

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

*Практикум по лабораторным работам
для студентов специальностей:*

*1-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов
сельскохозяйственного производства»,*

*1-74 06 02 «Техническое обеспечение процессов переработки
и хранения сельскохозяйственной продукции»,*

*1-74 06 03 «Ремонтно-обслуживающее производство
в сельском хозяйстве»*

**Минск
2008**

УДК 631.171(075.8)

ББК 40.7я7

А 22

Рекомендовано научно-методическим советом агро-механического факультета БГАТУ

Протокол № 5 от 25 сентября 2007 г.

Составители: канд. техн. наук, доц. *В.Б. Ловкис*;
ст. преподаватель *В.В. Маркевич*;
ст. преподаватель *В.В. Носко*;
ст. преподаватель *Л.А. Абрамчик*

Рецензенты: канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» *Г.Г. Тычина*;
канд. техн. наук, доц. *В.А. Дайнеко*

Автоматизация сельскохозяйственной техники : практикум
А 22 по лаб. работам / сост. В.Б. Ловкис [и др.] – Минск :
БГАТУ, 2008. – 132 с. – ISBN 978-985-519-011-1.

УДК 631.171(075.8)
ББК 40.7я7

ISBN 978-985-519-011-1

© БГАТУ, 2008

Содержание

Введение	4
Лабораторная работа № 1	
Исследование характеристик фотодатчиков и фотореле . . .	5
Лабораторная работа № 2	
Измерительные схемы и преобразователи	16
Лабораторная работа № 3	
Исследование термоизмерительных преобразователей	27
Лабораторная работа № 4	
Изучение емкостных датчиков	46
Лабораторная работа № 5	
Изучение потенциометрических датчиков	57
Лабораторная работа № 6	
Изучение прибора активного контроля АК-3М	68
Лабораторная работа № 7	
Изучение трансформаторных датчиков	76
Лабораторная работа № 8	
Исследование датчиков частоты вращения	85
Лабораторная работа № 9	
Исследование автоматической системы регулирования температуры в сушильной камере	95
Лабораторная работа № 10	
Исследование статической и астатической систем регулирования уровня жидкости	104
Лабораторная работа № 11	
Электрическая коммутационная аппаратура	111
Лабораторная работа № 12	
Системы телемеханики	123

Введение

Целью данного практикума является изучение технических средств автоматики и систем автоматизации сельскохозяйственной техники, освоение методов создания, описания и эксплуатации систем автоматического регулирования и управления, изучение типовых решений по автоматизации сельскохозяйственной техники.

В результате изучения лабораторного курса 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;
- основные свойства объектов автоматизации;
- методы определения работоспособности, анализ качества и надежность работы систем;
- возможности использования микропроцессорной техники при автоматизации сельскохозяйственной техники;

уметь:

- обосновать закон управления и выбрать тип автоматического регулятора;
- 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.

Лабораторная работа № 1 Исследование характеристик фотодатчиков и фотореле

Цель работы: ознакомиться с устройством и характеристиками фотодатчиков с внешним (фотоэмиссионным) и внутренним (фоторезистивным и фотогальваническим) фотоэффектом; 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 1.1) представляет 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.

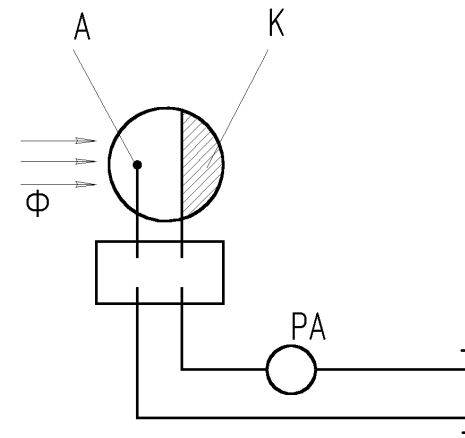


Рисунок 1.1

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 1.1, 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 большей инертностью. Вакуумные фотоэлементы практически безинерционные.

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

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 следова-

тельно, и электропроводность. В большинстве случаев фоторезистор представляют собой нанесенный на стеклянную пластинку 5 тонкий слой полупроводникового вещества 4 (рисунок 1.2).

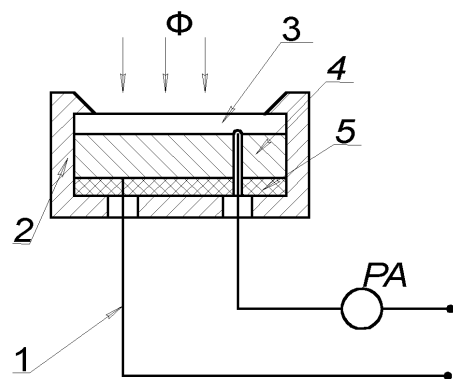


Рисунок 1.2

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 светопрозрачного 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 присуща 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, исходным полупроводниковым материалами и т. п. (рисунок 1.3).

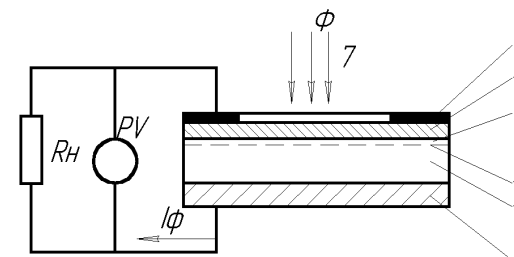


Рисунок 1.3

Вентильный фотодиод имеет металлическое основание 1 толщиной 1–2 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-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 1.4) 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.

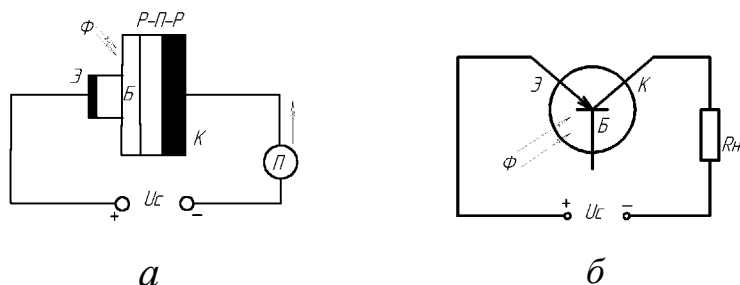


Рисунок 1.4 – Фототранзистор:

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).

Задачи работы

1. Изучить устройство и принцип действия фотодатчиков.
2. Ознакомиться с характеристиками фотоэлементов.
3. Определить экспериментально вольтамперные и световые характеристики фотоэлементов и их статическую, интегральную и удельную чувствительность:

$$K_{ст} = \frac{dI_{\Phi}}{dU},$$

$$K_{н} = \frac{I_{\Phi}}{\Phi},$$

$$K_{о} = \frac{I_{\Phi}}{\Phi U}.$$

4. Изучить устройство и принцип действия фотореле ФР-2.
5. Экспериментально определить порог срабатывания фотореле по освещенности.

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 ВЛ6 для измерения освещенности источника света НЛ2; сигнальные лампы: НЛ1 – о подаче напряжения 12 В и НЛ3 – 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 ВЛ1–ВЛ3 или к ВЛ4; SA3 – для изменения пределов измерения прибора РА; SA4 – для включения питания 12 В; SA5 – для изменения нагрузки датчика ВЛ4; SA6 – для включения питания фотореле КЕ.

Методика исследований

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:

$$K_{ст} = \frac{dI_{\Phi}}{dU}, \text{ мА/В.} \quad (1.1)$$

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 ВЛ1 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 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Вольтамперная характеристика при $\Phi_1 = 60$ люкс

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

Таблица 1.2 – Вольтамперная характеристика при $\Phi_2 = 90$ люкс

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

Б. При снятии вольтамперной характеристики фотоэлемента ВЛ2 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 1.3.

Таблица 1.3 – Вольтамперная характеристика фотодиода

U, В	0	2	4	6	8	10	12
$I_{\Phi 1}$ ($\Phi = 60$ люкс)							
$I_{\Phi 2}$ ($\Phi = 90$ 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 1.4.

Таблица 1.4 – 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 1.1–1.4 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_0 чувствительность:

$$K_{и} = \frac{I_{\phi i}}{\Phi};$$

$$K_0 = \frac{I_{\phi i}}{\Phi U},$$

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 автомати-

ческого 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 1.5.

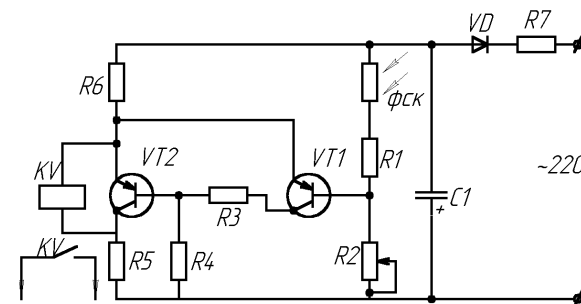


Рисунок 1.5 – Схема фотореле

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 SA6 в положение «Фотореле», тумблер SA4 должен быть установлен в положение «12 В». Переменный резистор R3 установить в крайнее положение, обеспечивающее минимальную освещенность лампы HL2.

Регулируя резистором R_3 освещенность от нуля (условно) до момента включения лампы HL3, сигнализирующей срабатывание фотореле, измерить величину освещенности $\Phi_{\text{ср}}$ 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 $K_{\text{ст}}$, интегральной $K_{\text{и}}$ и удельной $K_{\text{о}}$ чувствительности, определенные по соответствующим экспериментальным характеристикам.
5. Принципиальная схема фотореле ФР-2.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип действия фотоэмиссионных, фоторезистивных и фотогоальванических (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.

Литература

1. Бохан, Н.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники: учеб. пособие / Н.И. Бохан. – Минск : Ураджай, 1987. – 376 с.
2. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шепвалов. – Москва : Колос, 2001.
3. Литвак, В.И. Фотореле в системах автоматики / В.И. Литвак. – Москва : Энергия, 1979. – 104 с.
4. Майоров, С.В. Фотоэлектронные и термоэлектронные приборы и их применение / С.В. Майоров. – Москва : Машиностроение, 1973.

Лабораторная работа № 2 Измерительные схемы и преобразователи

Цель работы: изучить мостовую и дифференциальную измерительные схемы; исследовать различные типы мостовых схем с тензометрическими 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 2.1). 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 .

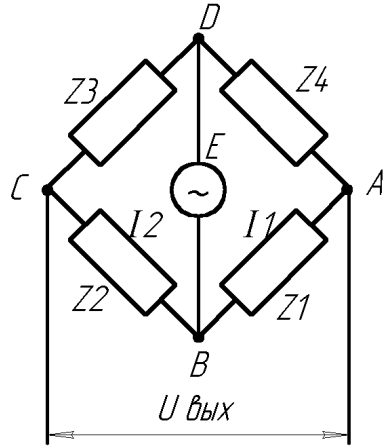


Рисунок 2.1 – Мостовая измерительная схема

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

$$U_{\text{вых}} = E \frac{Z_1 Z_3 - Z_2 Z_4}{(Z_1 + Z_4)(Z_2 + Z_3)}. \quad (2.1)$$

Из выражения (2.1) 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.

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4, \quad (2.2)$$

ΔZ – приращение сопротивления первого плеча.

Подставляя значение Z_1 в выражение (2.1), найдем выходное напряжение:

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

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

$$U_{\text{вых}} = \frac{E Z_3 \Delta Z}{(Z + Z_4)(Z_2 + Z_3)}. \quad (2.3)$$

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 (2.3) 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:

$$S_{MI} = \frac{\Delta I_{\text{ПР}}}{\Delta R};$$

$$S_{MU} = \frac{\Delta U_{\text{ПР}}}{\Delta R}$$

(в плечах моста только активные сопротивления).

Определим чувствительность моста при нулевом методе измерения. Рассмотрим мост, в одно плечо которого включен тензорезистор (рисунке 2.2a).

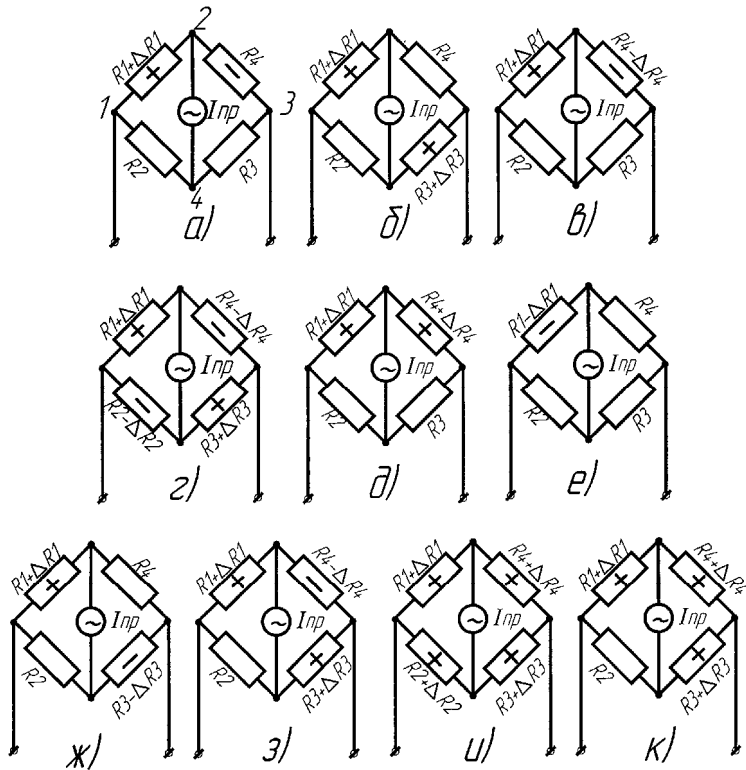


Рисунок 2.2 – Варианты образования схем моста (а–к)

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 2.2а можно записать:

$$I_{np} = I \frac{(R + \Delta R + \Delta R_T)(R + \Delta R_T) - (R + \Delta R_T)^2}{(4R + 4\Delta R + \Delta R)R_{np} + (2R + 2\Delta R_T + \Delta R)(2R + 2\Delta R_T)} =$$

$$= I \frac{R\Delta R}{4R(R_{np} + R)} = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R_{np} + R} = S_0 \Delta R. \quad (2.4)$$

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

- для схемы рисунка 2.2б – два рабочих тензорезистора в противоположных плечах:

$$I_{npб} = \frac{U}{2} \frac{\Delta R}{R(R_{np} + R)} = 2I_{npа}; \quad (2.5)$$

- для схемы рисунка 2.2в – два рабочих тензорезистора в смежных плечах:

$$I_{npв} = \frac{U}{4} \frac{2\Delta R}{R(R_{np} + R)} = 2I_{npа}; \quad (2.6)$$

- для схемы рисунка 2.2з – четыре рабочих тензорезистора:

$$I_{npг} = \frac{U}{4} \frac{4\Delta R}{R(R_{np} + R)} = 4I_{npа}; \quad (2.7)$$

- для схемы рисунка 2.2д – $I_{npд} = 0$;
- для схемы рисунка 2.2е – $I_{npе} = 2 I_{npа}$;
- для схемы рисунка 2.2жс – $I_{npж} = 0$;
- для схемы рисунка 2.2з – $I_{npз} = 3 I_{npа}$;
- для схемы рисунка 2.2и – $I_{npи} = 0$;
- для схемы рисунка 2.2к – $I_{npк} = I_{npа}$.

Дифференциальная измерительная схема

Дифференциальной измерительной схемой называется схема (рисунок 2.3), 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:

$$I_{\text{ПЛ}} = \frac{E_1 + E_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (2.8)$$

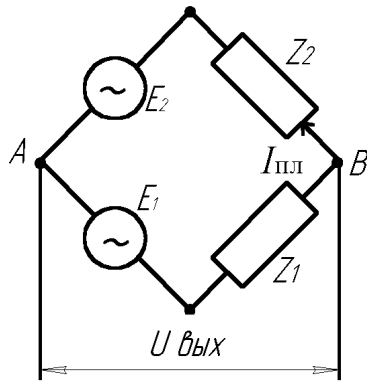


Рисунок 2.3 – Дифференциальная измерительная схема

В формуле (2.8) взята сумма ЭДС, так как они включаются согласованно. Ток $I_{\text{ПЛ}}$ создает на Z_1 падение напряжения $U_{Z1} = I_{\text{ПЛ}} Z_1$, которое действует навстречу E_1 , поэтому

$$U_{\text{вых}} = U_{Z1} - E_1 = \frac{E_1 + E_2}{Z_1 + Z_2} Z_1 - E_1 = \frac{E_1 Z_1 + E_2 Z_1 - E_2 Z_1 - E_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

После сокращения получим

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_2 Z_1 - E_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}. \quad (2.9)$$

Отсюда видно, что $U_{\text{вых}} = 0$ при $E_2 Z_1 = E_1 Z_2$. (2.10)

Предположим, что вместо Z_1 включен датчик $Z_1 = Z + \Delta Z$. Пусть при $\Delta Z = 0$ схема сбалансирована. Тогда из уравнения (2.10) имеем

$$E_2 Z = E_1 Z_2. \quad (2.11)$$

С учетом (2.11) по формуле (2.9) получаем

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_2 Z + E_2 \Delta Z - E_1 Z_2}{Z + \Delta Z + Z_2} = \frac{E_2 \Delta Z}{Z + Z_2}, \quad (2.12)$$

где приняли $\Delta Z \ll Z + Z_2$.

Из формулы (2.12) 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 2.4. Генератор тактовых импульсов (ГТИ) вырабатывает тактовые импульсы с постоянной частотой следования, которые используются для запуска преобразователя.

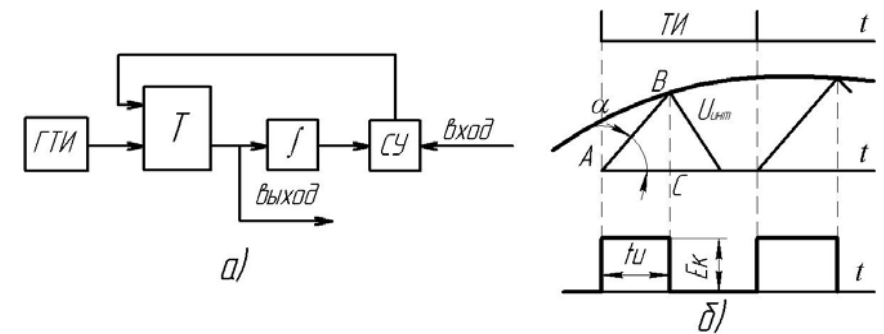


Рисунок 2.4 – Времяимпульсный преобразователь напряжения

Очередной тактовый импульс переводит триггер в другое устойчивое состояние. При этом напряжение на выходе триггера скачком изменяется от 0 до E_k (рисунок 2.4б). 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 $BC = MU_{д}$, то получим

$$t_{и} = M \operatorname{ctg} \alpha \cdot U_{д} = KU_{д},$$

где $K = M \operatorname{ctg} \alpha$ – 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 2.5).

