

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ДЕПАРТАМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ
И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА
ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА

Кафедра физики и автоматики

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

ПРАКТИКУМ

*Для студентов, обучающихся по направлению подготовки
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
направленность (профиль) «Электроснабжение»
очной и заочной форм обучения*

КАРАВАЕВО
Костромская ГСХА
2021

УДК 65.011.56
ББК 40.70
Т 33

Составитель: канд. техн. наук, доцент, декан электроэнергетического факультета, доцент кафедры физики и автоматики Костромской ГСХА *А.В. Рожнов.*

Рецензент: канд. экон. наук, доцент, заведующий кафедрой электроснабжения и эксплуатации электрооборудования Костромской ГСХА *А.А. Васильков.*

Рекомендовано методической комиссией электроэнергетического факультета в качестве практикума для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения

Т 33 Теория автоматического управления : практикум / сост. А.В. Рожнов. — Караваево : Костромская ГСХА, 2021. — 120 с. ; 20 см. — 50 экз. — Текст непосредственный.

Издание содержит 10 лабораторных работ. Описание каждой работы включает в себя основные теоретические положения, краткие сведения о конструкции и технические данные элементов, схемы лабораторной установки, программу работы и порядок ее выполнения, рекомендации по оформлению отчета, контрольные вопросы и список рекомендуемых источников.

Практикум предназначен для контактной и самостоятельной работы студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) «Электроснабжение» очной и заочной форм обучения.

УДК 65.011.56
ББК 40.70

Оглавление

Введение	4
Общие требования по технике безопасности	5
Лабораторная работа 1	
Исследование термодатчиков.....	6
Лабораторная работа 2	
Исследование фотоэлементов и фотореле	15
Лабораторная работа 3	
Исследование потенциометрических датчиков.....	33
Лабораторная работа 4	
Исследование работы электромагнитных реле	39
Лабораторная работа 5	
Исследование работы командоаппарата	56
Лабораторная работа 6	
Изучение структуры САУ и исследование ее работы	63
Лабораторная работа 7	
Изучение системы управления поточной линией (на примере комплекса КЗС-20Ш)	73
Лабораторная работа 8	
Исследование работы САР (на примере установки «Климат-44») для создания микроклимата в производственных помещениях	81
Лабораторная работа 9	
Исследование унифицированной системы контроля технологических параметров посевных машин	92
Лабораторная работа 10	
Исследование типовых звеньев линейных систем. Построение и изучение переходных функций	101
Список рекомендуемых источников.....	117

Введение

Основная цель преподавания дисциплины «Теория автоматического управления» заключается в формировании знаний и практических навыков по анализу, синтезу, выбору и использованию современных средств автоматизации в сельскохозяйственном производстве. Исходя из этого, при изучении дисциплины «Теория автоматического управления» ставятся следующие задачи:

- дать студентам основы теории автоматического управления, принципы построения и законы функционирования систем автоматического управления;
- изучить технические средства автоматики и научить студентов производить их выбор;
- научить студентов проводить анализ сельскохозяйственного производства, современных технологических процессов и машин с точки зрения их автоматизации;
- научить студентов определять технико-экономическую эффективность автоматизации сельскохозяйственного производства;
- изучить принципы автоматизации стационарных и мобильных производственных процессов на ряде конкретных сельскохозяйственных устройств, машин, агрегатов.

В практикуме приводятся краткие теоретические сведения, порядок выполнения лабораторных работ, перечень контрольных вопросов для самопроверки, а также основные требования по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.

Практикум предназначен для аудиторной и самостоятельной работы студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность (профиль) Электроснабжение, очной и заочной форм обучения при изучении дисциплины «Теория автоматического управления».

Общие требования по технике безопасности

1. В лаборатории автоматики линейное напряжение переменного тока 220 В. При несоблюдении правил по технике безопасности эта величина напряжения представляет собой определенную опасность.

2. Перед началом лабораторных работ преподаватель, ведущий занятия, должен провести со студентами инструктаж по технике безопасности с последующей записью в соответствующем журнале.

3. Перед началом работы на лабораторном стенде необходимо убедиться, что все выключатели стенда находятся в положении «Выключено».

4. Рабочее место не должно загромождаться посторонними предметами.

5. Сборку схемы надлежит выполнять без пересечения проводов, их натянутого состояния и не допускать свертывания проводов.

6. Необходимо пользоваться только теми приборами, которые находятся на рабочем месте. Использование других приборов без разрешения преподавателя запрещается.

7. Собранную схему необходимо представить на проверку преподавателю.

8. Включать схему следует лишь с разрешения преподавателя и после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

9. Во время выполнения работы запрещается:

- производить какие-либо пересоединения в рабочей схеме, находящейся под напряжением;
- прикасаться к оголенным токоведущим частям установки;
- оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.

10. Обо всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

11. После окончания работы снять напряжение с лабораторной установки, разобрать схему.

Лабораторная работа 1 Исследование термодатчиков

Цель работы: изучить конструкцию, принцип действия металлического и полупроводникового датчиков температуры и провести исследование их характеристик.

Общие сведения о датчиках температуры

Значительная часть тепла, потребляемая в сельском хозяйстве, идет на отопление, кормоприготовление, вентиляцию животноводческих и птицеводческих помещений, в сушильных установках, для обогрева парников и теплиц.

В последние годы с ростом электропотребления в сельском хозяйстве для тепловых процессов используют электрическую энергию как источник тепла, весьма удобный для использования.

Электрические тепловые установки имеют высокий КПД, просты в обслуживании и могут быть автоматизированы без значительных затрат.

Для автоматического контроля и регулирования температуры в с.-х. производстве используется большой арсенал датчиков температуры, созданных как для сельскохозяйственного производства, так и для смежных отраслей народного хозяйства.

В качестве датчиков температуры используют элементы, физические свойства которых существенно зависят от температуры и значительно подвержены влиянию других факторов, например влажности, состава среды и т.д. К таким физическим свойствам относятся явления теплового линейного и объемного расширения, изменения сопротивления, емкости или термоэлектродвижущей силы элемента, находящегося в контакте с контролируемой средой. Многие датчики используют принцип изменения параметров контролируемой среды под действием температуры: размеров, давления, вязкости, электрического сопротивления, интенсивности радиационных излучений и т.д.

В зависимости от используемых физических свойств, зависящих от температуры тел, различают следующие основные типы чувствительных элементов (датчиков) температуры:

- *термометрические, или жидкостно-стеклянные, элементы*, основанные на различии коэффициентов теплового расширения жидкости и стекла (в системах автоматики и контроля применяются контактные жидкостно-стеклянные термометры с электропроводящей жидкостью, например ртутью);
- *биметаллические элементы*, которые основаны на различии коэффициентов теплового расширения двух жестко соединенных металлических пластин;

- *дилатометрические элементы*, в которых используется различие теплового расширения трубки и вставленного в него стержня, выполненных из разнородных металлов или сплавов;
- *фотоэлектрические элементы* (термометры излучения), основанные на изменении в зависимости от температуры силы электрического тока, возникающего при освещении фотоэлемента потоком излучения нагретого тела;
- *манометрические элементы*, в которых тепловое изменение объема жидкости или газа преобразуется в перемещение специальных мембран, сильфонов или манометрических трубок;
- *термоэлектрические элементы*, преобразующие тепловое воздействие в выходной сигнал электродвижущей силы ЭДС.

Интервалы температур, в которых возможно применение тех или иных приборов, следующие:

- | | |
|------------------------------------|-------------------------|
| – для термометров расширения | — от –200 до +500 °С; |
| – для манометрических термометров | — от –130 до +550 °С; |
| – для терморезисторов | — от +200 до +500 °С; |
| – для термоэлектрических элементов | — от –200 до +1 600 °С; |
| – для термометров излучения | — от +400 °С до ∞. |

Предметом исследований в данной работе являются *терморезисторы*. Они изготавливаются из металлов или полупроводниковых материалов. Терморезисторы, используемые в приборах для измерения температуры, работают при малых нагрузках токов с тем, чтобы тепло, выделяемое током в терморезисторе, было минимальным по сравнению с теплом, получаемым от испытываемой среды. Основным требованием, предъявляемым к материалам терморезисторов, является возможно больший и постоянный температурный коэффициент электрического сопротивления при одновременно возможно большем удельном сопротивлении.

Основным материалом *металлических терморезисторов* являются чистые металлы: Cu; Fe; Ni; Pt (медь, железо, никель, платина). Конструкция металлического терморезистора показана на плакате.

Большинство химически чистых металлов обладают положительным температурным коэффициентом сопротивления α .

Изменение сопротивления чистых металлов составляет от 3,7 до 6,5% на 10 °С, что соответствует температурному коэффициенту сопротивления:

$$\alpha = (3,7 \dots 6,5) 10^{-3} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}.$$

Сопротивление чистых металлов при нагревании монотонно возрастает, и эта зависимость стабильна. При добавлении примесей в металлы стабильность и монотонность нарушаются. Кроме того, сплавы высокого сопротивления обладают незначительным температурным коэффициентом сопротивления. Поэтому сплавы не применяют в качестве терморезисторов.

Металлические терморезисторы используют в диапазоне температур от -120 до $+500$ °С.

Максимальная рабочая температура для тех же металлов, используемых в качестве термопар, выше, поскольку распыление и окисление металлов при высоких температурах не сказывается на термоЭДС, но увеличивает сопротивление.

Терморезисторы, помещенные в вакуум или нейтральный газ, могут измерять значительно более высокие температуры. Железный терморезистор, помещенный в колбу с водородом (бареттер), работает при температуре 700 °С.

Зависимость сопротивления от температуры в определенных пределах измерения температуры для разных металлов подчиняется линейному закону и выражается уравнением

$$R_t = R_0 [1 + \alpha_0 (T - T_0)],$$

где R_0 — сопротивление при температуре T_0 ;

α_0 — температурный коэффициент сопротивления для интервала температур, начинающегося от T_0 .

Вопрос о применении терморезистора, выполненного из того или иного металла, решается в основном химической инертностью его в измеряемой среде.

С этой точки зрения медь можно применять только от температуры 180 °С в атмосфере, свободной от влажности и коррозирующих газов. При более высокой температуре медь окисляется.

Никель, при условии хорошей изоляции намотки от воздействия среды, можно применять при температуре до $250...300$ °С.

Основным преимуществом никеля является большая величина удельного сопротивления:

$$\rho = 0,075...0,085 \text{ Ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}.$$

Платиновые терморезисторы применяются обычно до 500 °С, хотя верхним пределом их применения можно считать $1\ 000...1\ 200$ °С.

Металлические терморезисторы выполняются из проволоки диаметром около $0,1$ мм, намотанной на слюдяной, фарфоровый или кварцевый каркас.

Измерительный ток в терморезисторах не превышает $10...15$ мА.

Начальное сопротивление металлических терморезисторов лежит в пределах от 50 до 100 Ом.

Полупроводниковый терморезистор (в дальнейшем ПТР) обладает существенно зависимым от количества выделившегося в нем или подведенного тепла сопротивлением. Серийно выпускаются две группы ПТР: с отрицательным температурным коэффициентом (термисторы) и с положительным (позисторы). В настоящей работе рассматриваются только термисторы. Устройство термистора показано на плакате.

Высокий отрицательный температурный коэффициент сопротивления полупроводниковых материалов (3...6% на 1 °С) был известен сравнительно давно. Упоминание об этом свойстве сульфида серебра, например, встречается в докладах Фарадея, опубликованных в 1883 г. Однако нестабильность параметров полупроводников не давала использовать их свойства на практике. Только в 1933 г. фирма «Осрам» выпустила первые ПТР из двуокиси урана (урдоксы). В нашей стране ПТР начали изготавливаться в конце 40-х годов прошлого столетия.

В настоящее время промышленность выпускает несколько десятков типов ПТР с разнообразными электрическими параметрами. Например: медно-марганцевые типа ММТ и кобальто-марганцевые типа КМТ сопротивлением от 1 Ом до 1 МОм (при $T = 20\text{ °C}$), с отклонением от номинала не более 20%.

К достоинствам ПТР относятся, прежде всего, малые габариты, незначительная инерционность, низкая стоимость, достаточная механическая прочность, удовлетворительная долговечность, большие номинальные сопротивления, благодаря которым уменьшаются погрешности, вносимые сопротивлением соединительных проводов.

Зависимость сопротивления ПТР от температуры (температурная характеристика ПТР) хорошо аппроксимируется аналитическим выражением

$$R_T = R_\infty e^{\frac{B}{T}},$$

где T — температура, К;

R_∞ и B — коэффициенты, определяемые по формулам:

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}; \quad R_\infty = R_1 e^{-\frac{B}{T_1}} = R_2 e^{-\frac{B}{T_2}},$$

где R_1 и R_2 — значения сопротивлений ПТР при некоторых соответствующих значениях температуры T_1 и T_2 .

Температурный коэффициент сопротивления ПТР имеет отрицательное значение:

$$\alpha_T = -\frac{B}{T^2}.$$

Причем он в десятки раз больше, чем у металлов, и не остается постоянным, а уменьшается с увеличением температуры.

Серийно выпускаемые ПТР могут работать при температурах от -40 до $+180$ °С, при давлениях до 10^6 Па и относительной влажности до 70%. Специальные герметизированные ПТР предназначены для использования в агрессивной окружающей среде.

Характеристики ПТР относительно стабильны. Срок их службы при нормальных режимах работы практически неограничен.

Максимально допустимая мощность рассеивания ПТР составляет для различных типов величину $0,4 \dots 1,0$ Вт, причем мощность рассеивания, практически не вызывающая разогрева ПТР, составляет $2 \dots 5$ мВт.

Тепловая инерционность ПТР примерно равняется инерционности обычного ртутного термометра, а для некоторых типов ПТР — в десятки раз меньше, что позволяет использовать их в качестве датчиков при регулировании температуры малоинерционных объектов.

Основные параметры полупроводниковых терморезисторов приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Основные параметры полупроводниковых терморезисторов

Тип ПТР	Диапазон значений номинального сопротивления, Ом	Допустимая температура, К	$\frac{R(293^\circ)}{R(373^\circ)}$	Коэффициент рассеивания, мВт/град	Теплоемкость, мВт·с/град
1	2	3	4	5	6
ММТ-1	$10^3 \dots 2 \cdot 10^5$	393	4,5...8,5	4,5	63
ММТ-4	$10^3 \dots 2 \cdot 10^5$	393	4,5...8,5	8	424
ММТ-6	$10^4 \dots 10^5$	393	4,5...8,5	—	—
ММТ-8	$1 \dots 1^{-3}$	333	4,5...8,5	—	—
ММТ-9	$10 \dots 5 \cdot 10^3$	393	4,5...8,5	—	—
КМТ-1	$2 \cdot 10^4 \dots 10^6$	453	17,5...43	4,5	63
КМТ-4	$2 \cdot 10^4 \dots 10^6$	393	17,5...43	8	424
КМТ-8	$10^2 \dots 10^4$	333	14...23,5	—	—
КМТ-10	$10^5 \dots 3 \cdot 10^6$	673	17,5...43	0,65	3,25
КМТ-11	$10^5 \dots 3 \cdot 10^6$	673	17,5...43	0,4	1,4
КМТ-12	$10^2 \dots 10^4$	393	14...23,5	—	—
КМТ-14	$3,5 \cdot 10^2 \dots 10^7$	573	19...352	0,8	8
ТОС-М	$5 \cdot 10^3 \dots 6,5 \cdot 10^3$	453	6,4...14	7,1	89
Т-8	$5 \cdot 10^3 \dots 15 \cdot 10^3$	453	2,5...18	0,2	0,02

1	2	3	4	5	6
ТШ-1	$2,05 \cdot 10^3 \dots 2,9 \cdot 10^3$	453	2,5...3,5	—	—
ТП2/0,5	$29 \cdot 10^3 \dots 41 \cdot 10^3$	453	3,5...6	—	—
ТП2/2	$25 \cdot 10^3 \dots 35 \cdot 10^3$	453	3,5...5	—	—
ТП6/2	$50 \cdot 10^3 \dots 70 \cdot 10^3$	453	3,5...5	—	—
ТКП-300	$10^3 \dots 1,4 \cdot 10^3$	453	12...18	—	—
ТКП-50	$2,4 \cdot 10^3 \dots 3,5 \cdot 10^3$	873	4,5...8	0,33	7,23
ТКП-20	500...700	873	3...5	—	—

Примечание. Коэффициент рассеивания вычисляется как среднее арифметическое в десяти точках вольтамперной характеристики.

Для измерения температуры с помощью терморезисторов широкое применение нашла мостовая схема с термодатчиком, включенным в качестве одного из плеч моста R_t .

В данной работе используется комбинированный мост РЗЗЗ. Для измерения сопротивлений $1 \dots 1 \cdot 10^3$ Ом используется измерительная схема одинарного моста. Принципиальная схема исследования термодатчиков приведена на рисунке 1.1.

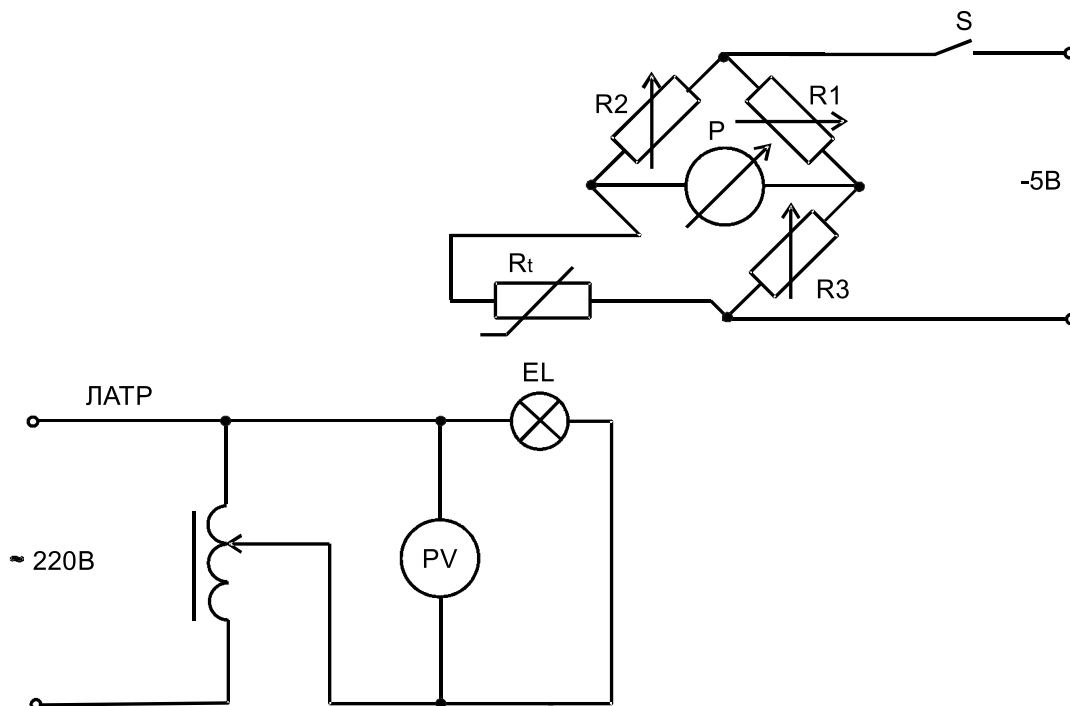


Рис. 1.1. Принципиальная электрическая схема исследования термодатчиков:

ЛАТР — лабораторный автотрансформатор;
 EL — нагревательный элемент (лампа накаливания);
 R_t — термосопротивление; P — гальванометр;
 R_1, R_2, R_3 — плечи измерительного моста

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию термодатчиков (металлический терморезистор ТСМ-100 и полупроводниковый ММТ-1).

2. Изучить порядок измерения сопротивлений при помощи моста Р333 (см. на крышке прибора).

3. Собрать схему по рисунку 1.2 (монтажная схема). Измерить сопротивления испытуемых терморезисторов (установлены в термостате) при температуре окружающей среды (комнатной). Лампу при этом не включать! Для дальнейших исследований подключить к мосту полупроводниковый терморезистор.

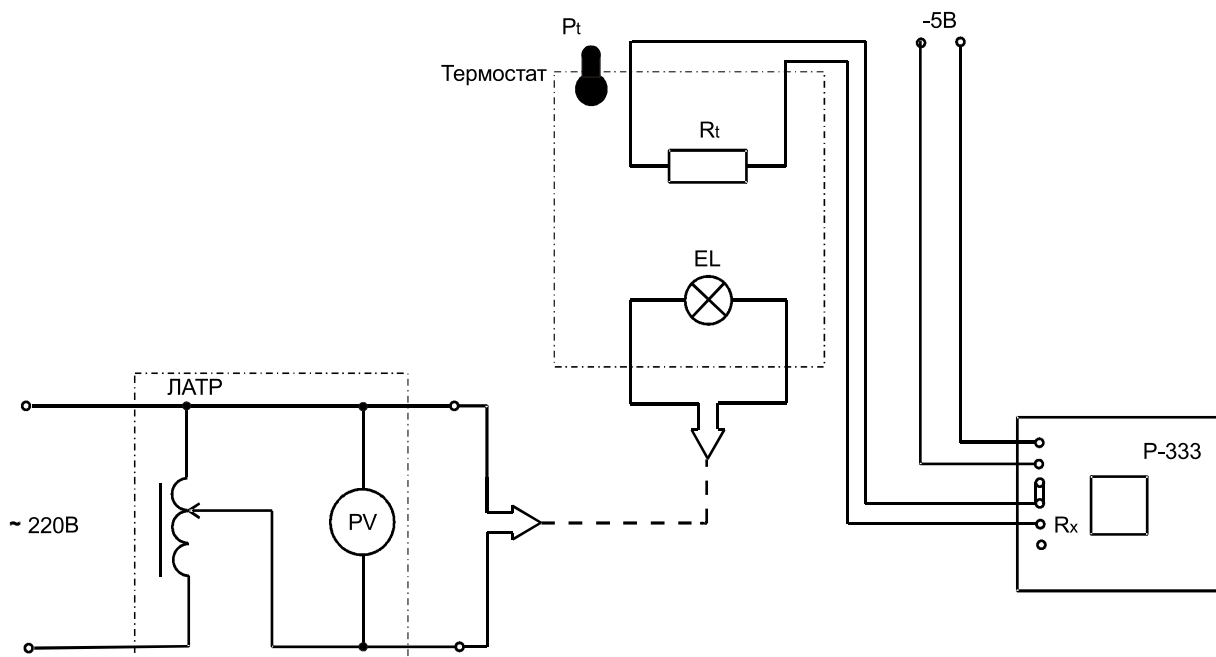


Рис. 1.2. Монтажная схема для исследования термодатчиков:

R_t — термометр расширения ртутный

4. Снять зависимость $R_{T_{п.п}} = f(T)$, где $R_{T_{п.п}}$ — сопротивление полупроводникового терморезистора при данной температуре, Ом; T — температура внутри термостата, К.

Для снятия зависимости подать питание на лампу, установив при помощи ЛАТРа напряжение 100-130 В.

5. По мере повышения температуры через 5-10 °С производить замер сопротивления полупроводникового терморезистора, включая и отключая лампу в термостате кнопками «Пуск» и «Стоп» стенда. Результаты измерений занести в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Результаты исследования термодатчиков

Температура T , К	Сопротивление датчика R , Ом	Температурный коэффициент сопротивления α , 1/град	Чувствительность K_D , Ом/град

6. При достижении в термостате температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ отключить мост и заменить полупроводниковый терморезистор ММТ-1 на металлический ТСМ-100.

7. Включить питание моста и измерить сопротивление металлического терморезистора при температуре $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

8. Снять зависимость $R_{T.M} = f(T)$, где $R_{T.M}$ — сопротивление металлического терморезистора, Ом.

Для этого отключить нагрев термостата и произвести замер сопротивления металлического терморезистора аналогично предыдущему опыту, но при остывании термостата до температуры окружающей среды.

Внимание! При работе с мостом не допускать зашкаливания стрелки гальванометра! Кнопки «Вкл.Г», «Грубо», «Точно» вращать только по часовой стрелке! Не нажимать кнопку «Точно» сразу после кнопки «Вкл.Г»!

9. Снять напряжение, разобрать схему.

10. Рассчитать по формулам температурный коэффициент сопротивления α для обоих термодатчиков. Чувствительность определяется по формуле

$$K_D = \frac{\Delta R}{\Delta T}$$

11. Построить зависимости $R_{T.п.п} = f(T)$ и $R_{T.M} = f(T)$ в одной системе координат, проанализировать их.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки.
3. Паспортные данные приборов, используемых в работе.
4. Таблица с результатами измеренных и вычисленных значений.
5. Расчетные формулы, графики.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение термодатчиков. Область применения.
2. Какие физические принципы используются при измерении температуры?
3. Виды термодатчиков.
4. В какие физические величины преобразуется температура в различных видах термодатчиков?
5. Термометрические датчики. Устройство, принцип действия.
6. Каким удельным сопротивлением должны обладать терморезисторы?
7. В чем преимущество терморезисторов из никелевой проволоки в сравнении с терморезисторами из медной проволоки?
8. Дилатометрические датчики. Устройство, принцип действия.
9. Термисторы и позисторы.
10. Можно ли использовать для изготовления терморезисторов сплавы металлов?
11. Биметаллические термодатчики. Устройство, принцип действия.
12. Манометрические датчики. Устройство, принцип действия.
13. Начальное сопротивление металлических и полупроводниковых термодатчиков.
14. Сравнительные характеристики металлического и полупроводникового термодатчиков.
15. Преимущества и недостатки металлического и полупроводникового термодатчиков.
16. Принцип измерения сопротивлений при помощи мостовой схемы.

Лабораторная работа 2

Исследование фотоэлементов и фотореле

Цель работы: изучить устройство, принцип действия различных фотоэлементов и провести исследование их характеристик.

Общие сведения о фотоэлементах

Фотоэлементы — это устройства, изменяющие свои параметры под действием меняющегося светового потока.

При освещении поверхности металлов или полупроводников светом фотоны (кванты электромагнитного излучения), проникая в поверхностные слои освещенного вещества, сообщают электронам в поверхностном слое вещества дополнительную энергию. За счет этой энергии в металлах и полупроводниках происходят явления, получившие название *фотоэффекта*. Если электроны покидают освещенное вещество, то фотоэффект называется *внешним* (имеет место в металлах). Если электроны остаются в веществе, повышая его электропроводность, то фотоэффект называется *внутренним* (имеет место в полупроводниках). Если электроны из освещенного слоя вещества переходят в слой неосвещенного вещества, отделенного от освещенного тонким изоляционным слоем, то такой фотоэффект называется *вентильным*. При этом между слоями двух веществ из-за недостатка электронов в одном из них и избытка в другом возникает разность потенциалов (электродвижущая сила).

Открытие явления фотоэффекта, его теоретическое обоснование и первое практическое применение было сделано профессором Московского университета А.Г. Столетовым в 1888 году. Ему же принадлежит открытие основных закономерностей фотоэффекта и изобретение вакуумных фотоэлементов.

В соответствии с вышеперечисленными свойствами различают три типа фотоэлементов:

- фотоэлементы с внешним фотоэффектом (вакуумные и газонаполненные);
- фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, или фоторезисторы;
- фотоэлементы с вентильным фотоэффектом или фотоэлементы с запирающим слоем (фотодиоды, фототранзисторы, фототиристоры).

Вакуумный фотоэлемент типа СЦВ-3 (рис. 2.1) представляет собой стеклянный баллон, внутри которого расположены фотокатод и анод, имеющие выводы к наружным контактными штырькам.

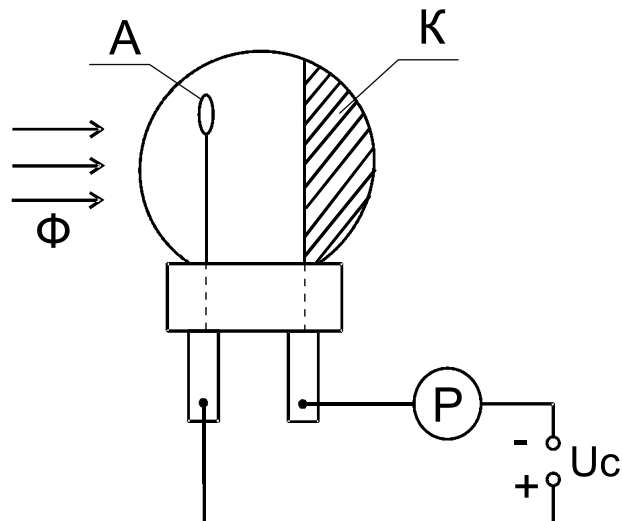


Рис. 2.1. Схема включения вакуумного (газонаполненного) фотоэлемента

Катодом K является светочувствительный слой из щелочных металлов (например, окиси цезия), нанесенный на металлическую пластинку, стенку баллона или серебряную подложку. Катод занимает около половины внутренней поверхности баллона, а остальная прозрачная часть служит входным окном.

Анод A представляет собой металлическое кольцо, стержень или сетку. К аноду прикладывается положительное напряжение. Вакуум обычно составляет $10^{-6} \dots 10^{-7}$ Па.

Газонаполненный (ионный) фотоэлемент (типа ЦГ-3) конструктивно ничем не отличается от вакуумного, но внутри колбы такого фотоэлемента имеется инертный газ под незначительным давлением. Газонаполненные фотоэлементы более чувствительны, чем вакуумные, но обладают большей инерционностью. Вакуумные же фотоэлементы практически безынерционны.

