.

При перемещениях якоря Z (см. рисунок 11.2) индуктивность одной обмотки преобразователя увеличивается, а другой – уменьшается. Соответственно изменяются и полные сопротивления Z_1 и Z_2 . Мостовая схема уравнивается при условии

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3.$$

Токи I_1 и I_2 , протекающие в противоположных ветвях моста, будут равны между собой и направлены в противофазе, вследствие чего напряжение на выходной обмотке трансформатора T будет равно нулю. Перемещение якоря приводит к изменению величин Z_1 и Z_2 и к появлению выходного напряжения $U_{\text{вых}}$, фаза которого указывает направление перемещения якоря, а модуль пропорционален величине перемещения.

Индуктивные преобразователи с переменным зазором имеют высокую чувствительность и применяются для измерения перемещений в тысячные доли миллиметра.

Электронный блок

В приборе АК-3М трансформатор индуктивного преобразователя расположен в электронном блоке. Датчик подключается к электронному блоку кабелем. Электронный блок прибора содержит электронный усилитель сигнала преобразователя и цепи управления. На выходе усилителя включен стрелочный индикатор, шкала которого проградуирована в мм перемещения измерительного штока датчика. Схема управления станком приведена ниже.

На передней (лицевой) панели электронного блока расположены: защитное стекло индикатора, сигнальные лампочки предварительной (справа) и окончательной (слева) команд, ручки установки предварительной и окончательной команд и переключатель режимов работы блока.

В приборе АК-3М точкой сравнения, определяющей момент подачи окончательной команды, является нулевая точка шкалы, соответствующая балансу измерительного моста в момент совпадения размера контролируемого изделия с размером эталона. Ручкой установки окончательной команды можно регулировать момент ее выдачи в пределах, указанных возле ручки. Аналогично регулируется момент выдачи предварительной команды.

Прибор питается от сети переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц. Время прогревания электронного блока 5 мин.

Описание лабораторной установки

Установка включает токарный станок и прибор АК-3М. Датчик прибора установлен в суппорте. Электронный блок установлен на отдельных кронштейнах. В центрах станка установлен вал, проточенный уступами с уменьшением диаметра в направлении справа налево. Разница диаметров правого и левого концов вала составляет 1 мм.

В работе имитируется процесс наружного шлифования валов методом врезания. При движении суппорта с датчиком справа налево имеет место уменьшение диаметра вала, имитирующее результат шлифования.

Крайний левый участок вала применяется в качестве эталонного изделия. На этом участке прибор устанавливается на ноль микрометрическим винтом 14 датчика. При установке датчика на любом

участке, находящемся справа от начального, показания прибора будут возрастать, что соответствует наличию припуска на обрабатываемой детали. При движении суппорта справа налево прибор автоматически отключает станок в момент, когда датчик окажется на эталонном участке вала, что соответствует окончанию процесса обработки.

Схема системы автоматического контроля и управления станком показана на рисунке 11.3.

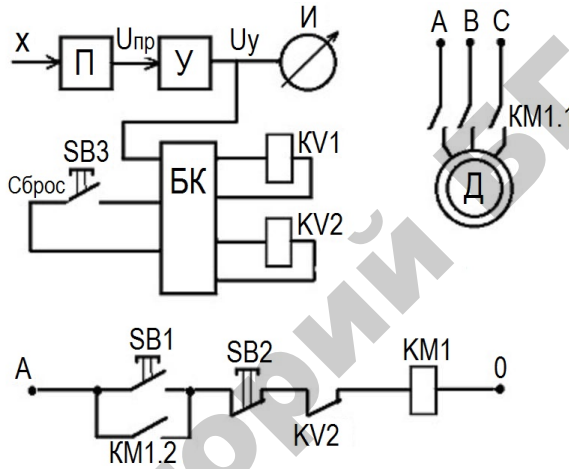


Рис. 11.3

Станок включается кнопкой $SB1$ «Пуск» (установлена на станке). Срабатывает магнитный пускатель $KM1$ и своими силовыми контактами $KM1.1$ включает приводной двигатель D станка (асинхронный, трехфазный). Одновременно с помощью блок-контакта пускатель $KM1$ становится на самопитание.

При изменении диаметра вала изменяется входной сигнал X индуктивного преобразователя датчика (перемещение измерительного штока). Сигнал x преобразуется преобразователем $П$ в электрическое напряжение $U_{пр}$, которое усиливается усилителем $У$. Выходное напряжение усилителя U_y , которое усиливается U_y поступает на стрелочный индикатор $И$ прибора АК-3М и одновременно на блок команд БК, находящийся в электронном блоке прибора. При достижении диаметром вала значения, соответствующего предварительной ко-

манде, срабатывает реле $KI1$ и включает сигнальную лампочку предварительной команды (в лабораторной установке сигнал предварительной команды для управления станком не используется).

При достижении диаметром вала эталонного значения, которому соответствует нулевое (с соответствующей корректировкой) показание индикатора, срабатывает реле окончательной команды $KI2$. Контакт реле $KI2$ размыкает цепь питания катушки магнитного пускателя КМ. Станок выключается. Одновременно загорается сигнальная лампочка окончательной команды. Кнопка $SB3$ «Сброс», установленная на кронштейне под электронным блоком, служит для возврата схемы управления в исходное состояние. Кнопка $SB2$ «Стоп» (установлена на станке) служит для ручного выключения станка.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия прибора АК-3М. Включить прибор (переключатель на лицевой панели прибора установить в положение «Работа»).

2. Установить измерительную скобу датчика на эталонный участок вала (крайней левый участок). Включить станок кнопкой ручного управления. Микрометрическим винтом датчика установить показания индикатора на ноль.

3. Перевести с помощью суппорта измерительную скобу на крайний правый участок вала. Записать показания индикатора.

4. Включить автоматическую подачу суппорта влево. Наблюдать за показаниями индикатора при движении датчика по валу. После автоматической остановки станка записать показания индикатора. Численное значение показания индикатора определяет ошибку автоматической системы управления.

5. Нажать и отпустить кнопку «Сброс», этим схема управления переводится в исходное состояние. Включить станок и выполнить п. п. 3–5 для остальных участков вала (начиная с его правого конца).

6. После окончания последнего опыта выключить прибор АК-3М.

7. Подсчитать среднюю по проведенным опытам ошибку автоматического контроля.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Схема дифференциального индуктивного преобразователя перемещений и описание его принципа действия.
3. Схема системы автоматического контроля и управления.
4. Результаты исследований.

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия индуктивных преобразователей. Назначение и принцип действия прибора АК-3М.
2. Схема и принцип действия дифференциального индуктивного преобразователя.
3. Нарисовать и объяснить схему системы автоматического контроля и управления станком на базе прибора АК-3М.
4. Чем объясняется наличие ошибки при автоматическом управлении станком?

Лабораторная работа № 12

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЛК НА ПРИМЕРЕ АЛГОРИТМА ДВИЖЕНИЯ ШТОКА ЦИЛИНДРА

Цель работы: ознакомление с конструкцией, назначением, возможностями ПЛК серии ALPHA-2, ознакомление с устройствами пневмоавтоматики, установленными на стенде, получение навыков создания программ в среде программирования Mitsubishi Alpha Programming.

Общие сведения

Описание контроллеров серии ALPHA-2

Контроллеры серии ALPHA-2 – это ряд контроллеров разработанных как компактное, универсальное изделие для решения сложных задач управления внутри дома, офиса, фабрики и везде, где необходимо гибко решать задачи по автоматизации. Любой контроллер серии ALPHA-2 позволит контролировать состояние датчиков и своевременно реагировать на изменение ситуации.

Контроллеры серии ALPHA-2 рассчитаны на использование в прикладных целях для автоматизации, в областях, которые перечислены ниже:

- автоматизация систем осветительных приборов, кондиционирования воздуха или полива растений;
- открытие и закрытие ворот;
- простые системы обеспечения безопасности;
- системы распределения кормов в области животноводства;
- управление работой сортировальных пунктов и т. д.

В контроллере серии ALPHA-2 имеется возможность отображать на жидкокристаллическом дисплее рабочее состояние и состояние аварийного сигнала в виде сообщения.

Выводимые на дисплей виды информации: сообщение, значение (текущее или установленное) для таймера и счетчика, аналоговые величины и т. д.

Контроллеры серии ALPHA-2 способны пересылать изображение, выводимое на жидкокристаллический дисплей, в виде сообщения, передаваемого по электронной почте с использованием GSM модема.

Пользователь может следить за состоянием выполнения прикладной задачи при помощи доступа к диагностическим сообщениям, посылаемым по электронной почте через GSM модем.

Связь с компьютером поддерживается при помощи специализированного протокола. Специализированное по задачам пользователя прикладное программное обеспечение, при использовании линии связи с компьютером, дает возможность изменять плановые данные, параметры внутри функциональных блоков, и обеспечивает контроль состояния при выполнении прикладной задачи.

Еженедельный таймер и функции календарного таймера имеют множество переключателей, которые могут быть установлены на разные моменты срабатывания, и обеспечивают широкие возможности управления с временной зависимостью.

Общий вид, размеры и основные элементы программируемого логического контроллера серии ALPHA-2 представлены на рисунке 12.1.

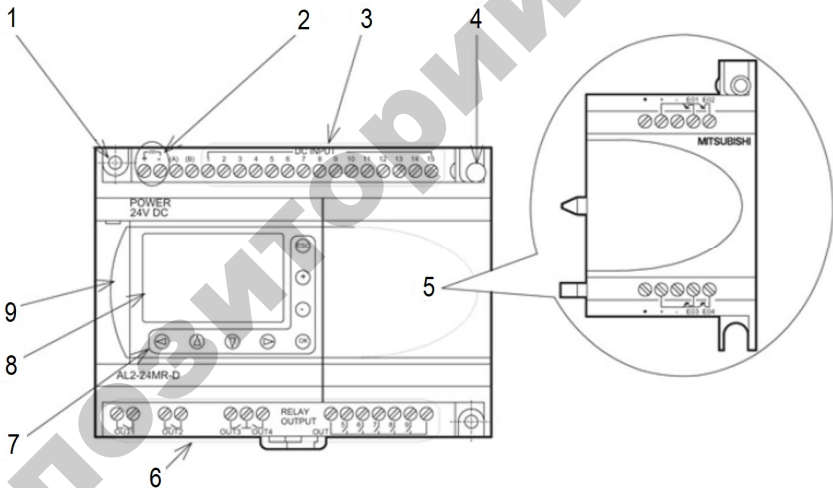


Рис. 12.1. Программируемый логический контроллер серии ALPHA-2:

- 1 – монтажное отверстие; 2 – контактные клеммы подключения питания;
- 3 – контактные клеммы подключения входных цепей; 4 – монтажный винт для присоединения расширительного модуля; 5 – корпус расширительного модуля;
- 6 – выходные контактные клеммы; 7 – операционные клавиши;
- 8 – жидкокристаллический дисплей;
- 9 – крышка порта связи для программирования

Перед работой с контроллером рекомендуется изучить руководства:

1) Alpha-2. Простой прикладной контроллер. Руководство по аппаратной части.

2) Alpha-2. Простой прикладной контроллер. Руководство по программному обеспечению.

Для ввода команд ПЛК на панели стенда установлены кнопки SB1...SB4, тумблер SA2 с тремя положениями (дублирует SB1, SB2), тумблер SA1 для отключения питания входного пневмораспределителя (P1). Для контроля крайних положений штоков пневмоцилиндров на входы ПЛК заведены сигналы с магнитных датчиков положения S1...S4 (рисунок 12.2).

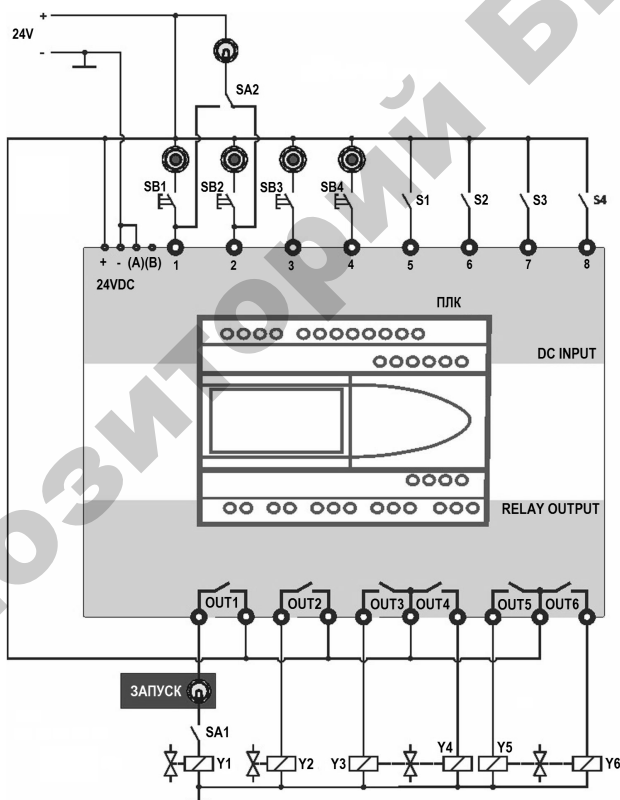


Рис. 12.2. Схема подключения ПЛК к системе управления

Объектом управления ПЛК является пневматическая схема (рисунок 12.3).