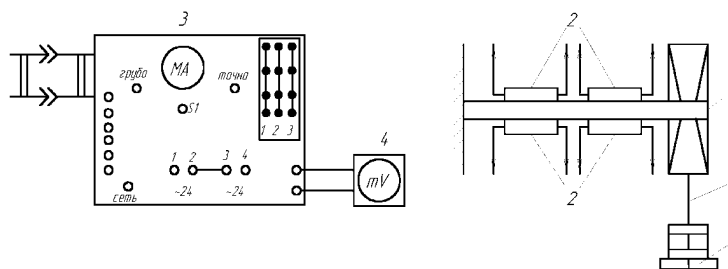


Рисунок 2.5 – Схема лабораторной установки

К выводам каждого тензорезистора припаяны одноцветные провода, оканчивающиеся штекерами, с помощью которых на наборном поле пульта набирается схема моста согласно рисунку 2.6. На передней панели пульта расположены ручки «баланс грубо» и «баланс точно», выключатель «сеть», а также ручки регулировки напряжения 0–10В, клеммы ± 10 В, клеммы «вход преобразователя

« $U-f$ », «выход преобразователя « $U-f$ ». В комплект оборудования входит также частотомер типа ЧЗ-33.

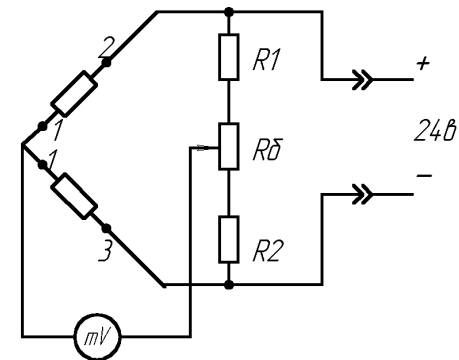


Рисунок 2.6 – Схема включения тензорезисторов в мостовую схему

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 2.1

Таблица 2.1

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 2.7;
- снять и построить статическую характеристику схемы по методике для мостовых схем;
- определить чувствительность схемы.

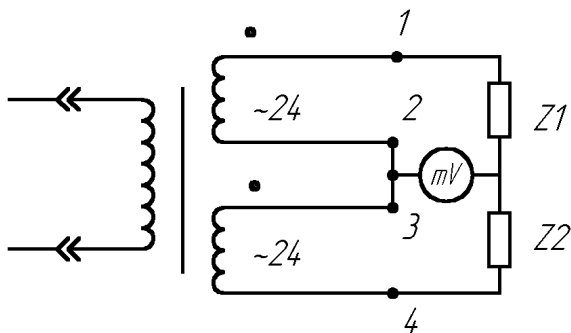


Рисунок 2.7 – Дифференциальная схема включения тензорезисторов

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

- собрать схему согласно рисунку 2.8.
- снять и построить статическую характеристику преобразователя напряжение–частота $f = F(U)$.
- определить чувствительность преобразователя.

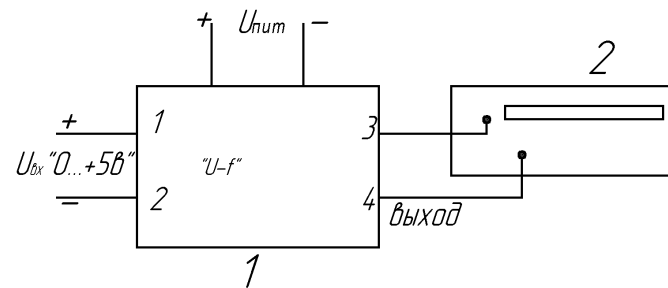


Рисунок 2.8 – Схема исследования преобразователя «U–f»

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?
3. Объяснить работу схемы времяимпульсного преобразователя.
4. Какие преимущества имеет представление результатов измерения в цифровой форме?

Литература

1. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов. – Москва : Колос, 2001.
2. Бородин, И.Ф. Основы автоматики и автоматизации производственных процессов / И.Ф. Бородин, Н.И. Кирилин. – Москва : Колос, 1978.

Лабораторная работа № 3 Исследование 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 и конструкцией вторичных измерительных устройств (вторичных приборов) для измерения и регулирования температуры: логометрами и электронными автоматическими потенциометрами.

Теоретические 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 3.1, кривая 1):

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

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2 + C(T - 100)T^3]; \quad (3.1)$$

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

$$R_T = R_0[1 + AT + BT^2], \quad (3.2)$$

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

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

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

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

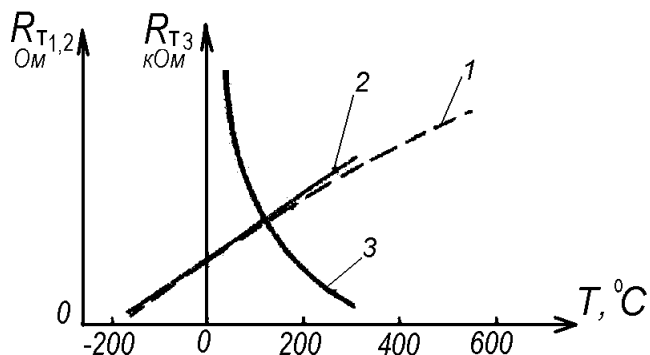


Рисунок 3.1 – Статические характеристики термометров сопротивления:
1 – платинового (ТСП); 2 – медного (ТСМ); 3 – термистора

К недостаткам ТСП следует отнести отклонение от линейного закона их градуировочных характеристик 1 рисунка 3.1. 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 $^\circ\text{C}$ описывается линейным уравнением (рисунок 1, прямая 2):

$$R_T = R_0(1 + \alpha_M T), \quad (3.3)$$

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 ($\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{М}$) 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:

$$K_{ТС} = \frac{dR_T}{dT} = \alpha_{ТС} R_C \quad (3.4)$$

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 $^\circ\text{C}$ (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 $^\circ\text{C}$.

ТСП с гр. 10 П ($R_0 = 10$ Ом) целесообразно применять для измерения температуры выше 200 $^\circ\text{C}$, для низких температур (ниже 0 $^\circ\text{C}$) – 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 $^\circ\text{C}$.

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 использо-

вания 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 бусиновые. 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 3.1, кривая 3):

$$R_T = R_0 e^{B(20-T)/20T}, \quad (3.5)$$

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

T – температура, °С;

B – постоянный коэффициент, определяемый в процессе градуировки.

Чувствительность ПТС:

$$K_d = \frac{dR_T}{dT} = \alpha_d R_T, \quad \text{Ом/}^\circ\text{С}. \quad (3.6)$$

Величину α_d называют температурным коэффициентом термистора:

$$\alpha_d = -\frac{B}{T^2}, \quad ^\circ\text{С}^{-1}. \quad (3.7)$$

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 допускаемая 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.

Принцип действия ТЭТ основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в электроцепи, составленной из двух разнородных проводников или полупроводников (термоэлектродов), например A и B (рисунок 3.2а), 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.

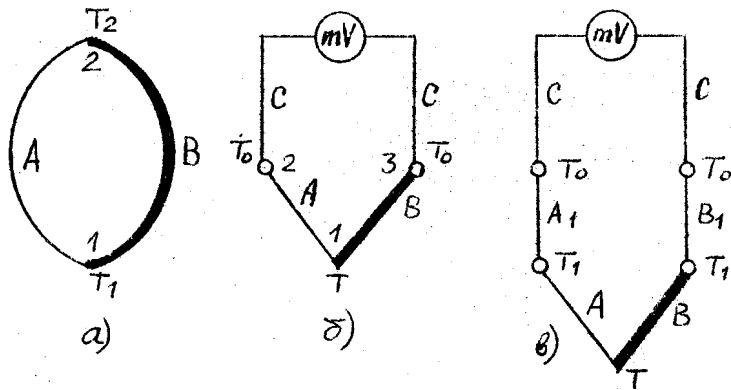


Рисунок 3.2 – Термоэлектрическая цепь (а) и схемы измерения термоЭДС термопары – без термоэлектродных проводов (б) и с термоэлектродными проводами (в): A и B – электроды термопары; A_1 и B_1 – термоэлектродные (удлиняющие провода); T_1 – температура мест соединений электродов термометра с термоэлектродными 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 3.2б): $T = T_1$, $T_0 = T_2$.

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

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 спае, т. е. температуры контролируемой среды $T_1 = T$,

$$U_{\text{ТП}} = E_{\text{AB}}(T, T_0) = F(T). \quad (3.8)$$

Для термопар статическая характеристика (рисунок 3.3) является непрерывной и, учитывая небольшую нелинейность на отдельных ее участках, чувствительность ТЭТ можно записать в виде

$$K_{\text{ТП}} = \frac{dU_{\text{ТП}}}{dT} = \frac{\Delta U_{\text{ТП}}}{\Delta T}, \text{ мВ/}^\circ\text{C}. \quad (3.9)$$

Величина $K_{\text{ТП}}$ зависит от температуры T и от природы термоэлектродов и составляет 0,006–0,07 мВ/°С – для металлов (рисунок 3.3, кривые 1,2); 0,1–1 мВ/°С – для полупроводниковых термопар (рисунок 3.3, 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;

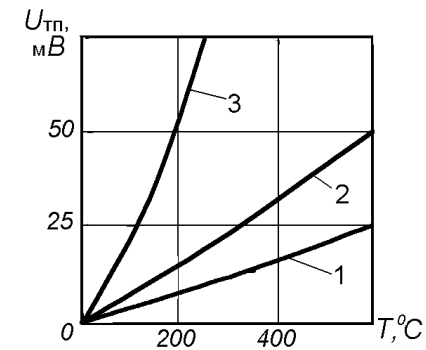


Рисунок 3.3 – Статические характеристики термопар:
1 – хромель-алюмелевой; 2 – хромель-копелевой (металлические);
3 – карбид кремния-графитовой (полупроводниковая)

- 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 $T_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$) 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 3.4).

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.

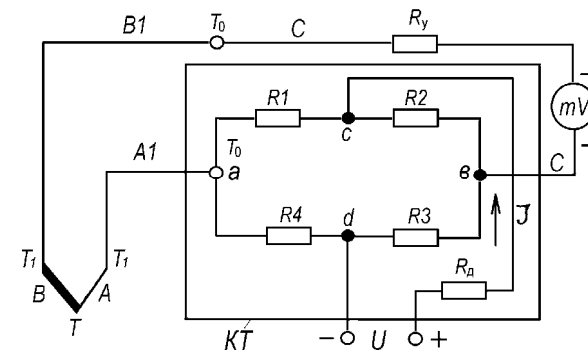


Рисунок 3.4 – Схема измерения температуры с автоматической термокомпенсацией

При температуре $0\text{ }^\circ\text{C}$ мост уравновешен, напряжения U_{AB} на зажимах a и b равно нулю, а термоЭДС термопары соответствует градуировочному значению $U_{ТП}(T, T_0)$. 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, воз-

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.

Вторичные приборы для измерения и регулирования 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 3.5 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 во-

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

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.

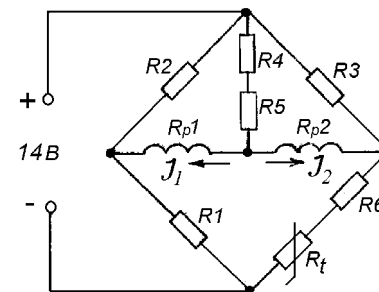


Рисунок 3.5 – Принципиальная электрическая схема логометра

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.).

Автоматические электронные потенциометры

Принцип действия автоматических электронных потенциометров основан на компенсационном методе измерения термоЭДС, заключающемся в автоматическом уравновешивании (компенсации) измеряемой ЭДС известным напряжением, получаемым от строго опреде-

ленного (рабочего) тока на сопротивлении с известным значением.

Типовая принципиальная схема таких потенциометров (рисунок 3.6) 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.

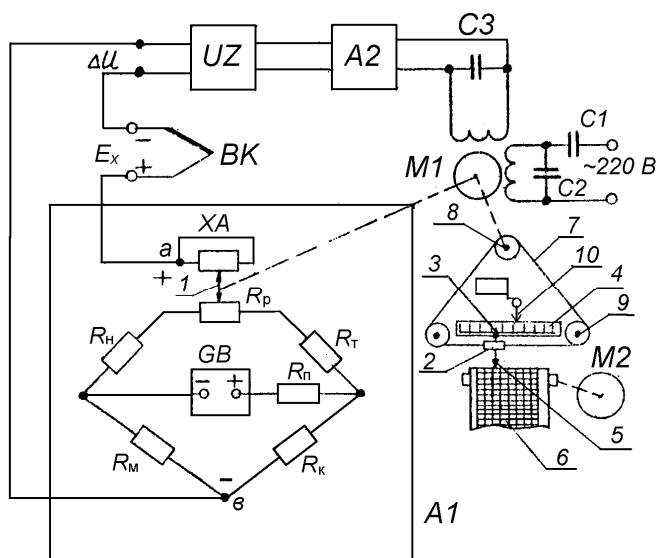


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема автоматического электронного потенциометра

Над шкалой 4 установлена стрелка 10, перемещаемая вдоль шкалы в ручную 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_n – для установления диапазона измерения ЭДС; R_r – 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 BK при изменении температуры ее свободных концов; R_n – для ограничения регулировки тока в цепи источника питания GB при градуировке. Все резисторы, кроме R_m изготавливают из стабилизированной марганциновой проволоки. Термопара BK, как видно из схемы, подключена последовательно с усилителем UZ-A2 к диагонали AB моста А1, 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 А1 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 М1 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 А2. Этот сигнал усиливается до значения, достаточного для приведения в действие реверсивного двигателя М1, 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 М1 через систему кинематической передачи 7 воздействует на движок реохорда измерительной схемы А1, изменяя компенсирующее напряжение U_{AB} до тех пор, пока оно не уравновесит 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 термопара, подключаемая к потенциометру, должна иметь с ним одинаковое стандартное обозначение градуировки (например, гр. ХА, ХК и т. д.)

Задачи работы

1. Изучить конструкции и принципы действия первичных преобразователей температуры: термометров сопротивления, термисторов и термопар.
2. Изучить конструкции и принципы действия вторичных приборов: логометров и электронных автоматических потенциометров; составить принципиальные схемы приборов.
3. Исследовать зависимость сопротивления термометра сопротивления и термистора от их температуры.
4. Исследовать зависимость термоЭДС термопары от температуры рабочего спая.

Методика исследований

1. Конструкции и принципы действия первичных преобразователей температуры и вторичных приборов изучить по методическим указаниям к настоящей работе, натурным образцам и рекомендуемой литературе.

Исследование статических характеристик термометра сопротивления, термистора и термопары провести на лабораторной установке, принципиальная схема которой изображена на рисунке 7. Она состоит из нагревательной электропечи А8 ($P_n = 1,0 \text{ кВт}$), в рабочей камере ко-

торой установлены исследуемые термопары ВК2, термометр сопротивления RK1 и термистор RK2; автоматического потенциометра А3 для измерения температуры в печи А8 совместно с термопарой ВК2, моста постоянного тока А7 (Р333) для измерения величины сопротивлений термометра сопротивления RK1 и термистора RK2.

На лицевой панели пульта размещены: автоматический выключатель QF2 для подачи напряжения питания 220 В, 50 Hz на лабораторную установку и защиты ее электрооборудования от аварийного короткого замыкания, переключатели – тумблеры SA1–SA4 для ручного управления, милливольтметр А4 для измерения термоЭДС исследуемой термопары ВК2 и логометр А5–А6 с термометром сопротивления RK1 для измерения температуры в печи А8.

Внимание. Перед началом работы все органы ручного управления установки должны быть установлены в исходное положение :QF2, SA2, SA-A8 – выключены; SA1, SA3 – в положение «Температура», SA4 – в положение «Термометр сопротивления RK1».



Рисунок 7 – Электрическая принципиальная схема лабораторной установки для исследования термоизмерительных преобразователей

2. Снять и построить статические характеристики датчиков температуры.

А. Включить автоматический выключатель QF2, тумблер SA2.

Б. При комнатной температуре измерить ее значение в печи А8 по показаниям вторичных приборов А3 и А6.

Установить переключатель SA1 в положение «ТермоЭДС E_x », измерить величину термоЭДС E_x термопары ВК2 по показаниям прибора А4 (шкала mV). Переключить тумблер SA1 в исходное положение «Температура». Выключить логометр А6 тумблером SA2. Установить тумблер SA3 в положение «Сопротивление R_x ».

Пользуясь мостом А7 измерить величину сопротивления термосопротивления RK1:

- нажать кнопку «MB» на лицевой панели моста;
- ручкой «П5» установить множитель « n » в положение « 10^{-2} »;
- переключателями П1–П4 установить ожидаемое значение $R_x=50-60$ Ом нажать кнопку «ЭНИ» и вращением ручки «Баланс» добиться одновременного свечения светодиодов;
- нажать кнопку «ПИТ»;
- уравновесить мост вращением переключателей П1–П4, добиваясь одновременного (или близкого к нему) свечения светодиодов;
- вычислить сопротивление по формуле

$$R_x = nR,$$

где n – множитель декады П5,

R – сопротивление плеч сравнения П1–П4.

Установить тумблер SA4 в положение «Термистор RK2». Измерить величину сопротивления термистора RK2 при помощи моста А7, как указано выше при установке множителя « n » в положение «10» и $R_x = (40-45) \times 10^3$ Ом. После измерения сопротивления RK2 переключить в исходное положение: тумблер SA4 – в положение «Термометр сопротивления RK1», тумблер SA3 – в положение «Температура T °C». Тумблером SA2 включить логометр А6.

Результаты измерений записать в таблицу:

Таблица 3.1

№ опыта	$T_{A3}, ^\circ C$	E_x, mV	$T_{A6}, ^\circ C$	$R_{RK1}, \text{Ом}$	$R_{RK2}, \text{Ом}$
1	$T_{\text{комн.}}$				
2	30				
3	40				
4	60				
5	80				
6	100				

Г. Включить печь А8 тумблером SA-A8. При достижении в печи температуры $30^\circ C$ зафиксировать ее значение по показаниям прибора А3 и А6. Выключить тумблер печи SA-A8.

Д. Повторить измерения по п. Г при $T = 30 \pm 2^\circ C, 40 \pm 2^\circ C; 60 \pm 2^\circ C; 80 \pm 2^\circ C; 100 \pm 2^\circ C$.

Е. После окончания измерений установить все органы ручного управления в исходное положение: выключить тумблеры SA2, SA-A8 и автоматический выключатель QF2. Открыть дверцу печи А8.