Фоторезисторы в большинстве случаев представляют собой нанесенный на стеклянную пластинку 5 тонкий слой полупроводникового вещества 4 (рис. 2.2). К противоположным сторонам полупроводникового слоя припаиваются металлические электроды 1. В качестве светочувствительного материала используются: сернистый свинец, сернистый висмут, сернистый кадмий и др. Поверх полупроводникового слоя наносится пленка светопроницаемого лака 3 для защиты фоторезистора от влияния внешней среды. Корпус фоторезистора 2, в который помещен светочувствительный элемент, может иметь различную форму.

Промышленность выпускает сернисто-свинцовые фоторезисторы ФС-А1, ФС-А2, ФС-А6 и др.; сернисто-кадмиевые ФС-К1, ФС-К2, ФС-К4, ФС-К6, ФС-К7 и др.; пленочные ФСК-П и др.

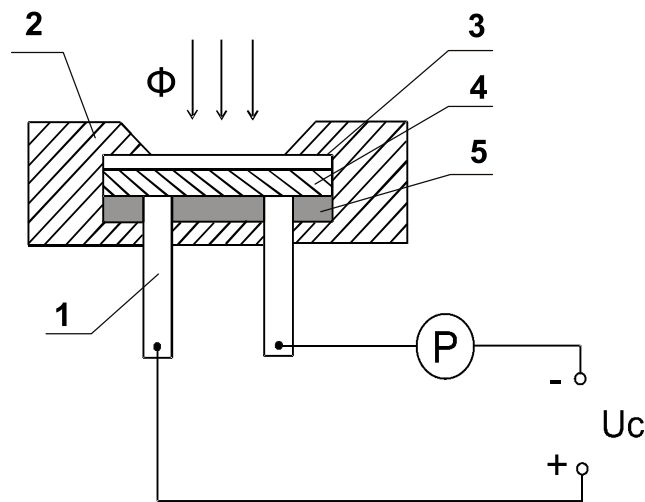


Рис. 2.2. Схема включения фоторезистора

Фоторезисторы характеризуются высокой чувствительностью, простотой конструкции, малыми габаритами, значительной мощностью рассеяния и большим сроком службы. Фоторезисторы могут работать в цепях как постоянного, так и переменного 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 $3 \cdot 10^{-3} \dots 3 \cdot 10^{-5}$ с при световом потоке 10^{-5} лм.

Вентильные фотоэлементы конструктивно аналогичны, отличаются лишь формой и размерами, исходным полупроводниковым веществом и т.д.

Вентильный фотодиод (рис. 2.3) имеет металлическое основание 1 толщиной 1...2 мм, выполняющее функцию нижнего электрода и подложки, на которую нанесен тонкий слой селена, покрытый сверху полупрозрачным металлическим слоем или сеткой 5, изготовленной из серебра, золота или платины толщиной менее 1 мкм. Металлический слой пропускает световой поток в слой селена и выполняет функцию верхнего электрода.

Путем специальной обработки под исходным слоем 4 р-селена, обладающего дырочной проводимостью, образован слой 2 n-селена с электронной проводимостью, а между ними находится тончайший запирающий слой 3, называемый *p-n переходом*. Фотоэлемент заключается в эбонитовую или пластмассовую оправу в форме диска с окном б и двумя клеммами.

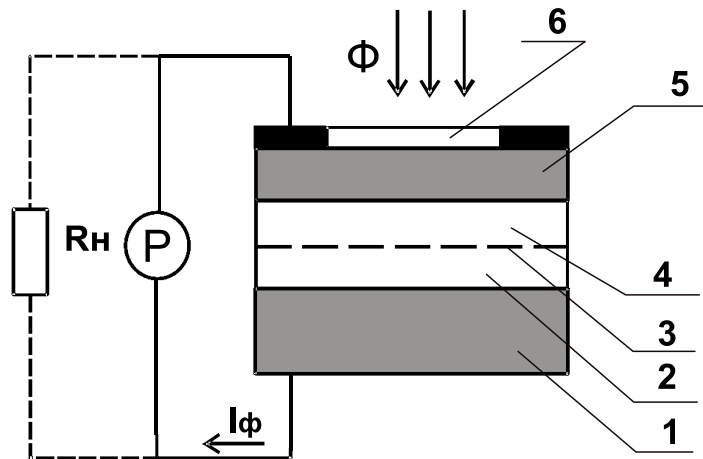


Рис. 2.3. Схема включения фотодиода

Фототранзистор — это полупроводниковый приемник лучистой энергии, имеющий направленное движение носителей тока и обладающий свойством усиления фототока при действии энергии оптического излучения. Он имеет трехслойную структуру (эмиттер – база – коллектор), подобную структуре обычных плоскостных или диффузионных транзисторов.

Конструктивно фототранзистор представляет собой полупроводниковую пластину с тремя чередующимися областями *p-n*-проводимостей (рис. 2.4).

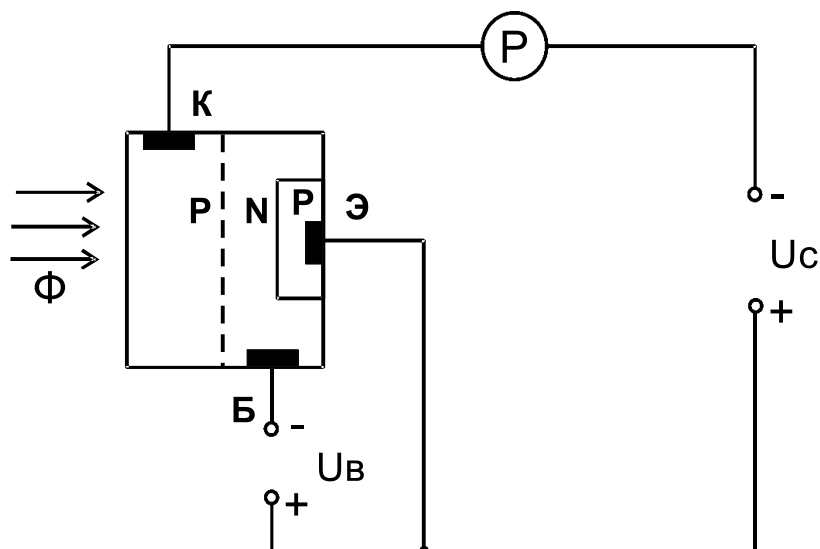


Рисунок 2.4. Схема включения фототранзистора

Под действием света в базовой области *Б* образуются пары «электрон-дырка», которые под влиянием электрического поля диффундируют (проникают) в эмиттерную *Э* и коллекторную *К* области транзи-

стора. В результате создается ток, проходящий через эмиттерно-базовый переход, который усиливает ток коллектора. Работой фототранзистора можно управлять не только световым потоком, но и электрическим сигналом.

Фототиристор — полупроводниковый прибор, который сочетает в себе положительные свойства тиристора и преобразователя оптической энергии в электрическую. Принцип действия фототиристора аналогичен принципу действия фототранзистора.

В сельскохозяйственной автоматике фотоэлементы используются в датчиках, входной величиной которых может быть изменение потока лучистой энергии вследствие поглощения, рассеивания, изменения траектории луча в контролируемом объекте, изменение освещенности объекта, отражательной способности объекта, изменение яркости и спектрального состава излучения, количества, частоты, амплитуды и длительности световых импульсов. Выходной величиной является фототок, напряжение или фотоэлектродвижущая сила.

Область применения фотоэлементов зависит от их характеристик, основными из которых являются:

- световая — зависимость фототока от величины светового потока при постоянной величине приложенного напряжения:
 $I_{\phi} = f(\Phi)$ при $U_{\phi} = \text{const}$;
- вольтамперная — зависимость фототока от напряжения при постоянной освещенности:
 $I_{\phi} = f(U_{\phi})$ при $E = \text{const}$;
- спектральная — зависимость фототока от длины волны светового потока: $I_{\phi} = f(\lambda)$;
- частотная (инерционная) — зависимость фототока от частоты изменения интенсивности падающего светового потока:
 $I_{\phi} = f(f)$;
- температурная — зависимость фототока и спектрального состава от температуры (превышение допустимых значений температуры вызывает резкое изменение фотоэлектрических свойств фотоэлемента): $I_{\phi} = f(T)$ и $\lambda = f(T)$.

Порядок выполнения работы

Для исследования характеристик фотоэлементов и работы фотореле служит стенд типа ЭС-6, принципиальная электрическая схема которого показана на лицевой стороне стенда.

1. Изучить принципиальную электрическую схему стенда, ознакомиться со всеми элементами и приборами стенда.

2. Подключить шнур питания к сети переменного тока. Тумблером «Сеть» включить стенд, при этом загорается лампочка сигнализации Л1.

3. Снять и построить вольтамперные характеристики:

- вакуумного СЦВ-3 и газонаполненного ЦГ-3 фотоэлементов;
- фоторезистора ФСК-Г1;
- фотодиода ФД-1 в режиме фотопреобразователя.

Измерение данных производить для значений светового потока Φ_1 (при одной включенной лампочке) и Φ_2 (при двух лампочках).

Дать анализ характеристик.

Снятие вольт-амперной характеристики вакуумного фотоэлемента СЦВ-3. Тумблер B_7 устанавливается в положение «вакуумный», тумблером B_8 устанавливается световой поток Φ_1 (положение тумблера F_1) (остальные тумблеры B_9 , B_{10} , B_{11} должны быть выключены). Регулируя резистором R_{12} напряжение питания фотоэлемента от 0 до 250 В (вольтметр U_1), через 20 В снимают значение тока, проходящего через фотоэлемент (микроамперметр I_1). Затем включением тумблера B_8 устанавливается световой поток Φ_2 (положение тумблера F_2) и снимается новая вольт-амперная характеристика.

Результаты измерений заносятся в таблицу 2.1.

Снятие вольт-амперной характеристики газонаполненного фотоэлемента ЦГ-3. Тумблер B_7 устанавливается в положение «газонаполненный». Затем поочередным включением тумблера B_9 в положения F_1 и F_2 устанавливаются световые потоки Φ_1 и Φ_2 . Снятие вольтамперной характеристики производится аналогично снятию характеристики для вакуумного фотоэлемента. Полученные данные заносятся в таблицу 2.1.

Снятие вольтамперных характеристик фоторезистора ФСК-Г1. Необходимо включить тумблер B_2 , тумблеры B_8 и B_9 установить в среднее положение, а тумблер B_{10} — в положение F_1 . Регулируя напряжение питания от 0 до 250 В, через каждые 20 В снимают значения фототока по прибору I_2 . Результаты измерений зано-

сятся в таблицу 2.1. Затем устанавливается поток Φ_2 включением тумблера B_{10} в положение F_2 , и опыт повторяется в той же последовательности, что и при потоке Φ_1 .

Снятие вольтамперных характеристик фотодиода в режиме фотопреобразователя. Необходимо тумблер B_3 установить в положение «фотопреобразователь». При этом фотодиод оказывается подключенным к регулируемому источнику напряжения 0...12 В. Регулирование напряжения производится резистором R_{10} , значение напряжения снимается по прибору U_2 . Тумблером B_{11} поочередно устанавливаются световые потоки Φ_1 и Φ_2 . Нагрузочное сопротивление устанавливается при помощи переключателя B_1 по заданию преподавателя. Значение тока фотодиода отмечается по прибору I_3 .

Результаты измерений заносятся в таблицу 2.1.

4. Снять и построить нагрузочные характеристики фотодиода ФД-1 в режимах *фотогенератора* и *фотопреобразователя*.

Снятие нагрузочных характеристик в режиме фотогенератора. Необходимо тумблер B_3 установить в положение «фотогенератор». Тумблером B_{11} установить световой поток Φ_1 (положение F_1) и переключателем B_1 установить различные значения нагрузки. Значение тока фотодиода снимается по прибору I_3 . Далее переключить тумблер B_{11} в положение F_2 и снять аналогичные характеристики для нового значения светового потока Φ_2 . Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

Снятие нагрузочных характеристик в режиме фотопреобразователя. Необходимо тумблер B_3 поставить в положение «фотопреобразователь». Установить резистором R_{10} значение напряжения питания, заданное преподавателем, и поддерживать его постоянным.

Снять аналогично предыдущему опыту нагрузочные характеристики для двух значений светового потока: Φ_1 и Φ_2 .

5. Исследовать работу *фотореле*, состоящего из фотодиода ФД-1, транзистора МП-42, слаботочного реле P_1 , лампы L_1 и резистора 2,2 кОм (см. принципиальную схему на лабораторном стенде).

Фотореле работает следующим образом. При увеличении освещенности сопротивление фотодиода уменьшается, а ток, проходящий через фотодиод и базоэмиттерный переход транзистора, увеличивается, транзистор открывается, в результате чего срабатывает реле P_1 , контакты которого включают лампу L_1 .

Таблица 2.1. Результаты исследования
вольтамперных характеристик фотоэлементов

СЦВ-3				ЦГ-3				ФСК-Г1				ФД-1					
Φ_1		Φ_2		Φ_1		Φ_2		Φ_1		Φ_2		Φ_1			Φ_2		
$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ μA	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ μA	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ μA	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ μA	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ mA	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ mA	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ μA	$R_H,$ Ом	$U_{\phi},$ В	$I_{\phi},$ μA	$R_H,$ Ом

Таблица 2.2. Результаты исследования
нагрузочных характеристик фотодиода

Режим фотогенератора				Режим фотопреобразователя			
Φ_1		Φ_2		Φ_1		Φ_2	
$R_H,$ Ом	$I_{\phi},$ μA	$R_H,$ Ом	$I_{\phi},$ μA	$R_H,$ Ом	$I_{\phi},$ μA	$R_H,$ Ом	$I_{\phi},$ μA

При исследовании фотореле необходимо включить тумблер B_{12} в положение F_1 . Резистором R_{10} изменять напряжение на лампе освещения (изменяется освещенность фотодиода ФД-1). Величину напряжения контролировать вольтметром U_2 . Определить напряжения срабатывания U_{cp} (загорается лампа L_1) и возврата $U_в$ реле (лампа L_1 гаснет). Вычислить коэффициент возврата реле по формуле

$$K_в = \frac{U_в}{U_{cp}}.$$

По окончании работы выключить стенд.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы включения фотоэлементов (рис. 2.1-2.4).
3. Таблицы с результатами измерений.
4. Графики вольтамперных и нагрузочных характеристик по результатам измерений.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется фотоэффектом?
2. Виды фотоэффекта.
3. Какие светочувствительные элементы обладают внешним фотоэффектом, внутренним, вентильным?
4. Для каких целей используют фоторезисторы в схемах автоматики?
5. Устройство, принцип действия, достоинства и недостатки фотоэлементов, исследуемых в работе.
6. Основные характеристики фотоэлементов.
7. Что является входной величиной фотоэлемента, а что выходной?
8. Что понимается под темновым током и темновым сопротивлением фоторезистора?
9. Устройство и принцип действия фотореле.

Лабораторная работа 3

Исследование потенциометрических датчиков

Цель работы: изучить конструктивное исполнение и принцип действия потенциометрических датчиков, схемы включения, характеристики, область применения.

Основные теоретические сведения

Датчик — это устройство, которое обеспечивает восприятие и функциональное преобразование изменений входной величины в изменения выходной величины, удобной для измерения и дальнейшего преобразования.

Потенциометрические датчики относятся к типу датчиков, преобразующих линейные x и угловые φ перемещения в электрический сигнал постоянного или переменного тока.

Потенциометрический датчик представляет собой активное переменное сопротивление с линейным (рис. 3.1) или угловым (рис. 3.2) перемещением, величина которого зависит от положения токоъемного устройства.

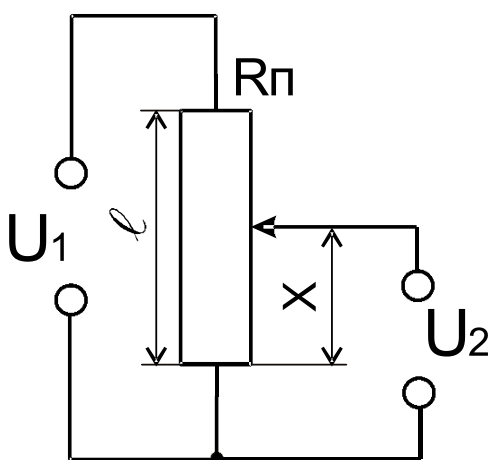


Рис. 3.1. Датчик с линейным перемещением

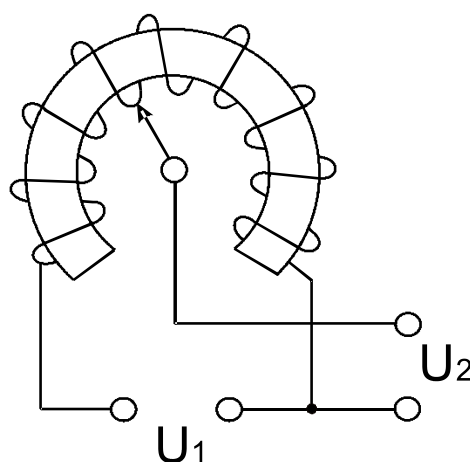


Рис. 3.2. Датчик с угловым перемещением

Основой *линейного* потенциометра является керамическая трубка, укрепленная торцами между двумя металлическими щеками при помощи стяжных болтов. В щеках имеются вентиляционные отверстия для охлаждения керамики. На наружной поверхности керамической трубки вплотную навита обмотка сопротивления, концы которой закреплены хомутами. Каждый хомут соединен перемычкой со своей клеммой, расположенной на щеке. Над обмоткой укреплены направ-

ляющие стержни, вдоль которых по зачищенной поверхности обмотки перемещается ползунок с контактными роликами или плоскими пружинными контактами. Ползунок соединяется с выходом третьей клеммы потенциометра.

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

Обмотки потенциометрических датчиков могут выполняться из константана, манганина, изабелина или никелина. Кроме проволочных также применяются непроволочные (пленочные) потенциометры, в которых функцию обмотки выполняет пленка из радия, нанесенная на стекло.

Основными эксплуатационными характеристиками потенциометрических датчиков являются: статическая характеристика, чувствительность, номинальная величина активного сопротивления, номинальная мощность рассеяния, износостойчивость и вибропрочность, стабильность величины сопротивления и др.

Статическая характеристика определяет функциональную зависимость выходной величины (напряжения) от входной (перемещения движка потенциометра):

$$U_2 = f(X); \quad U_2 = f(\varphi),$$

где X — длина перемещения движка линейного потенциометра от нулевого значения;

φ — угол поворота движка потенциометра с линейным перемещением от нулевого значения.

Одно из основных требований, предъявляемых к датчикам данного типа, является линейность статической характеристики.

У реальных датчиков данная характеристика обычно нелинейная. Причиной ее нелинейности является в основном влияние нагрузки. Поэтому простейший способ ликвидации влияния нагрузки состоит в выборе коэффициента нагрузки, который обеспечил бы соотношение $R_n = (10 \div 100)R$.

Чувствительность характеризует приращение выходной величины на единицу линейного или углового перемещения движка потенциометра:

$$S = \frac{dY}{dX}.$$

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

Номинальная величина активного сопротивления характеризуется значением активного сопротивления потенциометра при его изготовлении.

Износоустойчивость 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 выдерживает 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.п. при подаче напряжения.

Потенциометрические датчики применяются в различных автоматических системах. Если движок потенциометра связать с каким-либо первичным элементом (мембрана, поршень и др.), то входной величиной может быть какая-либо механическая величина — ускорение, усилие, давление и т.п.

Технические данные потенциометров ПЛ 1.1
(проволочные линейные одинарные потенциометры, тип 1)

Максимальное сопротивление	$R_{\max} = 1000 \text{ Ом} \pm 3\%$
Мощность рассеивания	$P_{\text{дон}} = 2 \text{ Вт}$
Крутящий момент	не более 25 Г·см
Диапазон изменения угла	0...330°
Цена деления шкалы	5°
Быстродействие	20 об/мин
Износоустойчивость	10 ⁵ оборотов

К достоинствам потенциометрических датчиков следует отнести малую массу и габариты, сравнительную простоту конструкции, возможность питания от источников как постоянного, так и переменного тока. Они не нуждаются в усилителях, так как снимаемая с них мощность достаточна для приведения в действие вторичных приборов. Основными недостатками этих датчиков являются их низкая надежность, обусловленная наличием скользящего контакта, сильное влияние нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструктивное исполнение и принцип действия потенциометрических датчиков ПД1 (блок ПУ) и ПД2 (блок ИМ2 стенда ЛСА).

2. Собрать схему включения ПД1 и ПД2 согласно рисунку 3.3 для снятия характеристик холостого хода:

$$U_{ПД1} = f(\varphi_0); \quad U_{ПД2} = f(X).$$

Потенциометр ПД1 (блок ПУ) предназначен для преобразования угловой величины φ_0 , а ПД2 — линейной величины X , вводимых с помощью ручек соответственно «Ввод φ_0 » (блок ПУ) и «Ввод X » (блок ИМ2) в электрический сигнал на выходе, снимаемый соответственно с клемм « $U_{ПД1}$ », « $U_{ПД2}$ ».

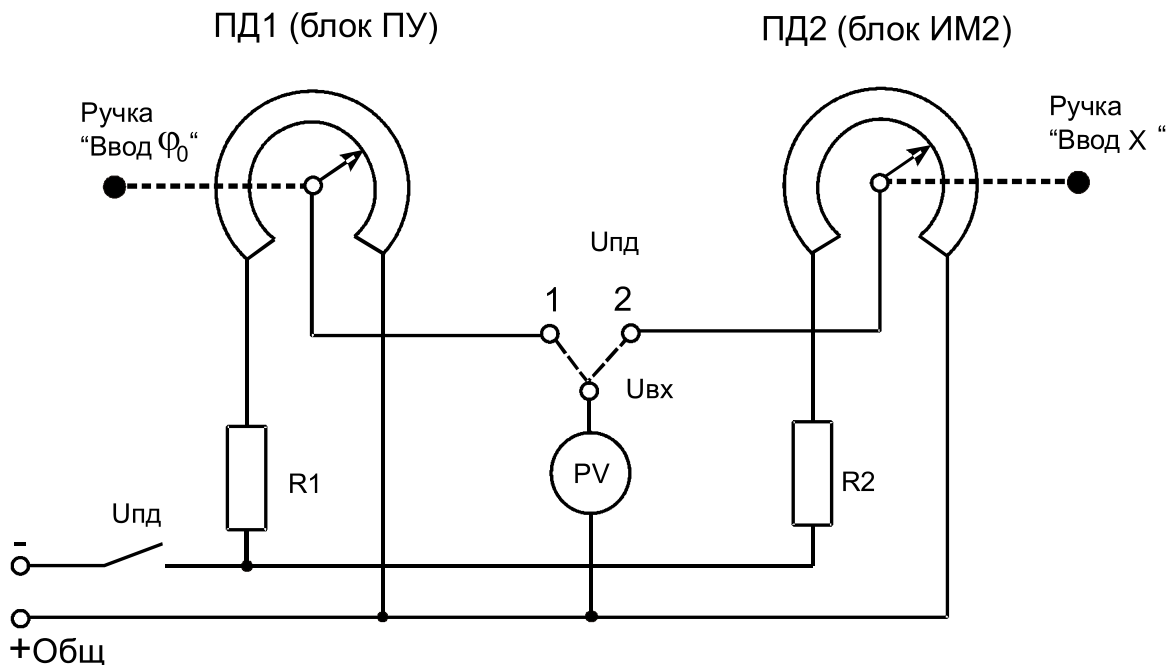


Рис. 3.3. Принципиальная электрическая схема для снятия характеристик холостого хода потенциометрического датчика

Датчики ПД1 и ПД2 собраны по одинаковой схеме, питаются от источника стабилизированного напряжения $U = 20$ В через резисторы R_1 и R_2 и выключатель « $U_{ПД}$ ».

Добавочные резисторы R_1 и R_2 имеют одинаковое сопротивление ($R = 200$ Ом) и предназначены для ограничения тока в обоих потенциометрических датчиках при случайных замыканиях выхода датчика, когда ток, протекающий по обмотке потенциометра, может превысить значение допустимого тока:

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{P_{\text{доп}}}{R_{\text{ПД}}}},$$

где $P_{\text{доп}}$ — допустимая мощность рассеяния, Вт;

$R_{\text{ПД}}$ — сопротивление потенциометрического датчика, Ом.

Вольтметр V (тип М 42100) блока ИП лабораторного стенда клеммой « U_{ex} » подключается к выходу потенциометров через клеммы « $U_{\text{ПД1}}$ » и « $U_{\text{ПД2}}$ » блока ПУ (на рис. 3.3 показано пунктиром). Предел измерения вольтметра «30 В».

3. Для снятия характеристик холостого хода необходимо соединить проводником клемму « U_{ex} » с клеммой « $U_{\text{ПД1}}$ ». Включить тумблеры «Сеть» (блок ТРЦ), « U » (блок ИП), « $U_{\text{ПД}}$ » (блок ПУ), переключатель «Контроль» установить в положение « U_{ex} » (блок ИП). Изменяя угол через 30° ручкой «Ввод φ », снять зависимость

$$U_{\text{ПД1}} = f(\varphi_0).$$

Результаты измерений занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1. Результаты исследования характеристики холостого хода датчика с угловым перемещением

φ_0	град	0	30	60	90	120	150	180	210	...	300
$U_{\text{ПД1}}$	В										

По окончании измерений схему отключить.

Подключить вольтметр к выходу ПД2, соединив клемму « U_{ex} » с клеммой « $U_{\text{ПД2}}$ ». Снять зависимость $U_{\text{ПД2}} = f(X)$, изменяя положение каретки (блок ИМ2) по координате X от 0 до 20 см через 2 см.

Результаты занести в таблицу 3.2.

Таблица 3.2. Результаты исследования характеристики холостого хода датчика с линейным перемещением

X	см	0	2	4	6	8	10	12	14	...	20
$U_{\text{ПД2}}$	В										

Определить чувствительность обоих датчиков.

По окончании измерений схему отключить.

4. Для снятия характеристики нагруженного датчика необходимо собрать схему согласно рисунку 3.4. Для этого клемму « $U_{ПД1}$ » блока ПУ соединить с клеммой « $U_{вх}$ » блока ИП, а клемму «+Общ.» соединить с клеммой « $U_{вых}/U_k$ » (на рис. 3.4 показано пунктиром). Подать напряжение на схему и снять зависимость $I_H = f(\varphi_0)$ при $R_H = 470$ Ом. Этому значению сопротивления соответствует правое крайнее положение шкалы прибора. Результаты измерений занести в таблицу 3.3.

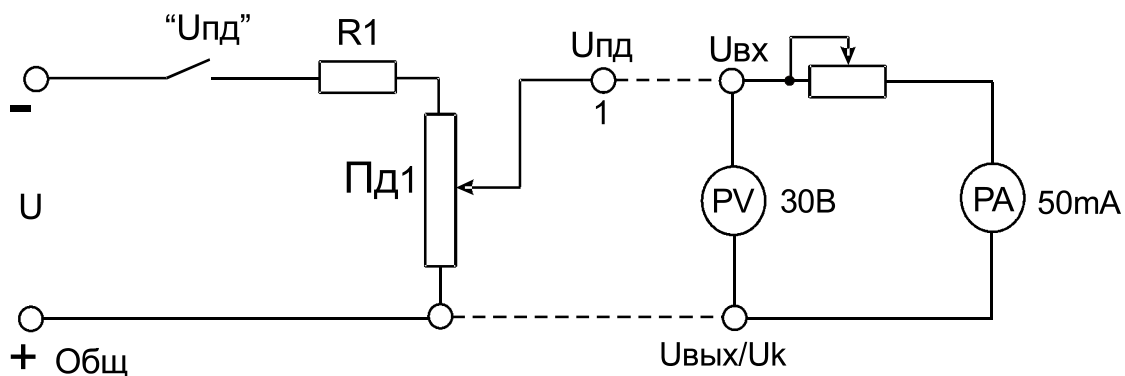


Рис. 3.4. Принципиальная схема исследования нагруженного потенциметрического датчика

Таблица 3.3. Результаты исследования характеристики нагруженного датчика

φ_0	град	0	30	60	90	120	150	180	210	...	300
I_H	mA										

По окончании измерений схему отключить.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Схемы исследования.
3. Таблицы с опытными данными.
4. Графики характеристик датчиков.
5. Паспортные данные приборов и оборудования.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется датчиком?
2. Что представляют собой потенциометрические датчики?
3. Назначение ПД, область применения. Привести примеры.
4. Достоинства и недостатки ПД.
5. Что называется статической характеристикой потенциометрического датчика?
6. Как сказывается сопротивление нагрузки датчика на его статическую характеристику?
7. Как определяется чувствительность ПД и от чего она зависит?
8. Что такое номинальная мощность рассеяния потенциометра?
9. Что называется номинальной величиной активного сопротивления ПД?
10. Износоустойчивость, вибропрочность, стабильность сопротивления.

Лабораторная работа 4 **исследование работы электромагнитных реле**

Цель работы: изучить устройство, принцип действия и провести исследование работы реле электромагнитного типа.