Пневматические связи на стенде выполнены в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 12.3. При монтаже использована гибкая полиуретановая трубка 6x4 мм и быстроразъемные цанговые фитинги.

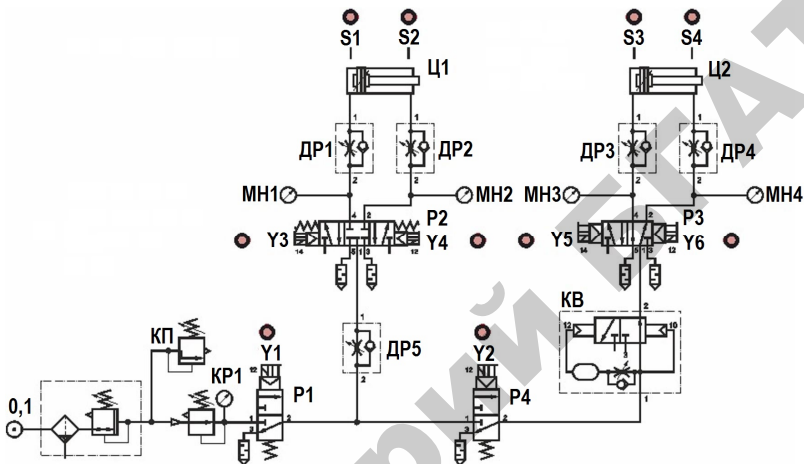


Рис. 12.3. Пневматическая схема стенда

Установленное пневмооборудование включает в себя распределители типа 3/2, 5/2, 5/3 (пневмоэлектрические):

1) распределитель P1 (тип 3/2) (рисунок 12.4) служит для подключения схемы к источнику сжатого воздуха;

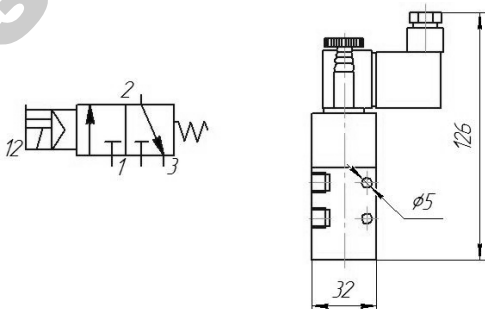


Рис. 12.4. Пневмораспределитель 3/2 (P1, P4)

2) распределитель P2 (тип 5/3) (рисунок 12.5) служит для управления перемещением штока первого цилиндра (Ц1);

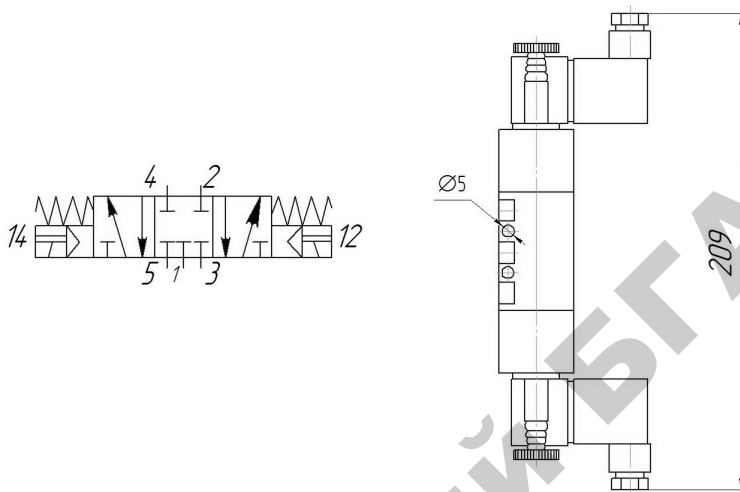


Рис. 12.5. Пневмораспределитель 5/3 (P2)

3) распределители P3 (тип 5/2) (рисунок 12.6), P4 (тип 3/2), формирователь импульсов PВ служат для управления перемещением штока второго цилиндра (Ц2).

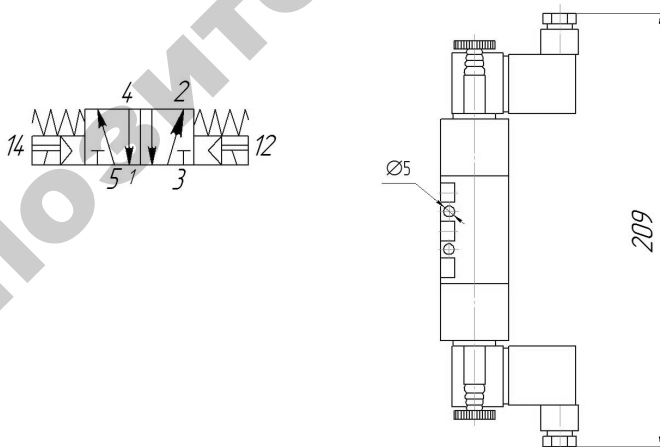
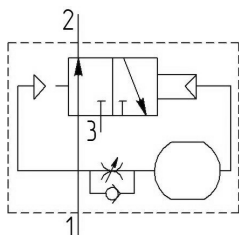


Рис. 12.6. Пневмораспределитель 5/2 (P3)

Пневмораспределители 5/2 и 5/3 имеют регулируемые выхлопные дроссели по линии сброса (рисунок 12.7).



- 1 – вход энергоносителя
- 2 – выход энергоносителя
- 3 – сброс



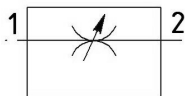
Рис. 12.7. Выхлопной дроссель

В схеме предусмотрена возможность регулировки скорости перемещения штоков с применением дросселей (ДР1...ДР5) (рисунки 12.8, 12.9).

Дроссель с обратным клапаном
6.01.18N



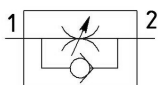
Дроссель
6.01.18/1N



Активация Windows
Чтобы активировать Windows, перейдите на [www.microsoft.com](#)

Рис. 12.8. Дроссель (ДР1...ДР4)

*Дроссель с
обратным клапаном
6.01.18/4*



*Дроссель
6.01.18/5*

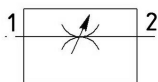


Рис. 12.9. Дроссель тонкой настройки (ДР5)

На входе схемы установлен фильтр-регулятор (рисунок 12.10) и редукционный клапан с контрольным манометром.

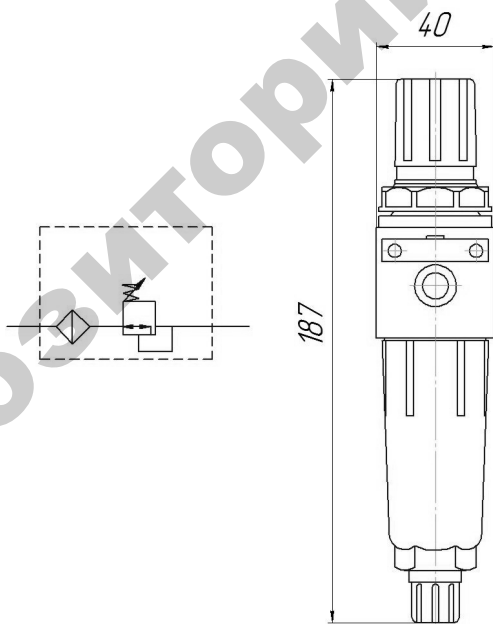


Рис. 12.10. Фильтр-регулятор

На корпусе фильтра-регулятора установлен регулируемый предохранительный клапан КП (0...6 bar).

В схеме применяются пневмоцилиндры двустороннего действия с регулируемым демпфированием в обе стороны (регулируется винтами возле мест входа сжатого воздуха) и ходом штока 100 мм (рисунок 12.11).

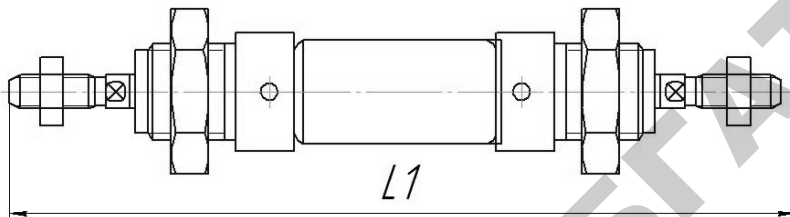


Рис. 12.11. Пневмоцилиндр

Порядок выполнения работы

1 Работа с программным обеспечением Mitsubishi Alpha Programming, запись программ в память ПЛК, запуск и контроль выполнения

1. Изучить руководства по программной и аппаратной части ПЛК Alpha-2. Ознакомиться с составом оборудования ПЛК.
2. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.
3. Присоединить интерфейсный кабель (рисунок 12.12) к ПЛК, для этого может понадобиться извлечь крышку порта связи ПЛК.



Рис. 12.12. Кабель для связи и программирования ПЛК ALPHA-2 с использованием компьютера

4. Открыть имеющийся проект программы (рисунок 12.13) для ПЛК Alpha-2 в Mitsubishi Alpha Programming.

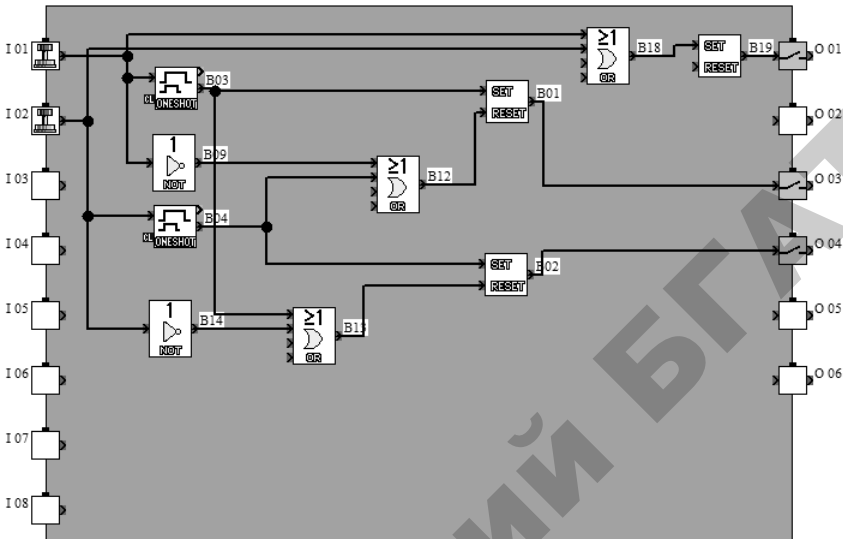


Рис. 12.13. Область программирования

5. Убедиться, что на панели станда тумблер SA1 выключен, тумблер SA2 в среднем положении, при необходимости установить их в указанное положение.

6. Включить питание станда (три автоматических выключателя «Сеть»).

7. Запустить моделирование (рисунок 12.14).

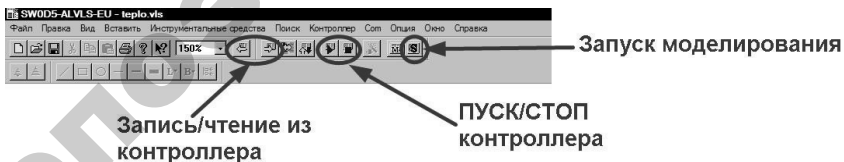


Рис. 12.14. Панель инструментов интерфейса программы Mitsubishi Alpha Programming

8. В окне программы, изменяя состояние входных каналов (1...8 в зависимости от конкретной программы) зафиксировать смену состояний выходов (out 001...006).

9. Произвести остановку («СТОП») контроллера.
10. Записать программу в ПЛК. Запустить контроллер и включить мониторинг.
11. Включить тумблер SA1.
12. Нажать кратковременно кнопку SB1. Проследить за реакцией схемы.
13. Нажать и удерживать поочередно кнопки SB1, SB2. Проследить за реакцией схемы.
14. Установить тумблер SA2 сначала в левое положение, затем в правое. Проследить за реакцией схемы.
15. Выключить тумблер SA1, тумблер SA2 установить в среднее положение.
16. Произвести остановку («СТОП») контроллера.
17. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть»).