Ж. По данным таблицы построить графики:

$$R_{RK1} = f(T),$$

$$R_{RK2} = f(T) \text{ и } E_x = f(T),$$

где $T = (T_{A3} + T_{A6})/2$.

Примечание – Во избежание разряда источника питания мост А7 включать только в моменты измерений. При включении нагрева печи мост необходимо выключить кнопками «ПИТ» и «ЭНИ».

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткое описание, принцип действия и конструкции первичных преобразователей температуры и вторичных приборов: логометров и автоматических потенциометров.
3. Электрические схемы логометра и автоматического потенциометра.
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. Чувствительность первичных преобразователей температуры.
4. Достоинства и недостатки датчиков температуры.
5. Назначение и принцип действия вторичных приборов: логометров и автоматических потенциометров.

Литература

1. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов – Москва : Колос, 2001.
2. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматики / И.Ф. Бородин. – Москва : Колос, 1982.
3. Крамарухин, Ю.Е. Приборы для регулирования температуры / Ю.Е. Крамарухин. – Москва : Машиностроение, 1990.
4. Олейник, Б.Н. Приборы и методы температурных измерений / Б.Н. Олейник [и др.]. – Москва : Изд-во стандартов, 1987.

Лабораторная работа № 4 Изучение емкостных датчиков

Цель работы: ознакомиться с конструктивными схемами и принципом действия емкостных датчиков различных типов; определить опытным путем значения напряжений на выходе датчика при разных диэлектриках в зависимости от частоты питающего напряжения; изучить принцип действия и схему емкостного измерителя уровня жидкости.

Общие сведения об емкостных датчиках

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:

$$C = 0,088 \frac{\varepsilon S}{d}, \quad (4.1)$$

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

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

d – толщина диэлектрика (или зазора).

Из формулы (4.1) 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 4.1а 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:

$$\Delta C = C_0 - C_1 = \frac{0,088\epsilon S}{d} \quad (4.2)$$

и относительное изменение

$$\frac{\Delta C}{C} = \Delta d(d \pm \Delta d), \quad (4.3)$$

где Δd – изменение зазора между пластинами.

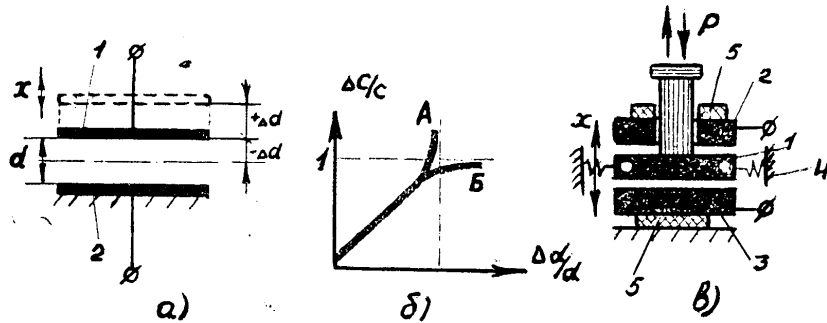


Рисунок 4.1 – Емкостные датчики

В формуле (4.2) знак (+) соответствует уменьшению емкости, а (-) увеличению.

Чувствительность датчика:

$$S = \frac{\Delta C/C}{\Delta d/d} = \frac{1}{d \pm \Delta d}. \quad (4.4)$$

На рисунке 4.1б 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 4.1в 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. Под-

вижная 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:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}. \quad (4.5)$$

Для преобразования изменения сопротивления в электрический сигнал конденсатор включают в мостовую схему рисунка 4.2, работающие на переменном токе, или в резонансные схемы, основанные на резонансе токов или напряжений.

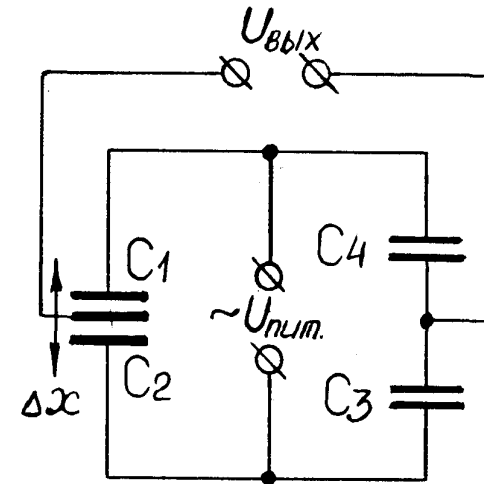


Рисунок 4.2 – Мостовая схема включения датчиков

Мостовая схема емкостного ИП содержит два конденсатора постоянной емкости (C_4 и C_3) и трехэлектродный воздушный конденсатор со

средней подвижной пластиной, перемещение которой вызывает изменение емкостей C_1 и C_2).

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 4.3а 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 4.1а находим абсолютное изменение значения емкости:

$$C = C_0 - C_1 = \frac{0,088\epsilon\Delta S}{d} = 0,088\epsilon b\Delta h. \quad (4.5)$$

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

$$C = \frac{0,088\epsilon S(n-1)}{d}, \quad (4.6)$$

где n – общее число пластин.

Абсолютное изменение емкости:

$$\Delta C = \frac{0,088\epsilon S(n-1)}{d}. \quad (4.7)$$

На рисунке 4.3б изображен датчик роторного типа для преобразования угловых перемещений в изменение емкости. Пример такого датчика может быть обычный конденсатор переменной емкости, применяемый в радиотехнике. В системах автоматики и телемеханики такой датчик применяется для передачи показаний указывающих приборов. В датчике 3 ротор может свободно поворачиваться относительно статора 1, при этом расстояние между пластинами не изменяется. Рабочая площадь (заштрихована) зависит от угла поворота α пластины 2.

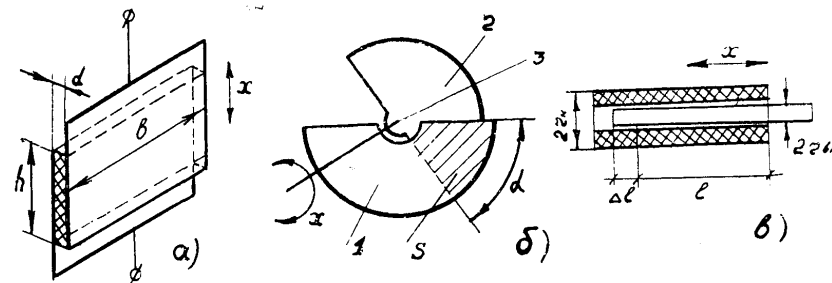


Рисунок 4.3 – Датчики для измерения линейных и угловых перемещений

Для увеличения емкости датчика применяют систему, состоящую из подвижных и неподвижных пластин. При этом емкость датчика:

$$C = C_0 + \frac{0,088\epsilon\Psi\alpha}{d}, \quad (4.8)$$

где C_0 – начальная емкость датчика;

Ψ – изменение площади S на единицу угла поворота.

На рисунке 4.3в изображен цилиндрический датчик с переменной площадью для измерения перемещений более 1 мм. В этом случае емкость датчика

$$C = \frac{0,088 \times 2\pi\epsilon L}{\frac{L_n r_n}{r_{\text{вн}}}}, \quad (4.9)$$

где L – длина перекрываемой части обкладок конденсатора;

r_n , $r_{\text{вн}}$ – радиусы цилиндров внешней и внутренней обкладок соответственно.

При смещении внутреннего цилиндра на величину ΔL абсолютное изменение емкости:

$$C = \frac{0,088 \times 2\pi\epsilon\Delta L}{\frac{L_n r_n}{r_{\text{вн}}}}. \quad (4.10)$$

Анализ работы емкостных датчиков (за исключением датчика на рисунке 4.1а) показывает, что между изменением емкости ΔC и изменением площади ΔS (или перемещения $\Delta\alpha$, ΔL , Δh) существует линейная связь.

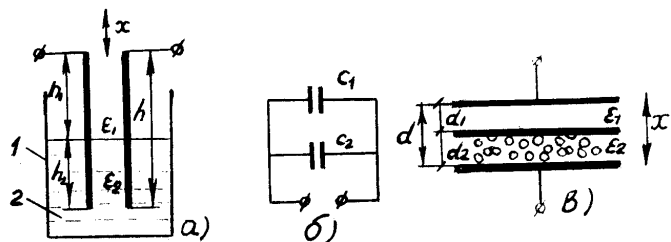


Рисунок 4.4 – Датчики с переменной диэлектрической проницаемостью

Емкостные датчики с переменной диэлектрической проницаемостью могут быть двух типов: с перемещением диэлектрика перпендикулярно или параллельно плоскости пластин. На рисунке 4.4а изображен датчик для измерения уровня жидкости (первый тип).

При различных величинах диэлектрической проницаемости воздуха $\epsilon_1 = \epsilon_в$ и перемещающегося диэлектрика ϵ_2 (жидкость) образуется два конденсатора C_1 и C_2 , соединенные параллельно.

Общая емкость:

$$C = C_1 + C_2 = \frac{0,088b\epsilon_1 h_1}{d} + \frac{0,088b\epsilon_2 h_2}{d}, \quad (4.11)$$

где C_1 – емкость в верхней части бака высотой h_1 заполненная воздухом;

C_2 – емкость в нижней части бака, заполненная жидкостью, уровень h_2 которой изменяется;

$h = h_1 + h_2$ – полная высота электрода (обкладки).

На рисунке 4.4в показан тип датчиков, в котором диэлектрическая проницаемость изменяется на высоте d параллельно плоскости пластин.

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.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки приведена на рисунке 4.5.

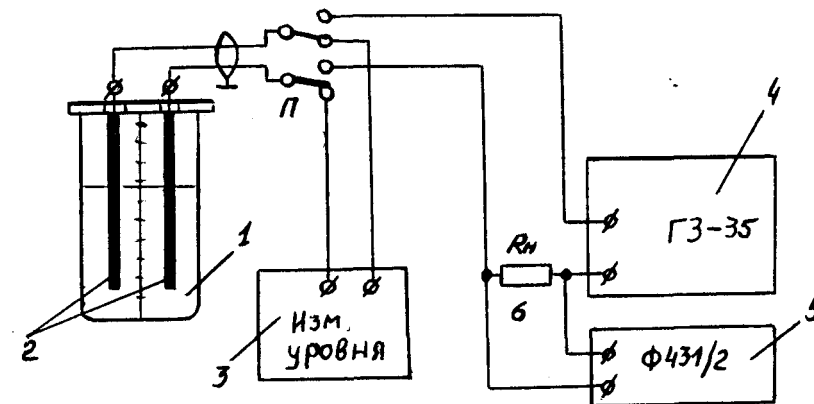


Рисунок 4.5 – Схема лабораторной установки

Установка состоит из емкостного датчика 2, помещенного в стеклянный сосуд 1 (с водой или без воды), генератора звуковой частоты ГЗ-35 4, измерителя напряжения выхода 5 и измерителя уровня жидкости 3. Переключение датчика от измерителя к выходу генератора осуществляется переключателем П, R_n – нагрузочное сопротивление 300 кОм.

Порядок выполнения работ

1. Ознакомиться с принципом действия и областью применения емкостных датчиков.

2. Снять зависимость напряжения на выходе емкостного датчика от частоты питающего напряжения. Выходное напряжение снять при диэлектрике воздух (датчик в сухом сосуде) и при диэлектрике вода (датчик помещен в сосуд с водой).

Для снятия зависимости $U_{\text{вых}} = f(F)$ необходимо:

- поместить емкостной датчик в сухой сосуд;
- переключатель П (рисунок 4.5) на стенде перевести в положение $U = f(F)$;

- включить тумблером 220 V «ВКЛ» генератор ГЗ-35;
- ручкой «Рег. вых. напр.» на генераторе установить по вольтметру выходное напряжение «6 V», при положении переключателя «Пределы шкалы» 10 V;
- включить измеритель выхода Ф431/2, установив переключатель в положение 0,3 V (предел измерения шкалы);
- установить требуемое (согласно таблице 4.1) значение частоты выходного напряжения генератора вращением ручки «Частота Hz» при положении ручки «Множитель» в положение « $\times 100$ »;
- снять и записать в таблицу 4.1 значения выходного напряжения по шкале измерителя выхода Ф431/2 (предел измерения шкалы 0,3 V).

Для исследования влияния значения диэлектрической проницаемости среды на $U_{\text{вых}}$ снять зависимость $U_{\text{вых}} = f(F)$, но при наличии воды в сосуде. Емкостной датчик поместить в сосуд с водой и снять данные согласно предложенной выше методике. Полученные данные занести в таблицу 4.1.

После окончания работы выключить генератор ГЗ-35. По данным таблицы 4.1 построить графики $U = f(F)$ для опытов с водой и без воды. Оба графика строить в одной системе координат.

Таблица 4.1 – Зависимость напряжения на выходе датчика от частоты питающего напряжения

Диэлектрик воздух		Диэлектрик вода	
F , Гц	U , В	F , Гц	U , В
2000		2000	
5000		5000	
7500		7500	
10000		10000	
12000		12000	
15000		15000	
17500		17500	
20000		20000	

Изучение электронного измерителя уровня жидкости

Для непрерывного измерения уровня жидкости в резервуаре применяют электронный измеритель уровня жидкости, схема которого приведена на рисунке 4.6. Измерительным преобразователем является конденсатор C_x , конструкция которого приведена на рисунке 4.4a.

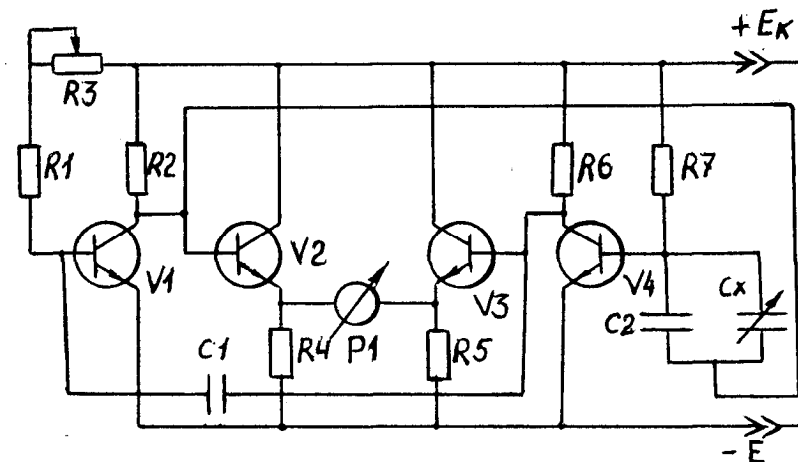


Рисунок 4.6 – Схема измерителя уровня

Электронный измеритель уровня работает следующим образом. Симметричный мультивибратор на транзисторах V1 и V4 генерирует прямоугольные импульсы напряжений. Эмиттерный повторители, выполненные на транзисторах V2 и V3, усиливают по току эти импульсы и согласуют высокое выходное сопротивление мультивибраторов с низкоомной нагрузкой микроамперметром P1, подключенного по балансовой схеме к эмиттерам транзисторов V2 и V3. Емкостный датчик (C_x) подключен параллельно конденсатору обратной связи C2. При изменении емкости датчика, изменяется скважность импульсов, генерируемых мультивибратором, и соответственно средний ток протекающий через микроамперметр.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из двух стеклянных сосудов, в один из которых налита вода. Датчик выполнен из двух параллельных отрезков провода, на одном из которых нанесены метки через 30 мм. Датчик соединяется через переключатель «П» с измерителем уровня при помощи экранированного провода.

Изменение емкости датчика происходит из-за изменения соотношения диэлектрической проницаемости диэлектрика датчика, при погружении датчика в воду (рисунок 4.4а).

Порядок выполнения работы

Для снятия зависимости $I = f(h)$ необходимо:

- установить емкостной датчик в сухой сосуд;
- включить измеритель уровня тумблером «Сеть 220 В»;
- установить переключатель «П» (рисунок 4.5) в положение $I = f(h)$;
- опустить емкостной датчик в воду до первой метки и ручкой «Установка нуля мА» установить стрелку микроамперметра на нуль.
- погружая датчик в воду через каждые 30 мм, записывать показания микроамперметра в таблицу 4.2.

Таблица 4.2.

h , см	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
I , мА											

- построить график $I = f(h)$, где h – высота жидкости, мм. После окончания работы поместить датчик в сухой сосуд и выключить измеритель уровня.

Определить чувствительность датчика уровня:

$$K_{ст} = \frac{\Delta I}{\Delta h}.$$

Содержание отчета

- Цель работы.
- Схемы и формулы, поясняющие принцип работы емкостных датчиков.
- Схему электронного индикатора уровня жидкости.
- Таблицы с результатами измерений.
- Графические зависимости $U_{вых} = f(F)$, $I = f(h)$.
- Расчет предложенных для нахождения характеристик.

Контрольные вопросы

- Физические величины, измеряемые емкостными ИП.
- Принцип работы емкостных датчиков.
- Устройство емкостных датчиков используемых для измерения линейных и угловых перемещений.
- Преимущества и недостатки емкостных датчиков.
- Принцип работы электронного индикатора уровня жидкости.
- Принцип работы емкостного ИП для измерения толщины диэлектрических материалов.

Литература

- Загинайлов, В.И. Основы автоматике / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов. – Москва : Колос, 2001.
- Бохан, Н.И. Основы автоматике и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев. – Минск : Ураджай, 1987. – 376 с.
- Бородин, И.Ф. Технические средства автоматике / И.Ф. Бородин. – Москва, Колос, 1982.

Лабораторная работа № 5 Изучение потенциметрических датчиков

Цель работы: изучить устройство и схемы включения потенциметрических датчиков (рисунки 5.1–5.4); построить статические характеристики прямого и углового датчиков, определить статическую чувствительность; установить отличие статической характеристики датчика со средней точкой; ознакомиться с моделью системы автоматического контроля потерь зерна зерноуборочного комбайна.

Общие сведения о потенциметрических датчиках

Потенциметрические 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 потенциметров.

Потенциометры в схемах работают с источником постоянного и переменного тока. Потенциметрические 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 .

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

Потенциометр (рисунки 5.1–5.4) 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.

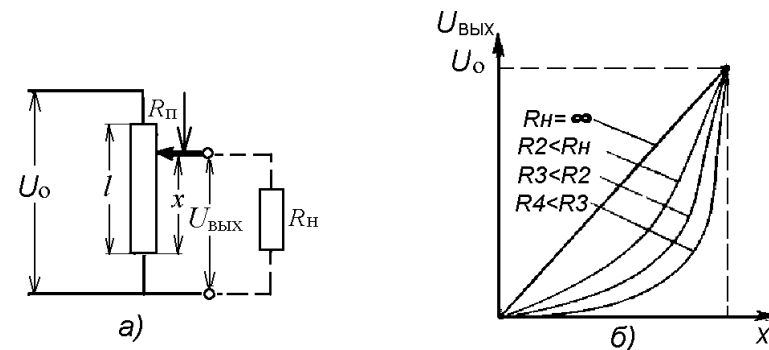


Рисунок 5.1 – Потенциметрический измерительный преобразователь (ИП) линейных перемещений в электрический сигнал:
а – схема включения, б – статическая характеристика

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.