Основные теоретические сведения

Реле — это устройство, в котором при достижении определенного значения входной величины x выходная величина y изменяется скачком и принимает конечное число значений. Реле являются одним из наиболее распространенных элементов различных автоматических систем. Они широко используются во всех областях техники при автоматизации производственных процессов, в том числе и сельскохозяйственных.

Сегодня мы наблюдаем большое разнообразие реле. Классификация их может быть проведена согласно таблице 4.1.

Таблица 4.1. Классификация реле

В зависимости от назначения и области применения	Реле устройств защиты Реле радиоэлектронной аппаратуры Реле связи Реле автоматики
В зависимости от функциональных задач	Контрольные или измерительные Пусковые (контакторы, магнитные пускатели) Исполнительные Промежуточные
В зависимости от величины времени срабатывания	Сверхбыстродействующие t_{cp} до 0,001 с Быстродействующие t_{cp} от 0,005 до 0,05 с Нормальные t_{cp} от 0,05 до 0,15 с Замедленные t_{cp} от 0,15 до 1 с Реле времени $t_{cp} > 1$ с
В зависимости от физической природы входного сигнала	Механические (пьезоэлектрические магнитострикционные и др.) Электрические (тока, напряжения, частоты и др.) Оптические (фотореле) Температуры (термореле) Давления (гидравлические, пневматические)

Широкое распространение в практике получили электрические реле. Это вызвано их основным свойством — управлять мощными процессами в исполнительных цепях с помощью слабых электрических сигналов. Наиболее употребительная классификация электрических реле приведена в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Классификация электрических реле

По принципу действия и конструкции воспринимающих органов	Ионные
	Электронные
	Индукционные
	Электродинамические
	Магнитоэлектрические
	Электромагнитные (нейтральные и поляризованные)
В зависимости от величины коммутируемой мощности P_Y	Контакторы (P_Y более 500 Вт)
	Повышенной мощности (P_Y от 150 до 500 Вт)
	Средней мощности (P_Y от 120 до 150 Вт)
	Малой мощности (P_Y от 50 до 120 Вт)
По роду тока	Переменного тока
	Постоянного тока
В зависимости от вида конструктивной коррекции временных параметров	Замедленные на отпускание
	Замедленные на срабатывание
	Ускоренные на срабатывание
	Нормального исполнения
По характеру воздействия на управляемую цепь	Бесконтактные
	Контактные
По величине мощности срабатывания P_{CP}	Высокочувствительные (P_{CP} до 10 мВт)
	Чувствительные (P_{CP} не превышает 0,1 Вт)
	Нормальные (P_{CP} более 0,1 Вт)

Реле имеет четыре основных органа: воспринимающий, исполнительный, замедляющий и регулировочный.

Воспринимающий орган в электромагнитном реле (катушка с сердечником) реагирует на входной сигнал и передает воздействие на другие части реле.

Исполнительный орган (контакты) осуществляет скачкообразное изменение тока или напряжения в управляемых электрических цепях.

Замедляющий орган обеспечивает требуемое замедление действия реле.

Регулировочный орган производит изменение параметров срабатывания или возврата реле.

Работу реле рассмотрим на примере электромагнитного реле постоянного тока R-15 (электромагнитное нейтральное).

При протекании тока по обмотке 1 электромагнита (рис. 4.1) ее намагничивающая сила создает магнитный поток, который, замыкаясь по магнитной цепи реле, развивает в рабочем воздушном зазоре электромагнитное усилие.

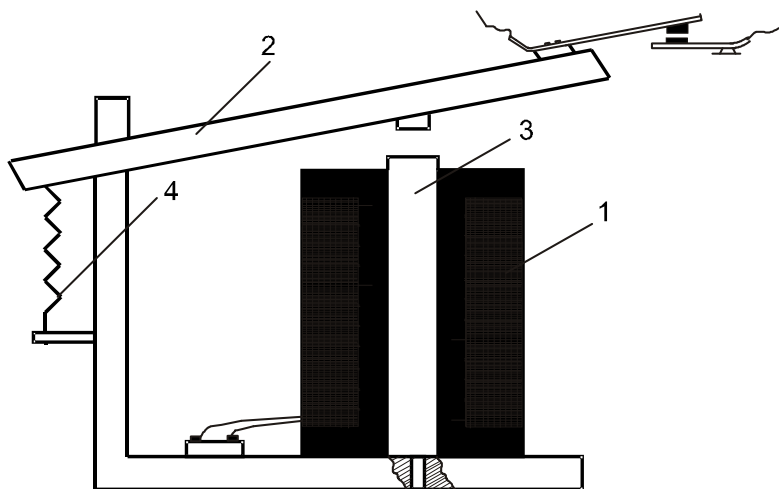


Рис. 4.1. Устройство электромагнитного реле

Под действием этого усилия якорь 2 притягивается к сердечнику 3 реле (реле срабатывает), преодолевая суммарную силу сопротивления пружин 4 контактных групп, и переключает контакты. Контактные группы осуществляют коммутацию управляемой (выходной) электрической цепи нагрузки. При отключении обмотки реле от источника питания якорь под действием суммарных сил упругости контактных пружин возвращается в исходное состояние (реле отпускает).

Весь цикл работы реле условно можно разделить на четыре этапа: срабатывание, рабочий этап, отпускание и покой. Примерный характер изменения тока $i(t)$ в обмотке реле при его срабатывании и отпускании приведен на рисунке 4.2.

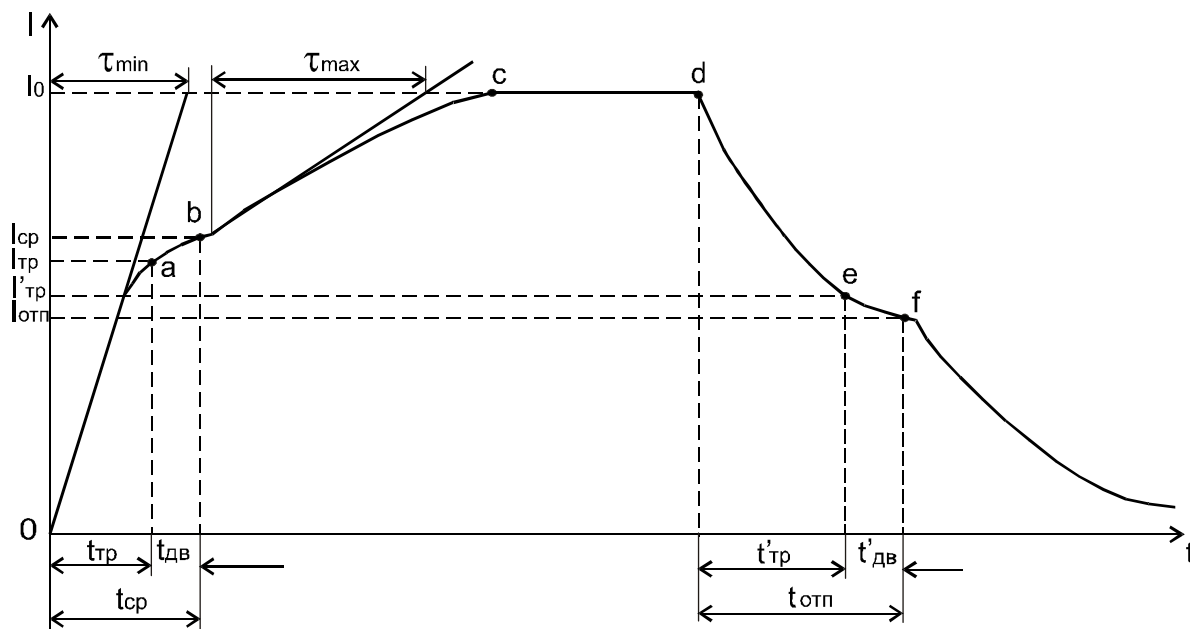


Рис. 4.2. График изменения тока в обмотке реле при его срабатывании и отпускании

Процесс срабатывания характеризуется промежутком времени с момента подключения обмотки реле к источнику питания и до момента замыкания (или в общем случае — размыкания) его контактов. При этом в процессе срабатывания следует различать два характерных момента: момент начала движения (трогания) якоря (точка a); момент замыкания (размыкания) контактов контактной группы (точка b).

До момента трогания якоря реле индуктивность его обмотки является постоянной величиной, поэтому ток в обмотке будет изменяться по закону экспоненты с постоянной времени τ_{\min} , которая определяется как

$$\tau_{\min} = \frac{L_{\min}}{R},$$

где L_{\min} — индуктивность обмотки реле при максимальном воздушном зазоре (в исходном положении якоря), Гн;

R — активное сопротивление обмотки реле, Ом.

После соприкосновения контактов при замыкании их якорь продолжает еще перемещаться, преодолевая сопротивление контактных пружин, чтобы обеспечить заданную величину контактного усилия. С момента прекращения движения величина индуктивности обмотки реле вновь станет постоянной (если не учитывать насыщение магнитопровода).

Поэтому ток в обмотке реле будет возрастать до установившегося значения также по закону экспоненты, но с большей постоянной времени τ_{\max} , равной

$$\tau_{\max} = \frac{L_{\max}}{R},$$

где L_{\max} — индуктивность обмотки реле при минимальном воздушном зазоре.

Величина тока, необходимая для того, чтобы якорь реле начал двигаться (точка *a*), называется *током трогания* I_{mp} при срабатывании, а промежуток времени с момента подключения обмотки реле к источнику питания до момента начала движения якоря — *временем трогания* t_{mp} при срабатывании. Величина тока трогания характеризует порог чувствительности реле. Ток, при котором происходит соприкосновение (начало замыкания) контактов реле (точка *b*), называется *током срабатывания* I_{cp} , а промежуток времени с момента подключения обмотки реле к источнику питания до момента замыкания контактов — *временем срабатывания* t_{cp} . Соответственно, промежуток времени с момента начала движения якоря до момента соприкосновения контактов называется *временем движения* $t_{\partial\epsilon}$ якоря реле при срабатывании. Таким образом, время срабатывания реле определяется суммой двух составляющих:

$$t_{cp} = t_{mp} + t_{\partial\epsilon} = t_{mp} \left(1 + \frac{t_{\partial\epsilon}}{t_{mp}} \right).$$

Обычно отношение $t_{\partial\epsilon} / t_{mp}$ лежит в пределах 0,1...2,0. Для электромагнитных реле обычного исполнения величина отношения в среднем составляет 0,1...0,4. Время трогания, время движения и время срабатывания составляют группу временных параметров реле при его срабатывании.

Рабочий этап продолжается с момента начала воздействия контактов реле на управляемую (выходную) цепь нагрузки (замыкание или размыкание контактов) до момента отключения обмотки реле от источника питания.

Для обеспечения надежного срабатывания реле и надежного удерживания контактов в замкнутом (разомкнутом) состоянии номинальная мощность, потребляемая обмоткой реле от источника питания при длительной работе, выбирается несколько больше мощности срабатывания.

В соответствии с этим установившийся (номинальный) ток I_0 в обмотке должен быть несколько больше тока срабатывания I_{cp} реле. Отношение установившегося тока в обмотке реле к величине тока срабатывания называется *коэффициентом запаса* K_3 :

$$K_3 = \frac{I_0}{I_{cp}}.$$

В зависимости от условий работы реле, коэффициент запаса выбирается в пределах 1,2...4,0.

Важным параметром реле является *коэффициент управления (усиления)* K_y , показывающий, во сколько раз мощность, коммутируемая контактами реле в управляемой ими цепи P_y , больше мощности P_0 , потребляемой обмоткой реле при длительной работе:

$$K_y = \frac{P_y}{P_0}.$$

Коэффициент K_y , характеризующий совершенство конструкции реле, желательно иметь возможно большим. У электромагнитных реле значение коэффициента управления может достигать 100. Наибольшее значение коэффициента управления можно получить у электронных реле (до 10^9).

Процесс отпускания продолжается с момента отключения обмотки реле от источника питания до момента прекращения воздействия реле на управляемую (выходную) цепь, то есть до момента размыкания контактов реле. Движение якоря при отпуске начинается в тот момент, когда ток в обмотке реле уменьшится до значения $I'_{тр}$, соответствующего величине тока трогания при отпуске. Промежуток времени с момента отключения обмотки реле от источника питания (точка d) до момента начала движения якоря (точка e) называется *временем трогания* $t'_{тр}$ при отпуске. Ток в обмотке реле, при котором происходит размыкание контактов, называется *током отпускания* $I_{омн}$, а время, прошедшее с момента отключения обмотки реле от источника питания до момента размыкания (замыкания) контактов, — *временем отпускания* $t_{омн}$.

Время трогания t'_{mp} , время движения $t'_{\delta\epsilon}$ и время отпущения t'_{omn} составляют вторую группу временных параметров реле при его отпущении:

$$t'_{omn} = t'_{mp} + t'_{\delta\epsilon} = t'_{mp} \left(1 + \frac{t'_{\delta\epsilon}}{t'_{mp}} \right).$$

Отношение $t'_{\delta\epsilon} / t'_{mp}$ изменяется приблизительно в тех же пределах, что и отношение $t_{\delta\epsilon} / t_{mp}$ при срабатывании реле. Отпущение реле обычно происходит при токе, несколько меньшем тока срабатывания.

Отношение тока (напряжения) отпущения к току (напряжению) срабатывания называется *коэффициентом возврата реле*:

$$K_{\epsilon} = \frac{I_{omn}}{I_{cp}} = \frac{U_{omn}}{U_{cp}},$$

где U_{omn} , U_{cp} — соответственно напряжение отпущения и напряжение срабатывания реле.

Значение коэффициента возврата для электромагнитных реле лежит в пределах $0,1 \dots 0,99$.

Ток в обмотке реле после торможения якоря, когда установившееся значение рабочего воздушного зазора будет равно δ_H , вновь будет уменьшаться до нуля по закону экспоненты с постоянной времени $\tau_{мин}$.

Этап покоя длится с момента размыкания контактов реле до момента очередного подключения обмотки реле к источнику питания, якорь и контактная система реле в течение этого этапа занимают исходное положение.

Мы рассмотрели ряд параметров реле. Теперь остановимся на его основных характеристиках: статической, механической, электромеханической (нагрузочной и тяговой).

Статической характеристикой реле называется зависимость, показывающая характер изменения выходной величины y от изменения входной x в установившемся режиме, т.е. $y = f(x)$ (рис. 4.3).

Механической характеристикой реле называется зависимость сил сопротивления перемещению якоря реле F_M , приведенных в точке, где действуют тяговые усилия, от положения подвижных частей, т.е. в рассматриваемом случае от величины воздушного зазора δ между якорем и сердечником:

$$F_M = f_2(\delta).$$

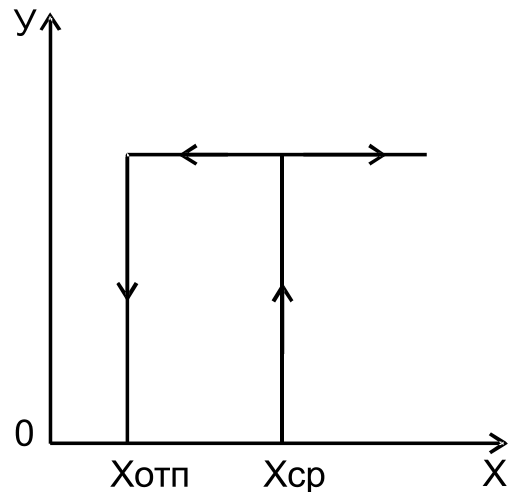


Рис. 4.3. Статическая характеристика реле

Форма механической характеристики зависит от числа и вида контактных групп реле, их конфигурации, величины контактного усилия, степени уравновешенности якоря, величины сил трения и т.п.

Зависимость электромагнитного усилия $F_{\text{Э}}$, действующего на якорь реле, от намагничивающей силы $i\omega$ его обмотки при постоянной величине рабочего воздушного зазора называется *нагрузочной характеристикой* реле:

$$F_{\text{Э}} = f_3(i\omega)_{\delta=\text{const}}.$$

Тяговой характеристикой реле называется зависимость тяговых усилий $F_{\text{Э}}$, развиваемых якорем электромагнитной системы реле, от величины воздушного зазора между якорем и сердечником при $i\omega = \text{const}$:

$$F_{\text{Э}} = f_4(\delta)_{i\omega=\text{const}}.$$

При проектировании электромагнитных реле как механическая, так и электромеханическая его характеристики определяются в результате расчета. Для готовых реле указанные характеристики могут быть сняты экспериментально. Для того чтобы реле сработало, тяговая характеристика должна лежать выше механической, а чтобы реле отпустило — ниже нее.

Тяговые характеристики $F_{\text{Э}} = f(\delta)_{i\omega = \text{const}}$ представляют собой семейство гипербол для различных ампервитков в пределах изменения зазора от $\delta_{\text{мин}}$ до $\delta_{\text{макс}}$, а механическая $F_{\text{М}} = f(\delta)$ — ломаную линию.

Тяговые $F_{\text{Э}}$ и механическая $F_{\text{М}}$ характеристики электромагнитного реле представлены на рисунке 4.4.

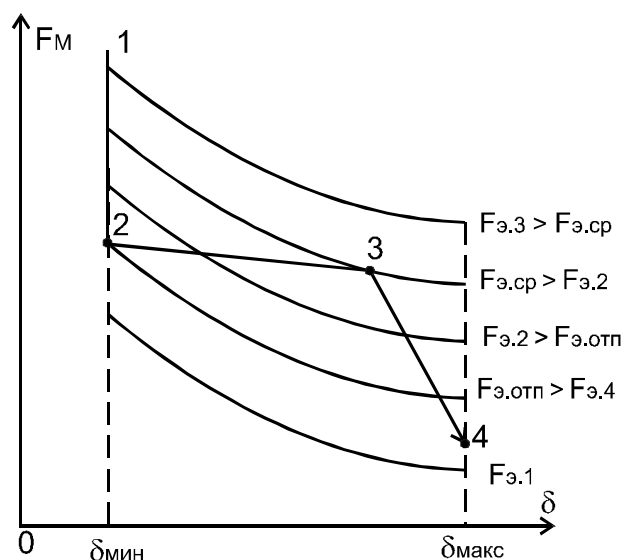


Рис. 4.4. Тяговые и механическая характеристики электромагнитного реле

Если якорь притянут (δ_{\min}), то, очевидно, увеличение электромагнитного усилия не вызовет дополнительного его перемещения (отрезок 1 – 2). Отпускание реле происходит при $F_M = F_{\text{Э отп}}$ в точке 2, после чего с ростом δ противодействующая сила пружины реле постепенно уменьшается (отрезок 2 – 3), а затем резко падает до конечного значения (отрезок 3 – 4). При увеличении тока в обмотке якорь реле трогается в точке 4, но притягивается к сердечнику только в точке 3 при $F_{\text{Э ср}}$.

В данной лабораторной работе исследуется работа трех *нейтральных* электромагнитных реле и одного *поляризованного*. Нейтральные электромагнитные реле не реагируют на знак входного сигнала: их срабатывание происходит одинаково при любом направлении тока в обмотке.

Между тем, во многих устройствах необходимо, чтобы реле реагировало не только на величину тока или напряжения, но и на знак входного сигнала.

При разной полярности входной величины замыкаются те или иные группы контактов в зависимости от направления тока в обмотке реле. Такие реле называются поляризованными.

Поляризованное реле отличается от обычного электромагнитного реле наличием дополнительного постоянного магнита и зависимостью направления перемещения якоря от полярности намагничивающего тока.

Существует три конструктивно разных типа поляризованных реле.

В данной лабораторной работе поляризованное реле имеет магнит *I* подковообразной формы (рис. 4.5).

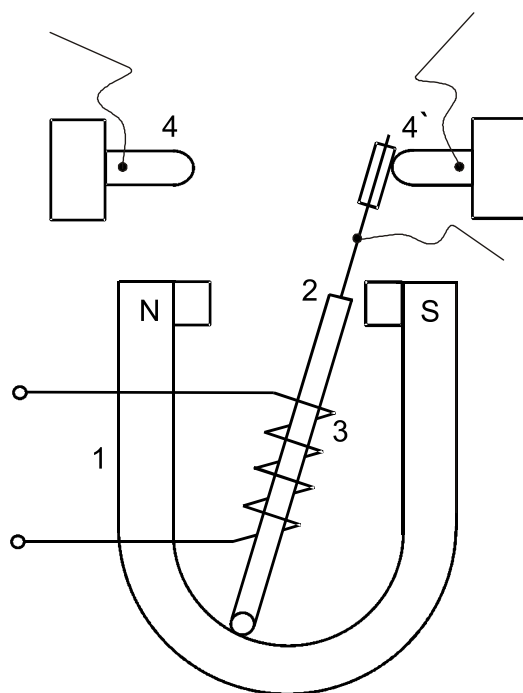


Рис. 4.5. Устройство полярizedного реле

В зависимости от полярности тока катушки 3, якорь 2 намагничивается и, притягиваясь к одному или другому полюсу, замыкает контакты 4 или 4'.

Реле РП-4 двухпозиционное и не имеет противодействующей пружины. Поэтому якорь симметрично отрегулированного реле при отключении тока в катушке остается в том положении, в каком он был при наличии тока.

Можно получить *двухпозиционное реле с «преобладанием»*. Для этого контакты реле надо сместить в сторону одного из полюсов. При прекращении тока в результате преобладающего влияния одного полюса якорь будет возвращаться в исходное положение. Такое реле не будет реагировать на ток обратного направления.

В *трехпозиционном реле* имеется специальная (возвратная) пружина, возвращающая якорь в среднее положение после снятия сигнала.

Поляризованные реле незаменимы в маломощной автоматике, там, где направление вращения двигателя, например, должно зависеть от полярности управляющего сигнала.

По роду используемого для управления тока реле разделяются на *реле постоянного тока* и *реле переменного тока*.

Принципиальная схема электромагнитного реле переменного тока приведена на рисунке 4.6, а.

В электромагнитах переменного тока при синусоидальном изменении тока в его обмотке и ненасыщенном магнитопроводе можно полагать, что и магнитный поток меняется тоже синусоидально (рис. 4.6, б).

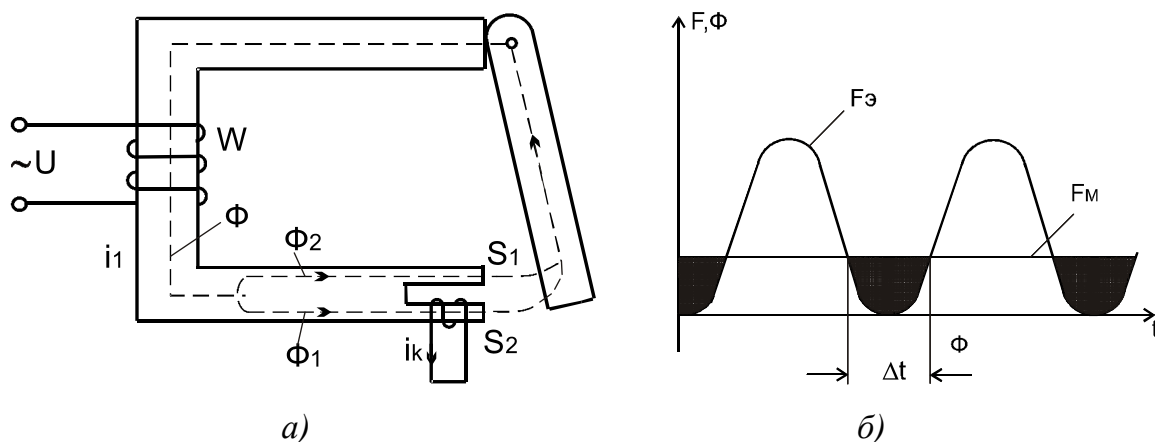


Рис. 4.6. Электромагнитное реле переменного тока:
а — принципиальная схема; б — график изменения
электромагнитной силы и магнитного потока

Электромагнитное усилие, действующее на якорь реле переменного тока, будет равно

$$F_{\text{э}} = \frac{(\omega I_m)^2}{2} \frac{G_m^2}{G^2 \delta} \frac{dG_{\delta}}{d\delta} (1 - \cos 2\omega t),$$

где I_m — амплитудное значение тока в обмотке реле;

G_m — магнитная проводимость магнитопровода:

$$G_m = \frac{1}{R_m},$$

где R_m — сопротивление магнитопровода;

G_{δ} — магнитная проводимость воздушного зазора:

$$G_{\delta} = \frac{1}{R_{\delta}},$$

где R_{δ} — сопротивление воздушного зазора.

Из формулы видно, что электромагнитная сила $F_{\text{э}}$ имеет постоянную и переменную составляющие, из которых последняя изменяется по косинусоиде с частотой, равной удвоенной частоте напряжения (тока) источника питания.

В момент перехода тока (магнитного потока) через нуль сила притяжения якоря реле переменного тока также становится равной нулю, а для промежутков времени Δt (см. рис. 4.6, б) $F_{\text{э}}$ оказывается меньше суммарного противодействующего усилия $F_M = \text{const}$. Усилие F_M в эти моменты вызывает отход якоря от полюсного наконечника.

Образуется воздушный зазор, который затем ликвидируется быстро нарастающим тяговым усилием.

Таким образом, якорь (подвижная система) и контакты реле начинают вибрировать с недопустимой частотой. Для устранения этого недостатка применяются следующие меры: повышение инерционности подвижной системы (увеличения ее массы); создание в магнитопроводе реле двух магнитных потоков, сдвинутых относительно друг друга.

Второй путь является наиболее эффективным. Потоки, сдвинутые по фазе, могут быть получены либо с помощью двух обмоток реле, по которым протекают сдвинутые по фазе токи, либо путем охвата части полюса сердечника электромагнита короткозамкнутым витком. Большее распространение получили *реле переменного тока с разветвленным полюсом* (см. рис. 4.6, а). У таких реле полюс сердечника обмотки у воздушного зазора разделен на две части, имеющие площади S_1 и S_2 , причем на одну из них помещают массивные медные витки (чаще медную втулку), которые охватывают от 0,5 до 0,8 площади торца.

Магнитный поток Φ , созданный обмоткой W_1 , соответственно разделяется на две части (два потока). Поток Φ_1 проходит через площадь S_1 , а поток Φ_2 проходит через площадь S_2 :

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_1 + \bar{\Phi}_2 .$$

Магнитный поток Φ_2 наводит в короткозамкнутых витках ЭДС e_K , сдвинутую по фазе на $\pi/2$.

Так как у короткозамкнутых витков активное сопротивление значительно больше индуктивного, то протекающий по ним ток I_K и созданный им магнитный поток Φ_K совпадают по фазе с e_K . Магнитный поток Φ_K в части S_2 полюса геометрически складывается с потоком Φ_2 :

$$\bar{\Phi}_{S_2} = \bar{\Phi}_2 + \bar{\Phi}_K ,$$

а в части S_1 полюса вычитается из потока Φ_1 :

$$\bar{\Phi}_{S_1} = \bar{\Phi}_1 - \bar{\Phi}_K .$$

Таким образом, потоки Φ_{S1} и Φ_{S2} сдвинуты на угол φ (рис. 4.7). Каждый из них создает тяговое усилие, а результирующее усилие F_{Σ} имеет тем меньше пульсаций, чем ближе к 90° угол φ .

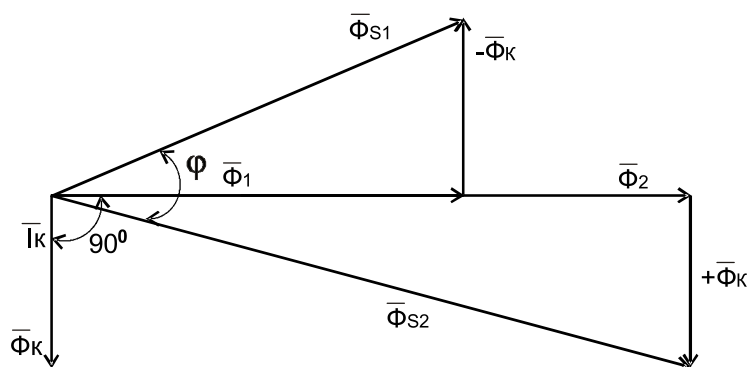


Рис. 4.7. Векторная диаграмма электромагнитного реле переменного тока

Обычно при использовании в реле переменного тока вместо короткозамкнутого витка устанавливают виток из латуни или меди (сечение 2-4 мм²), что обеспечивает сдвиг фаз между потоками Φ_1 и Φ_2 порядка $\pi/3$. При этом тяговое усилие электромагнита в любой момент времени превосходит суммарное механическое противодействующее усилие F_M (рис. 4.8).

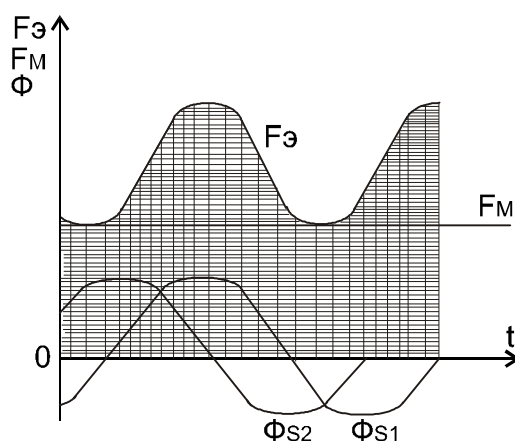


Рис. 4.8. График изменения тягового усилия реле переменного тока с короткозамкнутым витком

В короткозамкнутых витках (витке) реле имеют место некоторые дополнительные потери энергии. Однако основные потери энергии в реле переменного тока — *потери на перемагничивание и вихревые токи* — возникают в его магнитопроводе. Для уменьшения этих потерь сердечник и якорь реле переменного тока набирается из пластин листовой стали с повышенным удельным электрическим сопротивлением и малыми удельными потерями на перемагничивание.

