

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

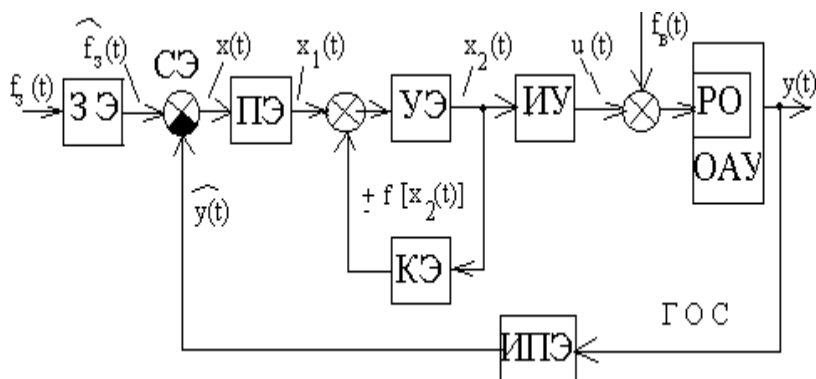
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

А В Т О М А Т И К А

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ, ИСПЫТАНИЙ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ

И КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ



НОВОСИБИРСК 2021

УДК 681.5
ББК 32.965
Д563

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

*Составитель проф., д-р техн. наук **И.П.Добролюбов***

Рецензент профессор, д-р. техн. наук В.Н.Деягин,

Автоматика. Автоматизация измерений, контроля, испытаний.
Методические указания к лабораторным и контрольным работам / Ново-
сиб. гос. аграр. ун-т. Инженерный ин-т. Сост. И.П.Добролюбов.- Новоси-
бирск, 2017.- 131.

Содержат указания к проведению лабораторных работ, указания к вы-
полнению контрольных работ, а также вопросы для самоподготовки.

Предназначены для студентов очного и заочного обучения, по на-
правлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия; всех профилей обучения.

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим сове-
том Инженерного института (протокол №5 от 24 декабря 2020 г.).

© Добролюбов И.П. 2021

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2021

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Правила организации лабораторных занятий

Для успешного выполнения лабораторных работ нужно усвоить теорию курса, знать дисциплины, изучаемые на предыдущих семестрах (физику, математику, электротехнику, и др.)

Студенты должны понять физическую сущность исследуемых процессов, их теоретическое описание, ознакомиться с устройством и принципом действия элементов автоматики, а также лабораторных стендов.

Лабораторные работы выполняются бригадой из 3-4 человек.

На вводном занятии преподаватель проводит инструктаж по технике безопасности, после чего студенты расписываются в журнале выполнения лабораторных работ, который хранится до конца семестра.

Каждый студент при подготовке к выполнению лабораторной работы должен внимательно ознакомиться с программой работы, методикой проведения опытов, оборудованием и измерительной аппаратурой, изучить соответствующие разделы учебников /1-9/ и лекций, подготовить необходимые таблицы. После проверки готовности преподаватель допускает бригаду студентов к выполнению лабораторной работы.

При сборке электрических схем лабораторных стендов вначале рекомендуется собрать силовые цепи, затем вспомогательные, в последнюю очередь - цепи управления.

После включения лабораторного стенда необходимо проверить соответствие направления вращения валов электрических и рабочих машин требуемому направлению, правильность показаний измерительных приборов, работоспособность пускорегулирующей аппаратуры, элементов автоматики и т.п. Убедившись в готовности стенда к работе, приступают к опытам.

Результаты опытов сравнивают с аналогичными опытами, известными из учебников. Если они отличаются, то необходимо опыт повторить и самостоятельно разобраться в причинах ошибок или обратиться к преподавателю.

Расчёты выполняют после проверки преподавателем результатов всех измерений.

После получения удовлетворительного результата эксперимента схему разбирают.

Содержание и правила оформления отчётов лабораторных работ

Отчёт о лабораторной работе составляют студенты индивидуально. Он должен содержать:

- а) порядковый номер, название и цель выполняемой работы;
- б) технические данные рабочих и электрических машин, аппаратов автоматического управления (регулирования), измерительных приборов;
- в) краткие сведения о выполнении всех пунктов программы работы, включающие в себя технологические, кинематические схемы рабочих машин, электрические схемы, таблицы результатов измерений, расчётные формулы, результаты расчётов, необходимые графики;
- г) основные выводы по работе, обобщающие материалы исследования или указывающие на основные особенности изучаемой системы и её элементов.