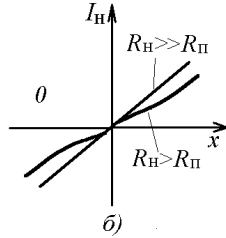
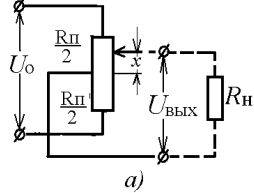
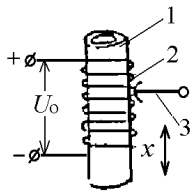


Рисунок 5.2 – Конструкция потенциометра:
1 – каркас; 2 – провод; 3 – ползунок

Рисунок 5.3 – Реверсивный потенциометрический 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 сопротивляющимися участками с линейным распределением сопротивления), квадратные, логорифмические, 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).

В функциональных датчиках в зависимости от характера намотки проволоки на каркас можно получить любого вида функциональную связь между величиной перемещения и изменением сопротивления (рисунок 5.4).

Для этой цели применяется намотка проволоки на фигурный каркас, шунтировка секций, фигурный перекатывающийся контакт и другие способы.

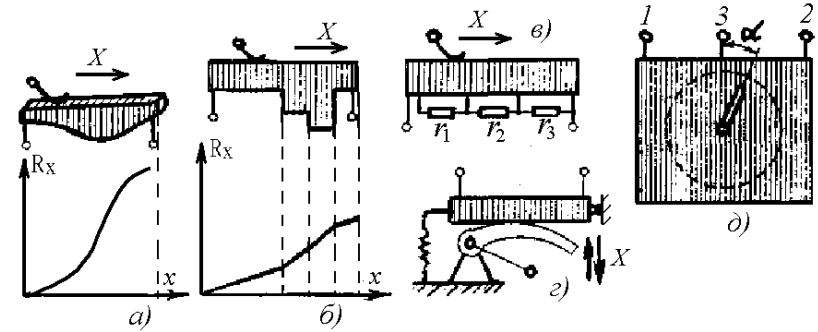


Рисунок 5.4 – Функциональные потенциометры:
а – с профильным каркасом; б – со ступенчатым каркасом; в – с шунтированными секциями; г – с перекатывающимся фигурным контактом; д – синусно-косинусный

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, характеризуются 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 (В/мм или В/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 5.1, 5.3.

Основные соотношения ненагруженного прямого потенциометра (рисунок 5.1а) $U_2 = U_0 K$ – 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.

Основные отношения нагруженного потенциометра (рисунок 5.1а) ($0 < R_H < \infty$):

$$U_2 = \frac{U_0 K \gamma}{K(1-K) + \gamma},$$

$$\text{где } \gamma = \frac{R_H}{R_{\Pi}};$$

– сопротивление потенциометра:

$$R_{\Pi} = R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2},$$

где $R_{\Pi 2} = R_x$; $R_{\Pi 1} = R_{\Pi} (1-K)$;

– величина относительной погрешности:

$$\delta = \frac{-k^2(1-k)}{k(1-k) + \gamma};$$

$$\delta_{\max} = \frac{4}{27\gamma},$$

при $k = 2/3$.

Влияние нагрузки. Выходное напряжение, снимаемое с потенциометра, отличается от заданного на величину, зависящую от отношения полных сопротивлений потенциометра и нагрузки, а также от положения ползунка потенциометра.

При витом сопротивлении, по которому скользит контакт, величина $R_{\Pi 2}$ пропорциональна расстоянию ползунка от крайнего положения, а R_{Π} пропорционально длине потенциометра:

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{R_{\Pi 2}}{R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2}} = \frac{R_{\Pi 2}}{R_{\Pi}};$$

$$U_2 = U_0 \times \frac{R_{\Pi 2}}{R_{\Pi 1} + R_{\Pi 2}} = U_0 \frac{x}{L} = U_0 k.$$

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

Если $R_H < R_{\Pi}$, то

$$\frac{U_2}{U_0} = \frac{R_{n2}R_n / (R_{n2} + R_n)}{R_{n1} + R_{n2}} = \frac{R_{n2}R_n}{R_{n1}R_{n2} + R_{n1}R_n + R_{n2}R_n},$$

и тогда U_2 зависит непосредственно от R_n .

Описание лабораторной установки

Схема установки для снятия статической характеристики потенциометров (рисунок 5.5) включает прямой реостат RP2 с сопротивлением обмотки 160 Ом и угловой потенциометр RP1 с сопротивлением обмотки 100 Ом, вольтметр PV1 для контроля напряжения входа (питания), вольтметр PV2 для измерения напряжения выхода с потенциометрического датчика, нагрузочное сопротивление $R2 = 100$ Ом, $R3 = 200$ Ом, $R4 = 10$ кОм и переключатели SA1–SA6.

Величина перемещения ползунка прямого потенциометра отсчитывается по линейке с ценой деления 1 мм, которая крепится к лицевой панели установки.

При проведении испытаний тумблеры SA1–SA6 должны быть установлены в положения, соответствующие порядку выполнения работы.

Установка необходимой величины нагрузочного сопротивления производится путем переключения в соответствующее положение переключателя SA5, расположенного на пульте управления и имеющего надпись «Нагрузка».

В нагруженной схеме определяются статические характеристики для трех различных сопротивлений нагрузки; при установке пакетного переключателя SA5 в положение, обозначенное цифрой «100 Ом», сопротивление нагрузки меньше сопротивления потенциометра и соответствует для прямого потенциометра:

$$\gamma_{1п} = \frac{R2}{RP1} = \frac{100}{160} = 0,625,$$

– для кругового

$$\gamma_{1к} = \frac{R2}{RP1} = \frac{100}{100} = 1,0,$$

– при установке переключателя SA5 в положение «200 Ом»

$$\gamma_{2п} = \frac{R3}{RP2} = \frac{200}{160} = 1,25,$$

$$\gamma_{2к} = \frac{R3}{RP1} = \frac{200}{100} = 2;$$

– при установке переключателя SA5 в положение «10 кОм»

$$\gamma_{3п} = \frac{R4}{RP2} = \frac{10 \times 10^3}{160} = 62,5;$$

$$\gamma_{3к} = \frac{R4}{RP1} = \frac{10 \times 10^3}{100} = 100.$$

Порядок выполнения работы

1. Собрать схему ненагруженного потенциометра, для чего переключатель SA5 «Нагрузка» (рисунок 5.5) перевести в положение, обозначенное знаком «∞».

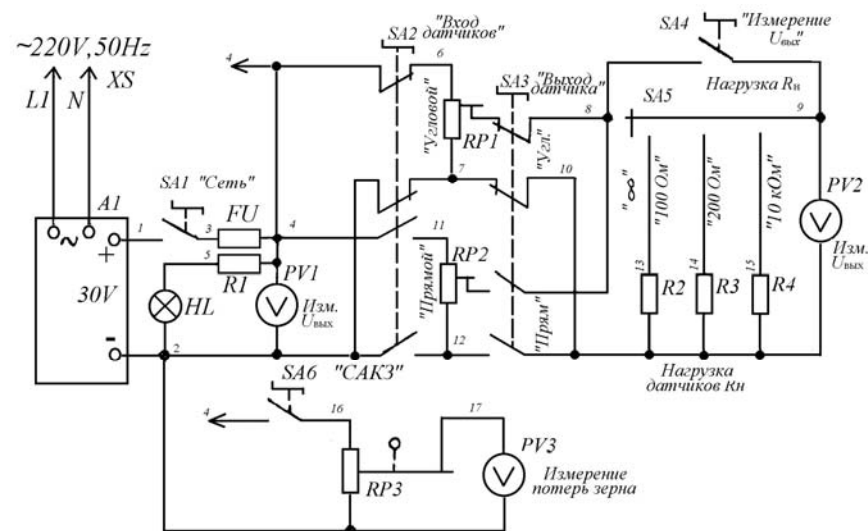


Рисунок 5.5 – Принципиальная схема стенда для исследования потенциметрических датчиков и САК потерь зерна

2. Снять статическую характеристику ненагруженного прямого и кругового потенциометров. Для этого необходимо передвигать ползунок прямого потенциометра от нуля ($X = 0$) через равные интервалы (2 см) и записывать на каждом интервале величину напряжения на выходе $U_{вых}$ по вольтметру PV2, расположенному на пульте

управления. Для кругового потенциометра поворот указателя производится через 20 %.

Запись показания должна выполняться при прямом и обратном перемещении ползунка и повороте указателя.

3. Снять статические характеристики для нагруженной схемы прямого и углового потенциометров при трех значениях нагрузочного сопротивления R2, R3, R4, для чего переключатель SA5 «Нагрузка» устанавливать поочередно в положения, обозначенные цифрами «100 Ом», «200 Ом», «10 кОм».

Результаты для прямого датчика занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1

Напряжение, $U_{\text{вых}}$, В	Нагрузка	Ход	Перемещение ползунка, см											
			0	2	4	6	8	10	12	14	16	18		
∞		→												
		←												
100 Ом		→												
		←												
200 Ом		→												
		←												
10 кОм		→												
		←												

Данные для кругового датчика вносятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.2.

Напряжение, $U_{\text{вых}}$, В	Нагрузка	Ход	Перемещение ползунка, %					
			0	20	40	60	80	100
∞		→						
		←						
100 Ом		→						
		←						
200 Ом		→						
		←						
10 кОм		→						
		←						

4. Построить статические характеристики для всех четырех случаев для прямого и кругового потенциометров в координатах (U_2, x) , (U_2, α) , где $U_2 = U_{\text{вых}}$.

5. Определить статическую характеристику расчетным путем и сравнить ее с экспериментальной статической характеристикой при ненагруженной схеме.

6. На основании статической характеристики определить статическую чувствительность потенциометра:

$$K_{\text{пр}} = \frac{\Delta U_2}{\Delta X}, \frac{\text{В}}{\text{мм}};$$

$$K_{\text{кр}} = \frac{\Delta U_2}{\Delta \alpha}, \frac{\text{В}}{\text{рад}}.$$

7. Определить относительную статическую погрешность измерений для каждой ступени нагрузки (тарировки) по формуле:

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

8. Указать, к какому типу динамического звена относится потенциометр, написать его передаточную функцию.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Устройство, принцип действия, схемы подключения потенциметрических преобразователей.
3. Основные соотношения нагруженного и ненагруженного преобразователей.
4. Таблицы с результатами измерений.
5. Графическое изображение статических характеристик.
6. Расчет предложенных для нахождения характеристик.

Контрольные вопросы

1. Объяснить устройство и принцип работы потенциметрических датчиков.
2. Назвать основные эксплуатационные характеристики потенциметров.
3. Как влияет нагрузка на статическую характеристику потенциметрического датчика?
4. К какому типу динамического звена относятся потенциметрические датчики?

Литература

1. Бохан, Н.И., Основы автоматики и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев. – Минск : Ураджай, 1987.

Лабораторная работа № 6 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.

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 6.1. 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.

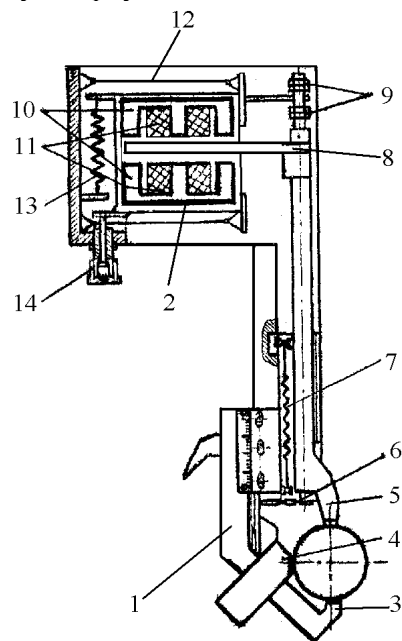


Рисунок 6.1

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 6.2.

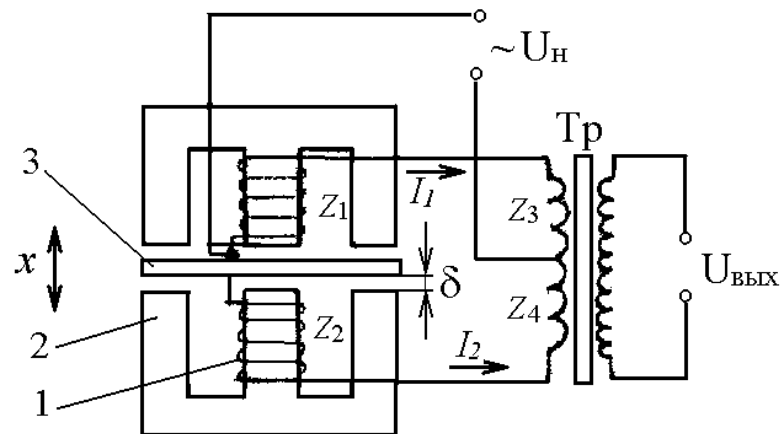


Рисунок 6.2

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_n . 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 6.2) 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 управле-

ния. 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 прогрева 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 6.3.

Станок включается кнопкой SB1 «Пуск» (установлена на станке). Срабатывает магнитный пускатель КМ1 и своими силовыми контактами КМ1.1 включает приводной двигатель Д станка (асинхронный, трехфазный). Одновременно с помощью блок-контакта пускатель КМ1 становится на самопитание.

При изменении диаметра вала изменяется входной сигнал X индуктивного преобразователя датчика (перемещение измерительного штока). Сигнал x преобразуется преобразователем Π 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 команде, срабатывает реле КV1 и включает сигнальную лампочку предварительной команды (в лабораторной установке сигнал предварительной команды для управления станком не используется).

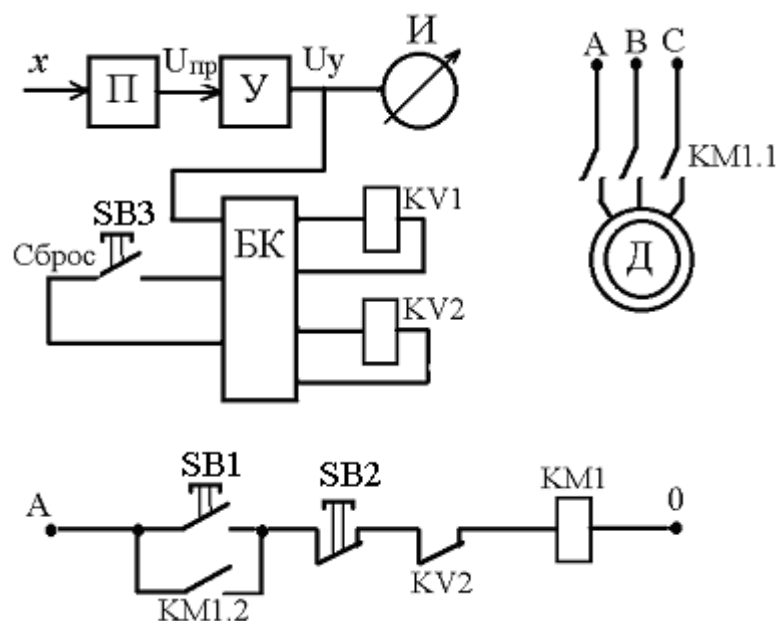


Рисунок 6.3

При достижении диаметром вала эталонного значения, которому соответствует нулевое (с соответствующей корректировкой) по-

казание индикатора, срабатывает реле окончательной команды КV2. Контакт реле КV2 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 левой 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.

Контрольные вопросы

1. Назначение и принцип действия индуктивных преобразователей. Назначение и принцип действия прибора АК-3М.

3. Схема и принцип действия дифференциального индуктивного преобразователя.

4. Нарисовать и объяснить схему системы автоматического контроля и управления станком на базе прибора АК-3М.

5. Чем объясняется наличие ошибки при автоматическом управлении станком?

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.

Литература

1. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов. – Москва : Колос, 2001.
2. Бохан, Н.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев. – Минск : Ураджай, 1987. – 376 с.
3. Бородин, И.Ф. Технические средства автоматики / И.Ф. Бородин. – Москва, Колос, 1982.

Лабораторная работа № 7 Изучение 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 перемещающимися или поворотным якорем (рисунок 7.1а, б, в); б) с перемещающейся обмоткой (обмотка находится на якоре) (рисунок 7.1г, д). Датчики этого типа позволяют получить любое напряжение на выходе нагрузки независимо от величины напряжения источника питания. Во вторичной обмотке W_2 (рисунок 7.1а) датчика индуцируется ЭДС E_2 , величина которой находится в определенной зависимости от величины зазора δ . При $I = \text{const}$,

$$E_2 = wW_2\Phi = f(\delta), \quad (7.1)$$

где w – угловая частота,

Φ – магнитный поток.

На рисунке 7.1б приведена схема трехстержневого датчика с поворотным якорем. 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:

$$U_{\text{вых}} = k\alpha. \quad (7.2)$$

Для трансформаторного датчика соленоидного типа (рисунок 7.1в):

$$U_{\text{ВЫХ}} = kU_1 \frac{W_2}{W_1} x_{\text{ВЫХ}}, \quad (7.3)$$

где $x_{\text{ВЫХ}} = (0,1-0,2)L$.

Чувствительность трансформаторных преобразователей составляет 0,5–3 мВ/мк на 1В первичного напряжения. Для измерения угловых перемещений трансформаторные датчики выполняются часто в виде электрических машин (вращающиеся трансформаторы, сельсины), у которых первичная обмотка располагается на статоре, 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 7.1а) и режима линейного вращающегося трансформатора (ЛВТ).

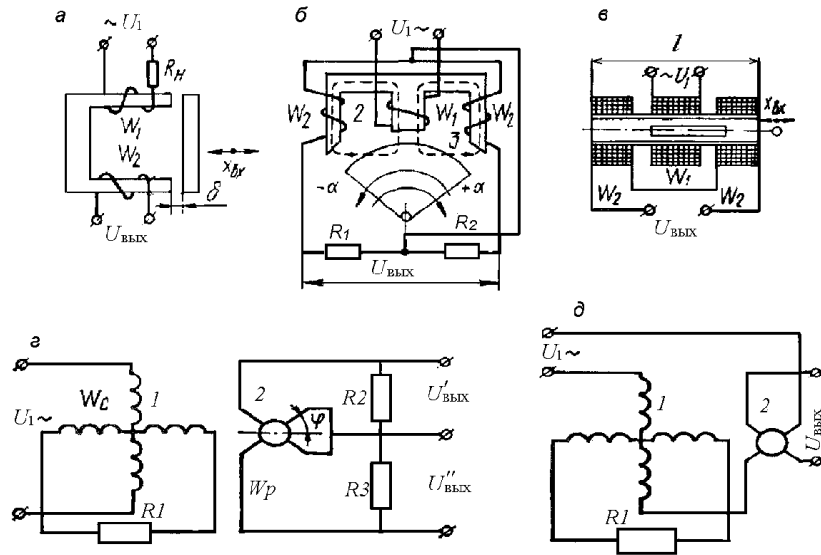


Рисунок 7.1 – Схемы подключения трансформаторных датчиков

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 свя-

занных 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 является ротор и статор (рисунок 7.2).