Время срабатывания реле переменного тока непостоянно и может изменяться от нескольких единиц до нескольких десятков миллисекунд. Оно зависит от фазы питающего напряжения в момент включения, так как от величины фазы зависит характер протекания переходного процесса в цепи обмотки. Отключение цепи переменного тока практически происходит при прохождении тока через нулевое значение. Поэтому магнитный поток исчезает достаточно быстро и время отпускания реле обычно невелико. По массогабаритным показателям реле переменного тока уступают (примерно вдвое) нейтральным электромагнитным реле постоянного тока. Реле переменного тока промышленной частоты на напряжения 127, 220, 380 и 500 В находят применение, как правило, в силовом электрооборудовании систем контроля.

Существуют также указательные реле, служащие для фиксации действия защиты в целом или каких-либо ее элементов. На рисунке 4.9 показано указательное реле 1, сигнализирующее действие защиты на отключение выключателя. При срабатывании защиты по обмотке реле 1 проходит ток, приводящий реле в действие.

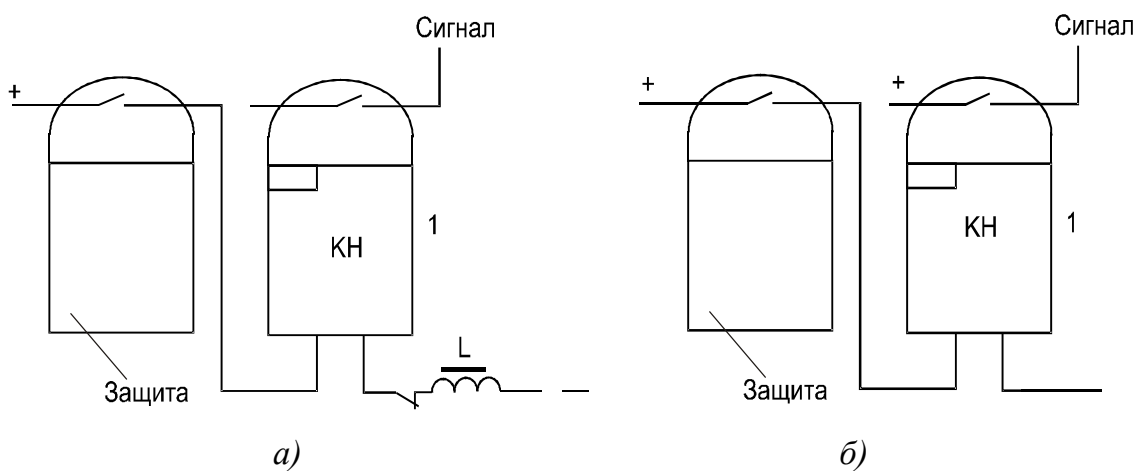


Рис. 4.9. Схемы включения указательного реле:
а — последовательная; б — параллельная

Ввиду кратковременности прохождения тока в обмотке указательных реле, они выполняются так, что сигнальный флажок и контакты реле остаются в сработанном состоянии до тех пор, пока их не возвратит на место обслуживающий персонал.

Указанные реле изготавливаются для последовательного (рис. 4.9, а) и параллельного (рис. 4.9, б) включения. Реле последовательного включения более удобны и поэтому имеют весьма широкое применение. Общий вид указательного реле типа РУ приведен на рисунке 4.10.

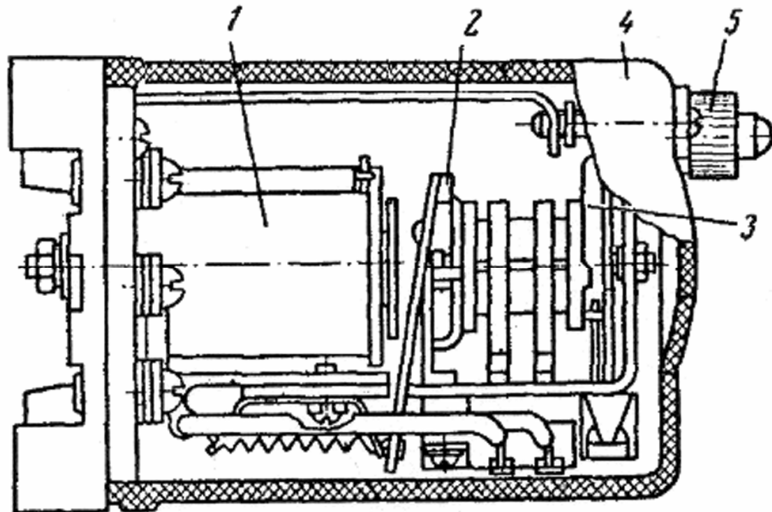


Рис. 4.10. Указательное реле типа РУ

При появлении тока в обмотке 1 якорь реле 2 притягивает и освобождает флажок 3. Последний падает под действием собственного веса, принимая вертикальное положение. В этом положении флажок виден через прозрачный кожух 4. Возврат флажка в начальное положение производится кнопкой 5.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию электромагнитных реле R-15, РПУ, МКУ-48С, РП-4, РЭУ.

2. Собрать электрическую схему для исследования работы реле согласно рисунку 4.11, и после проверки преподавателем включить ее под напряжение.

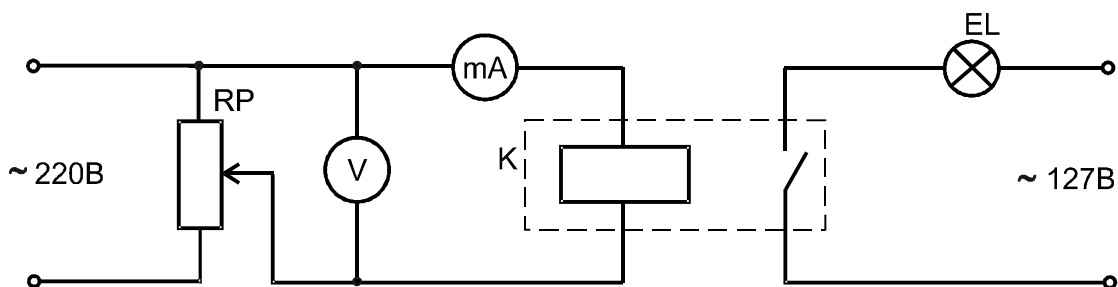


Рис. 4.11. Принципиальная электрическая схема исследования реле

3. Плавно увеличивая потенциометром RP напряжение на обмотке реле, определить ток и напряжение срабатывания реле, т.е. момент, когда тяговое усилие якоря станет больше противодействующего усилия пружины. Если в цепи лампы EL были включены замыкающие

контакты, то срабатывание реле будет сигнализироваться загоранием лампы; если были включены размыкающие контакты, то при срабатывании они будут размыкаться, и лампа будет гаснуть.

4. Плавно уменьшая напряжение на реле, определить напряжение и ток отпускания (кроме реле РЭУ и РП-4).

5. Результаты измерений занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3. Результаты исследования электромагнитных реле

Наименование реле	U_{cp} , В	I_{cp} , А	U_{omn} , В	I_{omn} , А

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Технические характеристики реле R-15, РПУ, МКУ-48С, РП-4, РЭУ.
3. Схемы внутренних электрических соединений реле и схемы испытаний. Схема электрических соединений реле МКУ-48С представлена на рисунке 4.12, а остальных — на самих реле.
4. Коэффициент возврата реле (кроме РЭУ и РП-4).
5. Мощность, потребляемая катушкой реле при срабатывании P_{cp} и при отпуске P_{omn} . Вид реле R-15, РПУ, МКУ-48С, РП-4 по величине мощности управления.
6. Коэффициент усиления реле.
7. Выводы по работе.

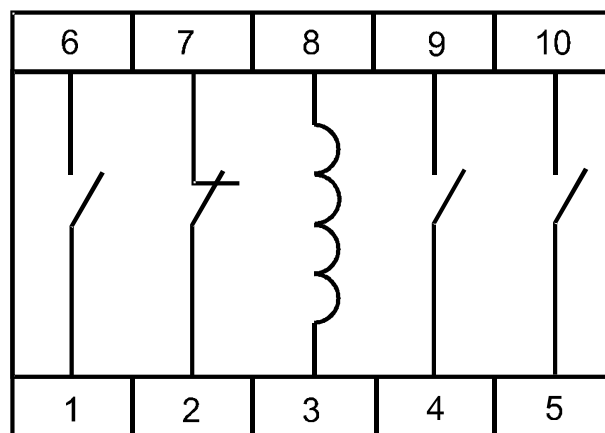


Рис. 4.12. Схема соединений реле МКУ-48С

Контрольные вопросы

1. Какими основными параметрами характеризуются реле?
2. Какими четырьмя основными органами обладают реле?
3. Как классифицируются реле?
4. Какая разница в конструкции электромагнитных реле постоянного и переменного тока и указательного реле?
5. Принцип действия поляризованного реле. Типы поляризованных реле.
6. Какая величина для реле является входной, какая выходной?
7. Как определяется коэффициент усиления реле?
8. Какие способы применяются для замедления срабатывания реле?
9. Каким образом можно уменьшить искрение контактов, если они работают в цепи индуктивной нагрузки?
10. Что лимитирует величину нагрузки, в цепи которой включены контакты реле?
11. Почему коэффициент возврата реле K_v может быть как угодно близким к единице, но не может быть равен или больше единицы?
12. Можно ли использовать электромагнитное реле постоянного тока в цепях переменного тока?

Лабораторная работа 5 **Исследование работы командоаппарата**

Цель работы: изучить конструкцию и провести исследование работы командоаппарата КЭП-12У.

Описание устройства и настройки командоаппарата

Прибор КЭП-12У (командный электропневматический, 12-канальный, универсальный) служит для регулирования во времени, последовательности и продолжительности различных операций в технологическом процессе.

Прибор может изготавливаться с электрическим или пневматическим выходом в любой комбинации и соответственно управлять электрическими и пневматическими устройствами. Данный командоаппарат имеет только электрический выход.

Прибор автоматически включает и отключает управляющие контакты для производства той или иной операции по заранее заданному графику времени.

Прибор включается тумблером S (рис. 5.1), при этом загорается сигнальная лампа HL, если контакт K12 был предварительно замкнут в цепи питания электродвигателя M.

Прибор можно включить дистанционно с помощью соленоида YA, для этого, наоборот, предварительно должен быть включен тумблер S.

Для дистанционного пуска нажимают на кнопку SB «Пуск», установленную в любом удаленном месте.

Соленоид при втягивании включает контакт K12, замыкается цепь электродвигателя M и лампы HL.

Синхронный двигатель M через редуктор, храповой расцепляющий механизм и 4-позиционную коробку скоростей приводит во вращение распределительный вал. Кулачки, расположенные на распределительном валу, сбрасывают и взводят защелки быстродействующих путевых выключателей K1...K11: правый кулачок сбрасывает защелку, а левый взводит.

Продолжительность времени полного цикла выбирается по таблице 5.1 и может иметь для данного командоаппарата продолжительность от 30 с до 18 часов.

Время цикла устанавливается поворотом нижнего колокола, расположенного на скобе редуктора. Для этого предварительно надо вывести скользящую шестерню из зацепления.

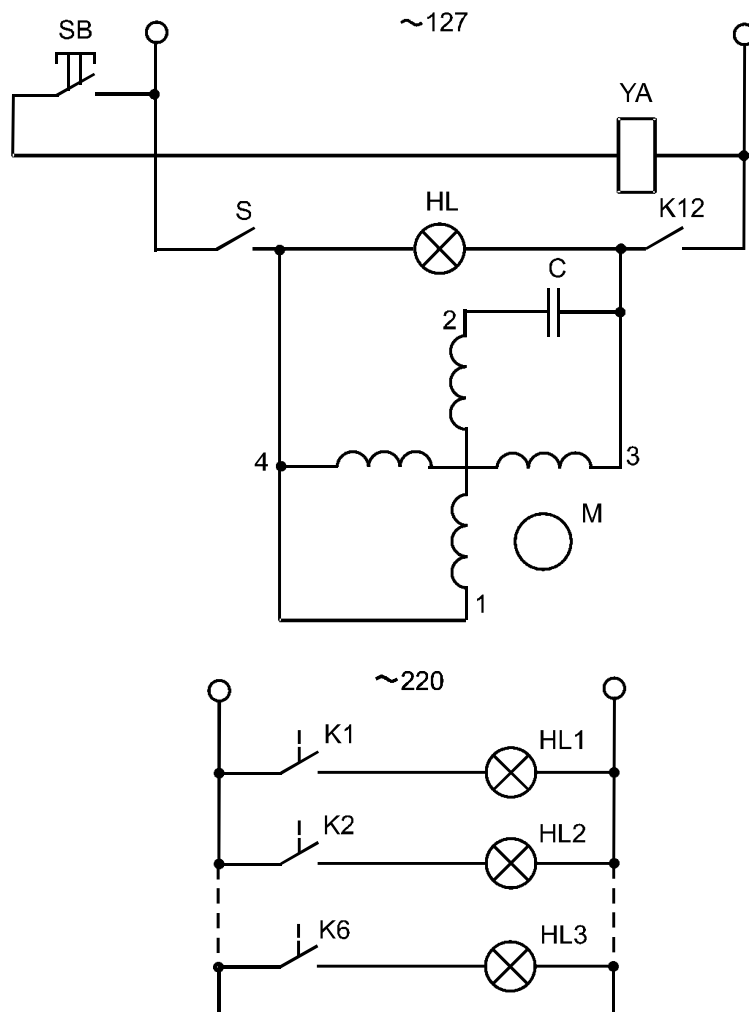


Рис. 5.1. Принципиальная электрическая схема командоаппарата КЭП-12У

Колокол устанавливается на деление, указанное в графе 1 таблицы 5.1, шестерня ставится в одно из 4-х положений, указанных в таблице, содержащей выбранное значение времени цикла.

Таблица 5.1. Продолжительность времени
одного оборота вала прибора КЭП-12У

Деление колокола на скобе редуктора	Положение скользящей шестерни (считая от двигателя)							
	I		II		III		IV	
	мин	с	мин	с	мин	с	мин	с
1	2	3	4	5	6	7	8	9
4			2	51	17	51	111	27
6			2	55	18	15	113	55
8			2	59	18	39	116	22
10			3	03	19	03	118	57
12		29,8	3	07	19	29	121	37
14		30,6	3	11	19	57	124	31
16		31,3	3	16	20	25	127	40
18		32,0	3	20	20	55	130	37
20		32,9	3	26	21	26	133	49
22		33,7	3	31	21	59	137	15
24		34,6	3	36	22	34	140	53
26		35,6	3	42	23	10	144	38
28		36,5	3	48	23	49	148	42
30		37,6	3	55	23	33	152	59
32		38,6	4	02	25	14	157	29
34		39,8	4	09	25	59	162	12
36		41,1	4	17	26	47	167	14
38		42,4	4	25	27	49	172	41
40		43,8	4	34	28	36	178	28
42		45,3	4	43	29	34	184	34
44		46,9	4	54	30	38	191	12
46		48,7	5	04	31	46	198	
48		50,5	5	16	32	59	206	
50		52,6	5	29	34	18	214	
52		54,8	5	42	35	44	223	
54		57,2	5	57	37	17	223	
56		69,8	6	14	38	39	243	
58	1	2,6	6	31	40	50	255	
60	1	5,8	6	51	42	53	268	
62	1	9,2	7	13	45	09	282	
64	1	13,0	7	37	47	39	297	
66	1	17,3	88	03	50	27	315	
68	1	22,5	8	34	53	36	335	
70	1	27,6	9	08	57	10	357	
72	1	33,9	9	47	61	15	382	
74	1	41,1	10	32	65	58	412	
76	1	49,6	11	25	71	28	446	
78	1	59,5	12	27	77	57	487	
80	2	11,5	13	42	85	46	535	
82	2	26,1	15	13	95	17	595	

Продолжение таблицы 5.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
84	2	44,4	17	07	107	13	669	
86							765	
88							892	
90							1071	

В таблице 5.1 находят время, ближайшее к заданному.

Время отдельной операции устанавливается по верхнему колоколу.

Для этого необходимо:

– рассчитать, на каком делении шкалы должна быть произведена требуемая операция. Например, время цикла $T = 80$ мин. Первая операция должна произойти через $T_1 = 4$ мин. Вторая — через $T_2 = 20$ мин. Третья — через $T_3 = 80$ мин, считая от начала цикла, т.е. с момента пуска. Требуемое деление верхнего колокола A определяют по формуле

$$A_1 = \frac{100 T_1}{T} = \frac{100 \cdot 4}{80} = 5, \quad A_2 = \frac{100 \cdot 20}{80} = 25, \quad A_3 = \frac{100 \cdot 80}{80} = 100 \text{ (или } 0\text{);}$$

- установить найденное деление шкалы колокола на распределительном валу напротив стрелки;
- установить кулачок, находящийся против того контакта, который замыкает нужную цепь, до упора в защелку путевого выключателя. Для передвижения кулачка по пазу вала следует ослабить винт.

Закончив настройку всех кулачков, следует установить скользящую шестерню в зацепление с одной из шестерен редуктора согласно таблице. Запустить прибор на пробный цикл, проверить точность настройки и, в случае необходимости, произвести дополнительную регулировку.

Ниже приведены характеристики командоаппарата КЭП-12У (табл. 5.2).

Таблица 5.2. Технические данные командоаппарата КЭП-12У

Параметр	Значение
Напряжение сети (при частоте 50 Гц), В	127
Разрывная мощность контактов (при напряжении 220 В, силе тока до 5 А), Вт	500
Общее число различных циклов	163
Максимальное число команд за цикл	96
Погрешность прибора, %	$\pm 2,5$
Потребляемая мощность, Вт	50
Масса прибора, кг	10

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией прибора и порядком его настройки.
2. Выведя из зацепления скользящую шестерню нижним колоколом, установить время цикла (задается преподавателем).
3. Верхний колокол поставить делением «0» напротив стрелки.
4. Включить вилку командоаппарата в розетку с напряжением 127 В, а вилку электроприемников — в розетку с напряжением 220 В. В качестве электроприемников используются два электродвигателя и две электролампы.
5. Рассчитать по формуле время каждой операции (по заданию преподавателя).
6. Установить время каждой из операций на верхнем колоколе, устанавливая кулачки напротив контактов при помощи специальной отвертки.
7. Установить скользящую шестерню редуктора в одно из четырех положений.
8. Подать напряжение на прибор и проверить настройку времени по часам или секундомеру. Если командоаппарат должен отключиться в конце цикла, то необходимо задействовать контакт К12 (установить отключающий кулачок).
9. Данные, полученные в результате опыта, занести в таблицу 5.3. По данным опыта построить временную диаграмму. Образец диаграммы представлен на рисунке 5.2.

Таблица 5.3. Результаты исследования командоаппарата

№ объекта	Время включения, с	Время отключения, с	Продолжительность операции, с	Характеристика объекта
1				
2				
3				
4				

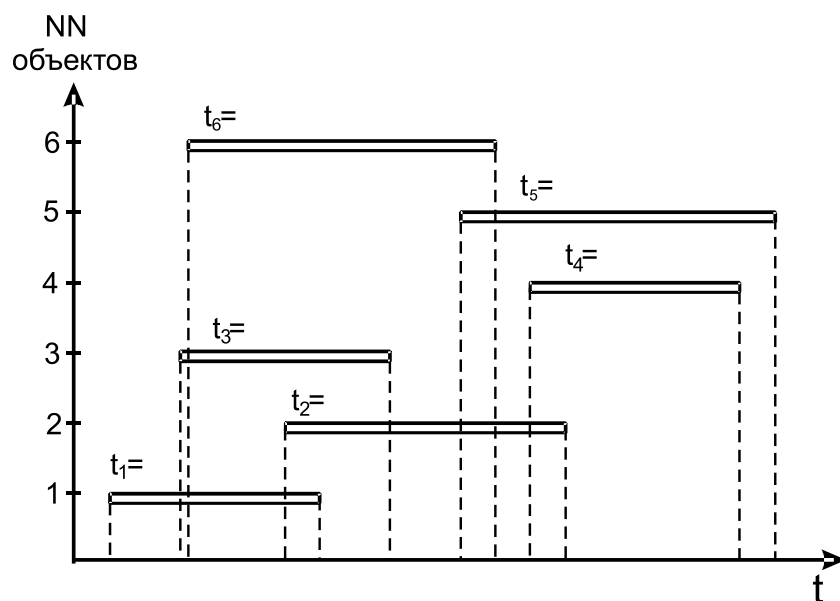


Рис. 5.2 Пример временной диаграммы командоаппарата

10. Снять напряжение с прибора. Закрыть крышку.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Основные технические данные командоаппарата.
3. Принципиальная электрическая схема прибора.
4. Временная диаграмма переключения контактов командоаппарата.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение командоаппарата КЭП-12У.
2. Устройство и принцип действия.
3. Почему прибор КЭП-12У называется электропневматическим?
4. Как устанавливается необходимое время цикла и время отдельной операции на приборе?
5. Как осуществляется самоостанов командоаппарата в конце цикла?
6. Сколько независимых электрических цепей можно подключить к командоаппарату?
7. Сколько независимых выдержек времени может создать КЭП-12У?
8. Как отразится понижение напряжения в сети на работе командоаппарата?
9. Можно ли подключить к командоаппарату трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором?

10. Можно ли подключить к командоаппарату микродвигатель системы автоматики, который должен работать одну минуту, если время цикла 17 мин 0,7 с?
11. Почему в качестве приводного двигателя КЭП-12У использован синхронный двигатель?
12. Достоинства и недостатки командоаппарата КЭП-12У.

Лабораторная работа 6

Изучение структуры САУ и исследование ее работы

Цель работы: изучить устройство, принцип действия САУ и исследовать ее работу.

Основные теоретические сведения

Внедрение автоматически действующих устройств в тот или иной технологический процесс называется его автоматизацией. В зависимости от функций, выполняемых специальными автоматическими устройствами, различают следующие основные виды автоматизации: автоматический контроль (автоматическая сигнализация, измерение, сортировка, сбор информации), автоматическая защита, автоматическое управление, которое реализуется *системами автоматического управления САУ*.

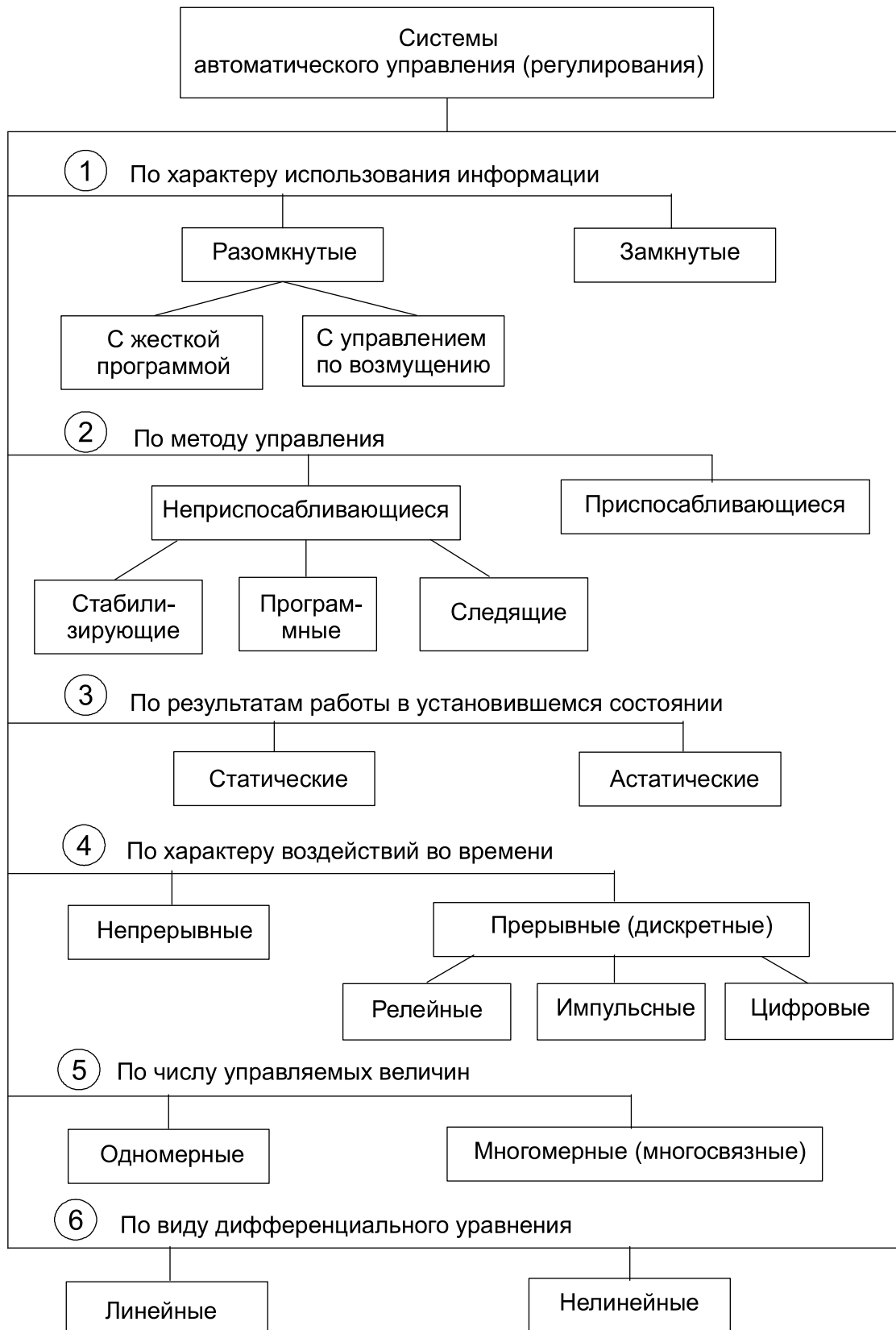
САУ — это совокупность управляемого объекта и автоматического управляющего устройства, взаимодействующих между собой в процессе работы. В практике наблюдается большое разнообразие САУ. Их классификация возможна по различным признакам (рис. 6.1).

В основе построения САУ обычно используют следующие принципы: логическое управление, программное управление, управление по отклонению, управление по возмущению, комбинированное управление.

Объект управления (объект регулирования). Это устройство (совокупность устройств), осуществляющее технический процесс, которое нуждается в специально организованных воздействиях извне для осуществления его алгоритма функционирования. Отличительной особенностью сельскохозяйственного производства является большое разнообразие объектов управления. В качестве их может выступать любой технологический процесс, рабочая машина, установка, электрическая печь, теплица, животноводческое помещение, мобильная машина и т.п., где ставится задача управлять хотя бы одним параметром. Каждому объекту управления присущи свои статические и динамические характеристики; такие свойства, как аккумулирующая способность, самовыравнивание, запаздывание; такие параметры, как

коэффициент емкости, коэффициент самовыравнивания, время запаздывания, время разгона, постоянная времени объекта и др. Знание их необходимо при автоматизации объекта.

Автоматическое управляющее устройство (регулятор). Основной классификационный признак автоматических регуляторов — *закон регулирования* (уравнение, связывающее выходную величину (командный сигнал регулятора) с входной). Согласно ему основные типы регуляторов бывают *непрерывного действия* и *позиционные*. В свою очередь, регуляторы непрерывного действия делятся на пропорциональные П, интегральные И, пропорционально-интегральные ПИ и пропорционально-интегрально-дифференциальные ПИД.



*Рис. 6.1. Классификация систем
автоматического управления (регулирования)*

Для обеспечения нормального протекания технологического процесса система автоматического регулирования, прежде всего, должна быть устойчивой. Оценка САР с точки зрения устойчивости ее работы является обязательной и необходимой. Только устойчивая система регулирования может быть пригодна для эксплуатации. Однако устойчивость системы, будучи условием необходимым, во многих случаях не является условием достаточным. Действительно, часто оказывается мало знать, что система устойчива, необходимо еще установить, как скоро заканчивается переходный процесс и не появляется ли при переходном процессе слишком больших отклонений регулируемого параметра. Ответ на поставленный вопрос может дать дополнительный анализ работы САР, оценивающий качество ее работы.

Под *качеством работы системы регулирования* понимается точность исполнения этой системой предписанного закона изменения регулируемой величины. К оценке качества работы САР приступают только после того, как убедятся, что переходные процессы в системе сходящиеся, а сама система, следовательно, устойчива.

Качество процессов регулирования оценивается ошибками в установившихся режимах и качеством переходных процессов.

Точность регулирования в установившемся режиме характеризуется *статической ошибкой*. Она представляет собой разность между заданным y_3 и фактически установившимся $y_{уст.ф}$ значениями регулируемой величины и определяется по статической характеристике (рис. 6.2):

$$\Delta(x) = y_3 - y_{уст.ф},$$

где x — входное воздействие.