2 Внесение изменений в программу ПЛК, ввод команд

1. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.
2. Присоединить и интерфейсный кабель к ПЛК, для этого может понадобиться извлечь крышку порта связи ПЛК.
3. Открыть имеющийся проект или пример программы для ПЛК Alpha-2 в Mitsubishi Alpha Programming.
4. Убедиться, что на панели стенда тумблер SA1 выключен, тумблер SA2 в среднем положении, при необходимости установить их в указанное положение.
5. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
6. Записать программу в ПЛК (программа изображена на рисунке 12.13). Запустить моделирование и мониторинг.
7. В окне программы, изменяя состояние входных каналов (1...8 в зависимости от конкретной программы) зафиксировать смену состояний выходов (out 001...006).
8. Изучить возможности смены параметров блоков программы (для открытия свойств нужно навести указатель мыши на блок

и произвести двойное нажатие ЛКМ). Произвести в программе изменения согласно рисунку 12.15.

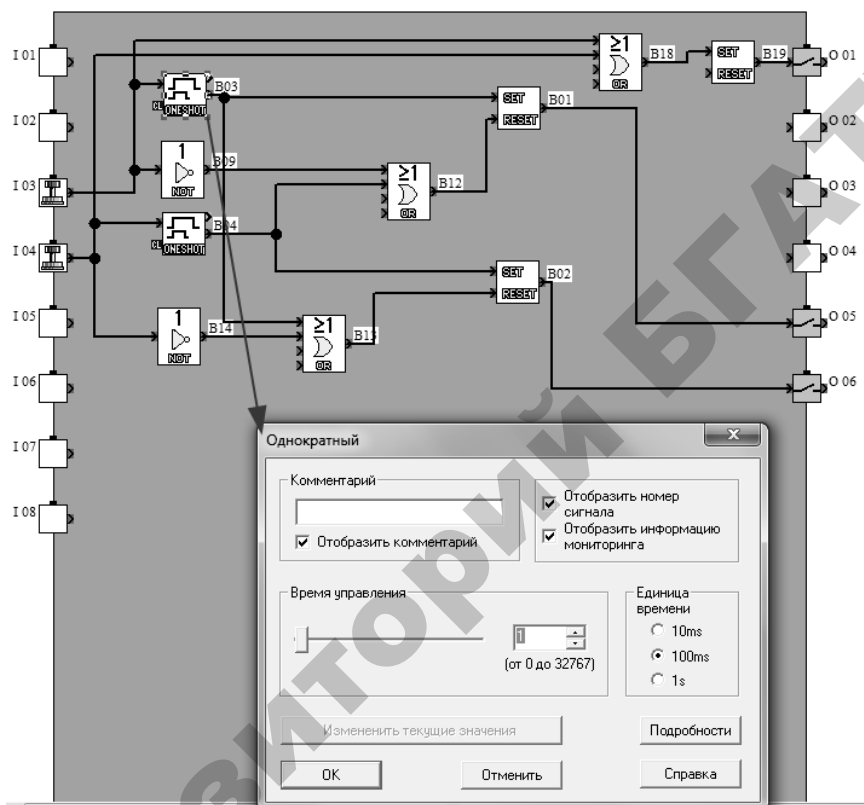


Рис. 12.15. Изменение параметров программы

9. Записать программу в ПЛК. Запустить контроллер и включить мониторинг.

10. Включить тумблер SA1.

11. Нажать кнопку SB3. Проследить за реакцией схемы.

12. Нажать и удерживать поочередно кнопки SB3, SB4. Проследить за реакцией схемы (рисунки 12.16...12.18).

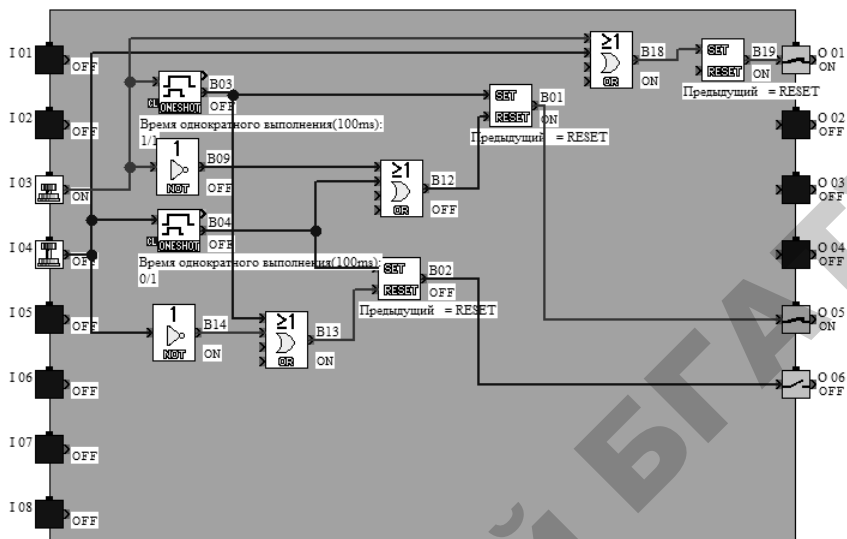


Рис.12.16. Реакция ПЛК на изменение состояния входа in3

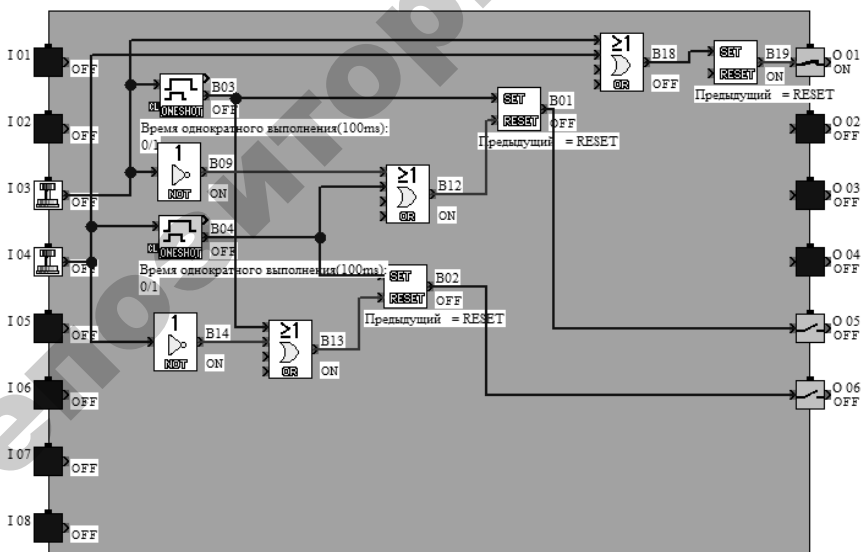


Рис. 12.17. Реакция ПЛК на изменение состояния входа in3

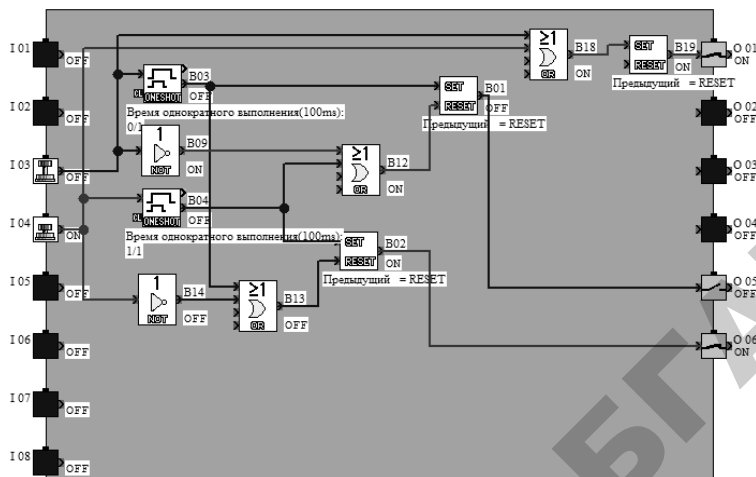


Рис. 12.18. Реакция ПЛК на изменение состояния входа in4

13. Выключить тумблер SA1.
14. Произвести остановку («СТОП») контроллера.
15. Выключить питание (три автоматических выключателя «Сеть»).

3 Программирование ПЛК на примере простейшего алгоритма движения штока цилиндра

1. Проверить подключение компрессора к электросети и, если требуется, подключить.
2. Закрыть выходной вентиль компрессора, регулятор компрессора максимально открыть.
3. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
4. Перевести рычаг управления компрессором в положение «Включено».
5. Дождаться, пока давление в ресивере достигнет максимального рабочего значения и компрессор отключится.
6. Запустить приложение Mitsubishi Alpha Programming на компьютере.
7. Присоединить интерфейсный кабель к ПЛК.
8. Создать новый проект в Mitsubishi Alpha Programming.

9. Убедиться, что на панели стенда тумблер SA1 выключен, тумблер SA2 в среднем положении, при необходимости установить их в указанное положение.

10. Регуляторы Ф, КР на панели стенда максимально открыть. Регулятор дросселя ДР5 установить в положение 3, дроссели ДР1, ДР2 отрегулировать на 0,5...1.

11. Программа должна выполнять следующие функции:

а) при нажатии кнопки SB1 шток цилиндра Ц1 должен двигаться вверх, пока нажата SB1 (вместо SB1 можно использовать SA2);

б) при нажатии кнопки SB2 шток цилиндра Ц1 должен двигаться вниз, пока нажата SB2 (вместо SB2 можно использовать SA2).

12. Опираясь на описание в пункте 11, загрузить программу, которая удовлетворяет поставленной задаче.

13. Записать программу в ПЛК. Запустить функционирование и мониторинг.

14. Открыть выходной вентиль компрессора.

15. Нажать кнопку SB3. Проследить за реакцией схемы.

16. Нажать и удерживать поочередно кнопки SB3, SB4. Проследить за реакцией схемы.

17. Описать принцип действия собранной схемы.

18. Внести в программу такие изменения, чтобы шток цилиндра Ц1 продолжал движение после однократного нажатия на кнопки SB1, SB2 (рисунок 12.19).

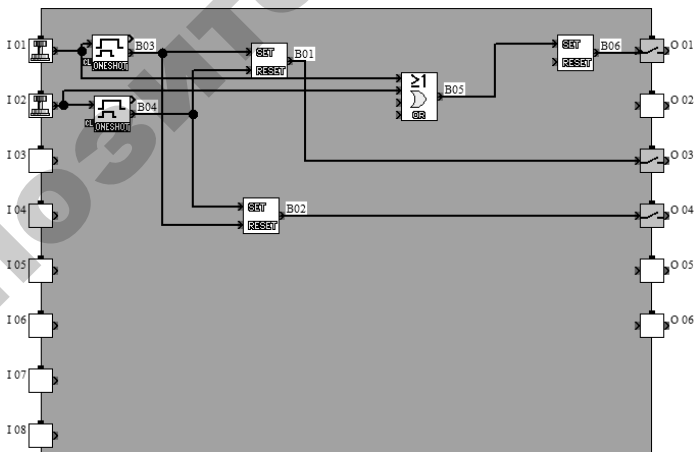


Рис. 12.19. Пример программы

19. Повторить пункты 14...17.
20. Перевести рычаг управления компрессором в положение «Выключено», закрыть выходной вентиль компрессора.
21. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).
22. Сбросить давление из схемы. Для этого перевести клапан снизу фильтра в положение «Ручной» и вдавить вверх.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание назначения и возможностей ПЛК серии ALPHA-2.
3. Условные обозначения и назначение пневмоэлементов пневматической схемы стенда.
4. Функциональная блок-схема программы, управляющей стендом, с указанием функциональных возможностей.

Контрольные вопросы

1. Назначение и возможности ПЛК серии ALPHA-2.
2. Объясните назначение основных элементов консоли контроллера серии ALPHA-2.
3. Назначение пневмоэлементов пневматической схемы стенда.
4. Объясните, как происходят процедуры записи программ в память ПЛК, запуска и контроля их выполнения.
5. Объясните, как происходит процедура внесения изменений в программу ПЛК.

Лабораторная работа № 13

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Цель работы: получение навыков работы с программой Осциллограф, изучение средств контроля систем автоматики в реальном времени, получение и обработка диаграмм (циклограмм) работы систем пневмоавтоматики.

Общие сведения

Описание программы отображения данных ОсциллоГРАФ

Измерительный комплекс подключается к персональному компьютеру через интерфейс USB при помощи специального кабеля. Для работы измерительного комплекса требуется персональный компьютер под управлением операционной системы Microsoft Windows XP.

В составе с персональным компьютером измерительный комплекс может использоваться в качестве многоканального запоминающего цифрового осциллографа и универсального измерительного прибора.

Подключение измерительного комплекса к персональному компьютеру следует производить после загрузки операционной системы.