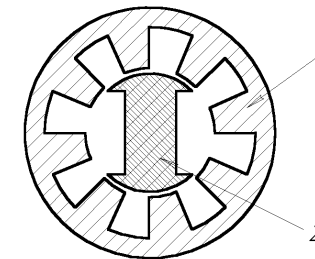


Рисунок 7.2 – Общий вид сельсина

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 7.3а) и индикаторном (рисунок 7.3б).

Трансформаторный режим работы сельсинов применяется при их использовании в качестве датчиков угла рассогласования следящих систем. 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.

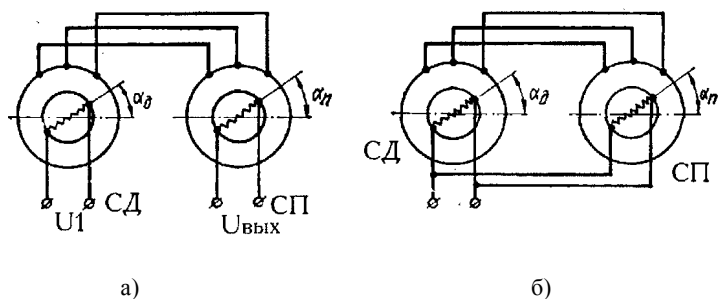


Рисунок 7.3 – Схемы соединения обмотки сельсинов:
а) трансформаторный режим, б) индикаторный режим

Магнитный поток Фсд направлен против потока Фрд. Если повернуть на некоторый угол α_d ротор СД, то на такой же угол повернутся магнитные потоки Фрп и Фсд. По обмоткам статора сельсина-приемника (СП) потекут те же токи, что и по обмоткам статора СД, и создадут магнитный поток Фсп который будет поворачиваться на тот же угол α_d . 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 $\alpha = \alpha_d - \alpha_n$. При малых углах рассогласования:

$$U_2 = K_2 \alpha. \quad (7.4)$$

Если в формуле (7.4) выходное напряжение выразить в вольтах и угол рассогласования α в градусах, то

$$K_2 = (\pi / 180) U_m, \text{ в/град.} \quad (7.5)$$

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 7.3б) используется для дистанционной синхронной передачи угла поворота от одного вала к другому.

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:

$$M_c = M_{уд} \Delta\alpha, \quad (7.6)$$

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

Выражение для статической ошибки сельсинной самосинхронизирующей передачи имеет вид

$$\Delta\alpha_{ст} = M_n / M_{уд} + \Delta\alpha_{пр}, \quad (7.7)$$

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

Трансформаторный режим

1. Собрать схему работы сельсинов в трансформаторном режиме по схеме рисунка 7.3а. Тумблер SA2 при этом должен быть установлен в положение «Трансформаторный режим», тумблер SA3 – в положение «Холостой ход», а тумблер SA4 в положение «Вкл.». Включение напряжения питания производится тумблером SA1 с надписью «Сеть». Согласовать стрелки СД и СП в одинаковое положение (это положение считать нулевым).

2. Определить и построить зависимости выходного напряжения и тока от угла рассогласования, для чего необходимо, застопорив ротор сельсина-приемника, поворачивать вручную из согласованного положения ротор сельсина-датчика через 30° от 0° до 360° и производить запись напряжения U_2 по вольтметру PV2 и тока I_2 по амперметру PA1.

Данные измерений занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1

α	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
U_2													
I_2													

Построить зависимость $U_2 = f(\alpha)$ и $I_2 = f(\alpha)$.

3. Перевести тумблер SA3 в положение «Нагрузка» и повторить пункт 2. Результаты измерений занести в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

α	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
U_2													
I_2													

Индикаторный режим

1. Исследование работы сельсинов в индикаторном режиме проводится по схеме рисунка 7.3б. Тумблер SA3 должен быть переведен в положение «Холостой ход». Тумблер SA2 должен быть переведен в положение «Индикаторный режим», а тумблеры SA4 уста-

новить в положение «Выкл.». Включить напряжение питания обмоток сельсинов тумблером SA1 с надписью «Сеть» и перед началом опыта проверить, совпадает ли нуль шкалы датчика с нулевым показанием стрелки приемника.

2. Снять кривую ошибки, для чего постепенным поворотом ротора датчика задаются углы от 0° до 360° через каждые 30° и производится запись углов поворота ротора приемника α_n , значения которых заносятся в таблицу 7.3.

Таблица.7.3

α	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
α_n													
$\Delta\alpha$													

Разность $\Delta\alpha = \alpha_n - \Delta\alpha$ и дает погрешность системы при данном расположении роторов.

Точность сельсина определяется путем сложения абсолютных значений максимальной положительной и максимальной отрицательной погрешностей и деление их суммы на два.

3. Определить величину и построить зависимость синхронизирующего момента от угла рассогласования, для чего на платформу, подвешенную к оси ротора приемника через шкив радиусом $R = 34$ мм, постепенно укладываются различные грузы. Поворачивая ось сельсина-датчика, при каждом значении груза определяют угол, при котором происходит перемещение ротора приемника. Измерения производятся с трехкратной повторностью и результаты заносят в таблицу 7. 4.

Таблица 7.4

M , гр					
α					

Синхронизирующий момент определяется по формуле:

$$M_c = PR, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где P – вес груза.

Удельный синхронизирующий момент:

$$M_{уд} = M_c / \alpha, \text{ Нм/град.}$$

Величины M_c и $M_{уд}$ определяются при надежном закреплении оси ротора датчика (такая возможность предусмотрена в конструкции стенда).

Результаты расчетов, измерений и графики зависимостей заносятся в отчет.

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?

Литература

1. Бохан, Н.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Н.И. Бохан. – Минск : Ураджай, 1987.
2. Бородин, И.Ф. Практикум по основам автоматики и автоматизации производственных процессов / И.Ф. Бородин, Н.И. Кирилин. – М.: Колос, 1974.
3. Ванюрихин, Г.И. Основы автоматического управления / Г.И. Ванюрихин [и др.]. – Москва : Изд. Министерства обороны СССР, 1972.
4. Загинайлов В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов – Москва : Колос, 2001.

Лабораторная работа № 8 Исследование 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

$$E = LnB, \quad (8.1)$$

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

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

$$E = LnBW. \quad (8.2)$$

На этом принципе основаны все тахогенераторы постоянного тока. На рисунке 8.1а 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.

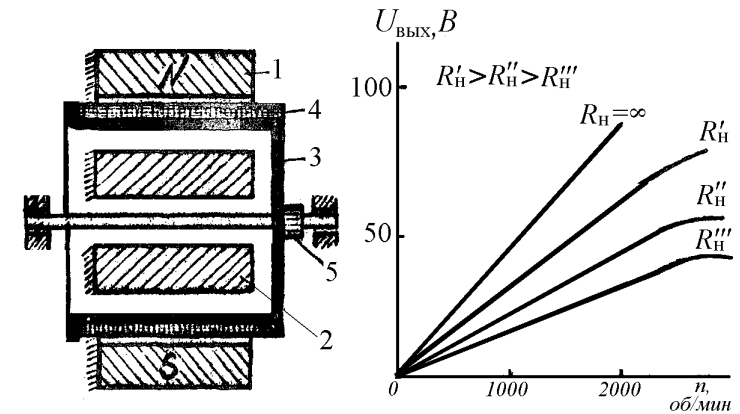


Рисунок 8.1 – Конструкция тахогенератора постоянного тока, зависимость выходного напряжения тахогенератора от частоты вращения

При вращении якоря в магнитном поле со щеток коллектора снимается ЭДС, определяемая из выражения

$$E = K_e \Phi n, \quad (8.3)$$

$$K_e = \frac{PW}{2\pi d}, \quad (8.4)$$

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

$$U = E - I_n R_n, \quad (8.5)$$

где I_n – ток нагрузки,

$$I_n = \frac{E}{R_n + R_y};$$

$R_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря.

Уменьшение напряжения U вызывается также магнитным потоком реакции якоря:

$$\Phi_{\text{р.я}} = K_{\text{р.я}} I_{\text{н}} n. \quad (8.6)$$

Магнитный поток реакции якоря $\Phi_{\text{р.я}}$ направлен встречно основному потоку и уменьшает результирующий поток возбуждения тахогенератора. Поэтому линейность статической характеристики сохраняется в ограниченном диапазоне скоростей вращения. Это видно из рисунка 8.1б.

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

Величина, определяемая выражением

$$S = \Delta U / \Delta n, \quad (8.7)$$

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 8.2.

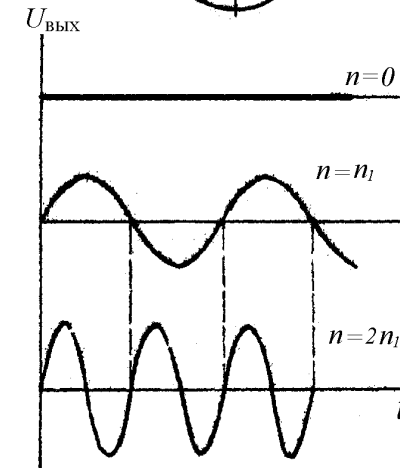
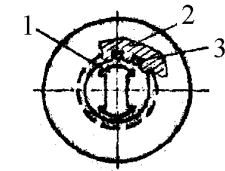


Рисунок 8.2 – Конструкция синхронного тахогенератора; зависимость выходного напряжения тахогенератора от частоты вращения

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 8.2.

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 8.3.

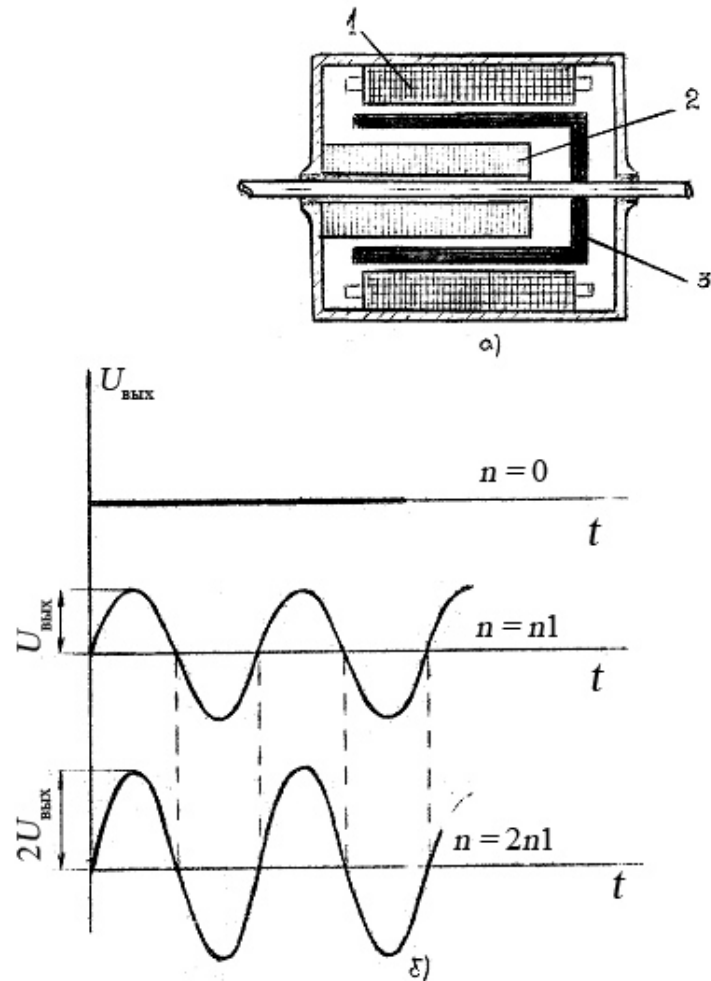


Рисунок 8.3 – Тахогенератор асинхронный

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

На статоре 1 расположены две обмотки, сдвинутые относительно друг друга на 90° . Одна из них является обмоткой возбуждения, другая выходной обмоткой. Ротор 3 тахогенератора выполнен в ви-

де тонкостенного стакана, который вращается между статором 1 и внутренним неподвижным ферромагнитным сердечником 2. Обмотка возбуждения питается от сети переменного тока; в выходной обмотке наводится ЭДС переменного тока, амплитуда которой пропорциональна скорости вращения ротора, а частота равна частоте сети, питающей обмотку возбуждения. При изменении направления вращения фаза выходного напряжения меняется на обратную. Из рисунка 8.3 видно, что при различных значениях скорости вращения частота выходного напряжения не меняется, а меняется только его амплитуда.

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.

Импульсный индукционный датчик частоты вращения

Для измерения частоты вращения применяются также импульсные индукционные датчики (рисунок 8.4), 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 используются 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.

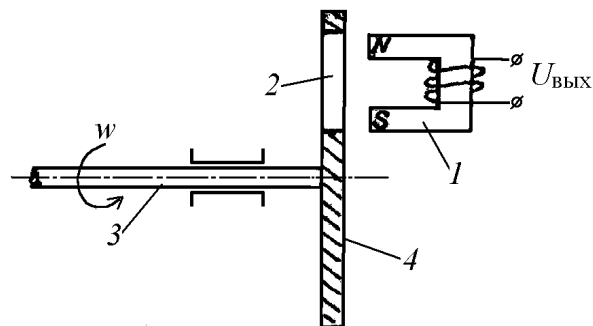


Рисунок 8.4 – Импульсный индукционный датчик частоты вращения

Структурная схема цифрового тахометра приведена на рисунке 8.5.

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.

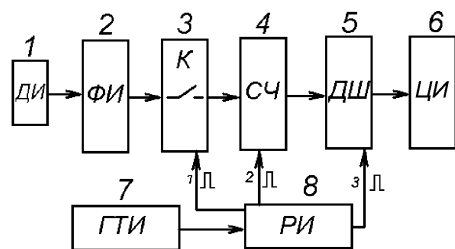


Рисунок 8.5 – Структурная схема цифрового тахометра

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

$$f = n_1 m, \quad (8.8)$$

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 умножать на 3, чтобы получить значение частоты вращения в об/мин. Если использовать крыльчатку с 60 зубьями, то $n = f$.

Описание лабораторной установки

Установка состоит из двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением 1, регулятора 2, тахогенератора постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита 3, вольтметра постоянного тока 4, индукционного импульсного датчика частоты вращения 5 и цифрового частотомера ЧЗ-35А. На валу двигателя насажены стальная крыльчатка с 20 зубьями и тахогенератор. Рядом с крыльчаткой закреплен индукционный датчик. Крыльчатка при вращении замыкает и размыкает постоянный магнитный поток, создаваемый магнитной системой индукционного датчика, в результате чего в его обмотке наводятся импульсы напряжения, частота которого пропорциональна частоте вращения вала двигателя. Частота вращения двигателя изменяется при помощи регулятора напряжения 2. Напряжение на выходе тахогенератора измеряется вольтметром постоянного тока 4 и цифровым вольтметром 7, а частота импульсов индукционного датчика измеряется цифровым частотомером ЧЗ-35А.

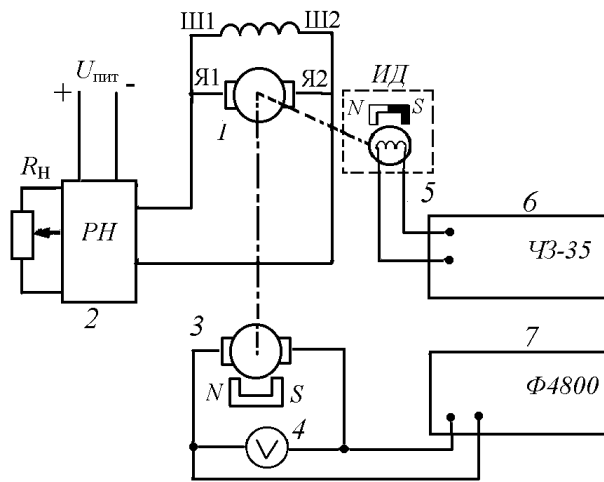


Рисунок 8.6 – Схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

1. Снять и построить зависимость напряжения на выходе тахогенератора от частоты вращения об/мин.

Напряжение измерять вольтметром. Положение органов управления частотомера ЧЗ-35А должно быть следующим:

- переключатель «время измерения» в положение «1S»;
- переключатель «род работы» в положение «частота А».

Для снятия характеристики $U_{ТГ} = f(n)$ следует:

- включить частотомер 43-35А тумблером «Сеть»;
- включить установку тумблером «Сеть»;
- изменяя частоту вращения двигателя ручкой регулятора напряжения записывать значения напряжения на выходе тахогенератора по вольтметру и значения частоты импульсов по частотомеру в таблицу 8.1. Отсчет показаний производить через 1 В по вольтметру до 15 В.

2. Частоту вращения, об/мин., определить как $n = 3f$ и занести в таблицу 8.1.

Таблица.8.1.

№	$U_{ТГ}$, В	f , Гц	n , об/мин
1			
2			
...			
15			

3. Произвести обработку результатов и измерений.
4. Построить зависимость $U_{ТГ} = f(n)$.
5. Определить чувствительность тахогенератора:

$$K_{СТ} = \Delta U / \Delta n.$$

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. Преимущества и недостатки тахогенераторов постоянного и переменного тока.
5. Чем обусловлено наличие статической ошибки в тахогенераторах?

Литература

1. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.Н. Шеполова – Москва : Колос, 2001.
2. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, А.А. Рысс – Москва : Колос, 1996.
3. Бохан, Н.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Н.И. Бохан. – Минск : Ураджай, 1987. – 376 с.

Лабораторная работа № 9 Исследование автоматической системы регулирования температуры в сушильной камере

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.

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.

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 9.1. Позиционные обозначения основных функциональных элементов потенциометра А1 рассмотрены в лабораторной работе № 3.

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 9.1) 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.