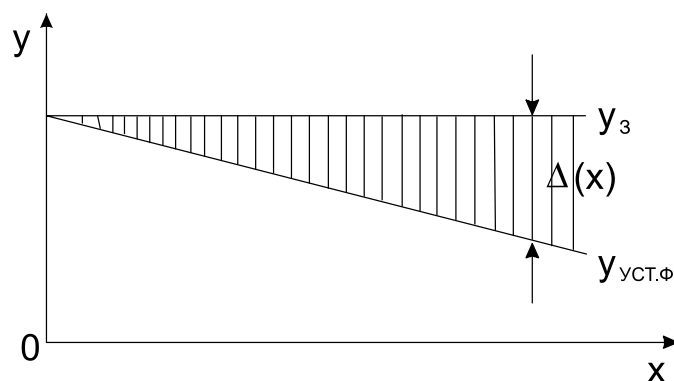


Рис. 6.2. График статической характеристики

Качество переходных процессов обычно оценивают по переходной функции $y(t)$, которая представляет собой реакцию системы на внешнее воздействие типа единичной ступенчатой функции $1(t)$. Характер ее изменения может быть самым различным.

На примере переходной функции $y(t)$ (рис. 6.3), представляющей затухающие колебания в линейной системе второго порядка, познакомимся с основными показателями качества переходного процесса.

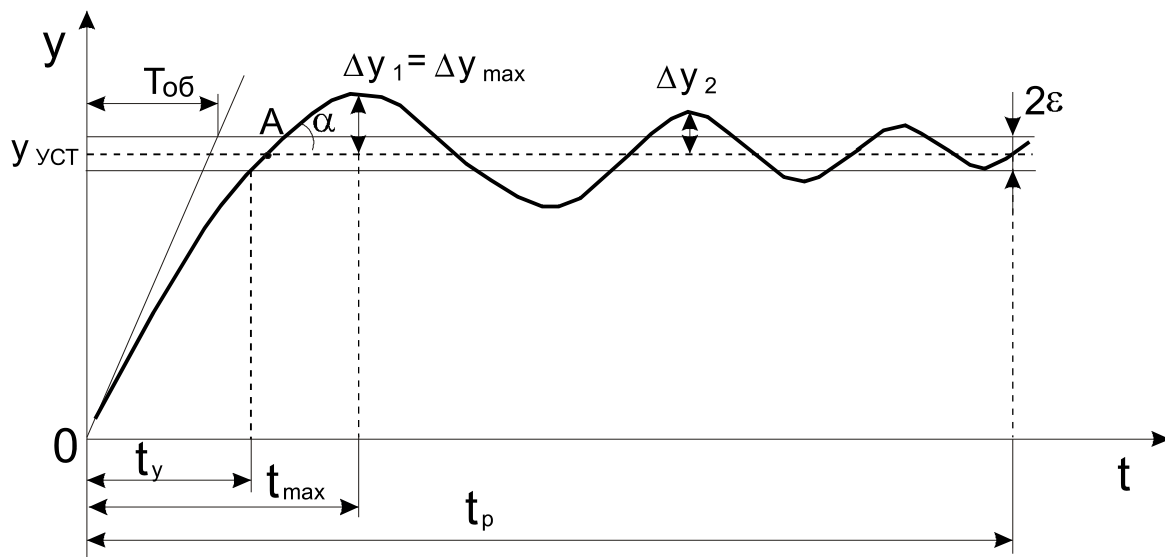


Рис. 6.3. График переходной функции $y(t)$

1. *Динамическая ошибка* (точность) представляет собой отклонение Δy регулируемой величины $y(t)$ от нового установившегося значения $y_{уст}$ во время переходного процесса

$$\Delta y = y_{уст} - y(t).$$

2. *Перерегулирование* (выброс) Δy_{max} представляет собой максимальное отклонение регулируемой величины в переходном режиме от нового установившегося значения в сторону, противоположную от начального значения. Обычно первый максимум является наибольшим. Величина перерегулирования характеризует количественно динамическую ошибку и определяется коэффициентом перерегулирования σ . Это есть не что иное, как *относительное перерегулирование*, которое вычисляется по формуле

$$\sigma = \frac{\Delta y_{max}}{y_{уст}} 100\% = \frac{y_{max} - y_{уст}}{y_{уст}} 100\%.$$

3. *Время регулирования* t_p определяется длительностью переходного процесса. Теоретически считают, что он заканчивается, как только отклонение регулируемой величины от нового ее установившегося значения не будет превышать допустимых пределов ε , примерно равных нечувствительности регулятора. Обычно принимают $\varepsilon = (3...5)\%$ от $y_{уст}$. Временем регулирования характеризуют быстродействие системы. Однако иногда быстродействие характеризуют

также временем t_y достижения переходной функцией первый раз нового установившегося значения или временем t_{max} — достижения максимального значения y_{max} . Время регулирования и перерегулирования тесно связаны между собой. Их числовые значения часто задают в качестве исходных данных для синтеза корректирующих устройств, поскольку правильным выбором и настройкой последних обеспечивается подавление нежелательных колебаний регулируемой величины в переходном процессе. В качестве оптимального допускают перерегулирование в пределах 20-30%. При этом число полуколебаний переходной функции равно 2-3.

4. *Колебательность процесса* характеризуется частотой и числом собственных колебаний системы, которые зависят от конструкции и типа регулятора. Колебательность оценивается количественно по *логарифмическому декременту затухания*, который представляет собой натуральный логарифм отношения двух последовательных амплитуд отклонений регулируемой величины одного направления:

$$d = \ln \frac{\Delta y_1}{\Delta y_2}.$$

Чем больше логарифмический декремент затухания, тем быстрее происходит затухание переходного процесса.

5. При расчетах часто пользуются понятием *постоянной времени объекта* $T_{об}$, которая равна времени разгона объекта без самовыравнивания. Один из графических методов определения $T_{об}$ заключается в следующем. Через точку, соответствующую началу переходного процесса, проводят касательную к кривой $y(t)$ до пересечения с прямой нового установившегося значения. Отрезок, отсекаемый на этой прямой, соответствует постоянной времени объекта $T_{об}$. Этот показатель можно определить графическим методом и по трем точкам или рассчитать аналитически. Обычно увеличение постоянной времени $T_{об}$ ухудшает условия управления объектом. Время регулирования и постоянная времени объекта связаны соотношением

$$t_p = (4 \div 6) T_{об}.$$

6. Значительный практический интерес представляет такой показатель, как *запас устойчивости* системы. В общем случае под запасом устойчивости понимается величина, характеризующая удаленность системы от границы устойчивости.

Приведенные выше показатели качества, как правило, оказываются вполне достаточными для характеристики динамических свойств системы регулирования в переходном процессе, вызванном тем или иным ти-

повым воздействием, хотя не все эти показатели одинаково необходимы для характеристики, например, таких систем, как линейные первого или апериодические второго порядка, а также систем с позиционным регулятором. Так, для систем с позиционным регулятором не существует установившегося значения регулируемой величины, а в качестве последней следует принять ее заданное значение, для линейной же системы они, по крайней мере, должны быть равны.

Позиционные (релейные) регуляторы вырабатывают сигнал, который перемещает рабочий орган в одно из фиксированных положений (позиций). Этим положением может быть два, три и более, соответственно, различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы. Такие автоматические устройства скачкообразно нелинейно реагируют на изменение величины отклонения регулируемого параметра от заданного значения. Такие системы находятся в режиме установившихся колебаний (автоколебаний).

Двухпозиционные регуляторы применяются для управления объектами с малым запаздыванием τ и с большой постоянной времени $T_{об}$: например, для регулирования уровня воды в резервуарах больших водокачек, для регулирования температуры и влажности в теплицах и животноводческих помещениях и т.п. При $\tau/T_{об} < 0,2$ рекомендуется позиционный регулятор. Чем это отношение больше, тем задача автоматизации сложнее. При $0,2 \leq \tau/T_{об} \leq 1$ уже рекомендуется регулятор непрерывного действия.

Позиционные регуляторы нашли широкое применение в практике благодаря таким их преимуществам, как простота технических способов управления энергетическими потоками, удобство сочетания релейного элемента с ИМ постоянной скорости, перемещающим РО, а также благодаря дешевизне, надежности и простоте настройки самих регулирующих устройств.

В данной лабораторной работе исследуемая релейная система автоматического регулирования (рис. 6.4) состоит из объекта регулирования (электропечь), регулятора (ТРР-2), датчика температуры (контактный ртутный термометр расширения SK) и исполнительного реле К2, встроенного в регулятор, имеющего достаточно мощные контакты, необходимые для коммутации в цепи нагревательного элемента ЕК печи. Регулятор состоит из двух реле: К1 — промежуточный и К2 — исполнительный. В схеме имеется трансформатор Т. На первичную обмотку трансформатора подается напряжение 220 В, а со вторичной — снимается пониженное напряжение: 48 В для питания реле К1 и 4 В для сигнальных ламп HL1 и HL2. HL1 — лампа (крас-

ная), сигнализирующая о наличии напряжения на регуляторе (включен в сеть); HL2 — лампа (зеленая), сигнализирующая о включенном состоянии исполнительного реле K2 и, соответственно, электропечи.

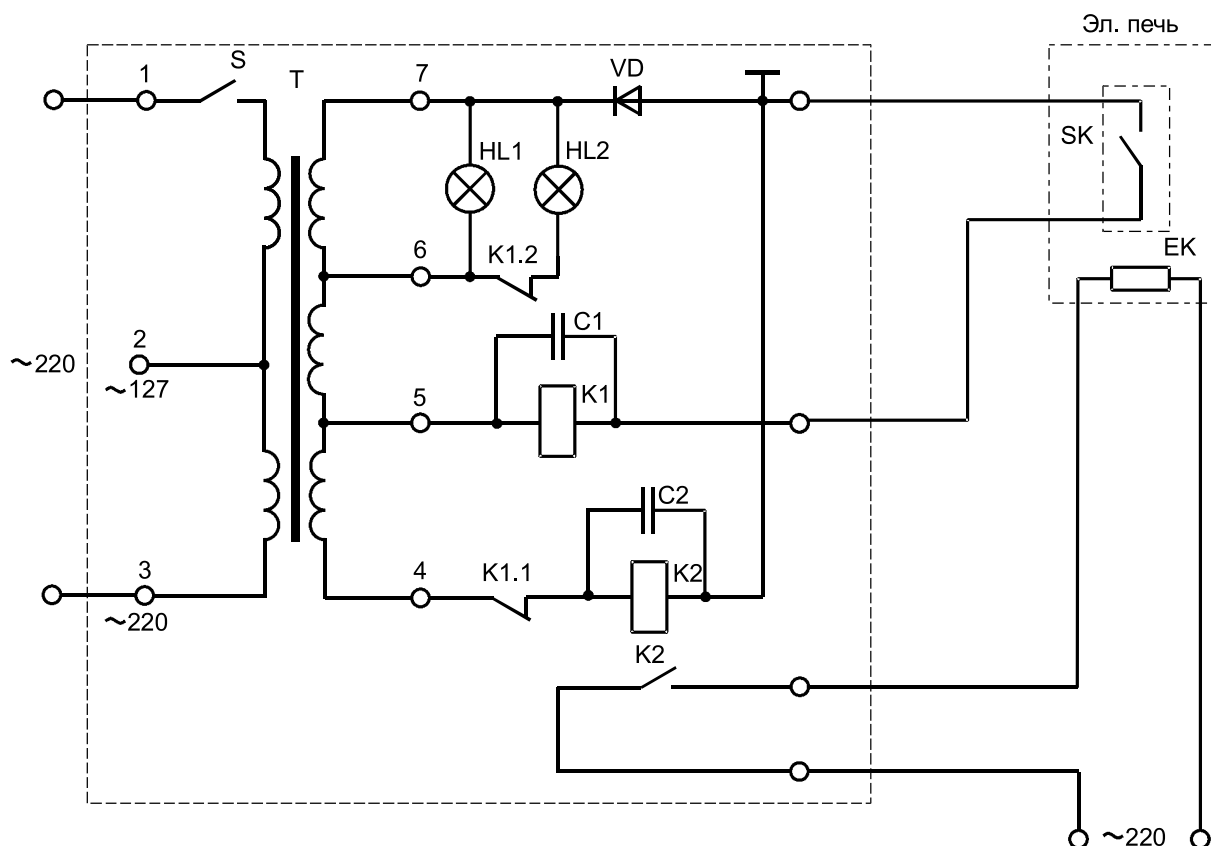


Рис. 6.4. Принципиальная электрическая схема регулятора TPP-2

Работает схема следующим образом. При подаче напряжения тумблером S на схему загорается красная лампа HL1. Получает питание катушка реле K2. Реле K2 срабатывает и своим контактом K2 включает в сеть нагревательный элемент EK электропечи. Горит зеленая лампа HL2. Температура в печи повышается. При достижении заданного значения температуры, установленного на контактном термометре, совмещающем в данном случае функции датчика, задающего и сравнивающего устройств, замыкается его контакт SK в цепи питания катушки реле K1, и оно срабатывает. Контакты реле K1 размыкаются, при этом теряет питание катушка реле K2 и гаснет лампа HL2. В свою очередь, реле K2 отключает нагревательный элемент от сети. Подогрев в электропечи прекращается. При понижении температуры ртутный столбик контактного термометра опускается и размыкает цепь питания катушки реле K1. Реле K1 обесточивается, и процесс повторяется.

Порядок выполнения работы

1. Изучить принципиальную схему исследуемой системы, определить назначение каждого из ее элементов.
2. Ознакомиться с конструкцией датчика — контактным термометром и принципом его настройки.
3. Ознакомиться с конструкцией регулятора ТРР-2 (прилагается второй регулятор в разобранном виде).
4. Вращением ручки магнитной головки контактного термометра (предварительно ослабить стопорный винт) установить заданный предел температуры нагревания электрической печи (задается преподавателем).
5. Внешним осмотром проверить исправность оборудования.
6. Собрать схему согласно рисунку 6.4.
7. Получить разрешение преподавателя на подачу напряжения на схему.
8. Включить тумблер S «Вкл.» регулятора ТРР-2 одновременно с пуском секундомера или засечь время по часам. Через каждую минуту записывать показания температуры по ртутному термометру. Данные заносить в таблицу 6.1. Запись показаний производить в течение 30 мин.

Таблица 6.1. Результаты измеренных значений

t , мин									
θ , °С									

9. Отключить тумблер S регулятора и автомат сети на стенде, разобратить схему.
10. По данным таблицы 6.1 построить кривую переходного процесса.
11. Определить качество работы САР:
 - среднее значение регулируемого параметра θ_{cp} , которое поддерживает регулятор;
 - основные параметры переходного процесса A и T — амплитуда и период автоколебаний;
 - время запаздывания τ ;
 - постоянную времени объекта $T_{об}$;
 - по значению отношения $\tau/T_{об}$ сделать заключение о соответствии регулятора объекту.
12. Дать анализ показателей.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Начертить принципиальную схему САР.
3. Составить функциональную схему САР.
4. Определить принцип управления, положенный в основу построения исследуемой САР.
5. Построить кривую переходного процесса.
6. Дать заключение об устойчивости САР.
7. Дать анализ показателей качества работы САР.
8. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется системой автоматического управления (системой автоматического регулирования)?
2. Как классифицируются САУ?
3. Какие принципы используют в основе построения САУ?
4. Классификация автоматических регуляторов.
5. Позиционные регуляторы, их достоинства и недостатки. Двух- и трехпозиционные регуляторы.
6. Какие параметры характеризуют качество регулирования?
7. Из каких элементов автоматики состоит данная САР?
8. Что называется функциональной схемой САР?
9. Какую функцию выполняет датчик в САР?
10. К каким системам относится данная САР согласно алгоритму функционирования?
11. Что называется переходным процессом?
12. Какой характер переходного процесса в данной САР?
13. Что влияет на характер переходного процесса в данной САР?
14. Какой принцип управления заложен в исследуемой системе?
15. Устройство и принцип настройки электроконтактного термометра.

Лабораторная работа 7

Изучение системы управления поточной линией (на примере комплекса КЗС-20Ш)

Цель работы: изучить технологическую схему очистки зерна, принципиальную электрическую схему управления, блокировки и сигнализации машин и механизмов зерноочистительного отделения комплекса КЗС-20Ш.

Описание устройства зерноочистительного отделения комплекса

Зерноочистительное отделение является составной частью типового поточного зерноочистительно-сушильного комплекса КЗС-20Ш производительностью 20 т/ч. Оно состоит из строительной части, включающей завальный бункер, приямок нории, фундаменты под опоры металлической арматуры агрегата, площадку для установки автомобилеподъемника, пандус для въезда автомашины на автомобилеподъемник и набора машин и оборудования, куда входят: автомобилеподъемник ГАП-2Ц, загрузочная нория 2РЗ-20, машина предварительной очистки зерна ЗД-10000, две воздушно-решетные зерноочистительные машины ЗАВ-10.30000, два триерных блока ЗАВ-109000, централизованная воздушная система ЗАВ-20.60000 производительностью 20 000 м³/ч, два передаточных транспортера ЗАВ-10.50000 А (Б), транспортер отходов ЗИ-40000, пульт управления ПУ, зернопроводы, блок бункеров с опорами и арматурой перекрытия. Бункера предназначены: первый — для очищенного зерна, второй разделен на две части и служит для накопления фуража и отходов, третий бункер — резервный.

Все машины и оборудование увязаны между собой по производительности и смонтированы на блоке бункеров, к которому крепится перекрытие.

Все технологическое оборудование и вспомогательные механизмы электрифицированы. Установленная мощность всех электроприемников зерноочистительного отделения 30 кВт. В качестве приводных машин служат трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором в закрытом обдуваемом исполнении с герметической вводной коробкой. Выбор электродвигателей в таком исполнении продиктован требованиями пожарной безопасности.

Для управления электродвигателями зерноочистительного отделения предусмотрен пульт управления ШАИ 5904-23Б1. Он представляет собой металлическую конструкцию из листовой стали в пыленепрони-

цаемом исполнении. Все кабели и провода, соединяющие ПУ с технологическим оборудованием, вводятся через вводную коробку на панели зажимов, расположенных внутри ПУ. На верхней панели и внутри пульта смонтирована вся пусковая, защитная и сигнальная аппаратура. На верхней панели установлены: кнопки «Пуск» и «Стоп», кнопка аварийной остановки всего оборудования, кнопка звукового сигнала для подачи сигнала перед пуском оборудования, два универсальных переключателя вариантов технологических схем, сигнальные лампы. Назначение каждого элемента указано в табличках с соответствующими надписями. Внутри пульта управления смонтированы автоматические выключатели, магнитные пускатели, промежуточные реле, понижающий трансформатор 220/12В для подключения переносной лампы.

Описание принципиальной электрической схемы управления зерноочистительным отделением комплекса КЗС-20Ш

Напряжение питания силового электрооборудования, цепей управления и сигнализации 380/220 В. Напряжение подается рубильником QS, установленным на правой боковой панели снаружи ПУ (см. планшет).

После включения рубильника рукоятка остается зафиксированной, а после выключения снимается.

Порядок включения и выключения электродвигателей в работу определяется технологической схемой движения зерна. Выбор требуемого варианта производится поворотом рукояток универсальных переключателей SA1 и SA2. Переключатель SA1 предназначен для выбора технологической схемы. Каждая технологическая схема определяет конкретный режим работы машин зерноочистительного отделения. Таких режимов четыре: три рабочих и один наладочный. Переключатель SA2 предназначен для ввода в работу одной из двух технологических линий или обеих линий одновременно. При этом в каждом случае создаются необходимые блокировочные связи, выполненные вспомогательными контактами магнитных пускателей. Наличие блокировочных связей обеспечивает последовательность при включении машин (против движения продукта) и позволяет при аварийном или случайном выходе из строя одной из машин автоматически выключить все предыдущие машины технологической линии. Возможные варианты технологических схем и необходимый порядок включения машин зерноочистительного отделения приведены в таблице 7.1. Дистанционное управление электродвигателями машин производится кнопочными станциями SB1-SB18.

Таблица 7.1. Технологические режимы работы зерноочистительного отделения КЗС-20Ш

SA1		Технологическая схема агрегата	Порядок включения машин агрегата	SA2		Примечания	Условные обозначения машин
Надпись на розетке	Положение рукоятки			Надпись на розетке	Положение рукоятки		
4	+45°	Предварительная очистка Воздушно-решетная очистка Триерная очистка	В-1БТ-1ТР-1ЗВС-ПО-НЗ	3	+45°	Работает первая линия	В — вентилятор централизованной воздушной системы; ЗВС — ветрорешетная зерноочистительная машина; БТ — блок триерный; ТР — транспортер; НЗ — нория загрузочная; ПО — машина предварительной очистки
			В-2БТ-2ТР-2ЗВС-ПО-НЗ	1	-45°	Работает вторая линия	
			$V \cdot \frac{1БТ}{2БТ} \cdot \frac{1ТР}{2ТР} \cdot \frac{1ЗВС}{2ЗВС} \cdot ПО \cdot НЗ$	2	0°	Работают обе линии	
3	0°	Предварительная очистка	В-ПО-НЗ				
2	-45°	Предварительная очистка Воздушно-решетная очистка	В-1ТР-1ЗВС-ПО-НЗ	3	+45°	Работает первая линия	
			В-2ТР-2ЗВС-ПО-НЗ	1	-45°	Работает вторая линия	
			$V \cdot \frac{1ТР}{2ТР} \cdot \frac{1ЗВС}{2ЗВС} \cdot ПО \cdot НЗ$	2	0°	Работают обе линии	
1	-90°	Наладочный режим	Произвольный	2	0°		

Примечание. Индексы «1» и «2» относятся к машинам первой и второй линий соответственно.

Включение электродвигателей сигнализируется загоранием соответствующих сигнальных ламп HL1-HL9. Степень заполнения бункеров зерном контролируется мембранными датчиками уровня типа ДУМ-100 (на схеме — SL1-SL4) с действием световой и звуковой сигнализации. При незаполненных бункерах горят световые табло HL11-HL14. После заполнения какого-либо из бункеров соответствующее табло гаснет и включается звуковой сигнал (звонок НА). Для отключения звукового сигнала необходимо разгрузить заполненный бункер или отключить двигатель загрузочной норрии, т.е. остановить технологический процесс. Электрическая схема предусматривает мгновенное отключение всех машин зерноочистительного отделения при аварийной ситуации или несчастном случае с обслуживающим персоналом. Для этого в общей цепи питания схемы управления установлены контакты аварийной кнопки «Стоп». Таких кнопок обычно бывает несколько (SB20, SB21, SB22), устанавливаются они в разных местах зерноочистительного отделения. Все кнопки «Стоп» имеют красный цвет, согласно требованиям техники безопасности. Использование аварийных кнопок для отключения всего отделения по окончании работы в нормальных условиях недопустимо, т.к. при одновременной остановке всех машин на линии остается зерно, что в дальнейшем будет затруднять пуск машин в работу.

В схеме предусмотрены автоматы закрытия заслонок норрии YA1-YA2, установленные на обеих ветвях двухпоточной загрузочной норрии. Эти автоматы представляют собой падающие заслонки, которые срабатывают при любом отключении работающей норрии. Когда норрия не работает, ее загрузочное окно закрыто заслонкой, микропереключатель S1(S2) при этом разомкнут, блок-контакт магнитного пускателя норрии KM11.3 замкнут. При подъеме заслонки микропереключатель замыкается, электромагнит оказывается под напряжением, подтянутый сердечник электромагнита не дает возможности поднять и зафиксировать заслонку в поднятом состоянии. В дальнейшем при любом отключении двигателя норрии заслонка падает и закрывает загрузочное окно.

Для защиты от токов короткого замыкания служат автоматические выключатели QF1-QF4 и SF. Для защиты электродвигателей от перегрузок служат тепловые реле КК1-КК11.

Рассмотрим один из рабочих режимов зерноочистительного отделения. Например, требуется осуществить первой технологической линией предварительную, воздушно-решетную и триерную очистки зерна. Производится внешний осмотр всего технологического оборудо-

дования отделения. При этом загорается сигнальная лампа HL10. Включаются все автоматические выключатели QF1-QF4 и SF. Рубильником QS подается общее напряжение. Универсальный переключатель SA1 устанавливается в положение «+45°», что соответствует включению оборудования первой технологической линии. При этом замыкаются его контакты. Для безопасности обслуживающего персонала кнопкой SB19 подается предупредительный звуковой сигнал. Пуск электродвигателей машин поточной линии производится против движения зерна в следующей последовательности: В – 1БТ – 1ТР – 1ЗВС – ПО – НЗ (см. табл. 7.1).

Согласно технологическому процессу, первым всегда вводится в работу вентилятор централизованной воздушной системы — В. При нажатии на кнопку SB2 получает питание катушка магнитного пускателя KM1 (цепочка: фаза В – SF – SB1 – SB2 – контакт КК1 – катушка KM1 – контакт QF1 – SB22 – SB21 – SB20 – SF – фаза С), магнитный пускатель KM1 срабатывает и своими силовыми контактами KM1.1 включает двигатель вентилятора в работу. Загорается сигнальная лампа HL1, кнопка SB2 шунтируется замыкающим контактом KM1.2. Замыкается контакт KM1.3 в цепи питания катушек магнитных пускателей KM2-KM10. Только в этом случае появляется возможность включения последующих машин технологической линии.

При нажатии на кнопку SB4 получает питание катушка KM2 (цепочка: фаза В – SF – контакт KM1.3 – контакт SA1 – SB3 – SB4 – КК2 – катушка KM2 – контакт QF2 – контакт SA2 – кнопки SB20 – SB22 – SF – фаза С). Магнитный пускатель KM2 срабатывает и своими замыкающими силовыми контактами KM2.1 включает двигатель триерного блока 1БТ. Загорается сигнальная лампа HL2. Кнопка SB4 шунтируется контактом KM2.2. Замыкается контакт KM2.3 в цепи питания катушки KM4.

При нажатии на кнопку SB8 получает питание катушка KM4 (цепочка: фаза В – SF – контакт KM1.3 – контакт KM2.3 – контакт SA1 – SB7 – SB8 – КК4 – катушка KM4 – контакт QF2 – контакт SA2 – кнопки SB20-SB22 – SF – фаза С). Магнитный пускатель KM4 срабатывает и своими замыкающими силовыми контактами KM4.1 включает двигатель транспортера 1ТР. Загорается сигнальная лампа HL4. Кнопка SB8 шунтируется контактом KM4.2. Замыкается контакт KM4.3 в цепи питания катушки KM6.

При нажатии на кнопку SB10 получает питание катушка KM6 (цепочка: фаза В – SF – контакт KM1.3 – контакт KM2.3 – контакт SA1 – контакт KM4.3 – SB9 – SB10 – КК6 – катушка KM6 – контакт QF2 – контакт SA2 – кнопки SB20-SB22 – SF – фаза С). Магнитный

пускатель КМ6 срабатывает и своими замыкающими силовыми контактами КМ6.1 включает двигатель зерноочистительной ветрорешетной машины 13ВС. Загорается сигнальная лампа НЛ6. Кнопка SB10 шунтируется контактом КМ6.2. Замыкается контакт КМ6.3 в цепи питания катушек КМ8, КМ9, КМ10 (цепочка: фаза В – SF – контакт КМ6.3 – контакт SA2 – SB15 – SB16 – КК8, КК9, КК10 – катушки КМ8, КМ9, КМ10 – контакт QF4 – кнопки SB20-SB22 – SF – фаза С). Срабатывают магнитные пускатели КМ8, КМ9, КМ10 и своими силовыми контактами КМ8.1, КМ9.1 и КМ10.1 включают двигатели машины предварительной очистки и транспортера отходов. Загорается сигнальная лампа НЛ8. Кнопка SB16 шунтируется контактами КМ8.2, КМ9.2 и КМ10.2, включенными последовательно. Это говорит о том, что пускатели КМ8, КМ9, КМ10 могут работать только одновременно (определяется технологическим процессом). Замыкается контакт КМ10.3 в цепи питания катушки КМ11.

При нажатии на кнопку SB18 получает питание катушка КМ11 (цепочка: фаза В – SF – контакт КМ10.3 – SB17 – SB18 – КК11 – катушка КМ11 – контакт QF4 – кнопки SB20-SB22 – SF – фаза С). Магнитный пускатель КМ11 срабатывает и своими силовыми контактами КМ11.1 включает двигатель загрузочной норрии. Загорается сигнальная лампа НЛ9. Кнопка SB18 шунтируется контактом КМ11.2. Размыкается контакт КМ11.3 в цепи питания электромагнитов YA1-YA2. Замыкается контакт КМ11.4 в цепи питания колокола громкого боя НА. Подается зерно. Осуществляется технологический процесс. Аналогично работает зерноочистительное отделение и в других рабочих режимах.

В случае необходимости управления любой машиной отделения без соблюдения технологической последовательности переключатель SA1 ставят в положение « -90° », а переключатель SA2 — в положение «0». При этом блокировочные связи будут зашунтированы контактами промежуточных реле KL1 и KL2. Такая необходимость может возникнуть, например, при наладке и опробовании отдельных машин.

Порядок выполнения работы

1. Изучить технологическую схему зерноочистительного отделения комплекса КЗС-20Ш (представлена на пульте управления).
2. Изучить технологические схемы работы зерноочистительного отделения и порядок включения машин по таблице 7.1.
3. Прочитать принципиальную электрическую схему управления, сигнализации и блокировки (см. планшет).

4. Найти на верхней панели и внутри пульта всю аппаратуру, установленную согласно принципиальной схеме управления.