Главное окно программы отображения данных разделено на несколько зон (рисунок 13.1):

- главное меню – содержит большинство управляющих команд, оформленных в виде выпадающего меню;
- главная панель – содержит кнопки настройки и выбора режима отображения;
- панель развертки – содержит органы управления горизонтальной разверткой;
- панель синхронизации – содержит органы управления синхронизации;
- боковая панель – содержит кнопки вызова панелей каналов;
- панель канала – содержит органы управления обработкой данных при их отображении;

- индикатор значений – индикатор, отображающий в цифровой форме мгновенные или обработанные в соответствии с заданным законом значения данных, полученных от выбранного измерительного канала измерительного комплекса;
- окно вывода данных – область, предназначенная для отображения данных, получаемых от выбранных измерительных каналов измерительного комплекса в графической форме;
- панель состояния – панель, в которой отображается информация о текущем состоянии измерительного комплекса.

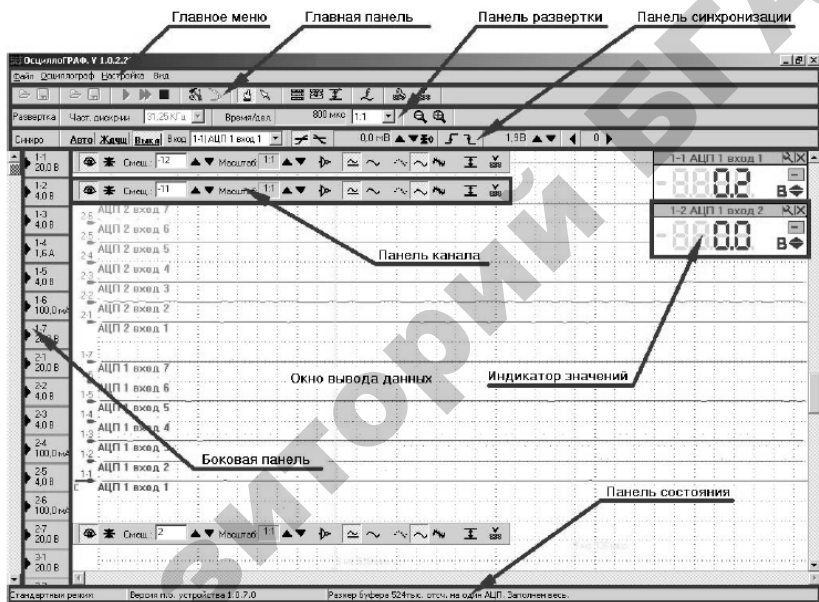


Рис. 13.1

Главное меню программы отображения данных ОсциллоГРАФ содержит следующие пункты:

- «Файл» – предназначен для управления файлами данных и профилей индикации;
- «Осциллограф» – предназначен для управления измерительным комплексом;
- «Настройка» – предназначен для управления параметрами программы отображения данных ОсциллоГРАФ;

– «Вид» – предназначен для управления видом главного окна программы отображения данных ОсциллоГРАФ.

Команды меню «Файл» приведены на рисунке 13.2.

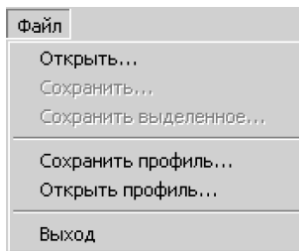


Рис. 13.2

С помощью команды «Открыть» можно открыть ранее сохраненный файл данных.

В качестве типа файла в диалоговом окне «Открыть» можно указать один из следующих параметров:

- «Data file» – в поле выбора файлов диалогового окна «Открыть» будут отображаться файлы данных всех поддерживаемых типов;
- «No compressed data file» – в поле выбора файлов диалогового окна «Открыть» будут отображаться несжатые файлы данных;
- «Compressed data file» – в поле выбора файлов диалогового окна «Открыть» будут отображаться сжатые файлы данных;
- «Any file» – в поле выбора файлов диалогового окна «Открыть» будут отображаться все файлы выбранной папки.

Команда «Сохранить» служит для сохранения данных полученных от измерительного комплекса. Активируется после запуска измерительного комплекса или после открытия файла данных.

Поддерживается сохранение данных в файлы типов:

- «No compressed data file" – несжатые файлы данных;
- «Compressed data file" – сжатые файлы данных.

Команда «Сохранить выделенное» позволяет сохранить выделенную часть данных, полученных от измерительного комплекса или загруженных из файла данных. Команда активируется после выделения некоторой части данных.

Команда «Сохранить профиль» позволяет сохранить профиль индикации данных. Под профилем индикации данных понимаются настройки:

- горизонтальной развертки;
- синхронизации;
- отображения данных в графической форме получаемых от каждого из выбранных каналов измерительного комплекса;
- отображения данных в цифровой форме получаемых от каждого из выбранных каналов измерительного комплекса.

Команда «Открыть профиль» позволяет загрузить профиль индикации из ранее сохраненного файла.

Команда «Выход» служит для завершения работы с программой отображения данных ОсциллоГРАФ.

Команды меню «Осциллограф» приведены на рисунке 13.3.

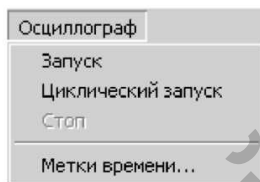


Рис. 13.3

Команда «Запуск» предназначена для запуска работы измерительного комплекса. В процессе работы измерительный комплекс передает программе отображения данных ОсциллоГРАФ данные о значениях величин измеряемых измерительными каналами. Работа измерительного комплекса автоматически прекращается при заполнении буфера обмена программы отображения данных ОсциллоГРАФ.

Команда «Циклический запуск» отличается от команды «Запуск» тем, что работа измерительного комплекса прекращается только по требованию пользователя.

Команда «Стоп» служит для остановки работы измерительного комплекса по требованию пользователя. Командой «Стоп» может быть прервана работа измерительного комплекса, инициированная как командой «Запуск», так и командой «Циклический запуск».

Команды меню «Настройка» приведены на рисунке 13.4.

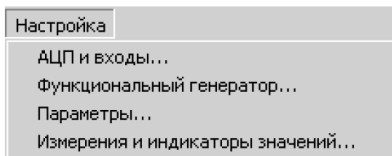


Рис. 13.4

По команде «АЦП и входы» вызывается окно настройки АЦП и входов (рисунок 13.5).

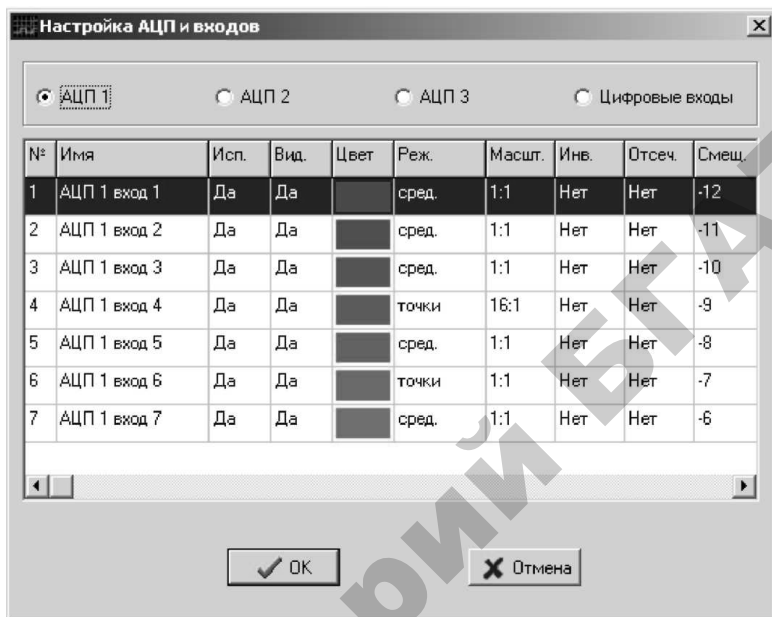


Рис. 13.5

В верхней части окна «Настройка АЦП и входов» расположены переключатели «АЦП1», «АЦП2», «АЦП3», «Цифровые входы», которые позволяют вывести в средней части окна «Настройка АЦП и входов» настройки каналов одного из трех аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) или логического анализатора (ЛА) измерительного комплекса.

В средней части окна «Настройка АЦП и входов» отображается таблица параметров каналов АЦП или ЛА. В таблице по столбцам сгруппированы следующие параметры:

- «№» – номер канала АЦП;
- «Имя» – имя, присвоенное каналу. Имя канала отображается в окне вывода данных, если установлен соответствующий параметр (смотри далее);
- «Исп.» – флаг использования канала. Может принимать значения «Да» или «Нет»;

– «Вид» – флаг, определяющий, будут ли отображаться данные от выбранного канала в окне вывода данных или нет. Может принимать значения «Да» или «Нет»;

– «Цвет» – поле, окрашенное в цвет, который будет использоваться при отображении данных от выбранного канала измерительного комплекса;

– «Реж. » – параметр, определяющий режим обработки данных от выбранного канала измерительного комплекса. Может принимать значения:

– «Точки» – отображаются мгновенные значения величин, измеренных выбранным каналом измерительного комплекса в виде отдельных точек;

– «Средн.» – данные от выбранного канала измерительного комплекса предварительно усредняются и отображаются в виде сглаженной кривой;

– «Мин-макс» – отображается ломаная линия, вершинами которой являются мгновенные значения величин, измеренных выбранным каналом измерительного комплекса.

– «Масшт.» – масштаб по оси параметра (по вертикали), установленный для выбранного канала измерительного комплекса. Указывается в виде масштабного коэффициента;

– «Инв.» – флаг, определяющий, будут ли данные от выбранного канала измерительного комплекса инвертироваться относительно оси времени или нет;

– «Отсеч.» – флаг, определяющий, будет ли отсекается постоянная составляющая при отображении данных от выбранного канала измерительного комплекса;

– «Смещ.» – параметр, определяющий смещение изображения данных от выбранного канала измерительного комплекса по оси параметра относительно условной нулевой отметки.

Параметры каналов АЦП и ЛА можно изменять. Для этого в таблице параметров каналов АЦП или ЛА нужно выделить курсором канал, параметры которого подлежат изменению, и дважды нажать левую клавишу мыши. После этого отобразится окно «Свойства входа» (смотри рисунок 13.6).

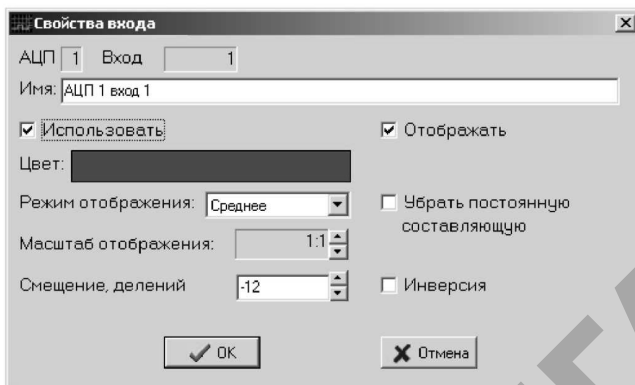


Рис. 13.6

Окно «Свойства входа» содержит элементы управления:

- поля «АЦП» и «Вход», индицирующие номер АЦП и номер канала, принадлежащего этому АЦП, параметры которого изменяются в данный момент;

- поле «Имя», в которое можно ввести имя канала, отображаемое в окне вывода данных;


- флаг «Использовать» – определяющий, будут ли использоваться данные от выбранного канала измерительного комплекса или нет;

- флаг «Отображать» – определяющий, будут ли отображаться данные от выбранного канала измерительного комплекса или нет;

- поле «Цвет», по щелчку мыши на котором отображается стандартный диалог выбора цвета Windows;

- поле «Режим отображения» – позволяющее выбрать из выпадающего списка режим обработки данных от выбранного канала измерительного комплекса;

- флаг «Убрать постоянную составляющую» – определяющий, будет ли отсекается постоянная составляющая при отображении данных от выбранного канала измерительного комплекса или нет;

- поле «Масштаб отображения» с помощью кнопок  позволяет изменять масштаб по оси параметра;

- поле «Смещение, делений» позволяет установить смещение изображения данных от выбранного канала измерительного комплекса по оси параметра относительно условной нулевой отметки;

– флаг «Инверсия» определяет, будут ли данные от выбранного канала измерительного комплекса инвертироваться относительно оси времени или нет.

По команде «Функциональный генератор» отображается окно «Генератор» (рисунок 13.7), позволяющее настроить параметры генератора сигналов.



Рис. 13.7

Окно «Генератор» содержит элементы управления:

– поле «Форма» – позволяющее выбрать из выпадающего списка форму сигнала. Доступны для работы формы сигнала:

– «Синус» – будет формироваться сигнал синусоидальной формы;

– «Треугольник» – будет формироваться сигнал треугольной формы;

– «Прямоугольник» – будет формироваться сигнал прямоугольной формы;

– «Постоянный сигнал» – будет формироваться постоянный сигнал заданного уровня.