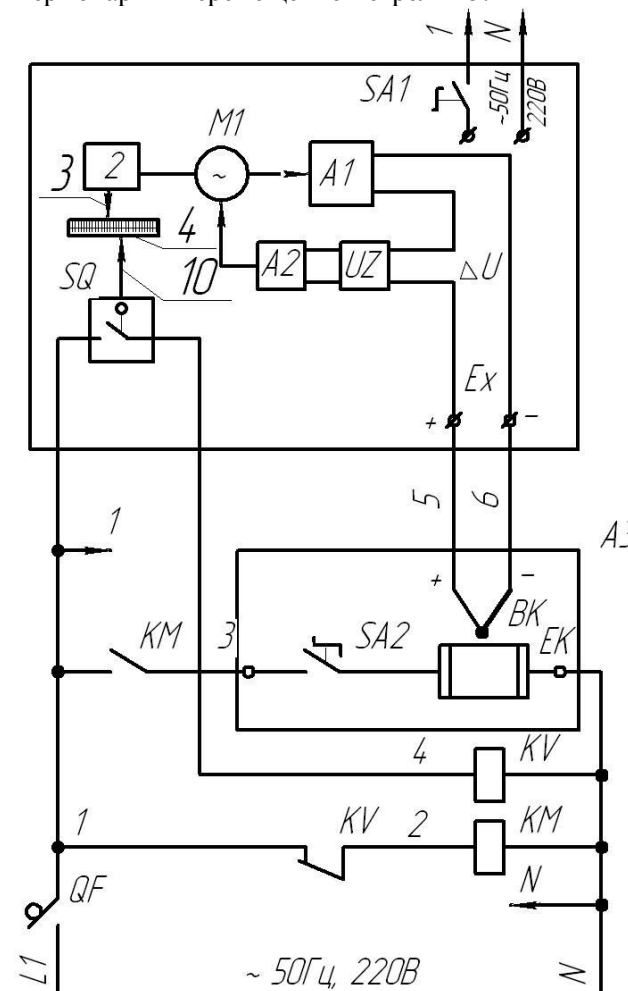


Рисунок 9.1 – Принципиальная схема САРТ температуры

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 EK 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) A1. Одновременно стрелка 3 перемещается на величину, пропорциональную изменению температуры. Когда температура в печи повысится до заданного значения T_3 , 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 EK печи от сети.

Некоторое время после отключения нагревателя EK 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.

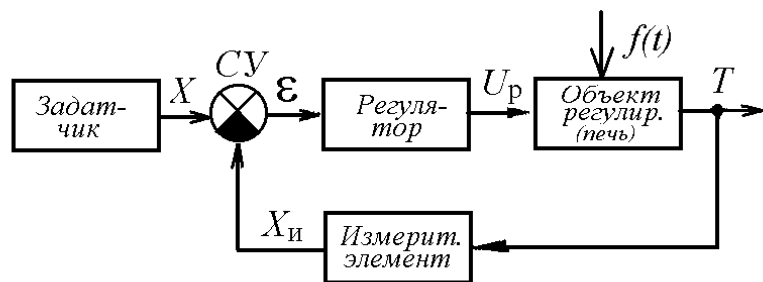


Рисунок 9.2 – Функциональная схема САРТ

Функциональная схема САРТ приведена на рисунке 9.2. 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 эле-

ментом является прибор А (КСП-4) с термопарой ВК. Измерительный элемент преобразует температуру T в положение X_u подвижной стрелки (указателя) 3 (см. рисунок 9.1.), 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_u) относительно шкалы 4 прибора А. Разность положений стрелок $X - X_u = \varepsilon$ 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 9.3а). При $B = 0$ регулятор называют идеальным двухпозиционным (рисунок 9.3б).

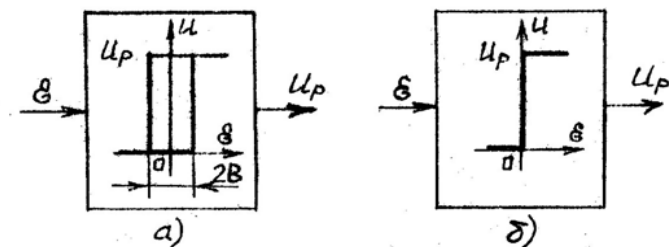


Рисунок 9.3 – Статическая характеристика двухпозиционного регулятора: а – с зоной нечувствительности $2B$; б – идеального ($2B = 0$)

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 9.4). На графике: T_0 – начальное значение температуры; T_3 – заданное значение температуры.

Качество САР по переходной характеристике оценивается следующими показателями (см. рисунок 9.4):

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

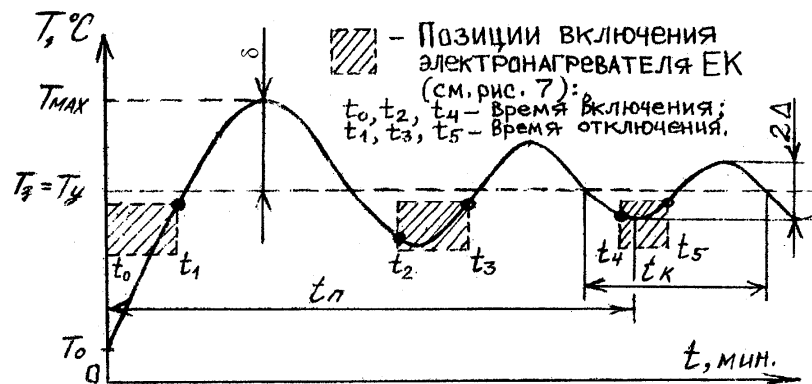


Рисунок 9.4 – Переходная характеристика САРТ

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 быстродействие 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. переходный 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_n . 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 вовсе не допускаются. При $1 < C < 2$ запас устойчивости САР считается достаточным. Переходный 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.

Задачи работы

1. Изучить принцип действия релейной системы автоматического регулирования температуры.
2. Составить принципиальную и функциональную схемы САРТ.

3. Изучить показатели качества процесса регулирования.
4. Определить экспериментально переходную характеристику САРТ и показатели качества регулирования температуры.

Методика исследования

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 9.5.

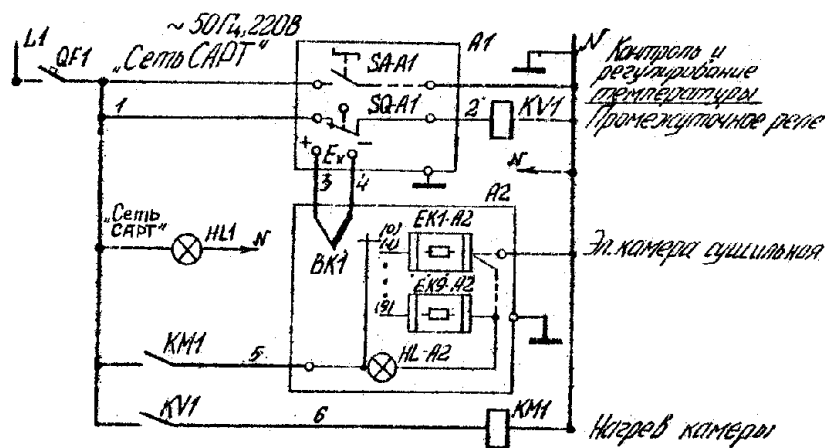


Рисунок 9.5 – Электрическая принципиальная схема лабораторной установки

Она состоит из сушильной камеры А2 (объект САРТ) с терморепарой ВК1, настенного автоматического выключателя QF1, потенциометра А1 (КСП-4), а также настенного стенда – пульта управления. Внутри пульта установлены магнитный пускатель КМ1 и промежуточное реле КВ1, являющиеся функциональными элементами САРТ.

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 V. 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 9.1.

Таблица 9.1

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 А2.

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

7. Определить показатели качества процесса регулирования.

Содержание отчета

1. 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. Какие бывают переходные характеристики САР по управляющему воздействию.

5. Назначение внутренней обратной связи в автоматическом потенциометре КСП-4. Положительна или отрицательна эта связь?

6. Что покажет потенциометр КСП-4, если в нем отключить внутреннюю обратную связь?

7. Какими параметрами характеризуется качество процессов регулирования? Их графическое определение.

Литература

1. Бохан, Н.И. Основы автоматики и микропроцессорной техники : учеб. пособие / Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев. – Минск : Ураджай, 1987 – 376 с.

2. Крамарухин, Ю.Е. Приборы для регулирования температуры / Ю.Е. Крамарухин. – Москва : Машиностроение, 1990. – 208 с.

3. Олейник, Б.Н. Приборы и методы температурных измерений / Б.Н. Олейник [и др.]. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 296 с.

4. Преображенский, В.Н. Теплотехнические измерения и приборы / В.Н. Преображенский. – 3-е изд. перераб. – Москва : Энергия, 1978 – 704 с.

5. Бохан, Н.И. Технические средства автоматики и телемеханики / Н.И. Бохан [и др.]. – Москва : Агропромиздат, 1992.

6. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов. – Москва .: Колос, 2001. – 200 с.

Лабораторная работа № 10 Исследование статической и астатической систем регулирования уровня жидкости

Цель работы: изучить автоматическую систему статического и астатического регулирования уровня воды в водонапорном баке (модель); экспериментально снять динамические характеристики автоматических систем статического и астатического регулирования; определить абсолютную и относительную статические ошибки, величину неравномерности системы.

Общие сведения

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:

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

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

Для астатических систем за номинальное значение выходной величины принимается среднее арифметическое:

$$H_{\text{ном}} = \frac{H_{\text{min}} + H_{\text{max}}}{2}. \quad (10.1)$$

Абсолютная статическая ошибка САР определяется из выражения:

$$H = H_i - H_{\text{ном}}, \quad (10.2)$$

где H_i – любое установившееся значение регулируемой величины.

Относительная ошибка определяется по формуле:

$$H_{\text{отн}} = \frac{H}{H_{\text{н}}} = \frac{H_i - H_{\text{ном}}}{H_{\text{ном}}}. \quad (10.3)$$

Неравномерность системы регулирования определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{H_{\text{max}} - H_{\text{min}}}{H_{\text{ном}}}. \quad (10.4)$$

Описание лабораторной установки

Автоматическая система статического регулирования рисунок 10.1а (схема стенда рисунка 10.3) представляет собой систему прямого регулирования, состоящую из объекта управления 2 (бак для воды Б2) и регулирующего устройства, состоящего из поплавка 1 (П1), рычага 7 и регулирующего органа 3 (крана К1). Изменение количества вытекающей воды из бака осуществляется краном 4 (КР1), установленном на сливном трубопроводе. При работе системы вода сливается в бак (Б4).

Количество воды Q (возмущающее воздействие), вытекающей из бака, пропорционально величине открытого крана 4 (КР1). Величина проходного отверстия крана определяется по лимбу (0 %, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %). Задание уровня воды осуществляется с помощью изменения длины рычага 6 поплавка.

Отсчет времени от одного установившегося состояния до другого производится с помощью секундомера.

Для снижения давления воды, поступающей в бак, служит редуктор 5 (ВН1).

Автоматическая система астатического регулирования (рисунок 10.1б) представляет собой систему непрямого регулирования, состоящую из объекта регулирования 2 (Б3) (в лабораторной установке используется вторая половина бака, как объект регулирования) и регулирующего устройства, состоящего из поплавка 1 (П2) со штоком 6, регулирующего устройства 3 (контактная группа 7 (SF1.1, SF1.2) и электромагнитный клапан 12 (YA)). Питание системы осуществляется от сети переменного тока через выпрямитель ВСА-5М.

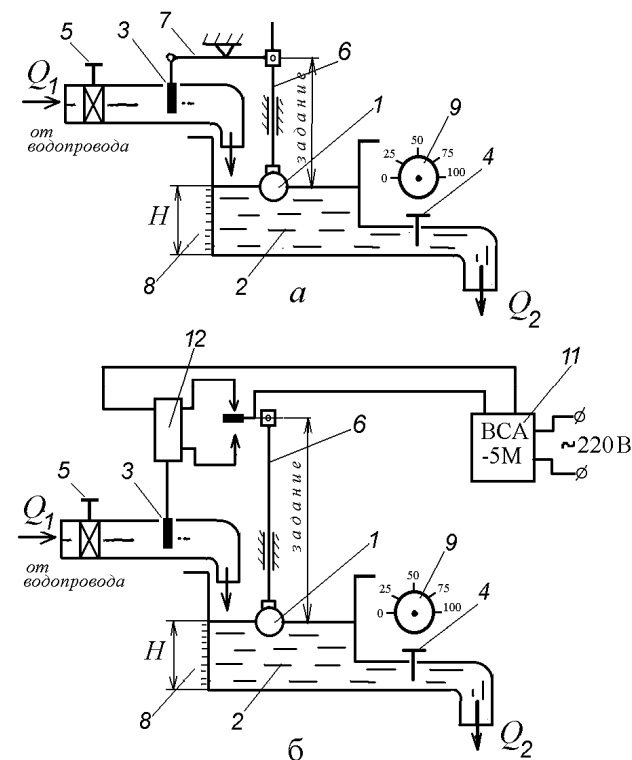


Рисунок 10.1 – Принципиальные схемы САР:
а) статическая САР; б) астатическая САР

Задание уровня воды в баке зависит от длины штока 6 поплавка 1. Зона нечувствительности системы определяется расстоянием между неподвижными контактами 7 (SF1.1, SF1.2). При увеличении расхода воды из бака Q поплавков 1, опускаясь вниз, замыкает нижний контакт 7 (включает реле КМ3, а контакт реле КМ3.1 включает электромагнитный клапан YA), который поднимет регулирующий орган 3 и откроет проходное сечение на подводящем трубопроводе для прохода воды Q , поступающей в бак. При увеличении уровня до заданного замыкается верхний контакт 7 (SF1.1, включается реле КМ2 и контактом КМ2.2 выключает реле КМ3, а следовательно, и электромагнитный клапан). Количество вытекающей воды бака осуществляется краном 4 (КР2) с лимбом (0, 25 %, 50 %, 75 %, 100 %) определяющим проходное отверстие крана. Уровень воды в баке определяется по линейке 8.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомьтесь с конструктивным исполнением установки (рисунок 10.3) автоматических систем статического и астатического регулирования и зарисуйте их принципиальную схему (рисунок 10.1).

2. Включите блок питания.

3. Откройте кран ВН1 (рисунок 10.3) и дождитесь установившегося уровня воды в баках Б2 и Б3 по линейкам с миллиметровыми делениями.

4. Снимите зависимости $H = f(t)/Q = Q_i$ и занесите в таблицу при открытом кране КР1 (КР2) на 25 % и одновременном начале фиксации времени, где t – время, мин; H – уровень воды в баке, мм; Q – нагрузка объекта регулирования, (% открытия крана Q_i – 25 %, 50 %, 75 %, 100 %).

Таблица 10.1.

t , мин	0	1	2	3	4	5	6	7
H (мм) при $Q = 25 \%$								
H (мм) при $Q = 50 \%$								
H (мм) при $Q = 75 \%$								
H (мм) при $Q = 100 \%$								

Примечание: Измерения производятся до стабилизации уровня воды в баке H в течение 3-х минут.

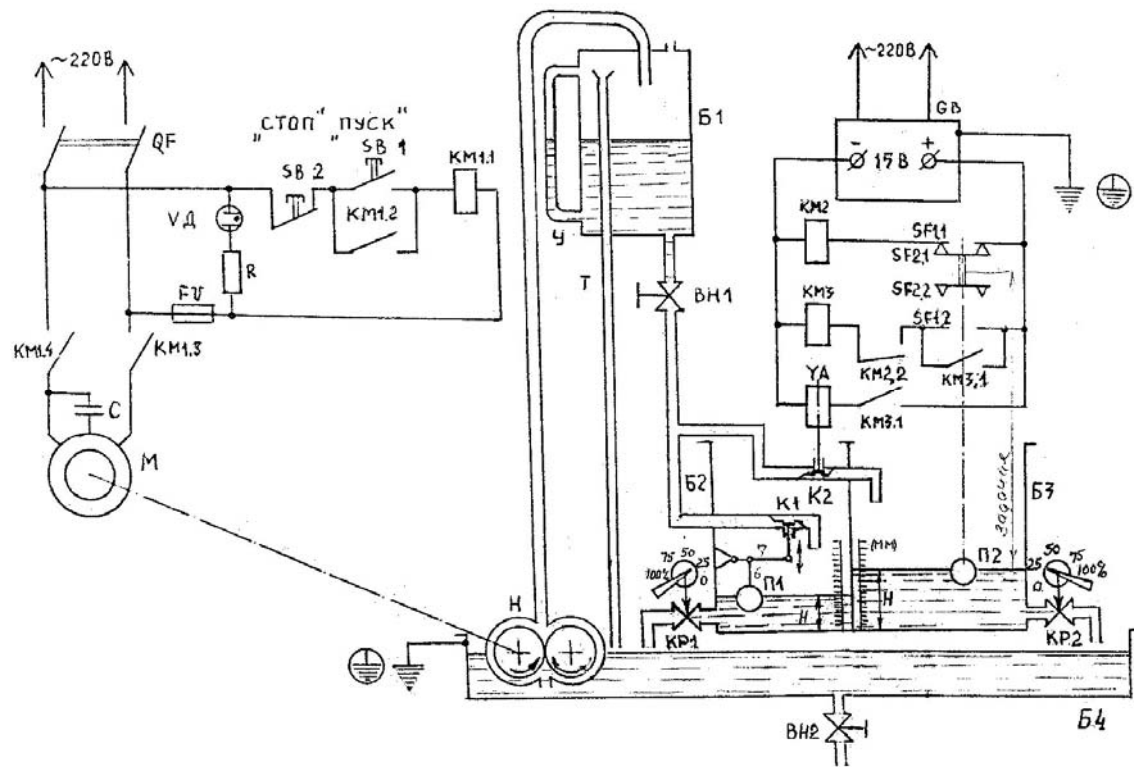


Рисунок 10.3 – Схема лабораторной установки

Закройте кран КР1 (КР2) и дождитесь установления первоначального значения уровня воды в баке. Затем откройте кран на 50 % и снимите показания, и так при 75 % и 100 % открытия крана.

5. Постройте по экспериментальным данным динамические характеристики $H = f(t)$ при $Q_p = 25\%$, 50 %, 75 %, 100 %, и статическую $H_{уст} = f(Q_2)$. Определите по графику $H_{ст} = H_0 - H_i$, где $i = 25\%$, 50 %, 75 %, 100 %. Ориентировочный вид зависимостей приведен на рисунке 10.2.

6. Определите параметры характеристик по формулам 10.1–10.4. Опыт проведите со статической и астатической системами регулирования.

Примечание – Во время работы следите за уровнем воды в верхнем баке Б1 по мерной трубке. При снижении уровня до нижнего предела включите кнопкой «Пуск» насос для перекачки воды с бака Б4 в бак Б1.