5. Перед подачей напряжения на пульт управления путем внешнего осмотра убедиться в исправности всей аппаратуры и проводки.

6. Включить автоматы QF1-QF4, SF. Рубильником QS подать напряжение на установку.

7. Подготовить схему управления к работе согласно какому-либо режиму работы (установить переключатели SA1, SA2 в нужное положение).

8. Проанализировать данный режим согласно принципиальной схеме, объяснить работу отдельных элементов схемы, последовательность включения.

9. Включить оборудование технологической линии.

10. Нажатием кнопки аварийной остановки SB20 убедиться, что все электродвигатели мгновенно отключаются.

11. Еще раз включить электродвигатели этой линии, но в последовательности, отличной от указанной в таблице 7.1. По электрической схеме объяснить невозможность такого включения. Затем включить линию с соблюдением нужной последовательности.

12. Убедиться, что аварийное отключение любой машины, участвующей в технологическом процессе, приводит к отключению всех предыдущих механизмов. Проанализировать положение механизмов по сигнальным лампам ПУ, определить отключившийся механизм и объяснить, как должен действовать оператор в данной ситуации.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Дать основные технические данные КЗС-20Ш (зерноочистительного отделения).
3. Изобразить технологическую схему работы зерноочистительного отделения.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Указать все виды автоматизации, примененные на комплексе.
2. Почему невозможно включить машины и механизмы в последовательности, отличной от указанной в таблице 7.1?
3. Назначение промежуточных реле KL1 и KL2.
4. Каково назначение автоматических выключателей в силовых цепях электродвигателей?

5. Какая защита электродвигателей от перегрузки предусмотрена в схеме?
6. Какое назначение имеет централизованная воздушная система?
7. Какая сигнализация предусмотрена в схеме?
8. В какой последовательности производится отключение электродвигателей зерноочистительного отделения по окончании работы?
9. Как читается диаграмма работы ключей SA1 и SA2 на принципиальной схеме?
10. Что произойдет, если один из механизмов технологической линии отключится во время работы по какой-либо причине?
11. Как осуществляется технологическая блокировка?
12. Почему в цепи самоподпитки катушек пускателей КМ8, КМ9, КМ10 блок-контакты этих пускателей включены последовательно?
13. Как работает автомат закрытия заслонки загрузочной норки?
14. Как действует сигнализация уровня зерна в бункерах?
15. Почему нельзя пользоваться кнопками «Стоп» SB20-SB22 для отключения электродвигателей в обычных, неаварийных условиях?
16. Перечислить возможные случаи неисправности или повреждения оборудования (как силовых цепей, так и цепей управления), которые приводят к отключению машин поточных линий.
17. Что означает появление звукового сигнала и погасание одной из сигнальных ламп HL11-HL14?

Лабораторная работа 8

Исследование работы САР (на примере установки «Климат-44») для создания микроклимата в производственных помещениях

Цель работы: изучить устройство, схему управления и работу установки «Климат-44».

Описание установки «Климат-44»

Микроклимат — это климат ограниченного пространства, предусматривающий комплекс постоянно действующих факторов внешней среды, которые способствуют улучшению физиологических функций организма и обеспечивают получение максимальной продуктивности. Для создания в животноводческих и птицеводческих помещениях оптимального микроклимата, являющегося мощным фактором повышения продуктивности животных и птиц, отечественной промышленностью серийно выпускается комплект электроаппаратуры и оборудования «Климат-4».

Оборудование «Климат-4» выпускается в трех исполнениях: «Климат-44» с вентиляторами типа ВО-4 (до 30 шт.), «Климат-45» с вентиляторами типа ВО-5,6 (до 20 шт.) и «Климат-47» с вентиляторами типа ВО-7 (до 10 шт.).

Особенностью «Климат-4» является применение низконапорных вентиляторов, обладающих способностью плавного регулирования производительности в широком диапазоне.

В качестве отопительных приборов для нагрева засасываемого чистого воздуха могут применяться электрические и другие калориферы. В данной работе рассматривается комплект электрооборудования «Климат-44». В состав его входят электровентиляторы ВО-4 с автоматами АП50-3МТ, станция управления ШАП 5701.03А2Д с панелью регуляторов температуры ПТР-3-04, автотрансформатор АТ-10, теплогенератор ТГ-1 или ТГ-2,5. Работа теплогенератора не рассматривается.

Автотрансформатор АТ-10 служит для изменения величины напряжения, подаваемого на электровентиляторы, и предназначен для работы при напряжении 380/220 В и частоте 50 Гц.

Каждая фаза автотрансформатора имеет до 16 отпаек в диапазоне от 300 до 70 В. Исполнение автотрансформатора сухое, с естественным охлаждением, сердечник и катушки размещаются в защитном кожухе. Концы отпаек снабжены наконечниками и выведены на панель, которая расположена на передней стороне под кожухом. Изоляция обмоток класса нагреваемости В. Автотрансформатор устанавливают в вертикальном положении на полу или на стене, желательнее в отдельном от животных и птиц помещении.

Станция управления электровентиляторами ШАП 5701.03А2Д служит для установки всей аппаратуры и приборов управления, за исключением датчиков температуры и автоматических выключателей, и представляет собой навесной шкаф пылебрызгонепроницаемого исполнения с одной дверью, имеющей специальное уплотнение ножевого типа. Аппараты, устанавливаемые на двери, снабжены уплотняющими резиновыми прокладками, провода и кабели, соединяющие станцию управления с оборудованием, вводятся через сальники, дверь станции запирается.

Внутри шкафа расположены магнитные пускатели, четыре клеммных набора (КН1010 — 2 шт., КН2510 — 2 шт.).

На двери шкафа размещены: автоматический выключатель QF, два трехпозиционных терморегулятора типа ПТР-3-04, переключатели скоростей и групп вентиляторов, сигнальные лампы.

Размещать станцию управления желательно в том же помещении, где устанавливается автотрансформатор.

Датчиками температуры воздуха RK1 и RK2 в помещении служат полупроводниковые термосопротивления, защищенные от механических повреждений металлическими трубками. Панель датчиков поставляется в комплекте со станцией управления и монтируется на колоннах помещения в зоне нахождения животных или птицы. Со станцией управления датчики соединяют экранированным проводом, сечение которого 0,35 мм².

Специально разработанные низконапорные осевые вентиляторы ВО-4 (табл. 8.1) приводятся в действие электродвигателями Д80А4П химстойкого исполнения, частоту вращения которых можно регулировать в пределах 1:5, изменяя подводимое напряжение от 70 до 300 В при помощи автотрансформатора АТ-10.

Таблица 8.1. Основные технические данные вентиляторов

Тип электровентилятора ВО-4	Значение
Диаметр рабочего колеса, мм	400
Производительность при давлении 19,6 Па, м ³ /ч	3 600
Тип приводного двигателя	Д80 А4П
Номинальная мощность, кВт	0,25
Диапазон регулирования частоты вращения	1 : 5
Номинальный ток при соединении обмотки «звездой» и напряжении 380 В, А	0,93
Коэффициент мощности	0,64
Коэффициент полезного действия, %	64
Кратность пускового тока	4,5
Кратность моментов:	
– пускового	4,5
– максимального	4,1
Напряжение трогания в сборе с вентилятором, В	65
Масса, кг	12,6

В настоящее время разработано оборудование «Климат-4М», в котором управление вентиляторами осуществляется с помощью станции управления «Климатика-1», построенной на тиристорах.

Система автоматического управления обеспечивает:

- ступенчатое регулирование частоты вращения электродвигателей вентиляторов вниз от номинальной в диапазоне 3:1 со ступенями 100,66 и 33% номинальной частоты вращения;
- автоматический переход на низшую частоту вращения при понижении температуры воздуха в помещении;
- автоматический переход на высшую частоту вращения при повышении температуры воздуха в помещении;
- автоматический выбор числа работающих электровентиляторов при понижении температуры воздуха в помещении;
- автоматическое отключение вентиляторов при аварийном понижении температуры воздуха в помещении;
- автоматическую защиту от коротких замыканий и перегрузок;
- с помощью системы управления можно задать температуру воздуха в помещении от +5 до +35 °С, осуществить контроль напряжения, подаваемого на электродвигатели: включить, отключить световую сигнализацию частоты вращения электровентиляторов и наличия напряжения на станции управления.

Командными приборами автоматической системы управления являются два трехпозиционных регулятора ПТР-3-04, которые имеют диапазон регулируемых температур +5...+35 °С. Трехпозиционный терморегулятор выполняет три команды: «Выше», «Норма», «Ниже».

Терморегулятор питается от сети переменного тока напряжением 220/127 В, размещается в пластмассовом корпусе, к которому крепится монтажная панель. На панели с наружной стороны укрепляется настроечный блок и предохранитель. На настроечном блоке имеются шкалы для установки требуемых значений температуры и зон нечувствительности (дифференциала), под которой понимается разность температур, соответствующая подаче команд «Выше» и «Ниже». В нижней части прибора имеется штепсельный разъем для подключения прибора. В рабочем положении прибор закрывается крышкой, которая крепится к монтажной панели двумя винтами.

Принципиальная схема терморегулятора ПТР-3-04 приведена на рисунке 8.1.

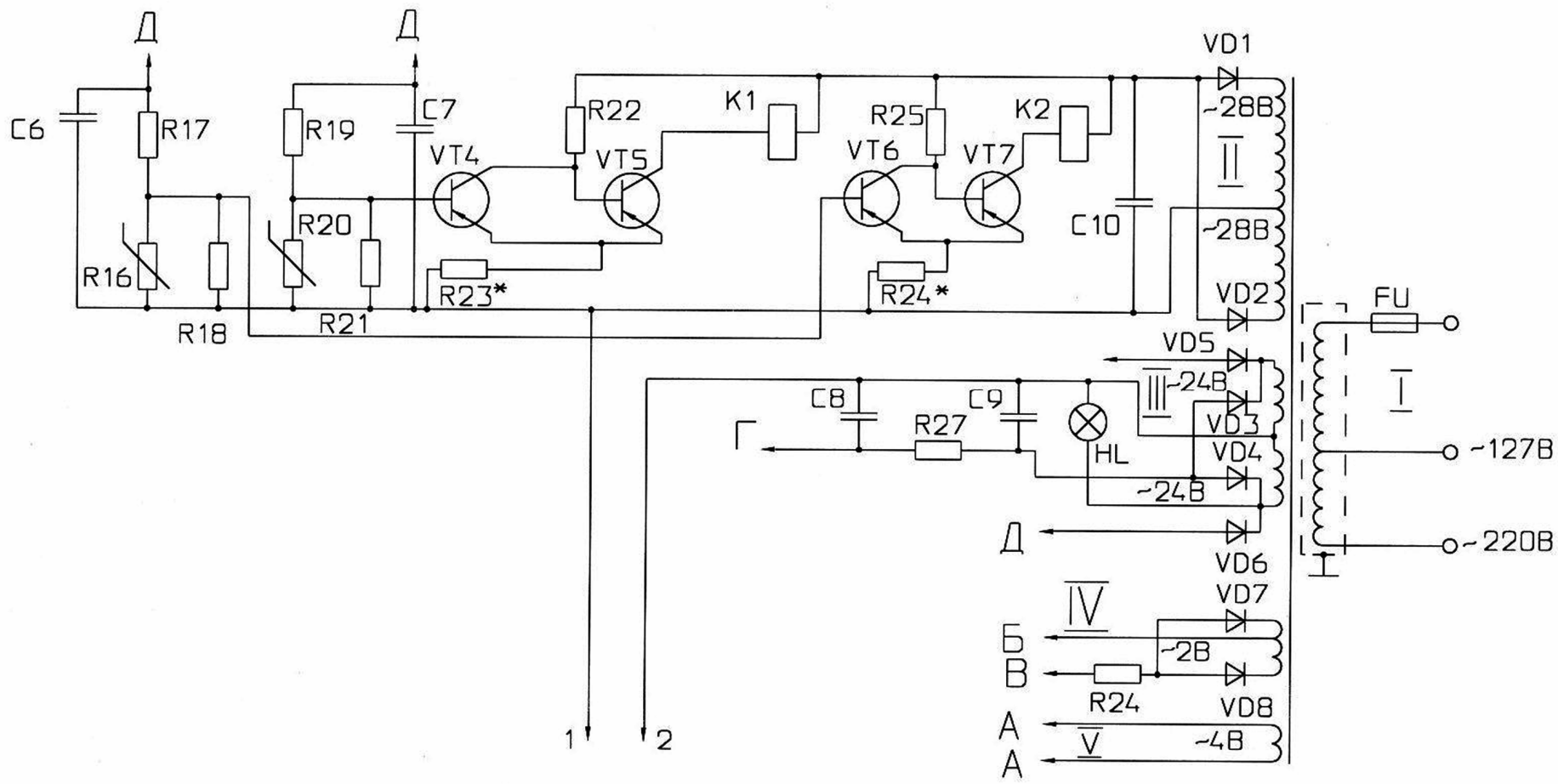


Рис. 8.1. Принципиальная электрическая схема терморегулятора ПТР-3-04 (начало)

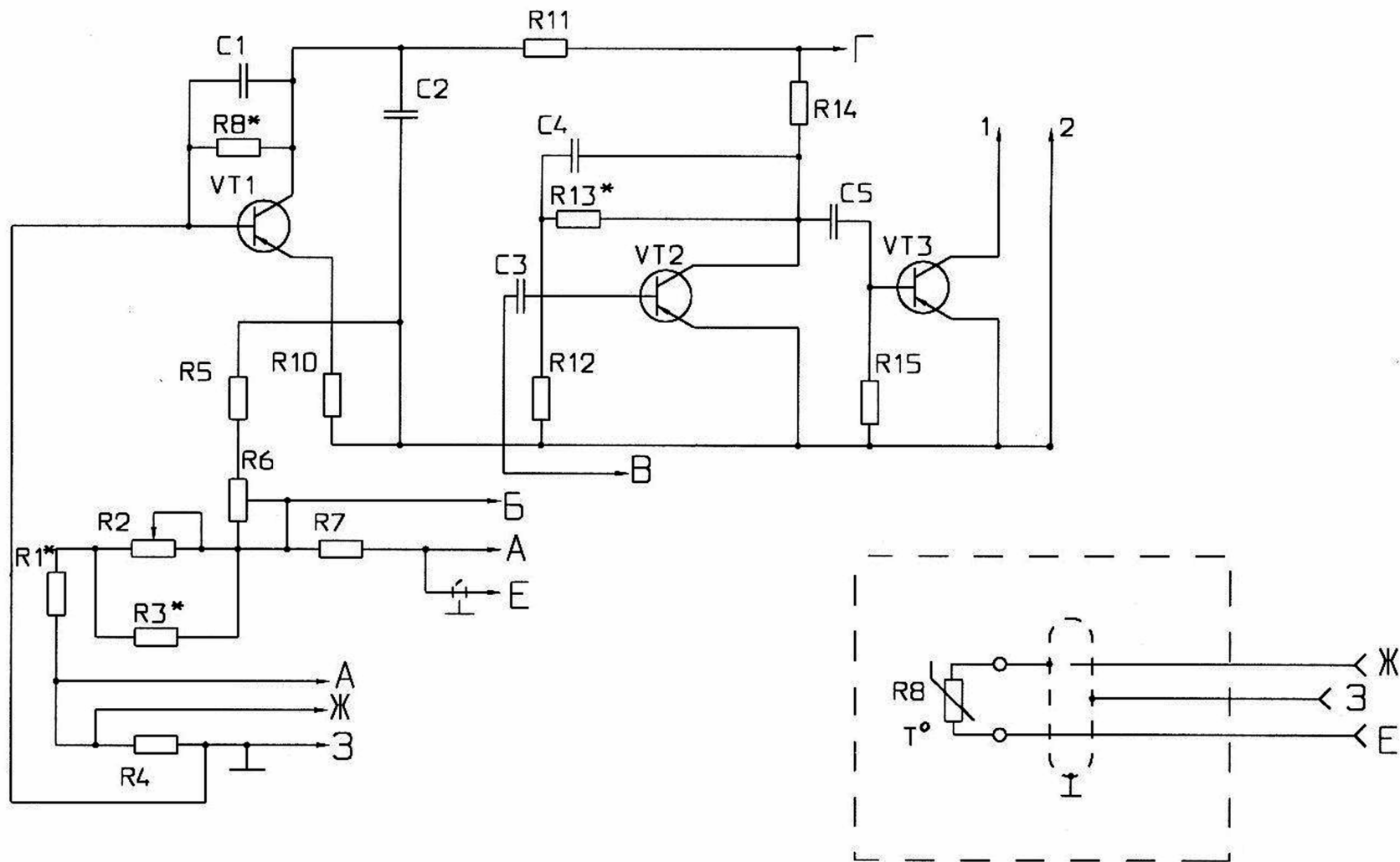


Рис. 8.1. Принципиальная электрическая схема терморегулятора ПТР-3-04 (окончание)

Схема прибора включает в себя следующие основные элементы: трансформатор, обеспечивающий питанием все цепи прибора; четырехплечный мост переменного тока.

Плечами моста являются сопротивления:

I плечо	R1*; R2; R3*
II плечо	R7
III плечо	R8
IV плечо	R4

К диагоналям А-А подведено питание от источника (вторичная обмотка у трансформатора). Выходом моста является диагональ Г-Г, откуда снимается сигнал разбаланса (напряжение). Если температура объекта и температура, установленная на шкале прибора, равны, мост сбалансирован и сигнал на его выходе равен нулю. При отклонении температуры объекта от заданного значения баланс моста нарушается, и на выходе появляется сигнал, величина которого пропорциональна отклонению температуры, а фаза его соответствует напряжению отклонения.

Для усиления суммарного сигнала, состоящего из сигнала разбаланса моста и опорного сигнала, величина которого задает зону нечувствительности регулятора, служит двухкаскадный усилитель, собранный на транзисторах VT1 и VT2 по схеме с общим эмиттером.

Усиленный сигнал (напряжение) поступает на вход фазочувствительного выпрямителя, состоящего из транзистора VT3, резисторов R17 и R19, конденсаторов C6 и C7, вторичной обмотки III (две полуобмотки) трансформатора, диодов VD5 и VD6.

Работает фазочувствительный выпрямитель следующим образом. Если величина сигнала разбаланса с моста меньше величины опорного сигнала (температура воздуха в помещении находится в пределах зоны нечувствительности регулятора) — конденсаторы C6 и C7 заряжены. Если величина сигнала разбаланса с моста превышает величину опорного сигнала (температура воздуха в помещении выше или ниже разницы зоны нечувствительности регулятора), то заряжается один из конденсаторов C6 или C7, в зависимости от совпадения фаз сигнала разбаланса (напряжение) и напряжения на одной из питающих полуобмоток.

Фазочувствительный выпрямитель управляет работой спусковых устройств (триггеры Шмидта). Напряжение с конденсатора C7 поступает на вход 1-го спускового устройства (транзисторы VT4 и VT5), а напряжение с конденсатора C6 поступает на вход 2-го спускового устройства (транзисторы VT6 и VT7). Первое спусковое устройство управляет работой реле K1, а второе — работой реле K2. Таким образом, если температура в помещении находится в пределах зоны не-

чувствительности, реле К1 и К2 не получают питание, так как заряжены конденсаторы С6 и С7 и транзисторы VT5 и VT7 закрыты. Это соответствует команде «Норма».

Если температура воздуха в помещении ниже нижней границы зоны нечувствительности, срабатывает реле К1 (сигнал разбаланса с моста больше величины опорного сигнала — С7 заряжен, С6 разряжен, VT7 закрыт, VT5 открыт — катушка реле К1 получает питание). Это соответствует команде «Ниже».

Описание принципиальной электрической схемы управления

Схема управления электровентиляторами предусматривает работу ее при ручном и автоматическом управлении. Выбор режима производится универсальным переключателем SA1, который можно установить в три положения: «Отключено», «Ручное управление» (Р), «Автоматическое управление» (А).

Работа схемы в ручном режиме

При переводе SA1 в правое положение (ручное управление) подготавливаются цепи катушек магнитных пускателей КМ1-КМ6. Ручное управление частотой вращения электродвигателей вентиляторов осуществляется пакетно-кулачковым переключателем SA2, имеющим четыре положения:

- «0» — отключено;
- «1» — первая скорость;
- «2» — вторая скорость;
- «3» — третья скорость.

При установке ручки SA2 в положение «1» включается магнитный пускатель КМ1. Силовые контакты КМ1.1 и контакты КМ1.2 в цепи питания катушки магнитного пускателя КМ6 замыкаются. Включается магнитный пускатель КМ6, который силовыми контактами подключает автотрансформатор АТ-10 на напряжение сети. При этом с отпаек $X_1 Y_1 Z_1$ автотрансформатора на электродвигатели подается напряжение, обеспечивающее получение 1-й частоты вращения электровентиляторов. Загорается сигнальная лампа HL1 — первая скорость. При повороте ручки SA2 в положение «2» включается пускатель КМ2, переключающий электровентиляторы на отпайки $X_2 Y_2 Z_2$ автотрансформатора. Магнитный пускатель КМ1 при этом отключается.

При этом на электродвигатели подается напряжение, обеспечивающее получение второй частоты вращения электровентиляторов. Загорается сигнальная лампа HL2 — вторая скорость.

Аналогично — третья скорость.

Отключение электровентиляторов осуществляется поворотом ручки SA2 в положение «0». Сигнальные лампы HL1-HL3 гаснут.

Для предотвращения одновременного включения двух магнитных пускателей, приводящего к короткому замыканию части обмотки автотрансформатора, в схеме предусмотрена электрическая блокировка, последовательно с катушкой магнитного пускателя включены два замыкающих контакта других пускателей (например, в цепи питания катушки пускателя KM3 включены размыкающие контакты KM1 и KM2).

Диапазон регулирования производительности вентиляционной установки расширен путем деления электровентиляторов на группы:

группа 1 — M4-M7;

группа 2 — M8-M10;

группа 3 — M1-M3.

Для включения групп электровентиляторов в схеме предусмотрен пакетно-кулачковый переключатель SA3, имеющий три положения: «0» — отключено, «1» — группа 2, «2» — группа 3. На работу электровентиляторов первой группы положение переключателя SA3 не влияет (группа 1 работает постоянно).

При повороте ручки SA3 в положение «1» включается пускатель KM4, подающий своими силовыми контактами напряжение на электродвигатели M8-M10.

О работе второй группы электровентиляторов сигнализирует лампа HL4 — «группа 2» (горит). При переводе ручки SA3 в положение «2» включается пускатель KM5, подающий напряжение на электродвигатели M1-M3, при этом загорается сигнальная лампа HL5 — «группа 3».

Работа схемы в автоматическом режиме

В режиме автоматического управления переключатель SA1 ставят в положение А. При этом подготавливаются к работе терморегуляторы А1, А2, являющиеся командными приборами системы.

Принцип работы системы управления следующий. При понижении температуры воздуха в помещении уменьшается воздухообмен за счет снижения частоты вращения электровентиляторов и уменьшения числа групп работающих электровентиляторов; при повышении температуры увеличивается воздухообмен путем повышения частоты вращения и увеличения числа групп электровентиляторов. Регулятор А1 управляет частотой вращения электровентиляторов, а регулятор А2 — числом групп.

Чтобы разделить функции регуляторов, необходимо при их настройке выполнить условие: нижняя граница зоны нечувствительности регулятора А1 должна быть на 2-4 °С выше, чем верхняя граница зоны нечувствительности регулятора А2. Вследствие этого при температуре воздуха в помещении большей верхней границы зоны нечувствительности регулятора А2 работают все три группы электроventиляторов. При этом воздухообмен в помещении регулируется изменением частоты вращения электроventиляторов. В зависимости от температуры воздуха, команды («Выше», «Норма», «Ниже») на изменение частоты вращения выдает регулятор А1.

Регулирование воздухообмена, а значит, и температуры воздуха в помещении осуществляется следующим образом.

Если температура воздуха в помещении выше верхней границы зоны нечувствительности регулятора А1, он выдает команду «Выше». Катушка реле К2 получает питание. Размыкающий контакт его размыкается, а замыкающий — замыкается. Катушка реле К1 не получает питание. Размыкающий контакт его замкнут, замыкающий — разомкнут.

Регулятор А2 также выдает команду «Выше». Контакты реле К4: замыкающий — замкнут, размыкающий — разомкнут, размыкающий контакт К3 реле К3 — замкнут.

При этом получают питание катушки магнитных пускателей КМ3-КМ6. В результате срабатывания магнитных пускателей через их силовые контакты на все группы электродвигателей подается напряжение, обеспечивающее получение 3-й частоты вращения электроventиляторов (повышенной). Температура воздуха в помещении понижается. Когда она достигает верхней границы зоны нечувствительности А1, регулятор выдает команду «Норма». Это соответствует положению, когда оба реле не получают питание.

Их контакты: замыкающие — разомкнуты, а размыкающие — замкнуты. При этом отключается магнитный пускатель КМ3 и включается магнитный пускатель КМ2, который своими силовыми контактами переключает электроventиляторы на вторую частоту вращения. Регулятор А2 по-прежнему выдает команду «Выше». При снижении температуры воздуха в помещении ниже нижней границы зоны нечувствительности регулятора А1 он выдает команду «Ниже», что соответствует включению К1. При этом отключается магнитный пускатель КМ2 и включается магнитный пускатель КМ1, который своими силовыми контактами подключает электродвигатели на напряжение, обеспечивающее получение первой частоты вращения (пониженной). Регулятор А2 продолжает выдавать команду «Выше».

В случае дальнейшего понижения температуры регулирование воздухообмена в помещении осуществляется путем уменьшения числа групп работающих электровентиляторов. Команду на их отключение выдает регулятор А2. Контакты реле К4: замыкающий — размыкается, размыкающий — замыкается. Катушка магнитного пускателя КМ4 теряет питание, пускатель отключается, в результате чего отключается вторая группа вентиляторов (М8-М10).

Если при оставшихся двух группах электровентиляторов температура в помещении все же продолжает снижаться, то размыкается размыкающий контакт К3 реле К3 регулятора А2. При этом отключается магнитный пускатель КМ5, который своим замыкающим контактом в цепи питания катушки магнитного пускателя КМ6 приводит к его отключению, а тот в свою очередь отключает автотрансформатор АТ-10. Питание всех электровентиляторов прерывается, вентиляция прекращается. Сигнализация работает аналогично, как и в режиме ручного управления.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой, в состав которой входят: автотрансформатор типа АТ-10; станция управления ШАП-5701, 03А2Д; датчики температуры, помещенные в электрическую печь, с помощью которой имитируется температурный режим в производственном помещении. Действительная температура в печи контролируется ртутным термометром.

2. Изучить принципиальную схему управления (см. планшет).

3. Записать паспортные данные установки и приборов.

4. Перед выполнением работы необходимо убедиться в отсутствии напряжения на станции управления (автомат QF на лицевой стороне станции должен находиться в отключенном положении).

5. Внешним осмотром проверить исправность оборудования.

6. Получить разрешение преподавателя на подачу напряжения на станцию управления.

7. Включить установку и осуществить ручное управление как частотой вращения, так и включением групп электровентиляторов. Об изменении частоты вращения электровентиляторов можно судить по показаниям вольтметра, а также по накалу ламп, имитирующих группы электровентиляторов. Записать показания приборов.

8. После выполнения данной части работы снять напряжение со станции управления (выключить автомат QF).

9. Подготовить установку для изучения ее работы при автоматическом управлении. Для этого универсальный переключатель SA1 поставить в положение «А», переключатели SA2 и SA3 — в положение «0». На шкале требуемых значений температуры регулятора A1 установить $t = 31\text{ }^{\circ}\text{C}$; на шкале для установки зоны нечувствительности температуры $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$. На шкалах регулятора A2 соответственно установить: на первой шкале $t = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, на второй — $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10. Включить электрическую печь. Подать напряжение на станцию управления (включить автомат QF). Наблюдать работу установки в автоматическом режиме. Контроль над ее работой осуществлять по приборам. Показания приборов записать.

11. После выполнения работы снять напряжение со станции управления.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Паспортные данные установки и приборов.
3. Значения уставок регуляторов A1 и A2.
4. Показания приборов, соответствующие режимам работы установки.
5. Составить функциональную схему установки.
6. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется микроклиматом?
2. Назначение установки «Климат-44».
3. Что обеспечивает автоматическая система управления «Климат-44»?
4. Характеристики вентиляторов.
5. Устройство станции управления ШАП-5701.03А2Д.
6. Устройство и принцип работы терморегулятора ПТР-3-04.
7. Работа схемы управления вентиляторами при ручном управлении.
8. Работа схемы при автоматическом управлении.
9. Для чего в цепь катушки магнитного пускателя КМЗ включены контакты КМ1.4, КМ2.4?
10. Назначение резисторов R_1 - R_6 ; R_7 - R_{12} (см. рис. 8.1).
11. Что называется зоной нечувствительности?
12. Принцип работы магнитного пускателя.
13. Назначение и устройство автотрансформатора АТ-10.
14. Что представляют собой датчики температуры, используемые в работе?
15. Функциональная схема и ее основные составляющие.

Лабораторная работа 9

Исследование унифицированной системы контроля технологических параметров посевных машин

Цель работы: изучить устройство, принцип действия системы и исследовать ее работу.