– поля «U1, В», «U2, В» – уровни напряжения формируемого сигнала, имеющие различные значения в зависимости от формы

сигнала. Для сигнала синусоидальной формы, например, это амплитудное значение переменной составляющей сигнала и уровень постоянной составляющей сигнала соответственно;

– поля «Т1, мс», «Т2, мс», «Т3, мс» – определяют временные параметры формируемого сигнала. Для сигнала синусоидальной формы, например, это длительности положительной и отрицательной полуволн, и длительность пауз между ними;

– флаг «Инверсия» позволяет инвертировать формируемый сигнал относительно оси времени.

По команде «Параметры» отображается окно «Параметры», позволяющее настроить параметры программы отображения данных ОсциллоГРАФ. Окно «Параметры» содержит вкладки:

– «Развертка» – включает в себя элементы управления горизонтальной разверткой;

– «Синхронизация» – включает в себя элементы управления синхронизацией;

– «Буфер» – позволяет установить размер буфера данных;

– «Общие» – содержит общие настройки программы отображения данных ОсциллоГРАФ;

– «Экран» – содержит элементы управления внешним видом окна вывода данных.

Вид окна «Параметры» при переключении на вкладку «Развертка» приведен на рисунке 13.8.

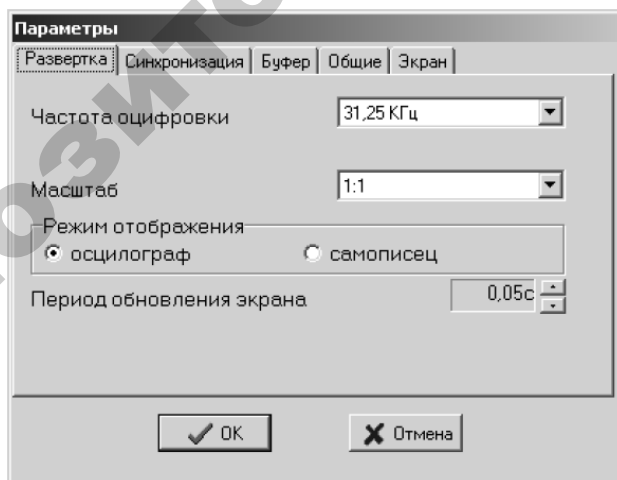


Рис. 13.8

На вкладке «Параметры» содержатся элементы управления:

- поле «Частота оцифровки» – позволяет установить частоту дискретизации АЦП измерительного комплекса путем выбора параметра из выпадающего списка;

- поле «Масштаб» – позволяет установить масштаб по оси времени путем выбора масштабного коэффициента из выпадающего списка;

- поле «Режим отображения» – позволяет изменить текущий режим отображения данных в окне вывода данных. Содержит два переключателя:

- «осциллограф» – позволяет переключиться в режим отображения «осциллограф». При этом данные будут отображаться как на экране осциллографа;

- «самописец» – позволяет переключиться в режим отображения «самописец». При этом данные будут отображаться как на барабане самописца;

- поле «Период обновления экрана» – позволяет установить период обновления экрана.

Вид окна «Параметры» при переключении на вкладку «Синхронизация» приведен на рисунке 13.9.

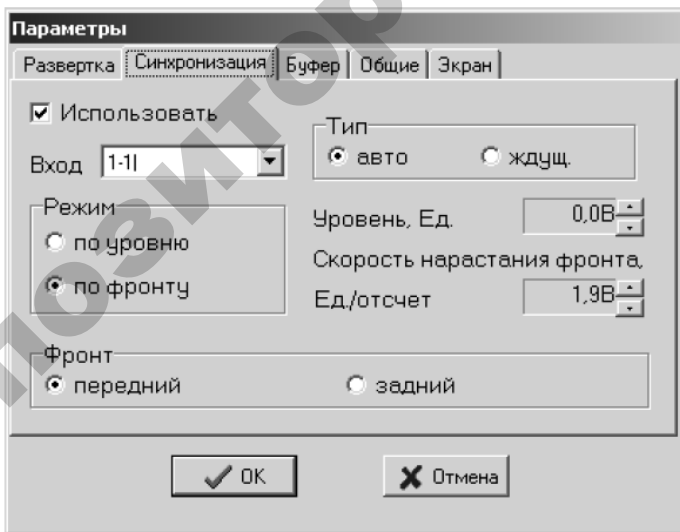


Рис. 13.9

На вкладке «Синхронизация» содержатся элементы управления:

- флаг «Использовать» – предназначенный для включения или отключения синхронизации;

- поле «Тип» – позволяет указать тип синхронизации;

- «авто» – автоматическая синхронизация. В этом режиме при соблюдении условий синхронизации изображение сигнала стабилизируется относительно окна вывода данных в направлении оси времени. При нарушении условий синхронизации изображение сигнала все равно выводится в окно вывода данных, однако при этом изображение может «плавать». В дальнейшем при соблюдении условий синхронизации изображение сигнала вновь стабилизируется;

- «ждуш.» – ждущая синхронизация. В этом режиме изображение сигнала выводится в окно вывода данных только при выполнении условий синхронизации;

- поле «Режим» – позволяет указать режим синхронизации:

- «по уровню» – условием синхронизации считается равенство уровня сигнала и уровня синхронизации;

- «по фронту» – условием синхронизации считается равенство скорости нарастания фронта сигнала и соответствующего параметра синхронизации;

- поле «Уровень, Ед.» – позволяет указать уровень синхронизации. Учитывается только в режиме синхронизации по уровню;

- поле «Скорость нарастания фронта, Ед./отсчет» – позволяет указать скорость нарастания фронта, при которой будет происходить синхронизация. Учитывается только в режиме синхронизации по фронту;

- поле «Фронт» – позволяет указать фронт, по которому будет осуществляться синхронизация;

- «передний» – синхронизация осуществляется по переднему фронту (при нарастании сигнала);

- «задний» – синхронизация осуществляется по заднему фронту (при спадании сигнала).

Вид окна «Параметры» при переключении на вкладку «Буфер» приведен на рисунке 13.10.

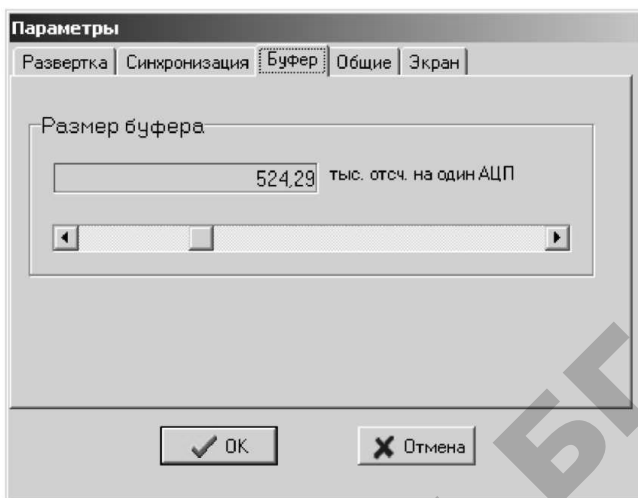


Рис. 13.10

На вкладке «Буфер» содержится поле «Размер буфера», позволяющее указать размер буфера данных.

Вид окна «Параметры» при переключении на вкладку «Общие» приведен на рисунке 13.11.

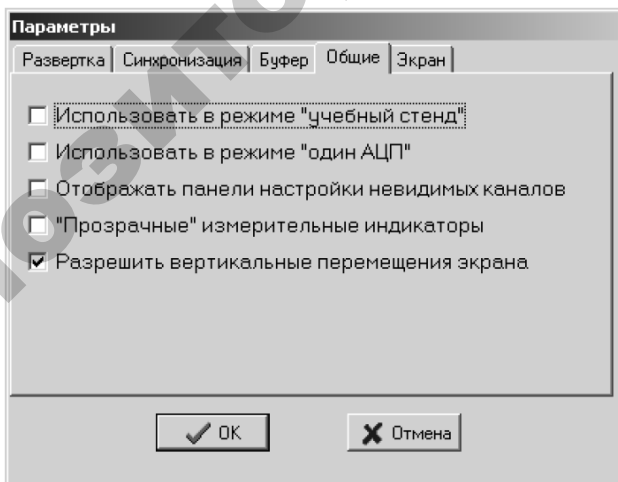


Рис. 13.11

На вкладке «Общие» содержатся элементы управления:

– флаг «Использовать в режиме «учебный стенд» – позволяет переключить измерительный комплекс на одновременную работу, как с собственными индикаторами, так и с программой отображения данных ОсциллоГРАФ;

– флаг «Использовать в режиме «один АЦП» – предназначен для включения режима работы со старыми версиями измерительных комплексов;

– флаг «Отображать панели настройки невидимых каналов» – позволяет включить отображение панелей настройки каналов, флаг «отображать», которых отменен;

– флаг «Прозрачные измерительные индикаторы» – отображать измерительные индикаторы на прозрачном фоне;

– флаг «Разрешить вертикальные перемещения экрана» – позволяет разрешить перемещения экрана по вертикали.

Вид окна «Параметры» при переключении на вкладку «Экран» приведен на рисунке 13.12.

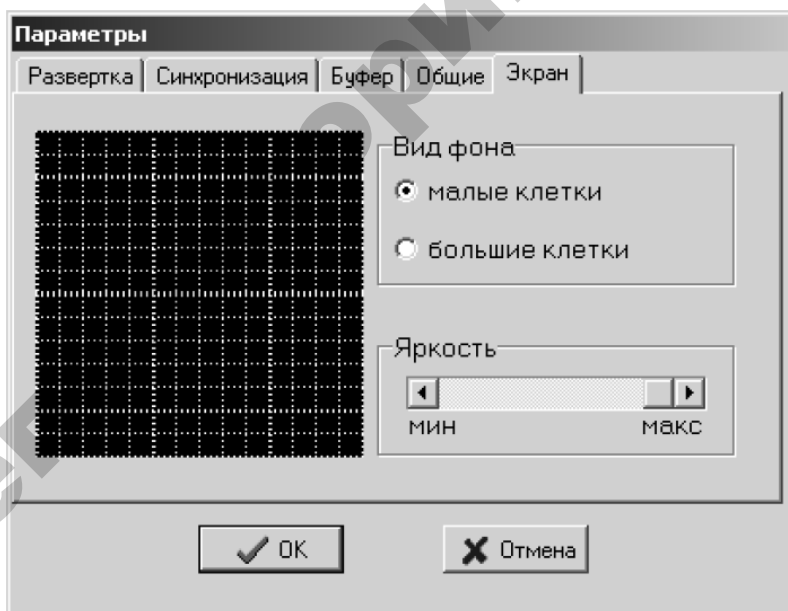


Рис. 13.12

На вкладке «Экран» содержатся элементы управления:

- поле «Вид фона» – позволяет изменить вид фона окна отображения данных;
- переключатель «маленькие клетки» устанавливает шаг сетки фона 1 единица;
- переключатель «большие клетки» устанавливает шаг сетки фона 5 единиц;
- поле «Яркость» – позволяет изменить яркость сетки фона.

По команде «Измерения и индикаторы значений» отображается окно «Расчет и индикация значений сигналов» (рисунк 13.13), позволяющее настроить параметры обработки и вывода на индикацию значений данных.

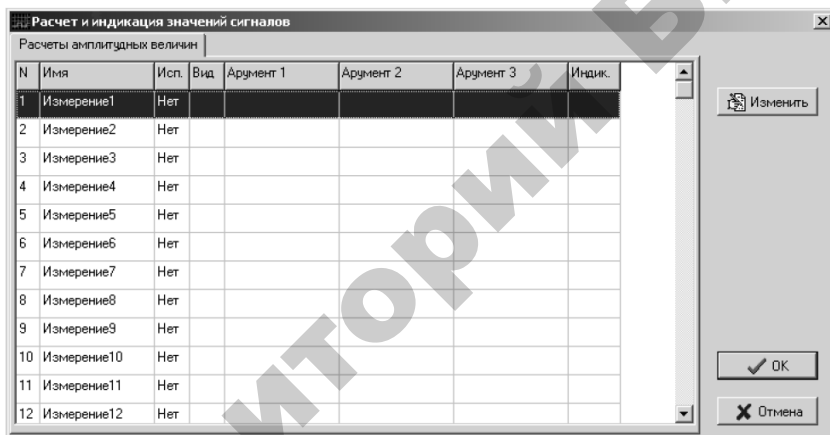


Рис. 13.13

Окно «Расчет и индикация значений сигналов» содержит таблицу параметров расчета и индикации значений сигналов. В таблице по столбцам сгруппированы следующие параметры:

- «№» – номер измерения;
- «Имя» – имя, присвоенное измерению. Имя измерения используется при настройке измерений, использующих в качестве аргументов результаты других измерений;
- «Исп.» – флаг использования измерения. Может принимать значения «Да» или «Нет»;

- «Вид» – тип измерения;
- «Аргумент 1», «Аргумент 2» и «Аргумент 3» – имена измерений, используемых в качестве аргументов выбранного измерения;
- «Индик.» – флаг, определяющий будет ли значение измерения выводиться в индикатор значений или нет.