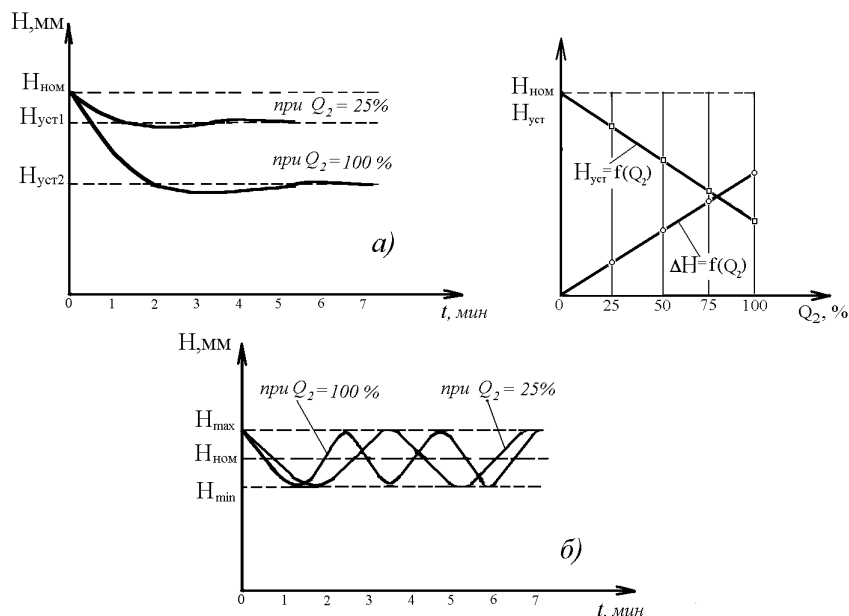


Рисунок 10.2 – Характеристики САР

Контрольные вопросы

1. Дать определения статической и астатической систем регулирования.
2. Охарактеризовать основные свойства статической и астатической систем.
3. К какому типу динамического звена относится поплавковый датчик уровня?
4. Дать определение прямого и косвенного регулирования.

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.

Литература

1. Загинайлов, В.И. Основы автоматике / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов. – Москва : Колос, 2001. – 200 с.
3. Бохан, Н.И. Основы автоматике и микропроцессорной техники : учебн. пособие / Н.И. Бохан, Р.И. Фурунжиев. – Минск : Ураджай, 1987. – 376 с.

Лабораторная работа № 11 Электрическая коммутационная аппаратура

Цель работы: изучить устройство и принцип действия кнопок управления, переключателей, автоматических выключателя, реле и магнитных пускателей; 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 электрически, пружину *3* и толкатель *4* (рисунок 11.1а).

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 11.1.

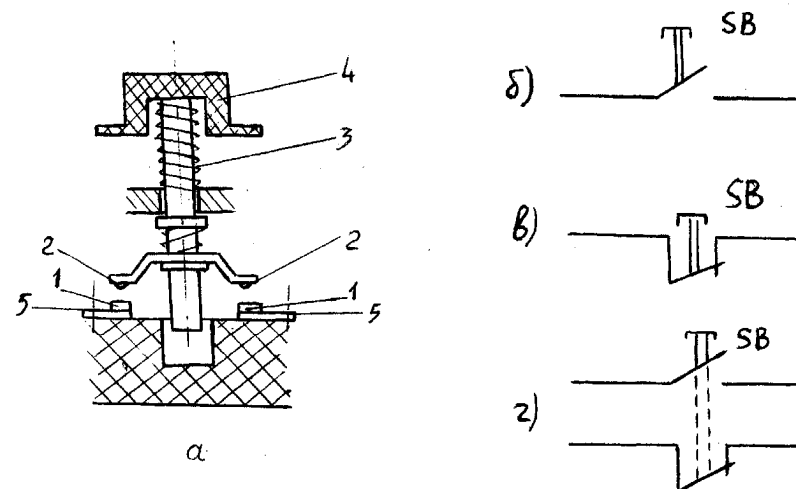


Рисунок 11.1 – Кнопка управления:
а – общий вид; *б* – кнопка с замыкающим контактом;
в – кнопка с размыкающим контактом;
г – кнопка с замыкающим и размыкающим контактом

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 11.2. 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.

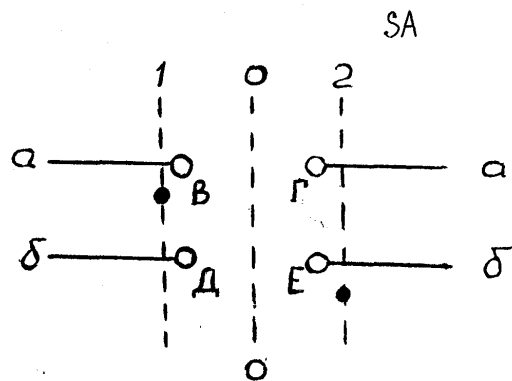


Рисунок 11.2 – Условное обозначение трехпозиционного переключателя

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.

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 11.3а.

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.

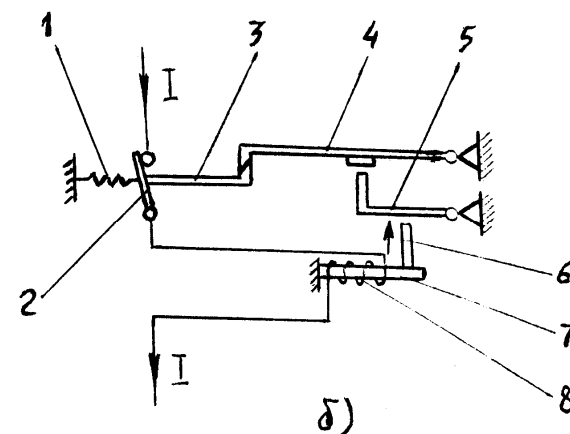
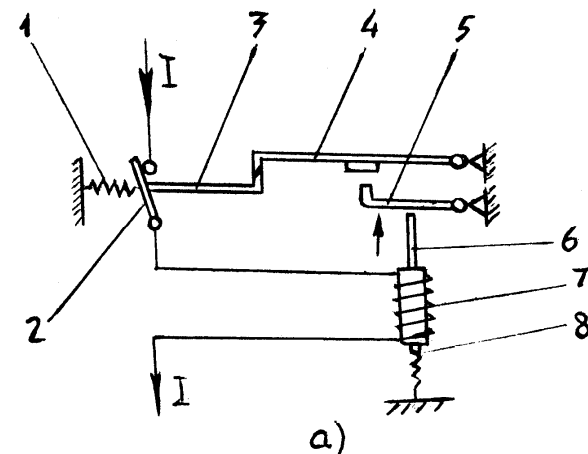


Рисунок 11.3 – Устройство электромагнитного (а) и теплового (б) расцепителей автоматического выключателя

Защита установок, подключенных к электрической сети, от длительных перегрузок осуществляется тепловыми расцепителями (рисунок 11.3б).

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 11.4а показано условное обозначение однополюсного автомата, на рисунке 11.4б – трехполюсного.

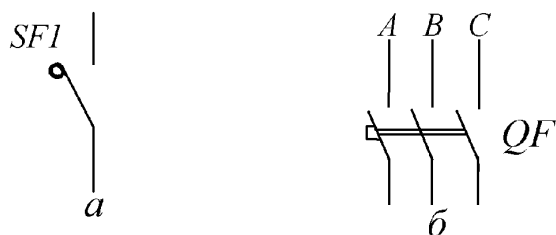


Рисунок 11.4 – Условное обозначение автоматических выключателей на схемах

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 11.5а.

Подвижный якорь 1 притягивается к неподвижному сердечнику 2 электромагнита, по обмотке 3 которого протекает ток. Перемещение якоря приводит к замыканию контактов 5. При отсутствии тока в обмотке 3 якорь 1 и контакты 5 возвращаются в исходное состояние усилием противодействующей пружины 4. Чтобы под влиянием остаточного магнитного потока якорь не оставался притянутым к сердечнику 2, на якоре закреплен из немагнитного материала штифт отлипания 6. Якорь, сердечник и ярмо 7 реле изготовлены из магнитомягкого материала. Статической характеристикой (рисунок 11.5б) реле является зависимость (Y) состояния его контактов (замкнуты, разомкнуты) от величины напряжения (U) на его обмотке.

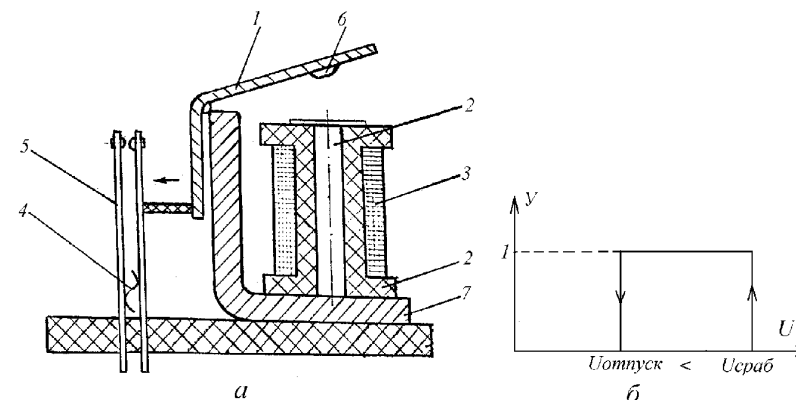


Рисунок 11.5 – Электромагнитное реле

Параметрами реле являются значения напряжения (тока) срабатывания и отпускания. Вследствие явления магнитного гистерезиса значения напряжения отпускания ($U_{отп}$) всегда меньше напряжения срабатывания ($U_{ср}$). По роду тока в обмотке различают электромагнитные реле постоянного и переменного тока. Условное обозначение электромагнитных реле на принципиальных схемах показано на рисунке 11.6.

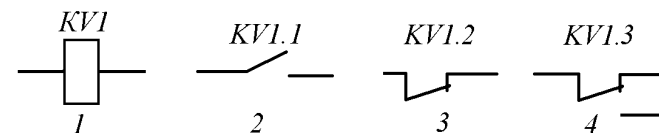


Рисунок 11.6 – Условное обозначение электромагнитного реле на схемах

На принципиальных схемах изображают катушку KV1 реле и его контакты: KV1.1 – замыкающий; KV1.2 – размыкающий; KV1.3 – 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 11.7 показана схема одного полюса контактора.

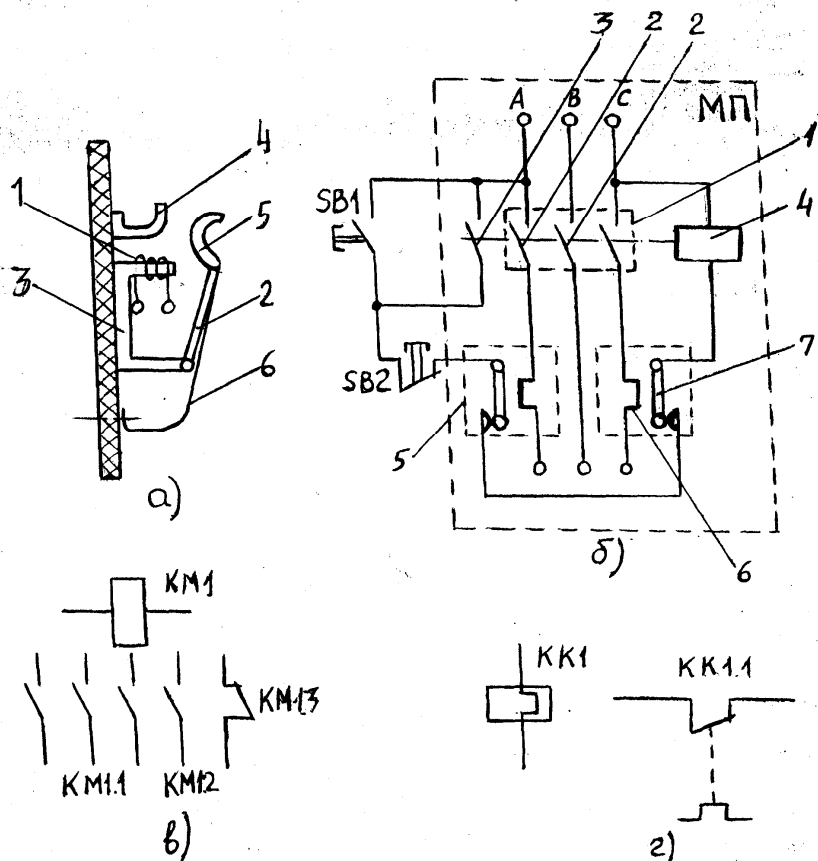


Рисунок 11.7 – Схема контактора (а), принципиальная схема подключения магнитного пускателя (б), условное обозначение контактора и магнитного пускателя (в), теплового реле (г)

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.

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 11.7в:

- KM1 – катушка контактора;
- KM1.1 – главные (силовые) контакты контакторов;
- KM1.2, KM1.3 – 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 11.7б).

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 KM1, главные контакты KM1.1 и вспомогательные KM1.2 и KM1.3 (рисунок 11.7в).

Условное обозначение теплового реле на принципиальной схеме приведено на рисунке 11.7г, где KK1 – нагревательные элементы, KK1.1 – 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 11.8 приведена схема управления нереверсивным асинхронным электродвигателем. При нажатии кнопки SB1 замыкается

цепь питания обмотки магнитного пускателя КМ1. При срабатывании пускателя замыкаются контакты КМ1.1 и КМ1.2 и последний шунтирует кнопку SB1. Отключение двигателя производится нажатием кнопки SB2, разрывающей цепь питания обмотки пускателя.

Блок-контакт КМ1.2 обеспечивает защиту двигателя от повторного самозапуска при исчезновении и восстановлении напряжения сети.

Защита двигателя от перегрузок осуществляется тепловыми реле, нагревательные элементы КК1 и КК2 которых включены в две фазы статора двигателя, а контакты КК1.1 и КК2.1 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.

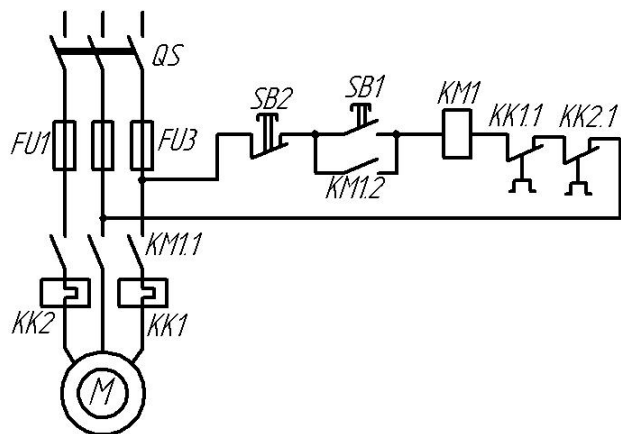


Рисунок 11.8 – Схема управления нереверсивным асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором

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.

Методика исследований

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 11.9).

В бункере 1 установлено два датчика нижнего (ДНУ) и верхнего (ДВУ) уровней корма. Первичным преобразователем датчика служит 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 (рисунок 11.10).

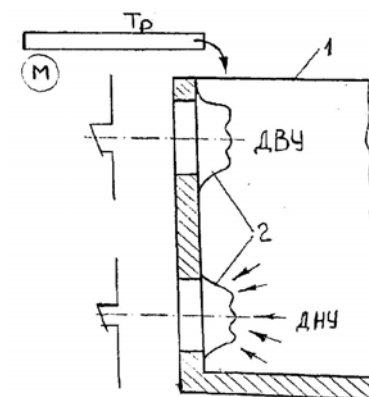


Рисунок 11.9 – Схема расположения датчиков уровня в загрузочном бункере
Схема может работать в ручном и автоматическом режимах. Выбор режима осуществляется с помощью трехпозиционного пере-

ключателя 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 11.8.

Автоматический режим управления осуществляется при постановке рукоятки переключения в положение 2.

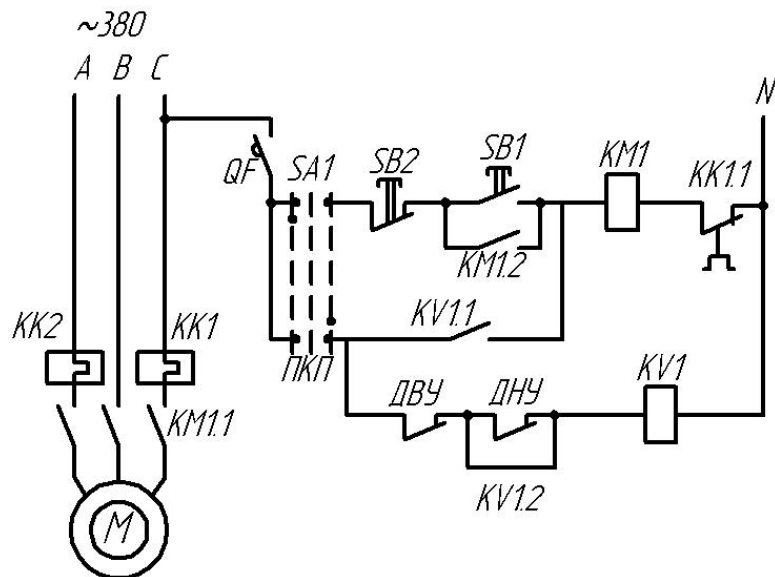


Рисунок 11.10 – Схема управления загрузочным транспортом

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 KV1 остается замкнутой благодаря замкнутому контакту KV2. При достижении кормом верхнего уровня установки ДВУ размыкает свой контакт и

цепь питания катушки KV1 размыкается. Катушка KV1 обесточивается и контакты KV1.1 и KV1.2 размыкаются, при этом пропадает напряжение на катушке KM1, размыкаются контакты KM1.1 и останавливается транспортер. При выгрузке корма из бункера вначале срабатывает ДВУ и его контакт замыкается, но цепь питания катушки KV1 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.

Литература

1. Бохан, Н.И. Средства автоматики и телемеханики / Н.И. Бохан [и др.]. – Москва : Агропромиздат, 1992.
2. ГОСТ 2.702–75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.
3. ГОСТ 2.701–81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.

Лабораторная работа № 12 Системы телемеханики

Цель работы: ознакомиться с системами телемеханики, изучить принципы передачи технологической информации, научиться составлять принципиальные схемы телемеханики.

Общие сведения

Телемеханикой – называют область техники и научную дисциплину, охватывающую теорию и технические средства преобразования и передачи на расстояние информации для управления производственными процессами.

В телемеханике принято выделять телеуправление, телесигнализацию, телеизмерение.

Системы телеизмерения – осуществляют передачу непрерывного ряда значений измеряемой величины для наблюдения за этими величинами или их регистрации.