Описание унифицированной системы контроля

Одним из основных технологических процессов в растениеводстве является посев. Проведение посевной в сжатые агротехнические сроки, без потерь и с высоким качеством — решающие условия успешного выполнения всего комплекса работ и получения высоких урожаев. Применение средств автоматизации на посевных агрегатах обеспечивает значительное снижение просевов, заданную норму высева и глубину заделки семян и в конечном итоге — повышение урожайности. Кроме этого, оборудование сеялок системами автоматического управления, регулирования и контроля позволяет высвободить для других работ большое количество рабочих-сеяльщиков, полностью использовать энергетические возможности современных машинно-тракторных агрегатов и сократить сроки посевной. В работе рассматривается унифицированная система контроля (УСК) сеялки СЭ-3,6А и ее модификаций. УСК предназначена для контроля высева семян, уровня семян и удобрений.

Основные технические данные и характеристики УСК представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1. Основные технические данные и характеристики УСК

Наименование показателя	Значение
1. Тип системы	Электронная
2. Тип датчика	Фотоэлектрический
3. Количество каналов контроля: а) высева б) уровня семян в) уровня удобрений	2 1 1
4. Напряжение питания постоянного тока, В	$12^{+3}_{-1,2}$
5. Потребляемый ток, А, не более	1,0
6. Время задержки включения сигнализации, номинальное значение, с	1,5-4
7. Габаритные размеры пульта, мм	190×105×90
8. Масса комплекта, кг, не более	5

Устройство унифицированной системы контроля

Схема соединений УСК приведена на рисунке 9.1.

В состав пульта входят: плата печатного монтажа, органы управления: микротумблеры S1 — «ПИТ.», S3 — «БЛОКИР.», кнопка S2 — «ПРОВ.», переменный резистор R — «РЕГУЛ.», вилка XP4 для подключения к электросети трактора и розетка XS3 для подключения блока.

На принципиальной схеме (рис. 9.2) расположены:

- светодиоды VD301-VD312 — «отказ» 1-12 с устройством (транзистор VT327) запуска генератора звуковой частоты (в дальнейшем — звуковой генератор) в режиме «отказ» (диод VD321 служит для разгрузки транзистора VT327);
- ключевые устройства (транзисторы VT322, VT323, VT324, VT325) включения светодиодов VD313, VD314 — «УРОВ. С, У» и запуска звукового генератора в режиме «уровень»;
- звуковой генератор (транзисторы VT329, VT330);
- формирователь (транзистор VT328) временных интервалов сигнала звукового генератора;
- устройство запуска (транзистор VT326) звукового генератора в «аварийном» режиме.

Жгут состоит из вилки XP505 для подключения к пульту и розеток XS501-XS504 для подключения датчиков контроля.

С помощью резистора 470 Ом создается цепь «+6 В» для контроля безобрывности кабелей или разъединения их соединителей.

Датчик высева на рисунке 9.3 состоит:

- из источника светового потока 1EL302;
- фотоприемника 1VD301;
- усилителя (транзисторы 1VT303, 1VT304), формирователя (транзисторы 1VT305-1VT308) выходного сигнала и стабилизатора (транзисторы 1VT309, 1VT310) напряжения, расположенных на печатной плате;
- вилки соединителя XP301.

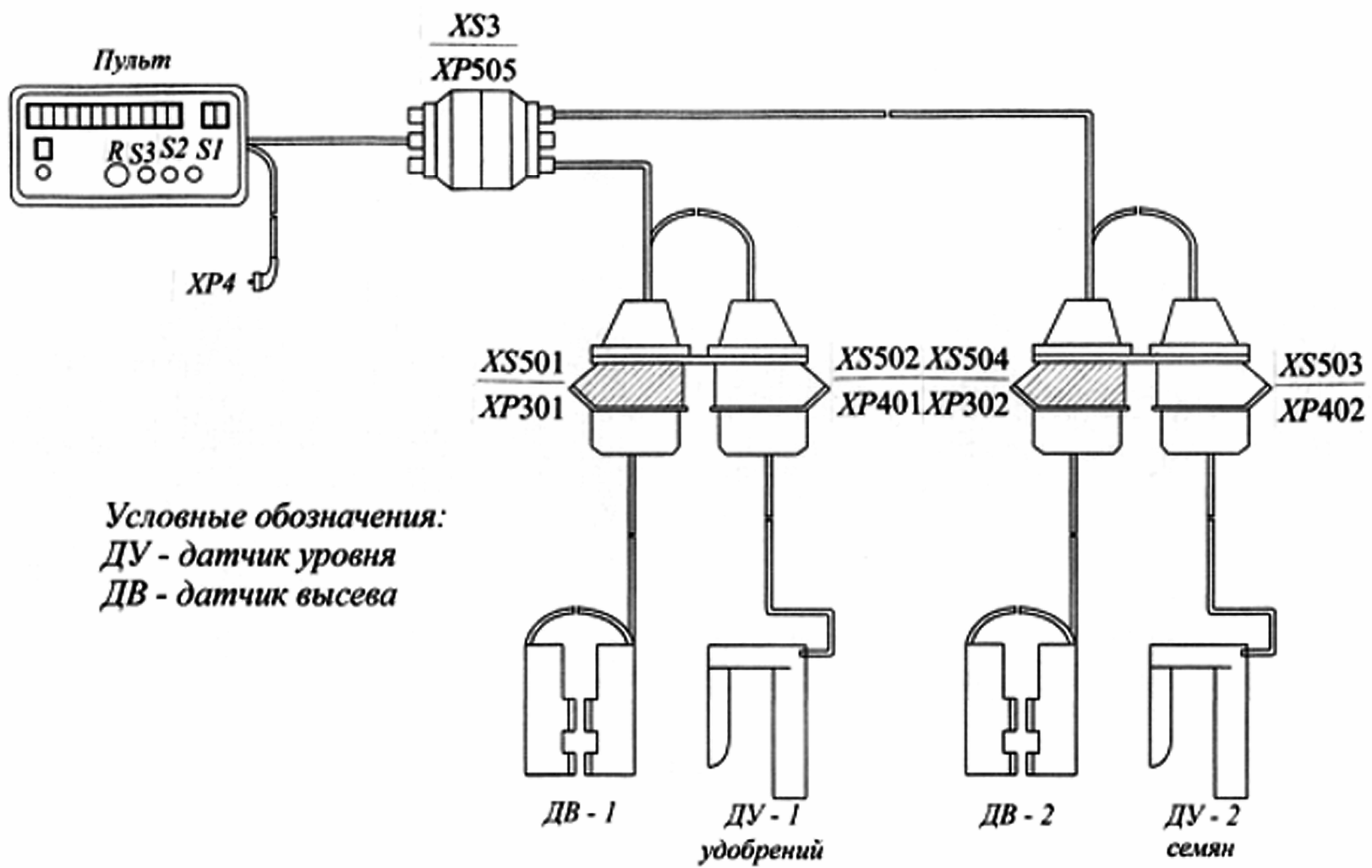


Рис. 9.1. Схема соединений УСК сеялки СЗ-3,6

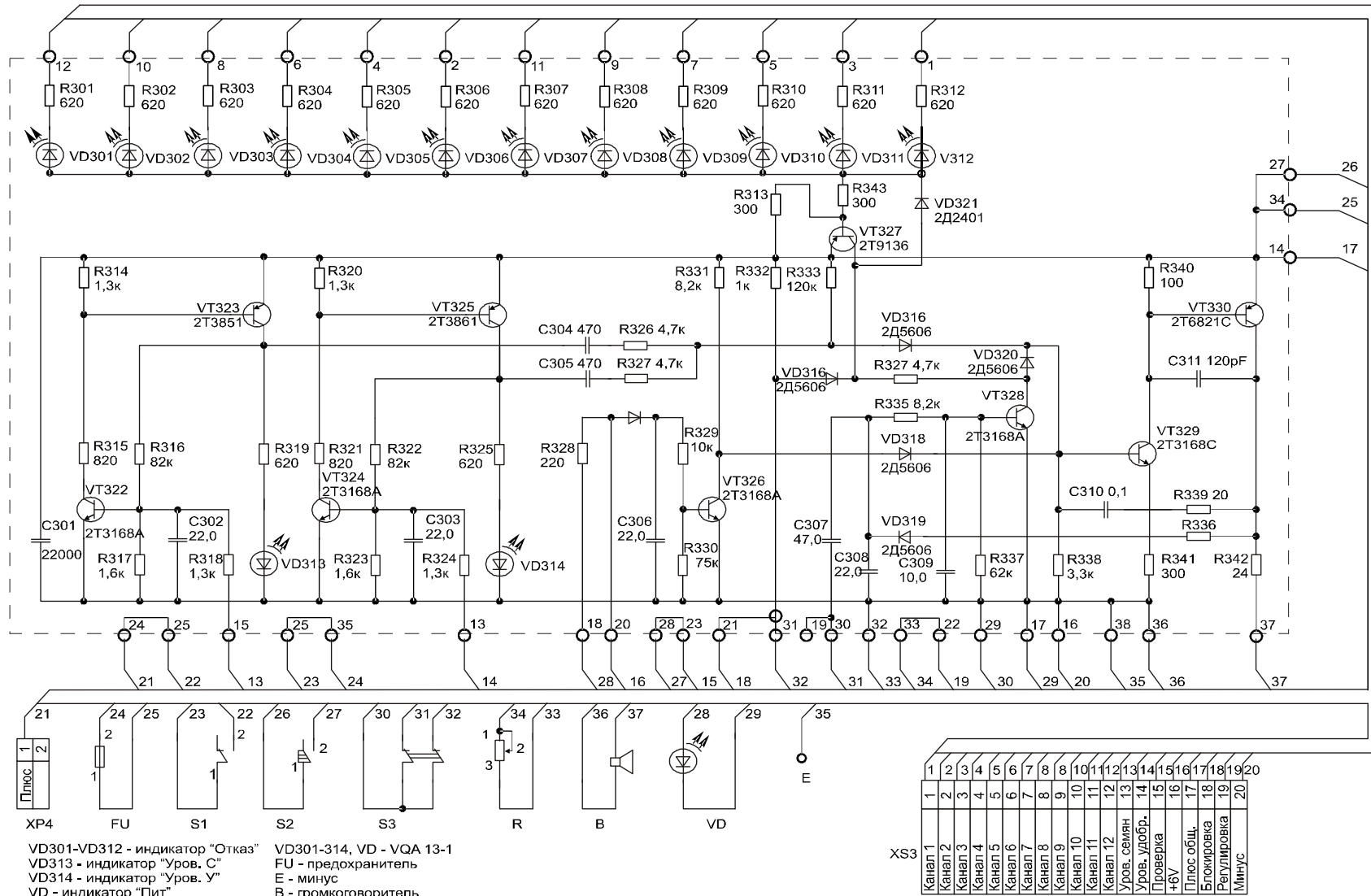


Рис. 9.2. Принципиальная электрическая схема пультa УСК

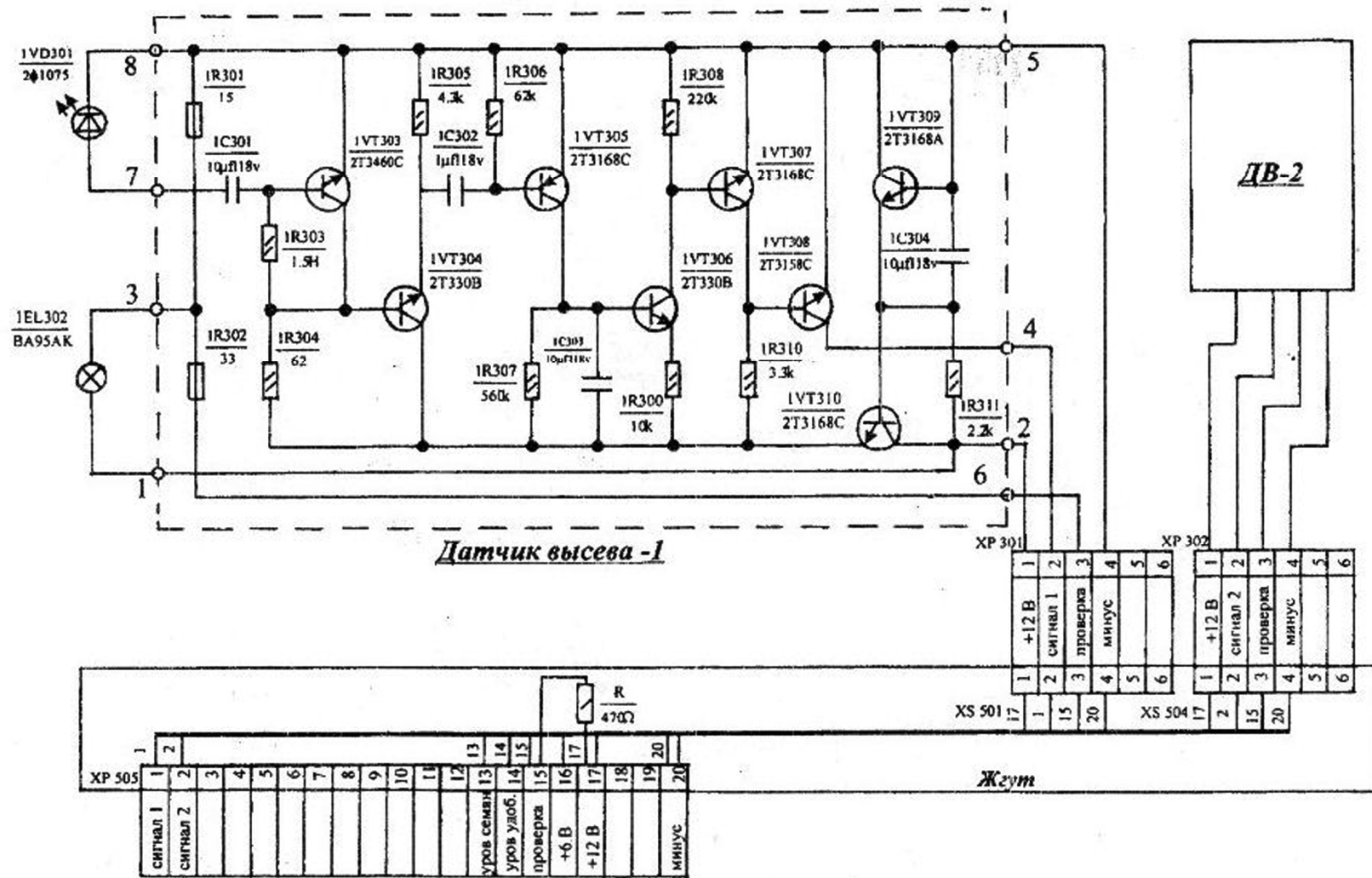


Рис. 9.3. Жгут с датчиками высева системы УСК для сеялки СЗ-3,6

Датчик уровня (рис. 9.4) состоит:

- из источника света EL307 — лампы накаливания;
- фоторезистора R310;
- транзисторного усилителя тока VT306;
- вилки соединителя XP401;
- резистора R311, ограничивающего ток лампы EL307.

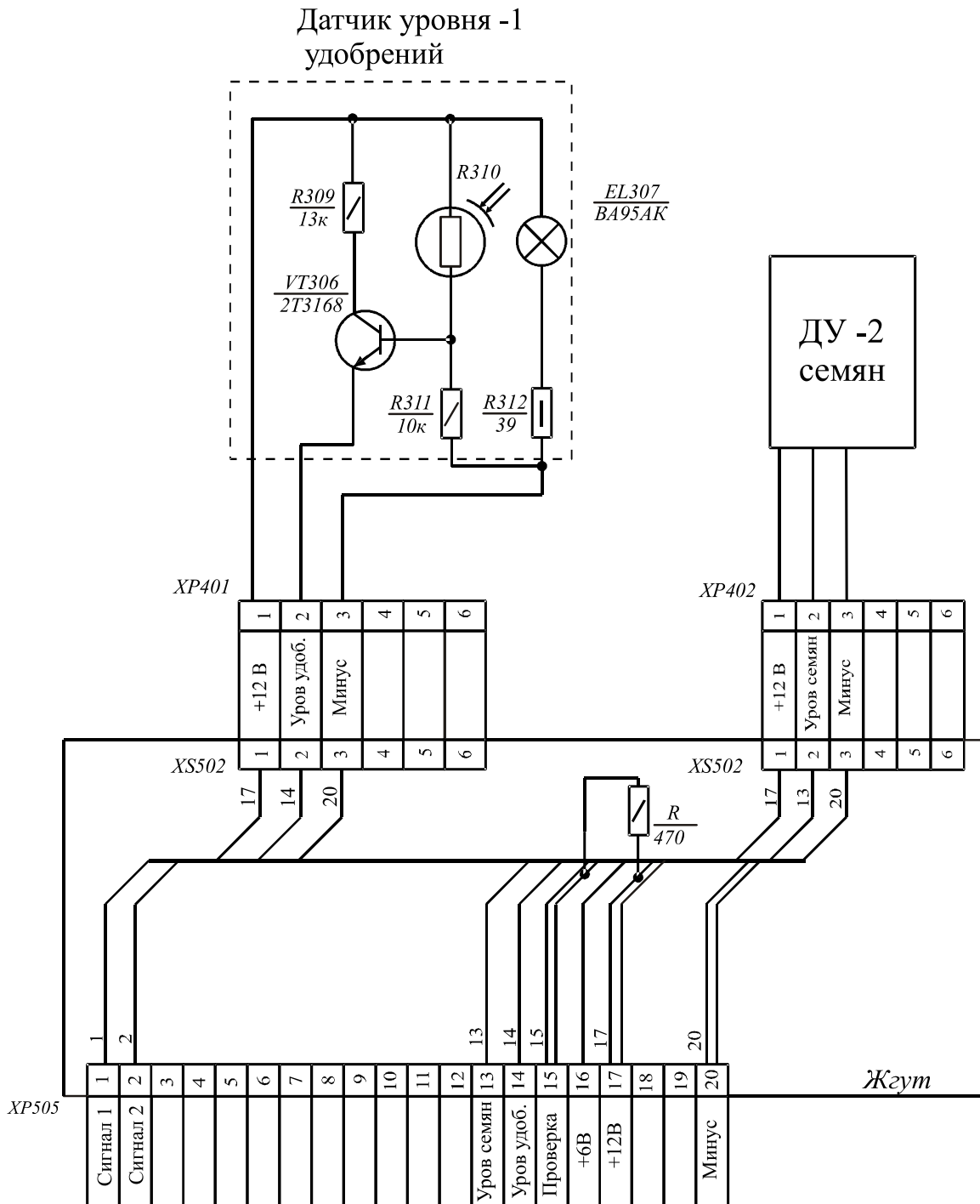


Рис. 9.4. Жгут с датчиками уровня удобрений и семян системы УСК для сеялки СЗ-3,6А

Описание работы унифицированной системы контроля

Режим «контроль». После включения на пульте микротумблера S1 «ПИТ.» напряжение источника питания подается в схему пульта и по распределительному кабелю в датчики контроля.

По цепи «+6 В» на пульте загорается светодиод VD «ПИТ.».

Высеваемые семена пролетают через световой поток лампы 1EL302 датчика высева. На выходе фотоприемника 1VD301 формируются импульсы фото-ЭДС. Усиленный усилителем импульсный сигнал поступает на базу транзистора 1VT305 формирователя. От каждого импульса транзистор 1VT305 открывается, и через его переход эмиттер-коллектор заряжается конденсатор 1C303. Напряжением на конденсаторе 1C303 открывается транзистор 1VT306. Транзистор 1VT307 открыт, а 1VT308 закрыт. В промежутки времени между двумя последовательными импульсами состояние транзисторов 1VT306, 1VT307 и VT308 сохраняется, поскольку время разряда конденсатора 1C303 через резистор 1R307 выбрано большим, чем период следования семян при самых малых нормах высева. Следовательно, на пульте индикаторы «Отказ» погашены.

Время разряда конденсатора 1C303 является временем задержки включения сигнализации УСК.

Режим «отказ». Если высев (например, в датчике ДВ-1) прекратился или семена пролетают с большим интервалом времени, то в схеме датчика конденсатор 1C303 разряжается и закрываются транзисторы 1VT306, 1VT307. Транзистор 1VT308 открывается, и потенциал «Минус» по цепи «Сигнал 1» с вилки XP505 датчика через распределительный кабель поступает в пульт на контакт 15 платы ППЗ.

В результате загорается светодиод VD301 «ОТКАЗ «1»» и открывается транзистор VT327. Включается звуковой генератор. Прерывистый сигнал формируется устройством на транзисторе VT328.

Режим «уровень». При снижении уровня удобрений световой поток лампы EL307 датчика уровня удобрений попадает в фоторезистор R310. Открывается транзистор VT306. Увеличение тока в цепи «Уровень удобрений» вызывает лавинообразное открывание ключевого устройства на транзисторах VT324, VT325 в пульте. В результате загорается светодиод VD314 «УРОВ. У», а по цепи C305, R327, VD316 включается звуковой генератор. Длительность однократного звукового сигнала определяется постоянной времени C305, R327.

Работа УСК при снижении уровня семян аналогична работе при снижении уровня удобрений.

Режим «проверка». Периодическим нажатием кнопки S3 «ПРОВ.» в пульте контактами 1-2 S3 по цепи «Проверка» в схемы датчиков высева на резистор 1R302 подается напряжение +12 В. Изменение тока лампы 1EL302 вызывает изменение светового потока и формирование на выходе фотоприемника 1VD301 импульсов фото-ЭДС. Дальнейшая работа схемы УСК такая же, как и работа в режиме «контроль» (см. п. 3.1).

«Аварийный» режим. При нарушении цепи «+6 В» (обрыв кабеля пульта или разъединение соединителей) в пульте открывается транзистор VT326. Включается звуковой генератор. Звучит непрерывный сигнал.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с лабораторной установкой (моделью) УСК (рис. 9.5).

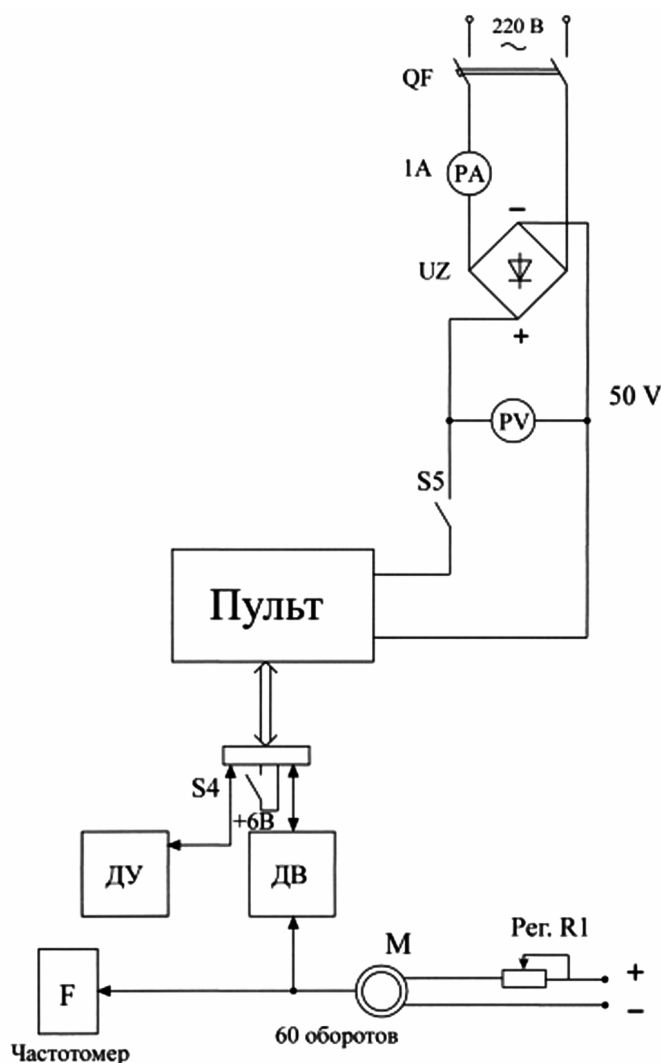


Рис. 9.5. Принципиальная схема лабораторной установки

2. Изучить схему соединений УСК (см. рис. 9.1).
3. Изучить устройство и принципиальную схему пульта УСК (см. рис. 9.2).
4. Изучить устройство и принципиальную схему датчика высева (см. рис. 9.3).
5. Изучить устройство и принципиальную схему датчика уровня (см. рис. 9.4).
6. Внешним осмотром проверить исправность оборудования.
7. Получить разрешение преподавателя на подачу напряжения на схему.
8. Задать режим «контроль». Прохождение семян имитировать изменением частоты вращения крыльчатки, установленной на валу электродвигателя М. Напряжение на электродвигателе изменяется регулятором R1. Проанализировать работу УСК в данном режиме.
9. Задать режим «отказ» и проанализировать работу УСК в этом режиме.
10. Задать режим «уровень» и проанализировать работу УСК в этом режиме.
11. Задать режим «проверка» и проанализировать работу УСК в этом режиме.
12. Задать режим «аварийный» и проанализировать работу УСК в этом режиме.
13. Отключить тумблер S1 на пульте и автоматический выключатель сети QF на стенде, разобрать схему.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Основные технические данные и характеристики.
3. Показания приборов, соответствующие режимам работы УСК, их анализ.
4. Функциональная схема УСК.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Назначение УСК.
2. К какому виду автоматизации относится исследуемая система?
3. Устройство датчика высева семян.
4. Устройство датчика уровня семян и удобрений.
5. Принцип работы датчика высева семян.
6. Принцип работы датчика уровня семян и удобрений.
7. Каким устройством формируется непрерывный сигнал в системе и что он означает?
8. Каким устройством формируется прерывистый сигнал в системе и что он означает?
9. Чем определяется длительность однократного звукового сигнала?

Лабораторная работа 10

Исследование типовых звеньев линейных систем.

Построение и изучение переходных функций

Цель работы:

- ознакомиться:
 - с понятием «переходная функция» линейного звена;
 - с блоком «Динамические» (Передаточная функция) программируемого комплекса «МВТУ»;
- выполнить:
 - построение модели виртуальных лабораторных стендов для снятия переходных характеристик интегрирующего, апериодического и колебательного звеньев, звена запаздывания;
 - построение переходных характеристик звеньев;
 - исследование влияния параметров звеньев на вид их переходных характеристик;
- приобрести навыки:
 - постановки эксперимента по исследованию типовых звеньев;
 - определения по заданной переходной характеристике типа звена и его параметров.

Краткие теоретические сведения

При моделировании линейных систем применяют так называемые типовые звенья, которые приближенно соответствуют элементам реальных систем и точно и просто описываются математически.

Типовое звено — это структурно-математическая модель динамического элемента САУ, обладающая определенным ограниченным набором физических свойств, например, способностью к накоплению воздействия или к усилению воздействия и инерционностью.

Типовые звенья позволяют провести структурное моделирование системы управления путем замены функциональных элементов системы их моделями при сохранении связей между элементами. Свойства структурной модели системы исследуются математическими методами, а результаты исследований проецируются на исходную САУ, что позволяет судить о ее физических свойствах.

Типовые звенья, по мере увеличения совокупности свойств, которыми они обладают, и порядка дифференциального уравнения, которым они описываются, подразделяются:

- на *простейшие* (пропорциональное, интегрирующее и дифференцирующее);
- *звенья первого порядка* (апериодическое, форсирующее, инерционно-дифференцирующее и др.);
- *звенья второго порядка* (колебательное и апериодическое второго порядка);
- *звенья запаздывания*.

Перечисленные линейные звенья содержат один вход и один выход. Существует еще одно линейное звено, которое может иметь несколько, больше одного, входов и один выход: *сумматор*. Сумматор — необходимое звено для построения модели достаточно сложной системы, состоящей из нескольких звеньев.

Передаточная функция

Типовые звенья линейных систем можно определять различными способами, в частности с помощью так называемой передаточной функции, имеющей, как правило, дробно-рациональный вид, т.е. представляющей собой отношение двух полиномов. В программном комплексе «МВТУ» в блоке «Динамические» передаточная функция представляется в следующем виде:

$$W(p) = \frac{b_0 + b_1 p + b_2 p^2 + \dots + b_m p^m}{a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + \dots + a_n p^n},$$

где b_i и a_j — коэффициенты полиномов.

Передаточная функция связывает изображение $Y(p)$ выходного сигнала $y(t)$ звена с изображением $X(p)$ его входного сигнала $x(t)$:

$$Y(p) = W(p) X(p).$$

Передаточная функция представлена на рисунке 10.1.

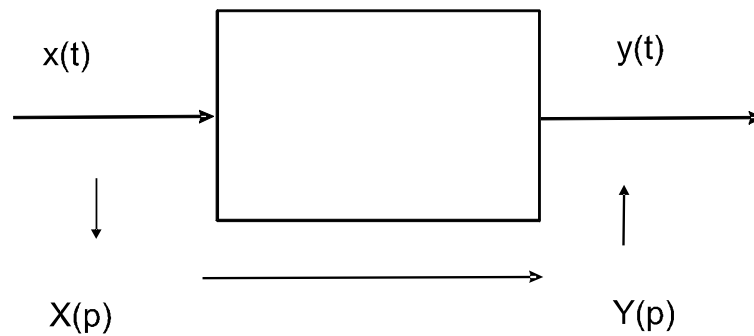


Рис. 10.1. Передаточная функция

Передаточная функция позволяет по любому известному входному сигналу $x(t)$ найти выходной $y(t)$. Передаточная функция полностью характеризует систему управления или ее звено. Это же самое можно сказать и в отношении совокупности коэффициентов полиномов числителя и знаменателя передаточной функции.