Параметры обработки и вывода на индикацию значений данных можно изменять. Для этого в таблице таблицу параметров расчета и индикации значений сигналов нужно выделить курсором измерение, параметры которого подлежат изменению, и нажать на кнопку «Изменить» или дважды нажать левую клавишу мыши. После этого отобразится окно «Измерение величины сигнала» (рисунок 13.14).

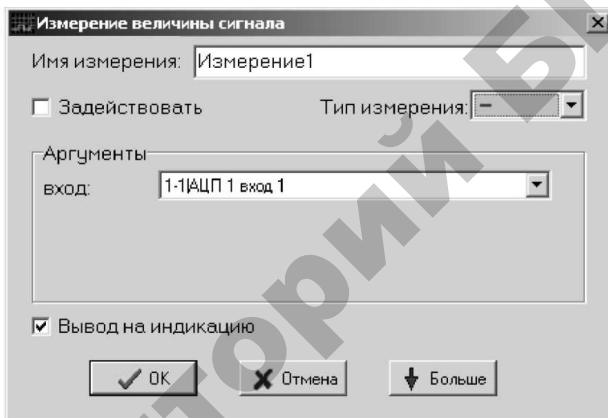


Рис. 13.14

Окно «Измерение величины сигнала» содержит элементы управления:

- поле «Имя измерения» – позволяет назначить имя измерению;
- флаг «Задействовать» – позволяет включать или исключать обработку данных для выбранного измерения;
- поле «Тип измерения» – позволяет указать алгоритм обработки данных. Доступны типы измерений:
 - «Постоянная составляющая» – позволяет при обработке данных вычислить постоянную составляющую сигнала;
 - «Действующее значение» – позволяет при обработке данных вычислить действующее значение сигнала;
 - «Мгновенное значение» – отключает обработку данных;

- w «Мощность» – позволяет при обработке данных вычислить активную мощность;
 - $a+b$ «Сумма двух измерений» – позволяет получить и отобразить сумму двух измерений;
 - $a+b+c$ «Сумма трех измерений» – позволяет получить и отобразить сумму трех измерений.
- поле «Аргументы» позволяет указать аргументы для обработки в процессе расчета значений измерения. Количество и значение аргументов зависит от выбранного типа измерения.

При выборе в качестве типа измерения одного из следующих вариантов: «Постоянная составляющая», «Действующее значение» или «Мгновенное значение» окно «Измерение величины сигнала» принимает вид, как на рисунке 13.14. Единственным аргументом при этом является имя канала измерительного комплекса, с которого необходимо получить данные об измеряемой величине.

Следует отметить, что при вычислении мощности не проверяется физический смысл указанных аргументов.

При выборе в качестве типа измерения параметра «Мощность» окно «Измерение величины сигнала» принимает вид, как на рисунке 13.15.

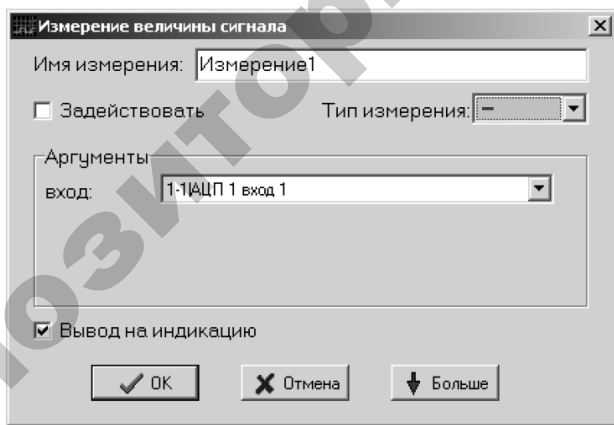


Рис. 13.15

В качестве аргументов необходимо задать имена каналов измерительного комплекса, предназначенных для измерения тока в нагрузке и напряжения на нагрузке, потребляемую активную мощность в которой необходимо вычислить.

При выборе в качестве типа измерения параметра «Сумма двух измерений» окно «Измерение величины сигнала» принимает вид, как на рисунке 13.16.

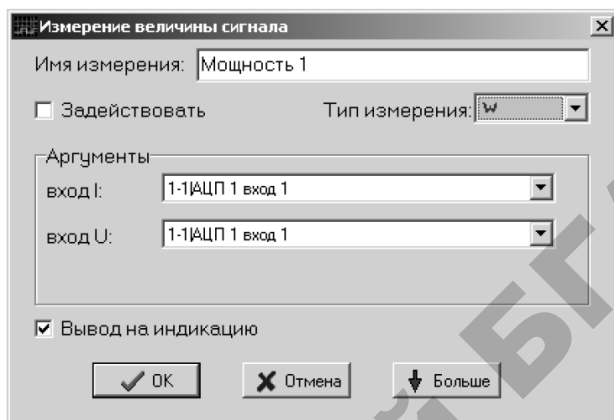


Рис. 13.16

В качестве аргументов задаются имена каналов измерительного комплекса или имена задействованных измерений, сумму значений которых необходимо вычислить.

При выборе в качестве типа измерения параметра «Сумма трех измерений» окно «Измерение величины сигнала» принимает вид, как на рисунке 13.17. Окно отличается от рисунка 13.16 только количеством аргументов.

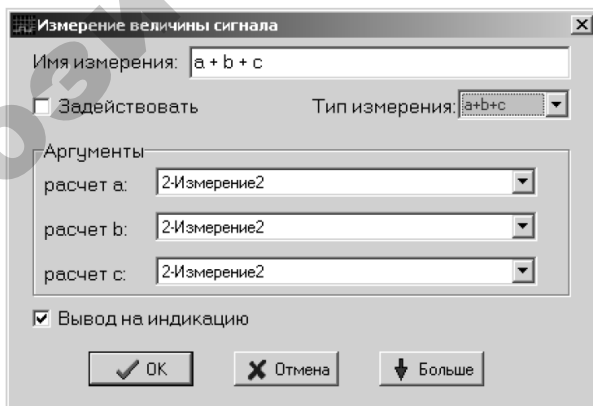


Рис. 13.17

При нажатии на клавишу «Больше» в окне «Измерение величины сигнала» отображается секция дополнительных настроек (рисунок 13.18).

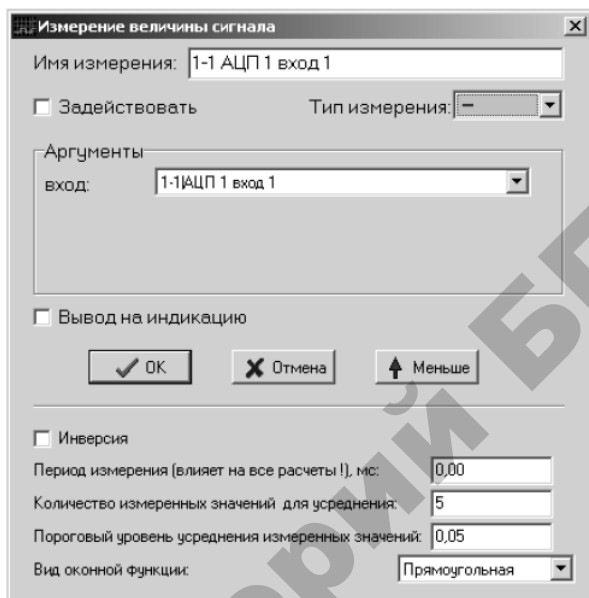


Рис. 13.18

Секция дополнительных настроек окна «Измерение величины сигнала» содержит управляющие элементы:

- флаг «Инверсия» – позволяет изменить знак числовых значений данных, используемых в вычислении, на противоположный;
- поле «Период измерения» – позволяет указать период измерения, в течение которого данные обрабатываются с целью подавления помех и цифровых шумов. При увеличении периода измерения фильтрация сигнала от шумов происходит лучше, однако при этом для высокочастотных сигналов снижается степень достоверности измерения;
- поле «Количество измеренных значений для усреднения» позволяет указать количество мгновенных значений измеряемого сигнала, используемых при экстраполяции данных;

– поле «Пороговый уровень усреднения измеренных значений» позволяет указать разницу между мгновенным значением сигнала и значением, полученным при экстраполяции, необходимую для перерасчета последнего;

– поле «Вид оконной функции» позволяет указать алгоритм экстраполяции.

Меню «Вид» содержит флаги (рисунок 13.19):

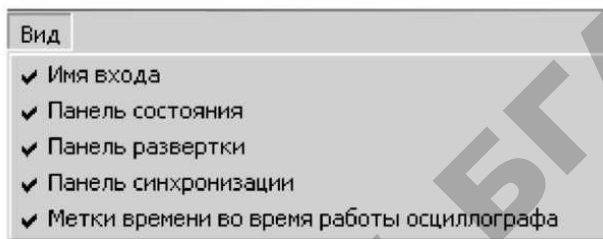


Рис. 13.19

– «Имя входа» – позволяет разрешить или запретить отображение имени канала измерительного комплекса в окне вывода данных;

– «Панель состояния» – позволяет разрешить или запретить отображение панели состояния;

– «Панель развертки» – позволяет разрешить или запретить отображение панели развертки;

– «Панель синхронизации» – позволяет разрешить или запретить отображение панели синхронизации;

– «Метки времени во время работы осциллографа» – позволяет разрешить или запретить отображение меток времени в окне отображения данных при запущенной работе с измерительным комплексом.

Порядок выполнения работы

1. Проверить подключение компьютера к стенду (USB из панели стенда) и, если требуется, подключить.

2. Включить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

3. Запустить программу Осциллограф (osc32.exe) на компьютере. При работе с программой руководствоваться документацией на ИК.

4. Измерительная система позволяет отслеживать состояние входов и выходов контроллера в реальном времени. Снимать осциллограммы перемещения пневмоцилиндров, давлений (МН1...МН4). Каждый измеряемый параметр соответствует определенному каналу АЦП ИК. Ниже в таблице 13.1 приведен полный перечень соответствия измеряемых сигналов и номеров каналов ИК.

Таблица 13.1

Номер канала измерительного комплекса	Функциональное назначение измеряемого сигнала	Диапазон изменения сигнала
1.1	вход in1 ПЛК (SB1)	0/1 дискретный
1.2	вход in2 ПЛК (SB2)	0/1 дискретный
1.3	вход in3 ПЛК (SB3)	0/1 дискретный
1.4	датчик давления P1	0...1000кПа
1.5	вход in4 ПЛК (SB4)	0/1 дискретный
1.6	датчик давления P2	0...1000кПа
1.7	вход in5 ПЛК (S1)	0/1 дискретный
2.1	вход in6 ПЛК (S2)	0/1 дискретный
2.2	вход in7 ПЛК (S3)	0/1 дискретный
2.3	вход in8 ПЛК (S4)	0/1 дискретный
2.4	датчик давления P3	0...1000кПа
2.5	Y1 (SA1)	0/1 дискретный
2.6	датчик давления P4	0...1000кПа
2.7	выход out1 ПЛК	0/1 дискретный
3.1	выход out2 ПЛК (Y2)	0/1 дискретный
3.2	перемещение штока Ц1	0...100мм
3.3	перемещение штока Ц2	0...100мм
3.4	выход out3 ПЛК (Y3)	0/1 дискретный
3.5	выход out4 ПЛК (Y4)	0/1 дискретный
3.6	выход out5 ПЛК (Y5)	0/1 дискретный
3.7	выход out6 ПЛК (Y6)	0/1 дискретный

5. Определить, какие именно параметры необходимо отображать на осциллограммах (индивидуальное задание выдается преподавателем из таблицы 13.1).

6. Сгруппировать исследуемые сигналы для удобства просмотра. Например, на рисунке 13.20 приведена осциллограмма, снятая при выполнении лабораторной работы 12. В верхней части отображаются перемещение цилиндра Ц1, а также состояние распределителя Р1, концевых датчиков и датчиков давления Ц1. В нижней части отображаются параметры цилиндра Ц2.