Системы телесигнализации – передают различного рода дискретные сообщения о ходе производственных процессов: сигналы о достижении контролируемыми параметрами предельных значений, о возникновении аварийного состояния, о вводе в действие и выводе из работы технологического оборудования. Системы телеизмерения и телесигнализации называют еще системами телеконтроля.

Системы телеуправления – применяются для передачи команд управления производственными установками: включение и отключение оборудования, изменения нагрузки, скорости движения, регулирования подачи жидкостей и газов и т. д. В зависимости от характера команд передаваемые сообщения могут быть как непрерывными (например, плавное изменение нагрузки), так и дискретными (например, включение или отключение оборудования). В промышленных системах телеуправления в большинстве случаев применяется передача дискретных сообщений.

Разновидность систем телемеханики – телеавтоматика, которая обеспечивает управление объектами на расстоянии без непосредственного участия человека. В таких системах функции контроля и выработки сигналов управления обычно возлагаются на ЭВМ.

На рисунке 12.1 показана функциональная схема основных элементов системы телемеханики, в частности системы ТУ. Источник информации хранит и в соответствующее время выдает исходные данные, которые необходимо передавать на расстояние. Распреде-

литель (шифратор) в определенной последовательности подключает к передатчику цепи, с которых снимаются сигналы-приказы. Передатчик преобразует сигналы в тот вид, который удобен для передачи их по КС. Канал связи обеспечивает передачу закодированных сигналов на требуемое расстояние. Приемник воспринимает закодированные сигналы из КС и преобразует их в вид, удобный для передачи в избиратель. Избиратель (дешифратор) выбирает из большого числа закодированных сигналов тот, который был послан от источника информации, и преобразует его в величину, удобную для приема получателем информации.

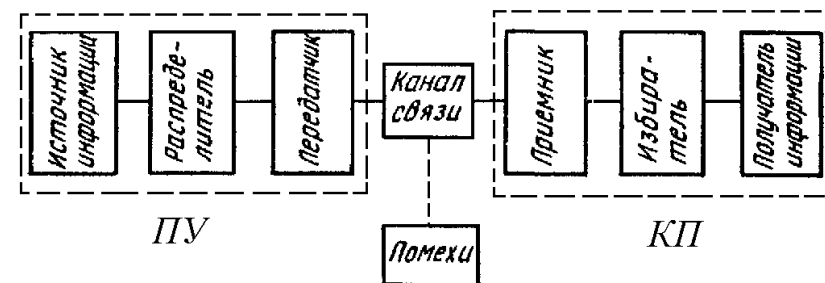


Рисунок 12.1 – Функциональная схема системы ТУ

Системы телемеханики могут иметь и другие, отличающиеся от рассмотренной, функциональные схемы.

По структуре линий связи системы телемеханики могут быть (рисунок 12.2): **радиальные**, в которых каждый контролируемый пункт (КП) соединен с пунктом управления (ПУ) отдельной линией; **цепочечные**, обеспечивающие работу при последовательном или параллельном подключении КП к одной линии связи; **древовидной** структурой линий связи, предусматривающие соединение ПУ с несколькими КП по произвольно разветвленной сети линий связи.

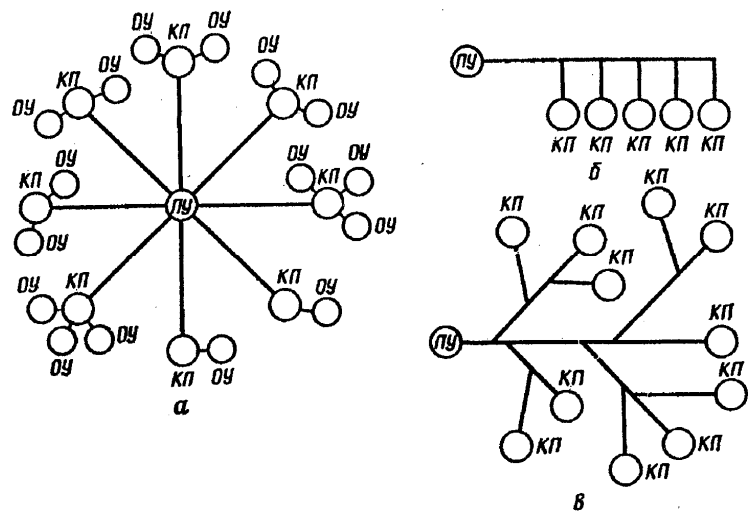


Рисунок 12.2 – Структуры систем телемеханики:
а – радиальная; б – цепочечная; в – древовидная

Телемеханические системы подразделяются на одноканальные и многоканальные.

В одноканальных системах сигнал соответствует одному сообщению об определенном объекте управления или контроля. В многоканальных системах сигнал соответствует ряду сообщений.

В системах телемеханики стремятся уменьшить число каналов связи из-за их высокой стоимости и материалоемкости. Поэтому для увеличения количества передаваемой информации используют сигналы с большим количеством качественных признаков. В основном это сигналы, различающиеся по частоте или длительности импульсов и пауз. Их применение оправдано лишь при значительных расстояниях между ПУ и КП.

В системах телемеханики ближнего действия для преобразования (селекции) сигналов используют только амплитудный признак тока и групповой метод избрания.

При амплитудном разделении по уровню каждому сигналу присваивается своя амплитуда тока или напряжения.

Пусть требуется по одной и той же линии передать два независимых сигнала, отличающихся по уровню тока. На рисунке 12.3 приведена схема поясняющая принцип амплитудного модулирования.

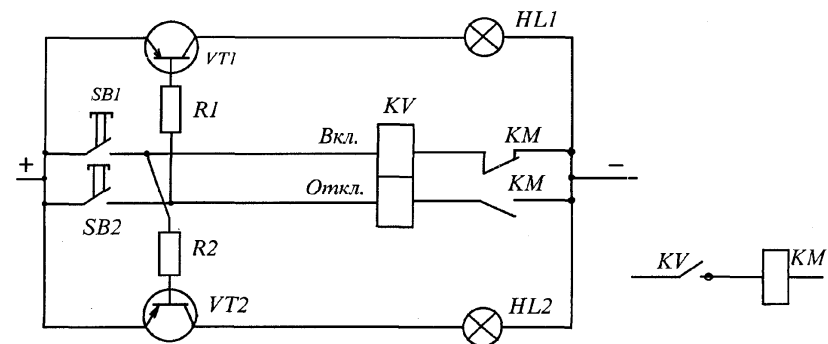


Рисунок 12.3 – Принципиальная электрическая схема дистанционного управления электромагнитным пускателем

Электромагнитный пускатель КМ (рисунок 12.3) включается дистанционно посредством кнопки SB1 и электромагнитного реле с механической фиксацией. Отключение производится посредством кнопки SB2. Как при этом получить известительную сигнализацию, не прибегая к дополнительным линиям канала связи (КС)?

Поставленная цель может быть достигнута путем использования транзисторов VT1 и VT2, в коллекторную цепь которых включаются соответствующие сигнальные лампы HL1 и HL2. Ток контроля, протекающий по базе транзистора, на порядок ниже тока срабатывания включающей и отключающей обмотки реле KV, за счет введения в цепь сигнализации дополнительного сопротивления R1 и R2.

Таким образом, применение здесь амплитудного признака тока позволяет уменьшить число линий КС в два раза и контролировать состояние оперативных цепей.

В дополнение к рассмотренному способу амплитудного модулирования часто применяют **групповой выбор**. При этом объекты телеуправления подразделяются на группы и операция выбора разбивается на две части:

- выбор группы, которой принадлежит данный объект;
- выбор объекта в группе.

Сущность группового выбора заключается в том, что управляемый объект избирается ступенчато.

Иногда число ступеней увеличивают, например возможен трехступенчатый выбор: группа–подгруппа–объект.

В случае прямого избирания групповой выбор обеспечивает сокращение числа адресных линий и, следовательно, сокращает избыточность системы.

Минимальное число адресных линий получается при равном количестве объектов в группе:

$$n_1 = n_2 \approx \sqrt{N},$$

где n_1 и n_2 – число адресных линий групп.

При многоступенчатом выборе (l - ступеней) это условие принимает вид

$$n_1 = n_2 = \dots = n_l \approx \sqrt[l]{N}.$$

Система работает следующим образом. Сначала выбирается КП, а затем сам объект телеуправления или телеизмерения. Подключение объектов на КП к каналу связи с ПУ производится с помощью выносных коммутаторов (ВК), включающих в себя (рисунок 12.4а) разделительные диоды VD1–VD8, включенных последовательно с катушками исполнительных реле и измерительными преобразователями, и линейного реле KV.

Здесь 1–8 информационные шины КС, к которым на ПУ подключаются блок измерительной сигнализации, блок выбора объектов ТУ и ТИ и индикаторный прибор. Эта аппаратура является общей для всех КП.

Подключение обмотки линейного реле производится к адресным шинам КС в зависимости от присвоенного номера КП (рисунок 12.4б).

Здесь 0–9 положительные линии, 10–19 – отрицательные адресные линии КС. Нетрудно представить 100 комбинаций такого подключения обмоток линейных реле, осуществляемых посредством многопозиционных переключателей SA1 и SA2.

Однако, если КП собрать в группы (рисунок 12.4в), объединенных групповыми линиями, которые подключаются к выводу 9 ВК (рисунок 12.4а), то объем телемеханической информации СТМ можно увеличить на один порядок, т. к. к ПУ уже можно подключить до 1000 КП.

Представленные выше принципы телеуправления телесигнализации–телеизмерения могут быть использованы для автоматической передачи и регистрации технологической информации посредством ЭВМ. В этом случае вместо переключателей и ключей для выбора КП

и исполнения команд телеуправления–телеизмерения применяют устройства связи с объектом ЭВМ (модули дискретного вывода и аналогового ввода, а полученную информацию о выполнении команд управления или телеизмерения представляют на экране дисплея в виде таблиц или мнемосхем). Для регистрации такой информации на бумажном носителе применяют автоматические печатающие устройства, входящие в комплект ЭВМ.

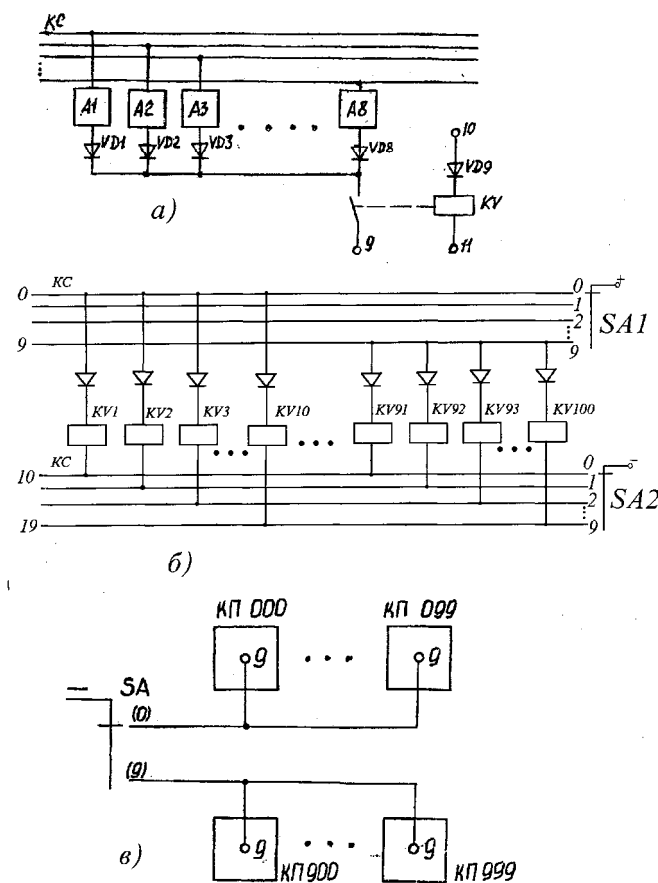


Рисунок 12.4 – Принципы группового выбора:
 а) схема выносного коммутатора на КП;
 б) схема подключения линейного реле на КП;
 в) схема секционирования (группирования) КП

Описание лабораторной установки

Учебный стенд устройства ТУ-ТС-ТИ включает в себя ПУ и один КП, который с помощью контактных гнезд и переключателей может оперативно занимать любой из номеров 000–999 (КП 000–КП999).

ПУ (нижняя часть стенда), представлен светофорами для получения известительной сигнализации о выполнении команд ТУ кнопками для выполнения команд «включить» и «отключить», миллиамперметром и кнопками для объектов ТИ и блоком переключателей для выбора КП.

На КП (верхняя часть стенда) размещается выносной коммутатор, блок-имитатор измерительных преобразователей, два промежуточных реле с механической фиксацией и два электромагнитных пускателя. Стенд снабжен индикаторами напряжения постоянного и переменного тока, (рисунок 12.5).

Программа работы

1. Изучить электрические схемы (рисунки 12.1–12.4).
2. Изучить оборудование стенда и подключить к источнику питания.
3. Посредством блока переключателей соответствующих гнезд и штекеров произвести выбор искомого КП, по сигнальным лампам объектов ТУ-ТС убедиться, что выбор КП проведен правильно.
4. Нажатием на крайнюю кнопку (слева) выполняется команда «выключить», что сопровождается возбуждением включающей катушки реле с механической фиксацией, включением электромагнитного пускателя и свечением соответствующего светофора.
5. Нажатием на крайние (правые) кнопки изменить состояние другого электромагнитного пускателя.
6. Нажатием на кнопки 3–6 последовательно выводятся значение контролируемых параметров на миллиамперметр 0–5 мА. Посредством переменных резисторов в блоке измерительных преобразователей моделируется изменение выходных величин последних.

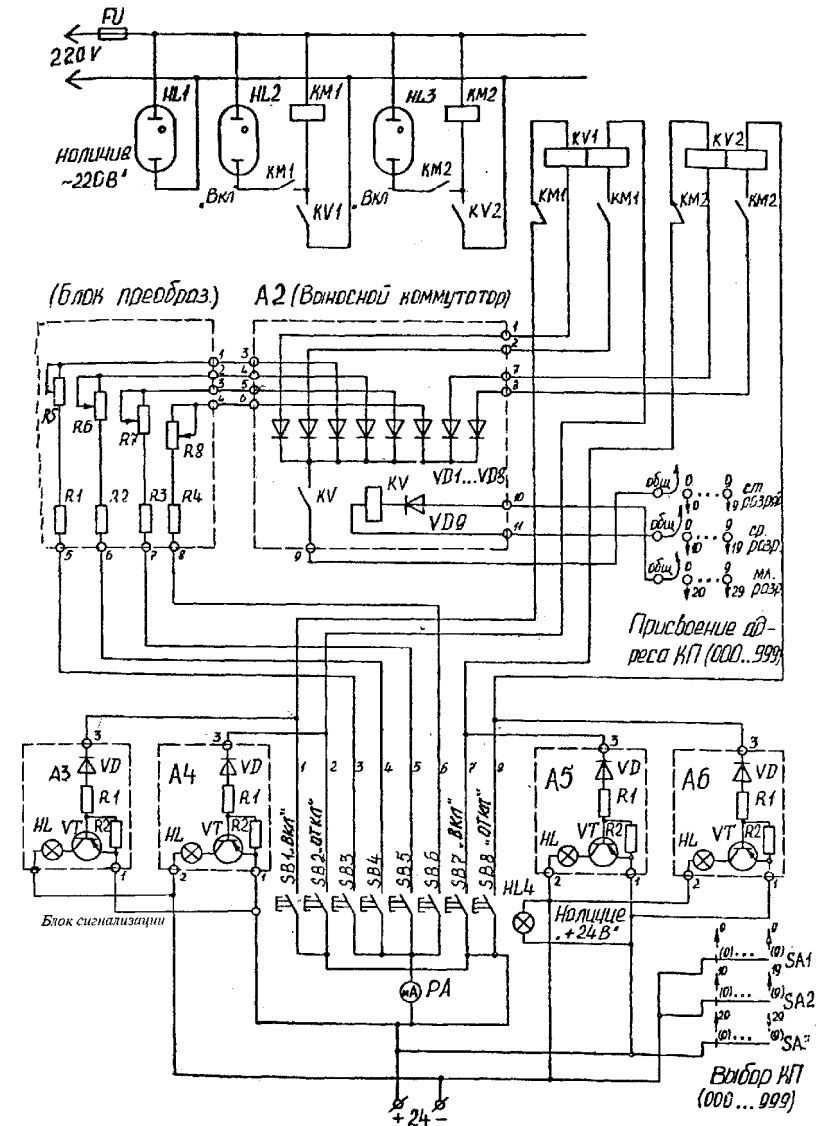


Рисунок 12.5 – Принципиальная электрическая схема учебного стенда «Система телемеханики»

7. Переместить штекеры в соседние гнезда. Убедиться, что КП присвоен новый номер.

8. На основании рисунка 12.1–12.4 составить принципиальную схему СТМ по вариантам, заданным преподавателем.

9. Составить отчет, где отразить результаты работы по п. 8.

10. Ответить на контрольные вопросы.

Содержание отчета

1. Название и цель работы.

2. Основные понятия систем телемеханики.

3. Функциональные и принципиальные электрические схемы СТМ.

4. Принципиальная схема СТМ составленная по вариантам.

Контрольные вопросы

1. Разъясните понятия ТУ, ТС, ТИ.

2. Почему при отключении источника питания электромагнитные пускатели «запоминают» свое прежнее состояние?

3. Во сколько раз уменьшается расход кабельной продукции (по числу линий) на сооружение КС между ПУ и КП для настоящего примера (1000КП; 4ТС, 4ТУ на одном КП) по сравнению с традиционными передачами (каждому сигналу свой провод линии связи) ?

4. Какие функции выполняет в СТМ выносной коммутатор?

5. Попробуйте найти аналитическое выражение для определения числа адресных линий в зависимости от числа КП в одной группе.

Литература

1. Загинайлов, В.И. Основы автоматики / В.И. Загинайлов, Л.И. Шеповалов. – Москва : Колос, 2001. – 200 с.

2. Ильин, В.А. Телеуправление и телесигнализация : учеб. пособие для вузов / В.А. Ильин. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 560 с.

Учебное издание

АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Практикум

Составители:

Ловкис Виктор Болеславович,
Маркевич Владимир Владимирович,
Носко Вячеслав Владимирович,
Абрамчик Людмила Андреевна

Ответственный за выпуск *В.В. Носко*

Редактор *М.А. Макрецкая*

Верстка *М.А. Макрецкая*

Подписано в печать 09.06.2008. Формат 60x84¹/₁₆

Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 8,1.

Уч.-изд. л. 7,9. Тираж 190 экз. Заказ 538.

Издатель и полиграфическое исполнение

Белорусский государственный аграрный технический университет
ЛИ № 02330/0131734 от 10.02.2006. ЛП № 02330/0131656 от 02.02.2006.

220023, г. Минск, пр. Независимости, 99, к. 2.