Примеры передаточных функций типовых звеньев

Пропорциональное звено. Пропорциональное звено — это звено, выходной сигнал которого пропорционален входному:

$$y(t) = k x(t).$$

Передаточная функция пропорционального звена равна его коэффициенту пропорциональности:

$$W(p) = k,$$

где k — коэффициент усиления (он может быть размерным).

Интегрирующее звено. Интегрирующее звено — это звено, выходной сигнал которого пропорционален интегралу по времени от входного:

$$y(t) = \frac{1}{T} \int_0^t x dt.$$

Передаточная функция интегратора равна:

$$W(p) = \frac{1}{Tp} = \frac{k_1}{p},$$

где T — постоянная времени интегрирующего звена, с;

$k_1 = 1/T$ — коэффициент усиления интегратора, $1/с$.

Как видно, эти звенья (и пропорциональное, и интегрирующее) полностью определяются заданием только одного параметра.

Апериодическое (инерционное) звено. Апериодическое звено — это звено, выходной сигнал $y(t)$ которого связан с входным $x(t)$ дифференциальным уравнением:

$$T \frac{d}{dt} y + y = kx .$$

Передаточная функция апериодического звена равна:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1} ,$$

где k — коэффициент усиления (размерный или безразмерный);

T — постоянная времени, с.

Колебательное звено. Колебательное звено — это звено, выходной сигнал $y(t)$ которого связан с входным сигналом $x(t)$ дифференциальным уравнением:

$$T^2 \frac{d^2}{dt^2} y + 2\delta T \frac{d}{dt} y + y = kx .$$

Его передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\delta T p + 1} ,$$

где k — коэффициент усиления;

T — постоянная времени;

δ — декремент затухания (безразмерный, может меняться от 0 до ∞).

В ПК «МВТУ» интегрирующее, апериодическое, колебательное звенья помещаются на рабочее поле с помощью блока «Динамические» с последующим заданием параметров звена в окне диалога. Пропорциональное звено помещается на рабочее поле из пункта меню «Операции». Пример виртуального лабораторного стенда для определения переходных характеристик звеньев приведен на рисунках 10.2, 10.3.



Рис. 10.2. Структурная схема стенда

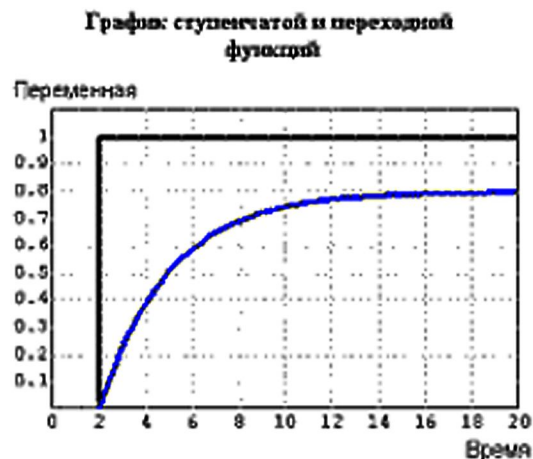


Рис. 10.3. Переходная характеристика апериодического звена 1-го порядка

Переходная функция

Переходная функция $y(t)$ — это реакция линейной системы или звена на ступенчатое единичное воздействие $1(t)$. Ступенчатое единичное воздействие $1(t)$ — это функция времени t , равная нулю, пока t меньше нуля, и равная единице при t больше нуля:

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0; \\ 1 & \text{при } t \geq 0. \end{cases}$$

Необходимо отметить, что в программном комплексе принято оператор преобразования Лапласа обозначать буквой s .

Каждое звено имеет свою особенную, отличающуюся от переходных функций других звеньев, переходную функцию, по которой можно определить тип и параметры звена.

Переходная функция модели САУ позволяет характеризовать ее быстродействие и точность в переходном режиме работы. Кроме того, зная переходную функцию линейной системы, можно определить реакцию системы на произвольное воздействие.

Важное для практики приложение переходной функции — идентификация объектов и систем: определение по экспериментально снятой переходной функции вида типового звена, которым можно промоделировать отдельные элементы и систему в целом, а также возможность определения параметров моделирующих звеньев.

*Примеры переходных функций
некоторых основных типовых звеньев*

Пропорциональное звено. Его переходная функция равна:

$$y(t) = k \cdot 1(t), \quad (2.1)$$

где k — коэффициент усиления звена.

Коэффициенты усиления типовых звеньев могут быть размерными и безразмерными.

Пропорциональным звеном (рис. 10.4) моделируются системы управления и их элементы в статике в таком режиме, когда воздействия, поступающие на систему управления, не изменяются во времени в течение достаточно длительного периода.



*Рис. 10.4. Переходная функция
пропорционального звена*

Интегрирующее звено. Его переходная функция в соответствии с определением (2.1) равна:

$$y(t) = \frac{1}{T} t \cdot 1(t), \quad (2.2)$$

где T — постоянная времени звена.

Интегрирующее звено способно накапливать поступающий на него сигнал с течением времени. В частности (2.2) показывает, что при подаче ступенчатого воздействия на интегрирующее звено его выходной сигнал изменяется линейно с течением времени (рис. 10.5), т.е. накопление действительно происходит.

График ступенчатой и переходной функций

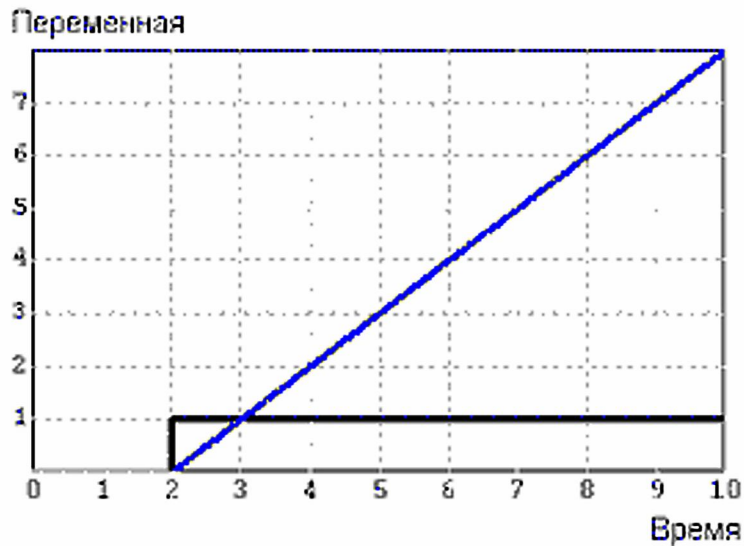


Рис. 10.5. Переходная функция интегратора

Переходная функция линейно растет с увеличением времени. Постоянная времени интегрирующего звена определяется временем до точки пересечения переходной функцией уровня входной ступеньки.

Апериодическое (инерционное) звено. Его переходная функция равна

$$y(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}})1(t), \quad (2.3)$$

где k — коэффициент усиления;

T — постоянная времени аperiодического звена.

Апериодическое звено — простейшее из тех звеньев, которые обладают инерцией. Действительно, формула (2.3) показывает, что это звено не сразу, вначале быстро, а затем все медленнее реагирует на ступенчатое воздействие (рис. 10.6). Это происходит потому, что в физическом оригинале аperiодического звена имеется один накапливающий элемент (а также один или несколько потребляющих энергию элементов), энергия, запасенная в котором, не может изменяться скачком во времени — для этого потребовалась бы бесконечная мощность.

График ступенчатой и переходной функций

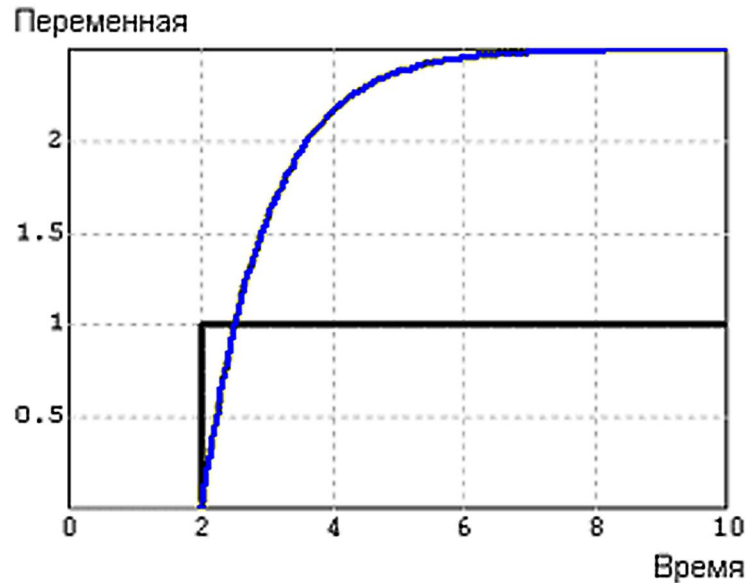


Рис. 10.6. Переходная функция аperiodического звена

Колебательное звено. Его переходная функция равна:

$$y(t) = k \left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\delta^2}} e^{-\frac{\delta t}{T}} \sin(\omega_3 t + \varphi) \right]; \quad \delta < 1; \quad \omega_3 = \frac{\sqrt{1-\delta^2}}{T}; \quad (2.4)$$

$$\varphi = \arccos(\delta),$$

где k — коэффициент усиления;

T — постоянная времени, с;

δ — декремент затухания.

Колебательное звено, наряду со свойствами, присущими уже перечисленным звеньям (способности к усилению, накоплению и инерционностью), обладает и еще одним свойством, которого нет у более простых звеньев, — колебательностью (рис. 10.7). Это его способность при определенном сочетании параметров T и δ переходить к новому стационарному значению, определяемому воздействием, или возвращаться в исходное состояние после снятия воздействия колебательно. Такое поведение обусловлено наличием в колебательном звене двух накапливающих элементов, способных обмениваться друг с другом энергией разного рода (потенциальной и кинетической, электрической и магнитной и т.п.), и элемента (-ов), потребляющего, рассеивающего энергию.

Если затухание достаточно велико, то колебаний в звене не происходит, и оно является аperiodическим.

Ступенчатое
воздействие

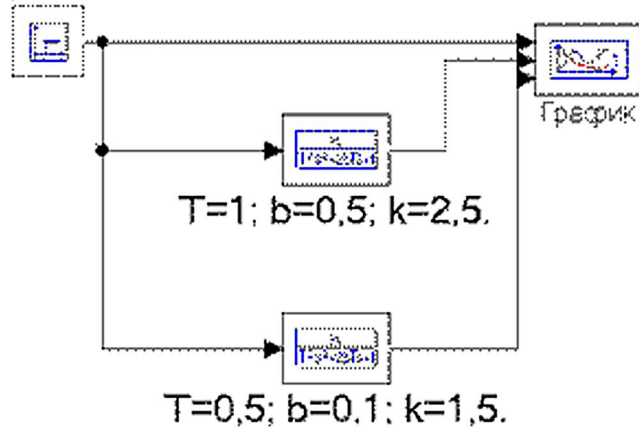


Рис. 10.7. Структурная схема исследования колебательного звена

На рисунке 10.8 приведены переходные функции различных колебательных звеньев.



Рис. 10.8. Переходные функции колебательных звеньев

При $\delta > 1$ трение в системе, рассеивание энергии относительно велико, и колебательность переходной функции исчезает, функция становится монотонной.

Постоянная времени колебательного звена не равна периоду колебаний:

$$T_{\text{кол}} = \frac{2\pi T}{\sqrt{1 - \delta^2}}.$$

Постоянная времени связана с периодом, но существенно меньше его: при $\delta < 0,5$ период затухающих колебаний примерно равен $T_{кол} \approx 2\pi T$.

Звено запаздывания. Его переходная функция равна:

$$y(t) = 1(t - \tau_3),$$

где τ_3 — единственный параметр звена запаздывания: это время, на которое задерживается сигнал, проходя звено запаздывания.

Звено запаздывания не изменяет форму сигнала, но задерживает его по времени на величину τ_3 (рис. 10.9).

График ступенчатой и переходной функций

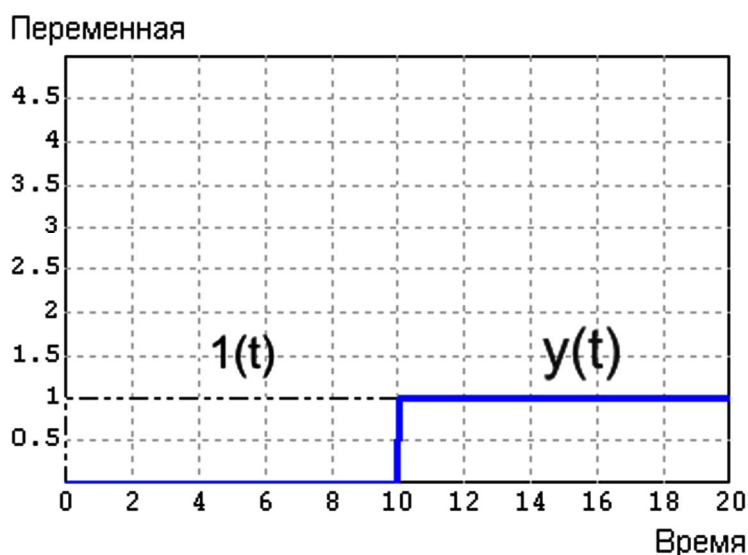


Рис. 10.9. Переходная функция звена запаздывания

Этим звеном моделируются системы и устройства, сигналы в которых задерживаются на ощутимую величину по сравнению с временными параметрами, характеризующими инерционность этих систем. Это, как правило, протяженные в пространстве устройства: линии связи, трубопроводы, транспортеры и т.п.

Порядок выполнения работы

Исследование интегрирующего звена

1. Построить в ПК «МВТУ» виртуальный лабораторный стенд для исследования модели интегратора (рис. 10.10, 10.11).

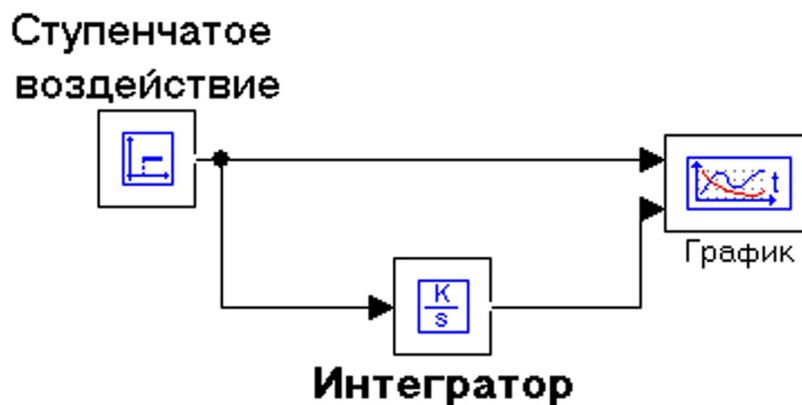


Рис. 10.10. Структурная схема исследования интегратора

График ступенчатой и переходной функций



Рис. 10.11. Переходная функция интегратора

2. Поместить на рабочем поле ПК «МВТУ» генератор ступенчатого сигнала (Источники — ступенька), интегратор (Динамические — интегратор), график (Данные — временной график).

3. Задать различные параметры интегратора.

4. Сохранить файл в личной папке с содержательным названием.

Исследование апериодического звена

1. Построить в ПК «МВТУ» виртуальный лабораторный стенд для исследования модели апериодического звена (рис. 10.12).

Ступенчатое
воздействие

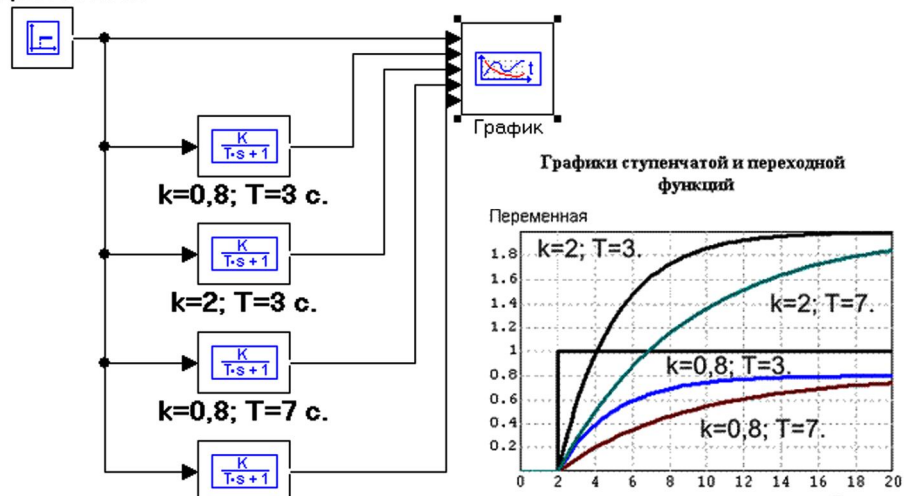


Рис. 10.12. Стенд для исследования аperiodического звена

Аperiodическое звено создается вынесением на рабочее поле блока $\frac{k}{Ts+1}$ (Динамические — $\frac{k}{Ts+1}$) и заданием его параметров (рис. 10.13).

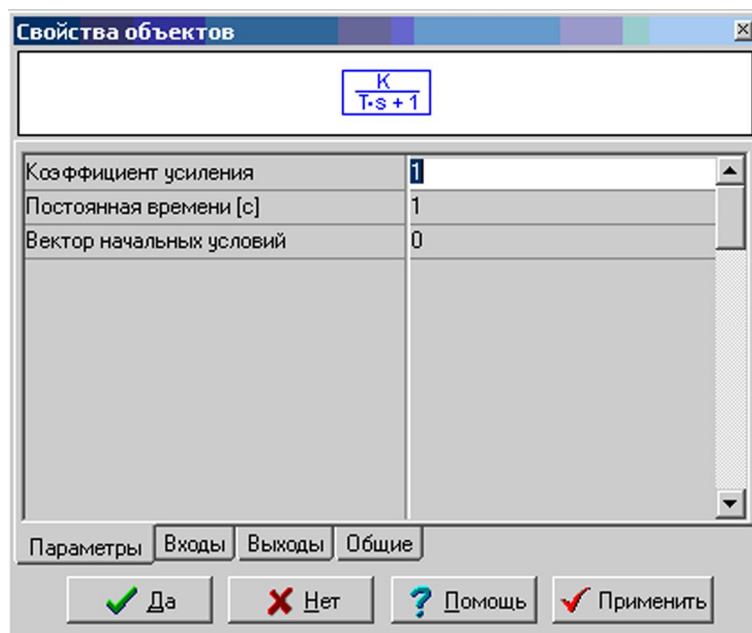


Рис. 10.13. Окно задания параметров аperiodического звена

2. Сохранить лабораторный стенд в личной папке с содержательным названием.

3. Определить по осциллограммам постоянные времени и коэффициенты усиления звеньев и указать, какая кривая соответствует какому звену. Объяснить почему.

4. Вычислить значения переходной функции для звена с параметрами $k = 2$, $T = 1$ с и проставить точки на соответствующем графике.

Сделать снимок экрана и сохранить его с содержательным названием в формате gif.

Исследование колебательного звена

1. Построить в ПК «МВТУ» виртуальный лабораторный стенд для исследования модели колебательного звена (рис. 10.14).

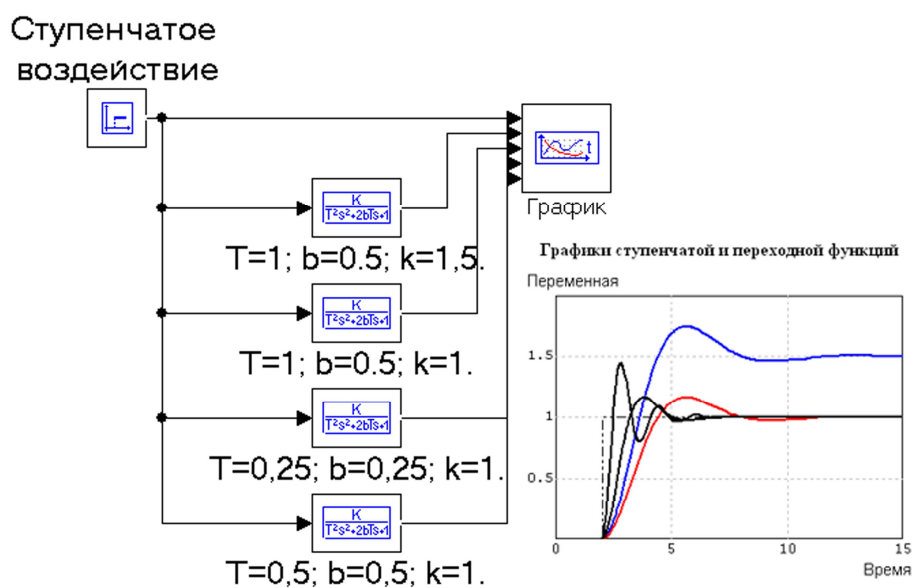


Рис. 10.14. Стенд для исследования колебательного звена

Звено создается вынесением на рабочее поле блока $\frac{k}{T^2s^2 + 2bTs + 1}$ (Динамические — $\frac{k}{T^2s^2 + 2bTs + 1}$) и заданием его параметров (рис. 10.15).

2. Сохранить лабораторный стенд в личной папке с содержательным названием. Параметры колебательного звена задаются так же, как и для апериодического звена.

3. Определить по графикам параметры звеньев: постоянные времени, коэффициенты усиления — и декременты затухания и указать, какая кривая соответствует какому звену. Объяснить почему.

4. Вычислить значения переходной функции $y(t)$ звена с параметрами $k = 1$, $T = 5$ с и $b = 0,5$ и проставить точки на снимке экрана соответствующего графика. Сделать вывод о точности модели колебательного звена, используемой в ПК «МВТУ».

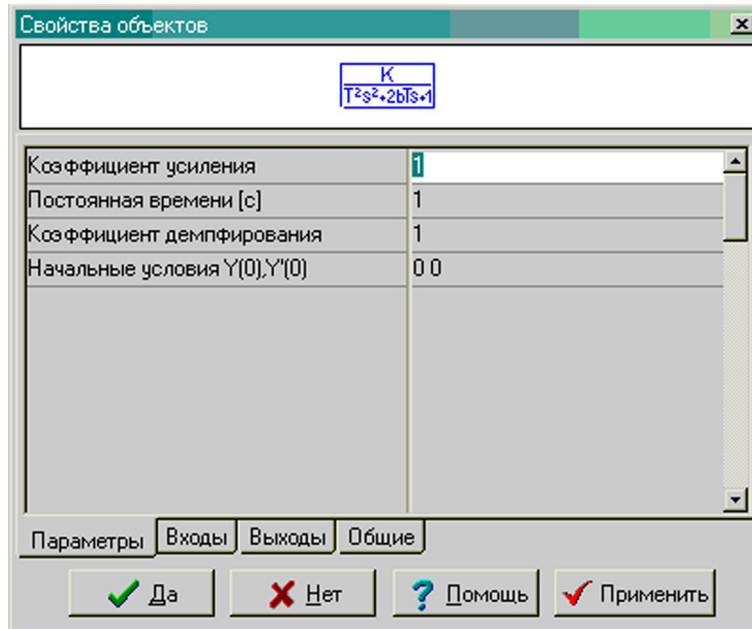


Рис. 10.15. Окно задания параметров колебательного звена

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Краткий конспект по теории типовых звеньев.
3. Снимки экранов.
4. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Что такое ступенчатая единичная функция $1(t)$ (функция включения, функция Хевисайда)?
2. Что такое переходная функция линейного звена?
3. Что такое передаточная функция линейного звена?
4. Записать выражения для передаточной и переходной функций пропорционального звена и интегратора, назвать их параметры и указать, как эти параметры связаны с переходными характеристиками звеньев.
5. Записать выражения для передаточной и переходной функций апериодического звена, назвать его параметры и указать, как они связаны с переходной характеристикой апериодического звена.

6. Записать выражения для передаточной и переходной функций колебательного звена, назвать его параметры и указать, как они связаны с переходной характеристикой колебательного звена.
7. Записать выражения для передаточной и переходной функций звена запаздывания, назвать его параметры и указать, как они связаны с переходной характеристикой звена запаздывания.
8. Как выносятся на рабочее пространство ПК «МВТУ» сумматор и пропорциональное звено? Как задаются их параметры?
9. Какие линейные звенья могут быть промоделированы блоком «Динамические»? Как задаются их параметры?
10. Почему линейные блоки характеризуют переходной функцией? Какая от нее польза?
11. Как проявляется свойство интегратора накапливать входной сигнал?
12. Как проявляется инерционное свойство апериодического звена? Чем оно обусловлено?
13. Как проявляется колебательность колебательного звена? Чем она обусловлена?
14. Задана переходная характеристика некоторого объекта (рис. 10.16).

Переходная характеристика



Рис. 10.16. Переходная характеристика объекта

Определить наиболее подходящий тип звена, которым можно промоделировать объект, определить его параметры и обосновать выбор. Записать выражения для переходной и передаточной функций модели. Чем эта реальная разгонная характеристика отличается от идеальной переходной функции типового звена?

15. Задана переходная характеристика некоторого объекта (рис. 10.17).



Рис. 10.17. Переходная характеристика объекта

Определить наиболее подходящий тип звена, которым можно промоделировать объект, определить его параметры и обосновать выбор. Записать выражения для переходной и передаточной функций модели. Чем эта реальная разгонная характеристика отличается от идеальной переходной функции типового звена?

Список рекомендуемых источников

1. Карташов Б.А., Среда динамического моделирования технических систем SimInTech: Практикум по моделированию систем автоматического регулирования [Электронный ресурс] / Карташов Б. А., Шаббаев Е. А., Козлов О. С., Щекатуров А. М. - М. : ДМК Пресс, 2017. - 424 с. - ISBN 978-5-97060-482-3 - Режим доступа: <https://www.rosmedlib.ru/book/ISBN9785970604823.html>.

2. Шандров Б.В. Технические средства автоматизации [Текст] : учебник для вузов / Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков. - 2-е изд., стереотип. - М : Академия, 2007, 2010. - 368 с. - (Высшее профессиональное образование. Автоматизация и управление). - ISBN 978-5-7695-3624-3 : 182-16.

3. Образцов, Н.Н. Автоматика. Сборник тестовых заданий с комментариями [Электронный ресурс] : учеб. пособие для студентов направления подготовки 35.03.06 "Агроинженерия", 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника", 23.03.03 "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов" очной и заочной форм обучения / Н. Н. Образцов, А. В. Рожнов ; Костромская ГСХА. Каф. ТОЭ и автоматики. - Электрон. дан. (1 файл). - Караваяево : Костромская ГСХА, 2015. - Режим доступа: <http://lib.ksaa.edu.ru/marcweb>, требуется регистрация. - Загл. с экрана. - Яз. рус. - М215.

4. Гайдук, А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. - 2-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2011. - 464 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература).

5. Коновалов, Б.И. Теория автоматического управления [Текст] : учеб. пособие для вузов / Б. И. Коновалов, Ю. М. Лебедев. - 3-е изд., доп. и перераб. - СПб : Лань, 2010. - 224 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1034-7. - гл. 113 : 419-54.

6. Гайдук, А.Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов / А. Р. Гайдук, В. Е. Беляев, Т. А. Пьявченко. - 3-е изд., стер. - Электрон. дан. - СПб. : Лань, 2016. - 464 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Режим доступа: <http://e.lanbook.com/reader/book/71744/>, требуется регистрация. - Загл. с экрана. - Яз. рус. - ISBN 978-5-8114-1255-6.

7. «МВТУ» — программный комплекс для моделирования и исследования систем и объектов [Электронный ресурс] / МВТУ им. Баумана. — Электрон. данные. — М., [1999–]. — Режим доступа: <http://energy.power.bmstu.ru/mvty/>. — Загл. с экрана.

Учебно-практическое издание

Теория автоматического управления : практикум / сост. А.В. Рожнов. —
Каравеево : Костромская ГСХА, 2021. — 120 с. ; 20 см. — 50 экз. — Текст
непосредственный.

Практикум издаётся в авторской редакции

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования "Костромская государственная сельскохозяйственная академия"
156530, Костромская обл., Костромской район, пос. Каравеево, уч. городок, д. 34

Компьютерный набор. Подписано в печать 17/05/2021. Заказ № 243.
Формат 60x84/16. Тираж 50 экз. Усл. печ. л. 7,2. Бумага офсетная.
Отпечатано 17/05/2021. Цена 178,00 руб.

вид издания: первичное (электронная версия)
(редакция от 6.04.2021 № 243)

Отпечатано с готовых оригинал-макетов в академической типографии
на цифровом дубликаторе. Качество соответствует предоставленным
оригиналам.

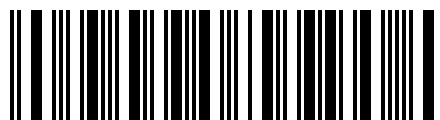
(Электронная версия издания - I:\подразделения \рио\издания\2021\243.pdf)



2021*243

Цена 178,00 руб.

ФГБОУ ВО КОСТРОМСКАЯ ГСХА



2021*243

(Электронная версия издания - I:\подразделения \рио\издания\2021\243.pdf)