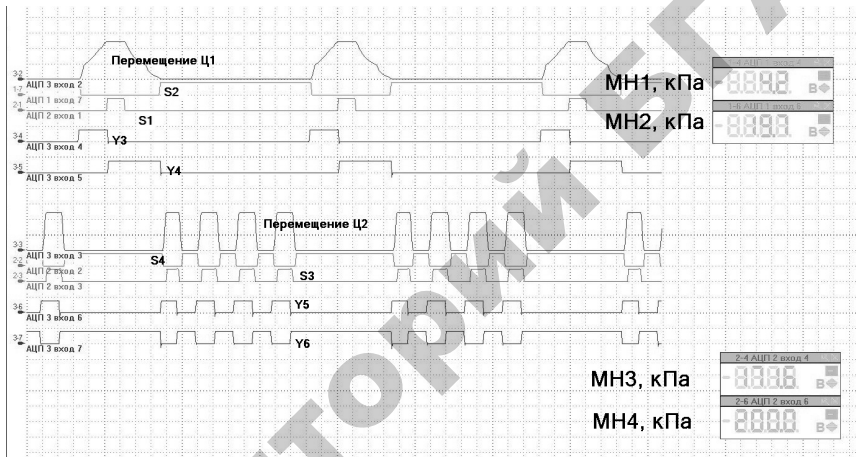


Рис. 13.20. Пример осциллограммы работы установки

7. Запустить программу ПЛК, включить просмотр в программе ОсциллоГРАФ, при необходимости добавить или изменить настройки отображения каналов ИК. Для удобства можно сохранить профиль программы со всеми настройками: XXXX.set.

8. Снять осциллограммы работы установки, сохранить результаты.

9. Обработать результаты и, если требуется, провести дополнительные эксперименты.

10. Остановить просмотр осциллограмм, закрыть ОсциллоГРАФ.

11. Выключить питание стенда (три автоматических выключателя «Сеть»).

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание назначения и возможностей программы отображения данных ОсциллоГРАФ.
3. Графическое изображение осциллограммы, снятой при выполнении лабораторной работы (в соответствии с заданием).
4. Анализ результатов.

Контрольные вопросы

1. Назначение и возможности программы отображения данных ОсциллоГРАФ.
2. Объясните назначение основных команд программы ОсциллоГРАФ.
3. Объясните, как изменить основные параметры работы измерительного комплекса?
4. Объясните, как изменить знак числовых значений данных, используемых в вычислении, на противоположный?

Лабораторная работа № 14

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗАГРУЗОЧНЫМ ТРАНСПОРТЕРОМ

Цель работы: изучить устройство и принцип действия элементов коммуникационной аппаратуры; изучить принцип создания принципиальных схем систем управления технологическими процессами.

Общие сведения

Электрические коммутационные устройства обеспечивают коммутацию (включение, выключение) электрических цепей постоянного и переменного тока. К коммутационной аппаратуре относятся рубильники, переключатели, контакторы, магнитные пускатели, автоматические выключатели, реле, кнопки управления, конечные выключатели.

Кнопка управления содержит два неподвижных, изолированных друг от друга контакта 1 , к которым подведена электрическая цепь $5-5$, два подвижных контакта 2 , соединенные между собой, пружину 3 и толкатель 4 (рисунок 14.1а).

При нажатии толкателя 4 подвижные контакты 2 прижимаются к неподвижным 1 , и электрическая цепь $5-5$ замыкается. Если отпустить толкатель 4 , то под действием пружины 3 контакты 1 и 2 разомкнутся и, следовательно, электрическая цепь $5-5$ разомкнется.

Кнопка с такими контактами называется кнопкой с замыкающими контактами. Такая кнопка замыкает электрическую цепь при нажатии на ее толкатель.

Кнопки управления, смонтированные на общей панели и в общем кожухе, образуют кнопочную станцию.

Для удобства и облегчения чтения принципиальных электрических схем все аппараты, участвующие в схеме, имеют условные обозначения. Условные обозначения кнопок приведены на рисунке 14.1.

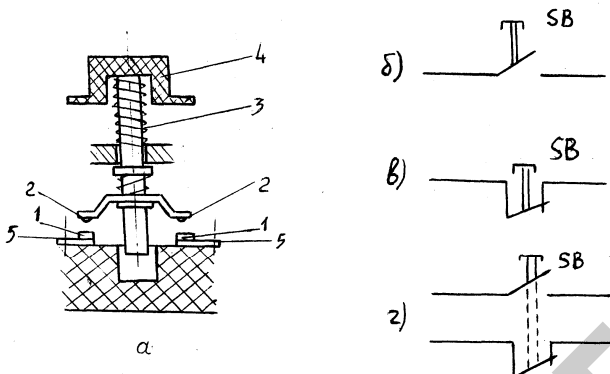


Рис. 14.1. Кнопка управления:
a – общий вид; *б* – кнопка с замыкающим контактом;
в – кнопка с размыкающим контактом;
г – кнопка с замыкающим и размыкающим контактами

Переключатели (пакетные переключатели) – это разновидность рубильников. Переключатели имеют неподвижные и подвижные контакты, рукоятку управления. Подвижные и неподвижные контакты замыкаются в зависимости от угла поворота оси рукояткой управления. Переключатели бывают двух, трех и многопозиционные в зависимости от назначения. Условные обозначения переключателей на электрических схемах приведены на рисунке 14.2. Переключатель *SA* является трехпозиционным и имеет две секции, первая секция с контактами В–Г, а вторая с контактами Д–Е. Переключатель имеет три фиксированных положения 1, 0, 2, которые обозначены вертикальными штриховыми линиями. Замыкание подведенной к переключателю электрической цепи обозначается точкой напротив соответствующего положения рукоятки. Если рукоятка находится в положении 1, то будет замкнута цепь *а–а*, которая коммутируется первой секцией переключателя. Если рукоятку поставить в положение 2, то будет замкнута цепь *б–б*, которая коммутируется второй секцией. В положении 0 рукоятки обе цепи разомкнуты.

Автоматические выключатели, называемые просто автоматами, предназначены для нечастого включения и отключения электрических цепей при нормальном режиме вручную, и для автоматического отключения поврежденной части электрической цепи при возникновении аварийного режима.

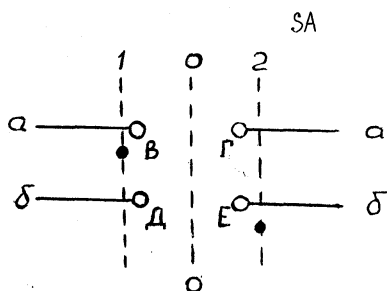
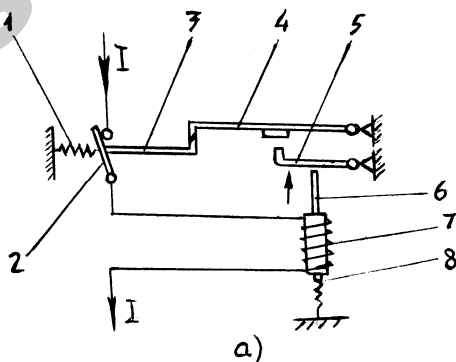


Рис. 14.2. Условное обозначение трехпозиционного переключателя

В зависимости от числа коммутируемых электрических цепей различают одно-, двух- и трехполюсные автоматы.

Промышленность выпускает автоматы, реагирующие на токи короткого замыкания и на длительные недопустимые перегрузки. От тока короткого замыкания срабатывает электромагнитный расцепитель, принцип действия которого поясняется на рисунке 14.3а.

При включенном автомате защищаемые цепи замкнуты контактами 2. Ток I проходит через обмотку катушки 7 и создают магнитный поток, действием которого сердечник 6, удерживаемый пружиной 8, стремится вытолкнуться из катушки. В нормальном режиме магнитный поток недостаточен для выталкивания сердечника. При коротком замыкании в электрической цепи магнитный поток резко возрастает. Сердечник 6 выталкивается из катушки и через рычаг 5 ударяет по защелке 4, освобождая рычаг 3. При этом под действием пружины 1 размыкаются контакты. Повторное включение автомата возможно только вручную.



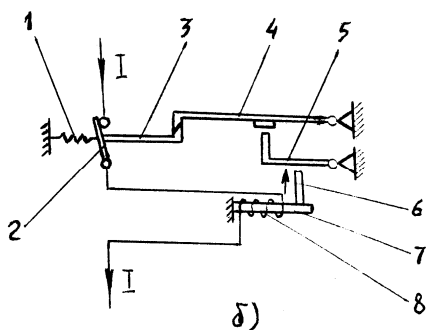


Рис. 14.3. Устройство электромагнитного (а) и теплового (б) расцепителей автоматического выключателя

Защита установок, подключенных к электрической сети, от длительных перегрузок осуществляется тепловыми расцепителями (рисунок 14.3б).

Ток I с помощью нагревательного элемента 8 нагревает биметаллическую пластину 7. При возникновении токов перегрузки биметаллическая пластина деформируется, нажимает своим штифтом 6 на рычаг 5 и освобождает защелку 4, в результате чего освобождается рычаг 3 и размыкаются контакты 2 под действием пружины 1.

На рисунке 14.4а показано условное обозначение однополюсного автомата, на рисунке 14.4б – трехполюсного.

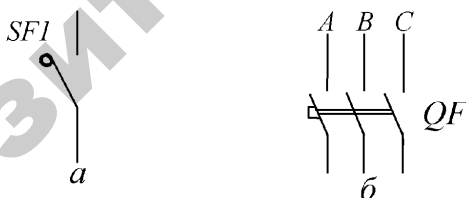


Рис. 14.4. Условное обозначение автоматических выключателей на схемах

В схеме автоматизации технологических процессов сельскохозяйственного производства широко используются электромагнитные реле.

Реле – это электрический аппарат, в котором при плавном изменении входной величины и достижении ею определенного значения происходит скачкообразное изменение выходной величины.

Схема простейшего электромагнитного реле показана на рисунке 14.5а.

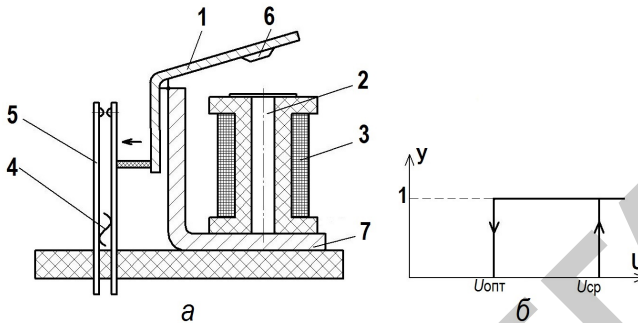


Рис. 14.5. Электромагнитное реле

Подвижный ярлык 1 притягивается к неподвижному сердечнику 2 электромагнита, по обмотке 3 которого протекает ток. Перемещение ярлыка приводит к замыканию контактов 5. При отсутствии тока в обмотке 3 ярлык 1 и контакты 5 возвращаются в исходное состояние усилием противодействующей пружины 4. Чтобы под влиянием остаточного магнитного потока ярлык не оставался притянутым к сердечнику 2, на ярлыке закреплен из немагнитного материала штифт отлипания 6. Ярлык, сердечник и ярмо 7 реле изготовлены из магнито-мягкого материала. Статической характеристикой (рисунок 14.5б) реле является зависимость (Y) состояния его контактов (замкнуты, разомкнуты) от величины напряжения (U) на его обмотке.

Параметрами реле являются значения напряжения (тока) срабатывания и отпускания. Вследствие явления магнитного гистерезиса значения напряжения отпускания ($U_{\text{отп}}$) всегда меньше напряжения срабатывания ($U_{\text{ср}}$). По роду тока в обмотке различают электромагнитные реле постоянного и переменного тока. Условное обозначение электромагнитных реле на принципиальных схемах показано на рисунке 14.6.

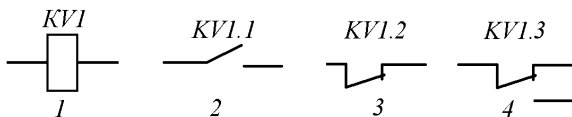


Рис. 14.6. Условное обозначение электромагнитного реле на схемах

На принципиальных схемах изображают катушку К/1 реле и его контакты: К/1.1 – замыкающий; К/1.2 – размыкающий; К/1.3 – переключающий, при этом все детали реле (катушки и контакты) обозначаются одинаковыми буквенно-цифровыми обозначениями.

Контакты – это двухпозиционный коммутационный аппарат с самовозвратом, предназначенный для частых коммутаций токов, не превышающих токов перегрузки, и приводимый в действие приводом. Бывают контакторы постоянного и переменного тока. Коммутируемый ток до 1000 А при напряжении 660 В.

На рисунке 14.7 показана схема одного полюса контактора.

При подаче тока в катушку 1 контактора якорь 2 притягивается к сердечнику 3 электромагнита и замыкает контакты 4 и 5. Ток коммутируемой цепи подводится к неподвижному контакту 4, а затем через контакт 5 и пружинящий токопровод 6 идет к потребителю. Если отключить катушку 1 от сети, то контактор разомкнет контакты 4 и 5 под действием пружины и всех подвижных частей. При размыкании контактов 4 и 5 возникает электрическая дуга, вызывающая разрушение контактов. Для быстрого погашения дуги контакты снабжаются дугогасительными устройствами.

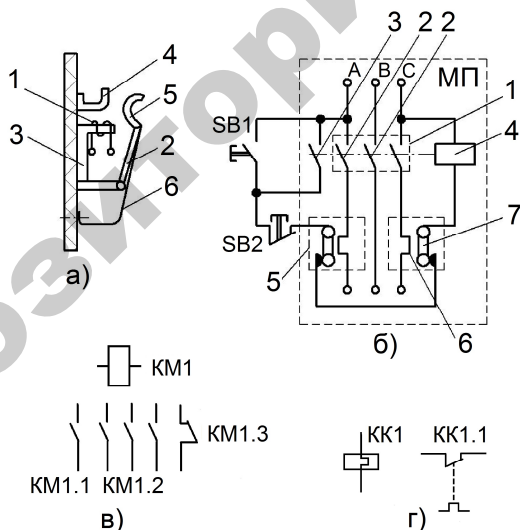


Рис. 14.7. Схема одного полюса контактора: а – схема контактора; б – принципиальная схема подключения магнитного пускателя; в – условное обозначение контактора и магнитного пускателя; г – теплового реле

Кроме главных контактов 4 и 5 контактор имеет блок-контакты, которые используются в цепях управления.

Условное обозначение трехполюсного контактора на принципиальных схемах показано на рисунке 14.7в:

- КМ1 – катушка контактора;
- КМ1.1 – главные (силовые) контакты контакторов;
- КМ1.2, КМ1.3 – замыкающий и размыкающий блок-контакты контактора.

Магнитный пускатель используется для дистанционного автоматического включения и отключения электрических цепей мощностью до 75 кВт.

Он состоит из трехполюсной силовой группы контактов 2, вспомогательных контактов 3 и электромагнитной катушки с сердечником 4. Пускатели могут комплектоваться тепловыми реле 5, включающими в себя нагревательные элементы 6 и биметаллические пластины 7 (рисунок 14.7б).

Для управления магнитный пускатель дополняют кнопочной станцией, состоящей из кнопки пуска SB1 и кнопки стопа SB2.

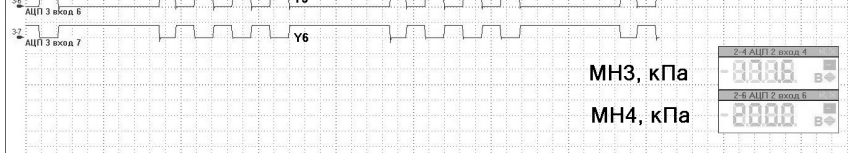
При нажатии кнопки SB1, на катушку 4 подается напряжение, образовавшееся магнитное поле притягивает и замыкает главные контакты 2 и блок-контакт 3, шунтирующий пусковую кнопку.

Благодаря этому катушка 4 остается подключенной к напряжению сети при отпуске кнопки SB1. Дистанционное отключение магнитного пускателя выполняют кнопкой SB2, которая размыкает цепь катушки 4.

При токовых перегрузках биметаллические пластинки 7 нагреваются и, изгибаясь своими контактами, размыкают цепь питания катушки 4 – и магнитный пускатель отключается.

На электрических принципиальных схемах контакторы и магнитные пускатели обозначаются одинаково. Катушка обозначается КМ1, главные контакты КМ1.1 и вспомогательные КМ1.2 и КМ1.3 (рисунок 14.7в).

Условное обозначение теплового реле на принципиальной схеме приведено на рисунке 14.7г, где КК1 – нагревательные элементы, КК1.1 – контакт теплового реле, возвращаемый в исходное положение вручную.



Принципиальной схемой называется схема, отображающая все элементы схемы управления, связи между элементами и дающая детальное представление о принципе работы системы управления.

На рисунке 14.8 приведена схема управления нереверсивным асинхронным электродвигателем. При нажатии кнопки SB1 замыкается цепь питания обмотки магнитного пускателя KM1. При срабатывании пускателя замыкаются контакты KM1.1 и KM1.2 и последний шунтирует кнопку SB1. Отключение двигателя производится нажатием кнопки SB2, разрывающей цепь питания обмотки пускателя.

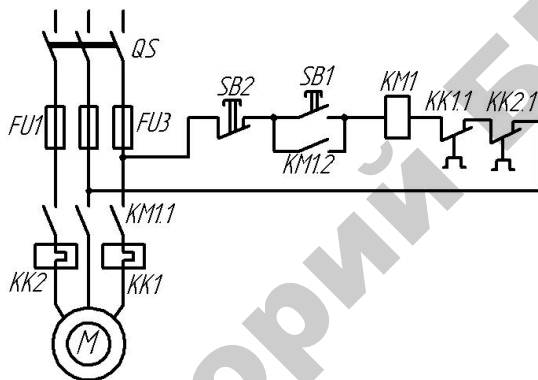


Рис. 14.8. Схема управления нереверсивным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором

Блок-контакт KM1.2 обеспечивает защиту двигателя от повторного самозапуска при исчезновении и восстановлении напряжения сети.

Защита двигателя от перегрузок осуществляется тепловыми реле, нагревательные элементы KK1 и KK2 которых включены в две фазы статора двигателя, а контакты KK1.1 и KK2.1 в цепь питания обмотки пускателя.

Для запуска электродвигателя, отключенного с помощью теплового реле, необходимо вручную вернуть контакты реле в исходное положение, причем возврат контактов возможен только через промежуток времени, необходимый для остывания реле после отключения.

Защита электродвигателя и цепи управления от коротких замыканий осуществляется с помощью предохранителей.

Внедрение автоматизации технологических процессов неразрывно связано с созданием электрических схем управления агрегатами.

При разработке принципиальных схем систем управления необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- 1) наряду с автоматическим управлением агрегатами обязательно наличие ручного управления ими;
- 2) выбор режима управления (ручной, автоматический) должен производиться специально предназначенным для этого переключателем;
- 3) схема системы управления должна обеспечивать сигнализацию о работе агрегатов и защиту агрегатов от аномальных режимов работы.

Порядок выполнения работы

Устройство, типы, принцип действия коммутационных аппаратов, представленных в работе, изучить на натуральных образцах аппаратов, по методическим указаниям и литературе.

Для изучения устройства и принципа работы системы управления уровнем комбикорма в бункере воспользоваться лабораторной установкой, моделирующей систему управления.

Лабораторная установка выполнена в виде пульта-макета управления транспортером, подающим корм в бункер (рисунок 14.9).

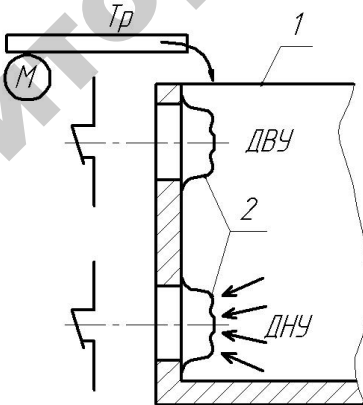


Рис. 14.9. Схема расположения датчиков уровня в загрузочном бункере

В бункере 1 установлено два датчика нижнего (ДНУ) и верхнего (ДВУ) уровней корма. Первичным преобразователем датчика слу-

жит упругая мембрана 2, воспринимающая давление корма на стенки бункера. При отсутствии корма в бункере контакты датчика замкнуты, при давлении корма на мембраны контакты размыкаются. Контакты датчиков включены в схему управления трехфазным асинхронным двигателем привода загрузочного транспортера (рисунки 14.10).

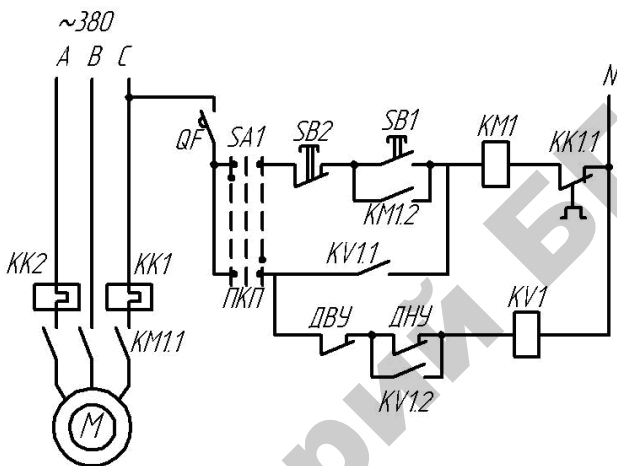


Рис. 14.10. Схема управления загрузочным транспортером

Схема может работать в ручном и автоматическом режимах. Выбор режима осуществляется с помощью трехпозиционного переключателя SA1. Если рукоятка управления переключателя SA1 находится в положении 0, то питание на схему не подается. Ручной режим управления осуществляется при постановке рукоятки выключателя SA1 в положение 1. В этом случае управление двигателем аналогично, как и в схеме рисунка 14.8.

Автоматический режим управления осуществляется при постановке рукоятки переключения в положение 2.

При отсутствии комбикорма в бункере контакты ДНУ и ДВУ замкнуты, напряжение подается на катушку KV1 промежуточного реле, последнее срабатывает и замыкает контакты KV1.1 и KV1.2. С замыканием контакта KV1.1 подается напряжение на катушку магнитного пускателя KM1, силовые контакты которого KM1.1 подключают двигатель М к сети, и транспортер начинает подавать корм

в бункер. При достижении кормом уровня установки датчика нижнего уровня контакты ДНУ размыкаются, но транспортер продолжает подавать корм в бункер, т. к. цепь катушки К/1 остается замкнутой благодаря замкнутому контакту К/2. При достижении кормом верхнего уровня установки ДВУ размыкает свой контакт, и цепь питания катушки К/1 размыкается. Катушка К/1 обесточивается и контакты К/1.1 и К/1.2 размыкаются, при этом пропадает напряжение на катушке КМ1, размыкаются контакты КМ1.1 и останавливается транспортер. При выгрузке корма из бункера вначале срабатывает ДВУ и его контакт замыкается, но цепь питания катушки К/1 остается разомкнутой, т. к. разомкнут ДНУ. При снижении уровня корма ниже установки ДНУ последний замыкает свой контакт и, как было описано выше, транспортер снова включается в работу.

Содержание отчета

1. Основные определения.
2. Условные обозначения коммутационных аппаратов, их назначение.
3. Схема системы ручного управления электродвигателем.
4. Схема системы управления уровнем комбикорма в бункере.

Контрольные вопросы

1. Назначение коммутационной аппаратуры.
2. Устройство и принцип работы электромагнитного реле, магнитного пускателя, автоматического выключателя и т. д.
3. Принцип работы системы управления трехфазным электродвигателем.
4. Принцип работы системы управления уровнем комбикорма в бункере.
5. Назначение автоматического выключателя, предохранителей и тепловых реле.
6. Устройство и принцип действия датчика уровня комбикорма в бункере.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Средства автоматики сельскохозяйственной техники: учебно-методический комплекс / сост.: В. В. Маркевич, В. В. Носко. – Минск: БГАТУ, 2014. – 164 с.
2. Николаенко, С. А. Автоматизация систем управления: учеб. пособие / С. А. Николаенко, Д. С. Цокур. – Краснодар: Изд-во ООО «Крон», 2015. – 119 с.
3. Александровская, А. Н. Автоматика / А. Н. Александровская. – М.: Академия, 2014. – 250 с.
4. Методические указания по выполнению лабораторных работ на стенде НТЦ-09.12.1 «Автоматизация производственных процессов», Научно-техническое предприятие, «Центр», – Могилев, 2016. – 56 с.
5. Методические указания по выполнению лабораторных работ на стенде НТЦ-101 «Пневмоавтоматика», Научно-техническое предприятие, «Центр», – Могилев, 2015. – 34 с.
6. Руководство по выполнению работ на лабораторном стенде НТЦ-23.68 «Исследование схемы управления климатом в теплице и овощехранилище», «Центр», – Могилев, 2016. – 9 с.
7. Руководство по аппаратной части. Alpha-2. Простой прикладной контроллер. Mitsubishi elektrik corporation, 2015. – 114 с.
8. Руководство по программному обеспечению. Alpha-2. Простой прикладной контроллер. Mitsubishi elektrik corporation, 2015. – 152 с.
9. Руководство по эксплуатации. 2ТРМ1. Измеритель-регулятор микропроцессорный двухканальный, – М, ОВЕН, 2016. – 89 с.
10. ГОСТ 2.710-81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
11. ГОСТ 2.755-87 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения.

Учебное издание

Носко Вячеслав Владимирович,
Маркевич Владимир Владимирович,
Антонишин Юрий Тихонович,
Ловкис Виктор Болеславович

**СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ
И АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОПЕРАЦИЙ**

Лабораторный практикум

Ответственный за выпуск *В. В. Носко*
Корректор *Г. В. Анисимова*
Компьютерная верстка *Е. А. Хмельницкой*
Дизайн обложки *Д. О. Бабаковой*

Подписано в печать 17.07.2018. Формат 60×84¹/₁₆.

Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 10,92. Уч.-изд. л. 8,54. Тираж 98 экз. Заказ 552.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.