Схемы, таблицы и графики вычерчивают по линейке, окружности - циркулем. Отчёт необходимо выполнять аккуратно. Допускается оформление отчёта в отдельной лекционной тетради или на отдельных листах. Обозначения и графическое выполнение элементов схем должны соответствовать ГОСТ. Допускается оформление отчётов на ЭВМ.

Порядок выполнения лабораторных работ

1. Заранее подготовить бланк отчёта, оформленный согласно изложенным выше требованиям (со схемами, таблицами).
2. Получить у преподавателя допуск к работе. Для этого надо ответить на соответствующие вопросы, изложенные в учебниках и конспекте лекций по теме лабораторной работы (прежде всего на контрольные вопросы, приведенные в конце описания лабораторных работ).
3. Прodelать лабораторную работу по всем пунктам программы: от сборки схемы и проведения испытаний до обработки результатов, выполнения расчетов и оформления таблиц, графиков, схем и т.д.
4. Показать готовый отчёт преподавателю и получить зачет.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

При выполнении лабораторных работ приходится работать с открытыми контактами электрических схем, с вращающимися валами электрических и рабочих машин, с установками промышленного и высокого напря-

жения, представляющими при неправильном обращении с ними, определённую опасность.

При работе в лаборатории каждый студент должен строго соблюдать следующие правила:

1. Верхние клеммы рубильников, пускателей, автоматов и других устройств, установленных на рабочих местах и предназначенных для подачи напряжения, всегда находятся под напряжением, поэтому касаться их строго запрещается.

2. Каждый студент обязан знать местонахождение рубильника, отключающего напряжение во всей лаборатории.

3. При сборке электрических схем провода, подающие напряжение к схеме, необходимо подключать в последнюю очередь при выключенном пусковом аппарате.

4. Провода в схеме нужно располагать так, чтобы они меньше перегибались, путались и легко можно было бы установить, к какому аппарату присоединён каждый провод.

5. Крепление проводов к контактам аппаратов и щитков должно быть плотным и надёжным.

6. Перед включением лабораторного стенда необходимо предупредить всех членов бригады.

7. Включать схему или лабораторный стенд в работу можно только с разрешения преподавателя.

8. Перед включением электрических и рабочих машин с вращающимися валами необходимо убедиться в том, что муфты, валы и другие вращающиеся детали защищены от прикосновения и случайного попадания одежды и других предметов.

9. При обнаружении неисправностей в схеме стенда необходимо его немедленно отключить, дождаться остановки вращающихся валов машин и только после этого вносить необходимые исправления (при выключенном напряжении).

10. Запрещается облокачиваться на элементы схемы, оборудования и приборы, перешагивать через вращающиеся машины, класть книги и другие предметы на лабораторные стенды.

Все студенты группы должны знать правила первой помощи пострадавшему от электрического тока и уметь применять их на практике.

Лабораторная работа № 1

Исследование первичных измерительно-преобразовательных элементов систем автоматического управления (на примере фотодатчиков)

Цель работы. Ознакомиться с общими принципами построения систем автоматического управления (САУ), с назначением и функциями первичных измерительных преобразователей (датчиков), с типами и характеристиками фотодатчиков, используемых в сельскохозяйственном производстве.

Общие принципы построения САУ

Основные термины:

Объект автоматического управления (ОАУ) - часть окружающего мира (среды), выделенная таким образом, что выполняются, по крайней мере, два условия: 1) на объект можно воздействовать; 2) это воздействие приближает нас к достижению поставленной цели управления.

Цель управления - совокупность условий, свойств и требований, которым должен удовлетворять ОАУ.

Алгоритм управления - совокупность правил, методов и способов, позволяющих образовать (синтезировать) целенаправленное воздействие (управление), если известно фактическое состояние ОАУ, т.е. это инструкция о том, как добиться цели управления в различных ситуациях. В простейших случаях его называют законом управления.

Система - множество взаимосвязанных элементов, составляющих единое целое.

Элемент системы - составная часть системы - подсистема (нижнего уровня), внутрь которой описание не проникает.

Система управления - совокупность ОАУ и управляющего устройства (УУ), процесс взаимодействия которых приводит к выполнению поставленной цели управления (рис.1.1).

Обобщенная структурная функциональная схема САУ - графическое представление взаимосвязи элементов САУ, которое является обобщающим описанием САУ любого класса (рис. 1.2).

Назначение элементов обобщенной структурной функциональной схемы САУ следующее.

- ЗЭ - задающий элемент: формирует задающее (эталонное) воздействие $f_3(t)$, выработанное из $f_3(t)$, которое преобразуется в однозначно соответствующее (нормированное, приведенное к одной физической величине и т.д.) $f_3(t)$ и удобное для сравнения с $y(t)$.

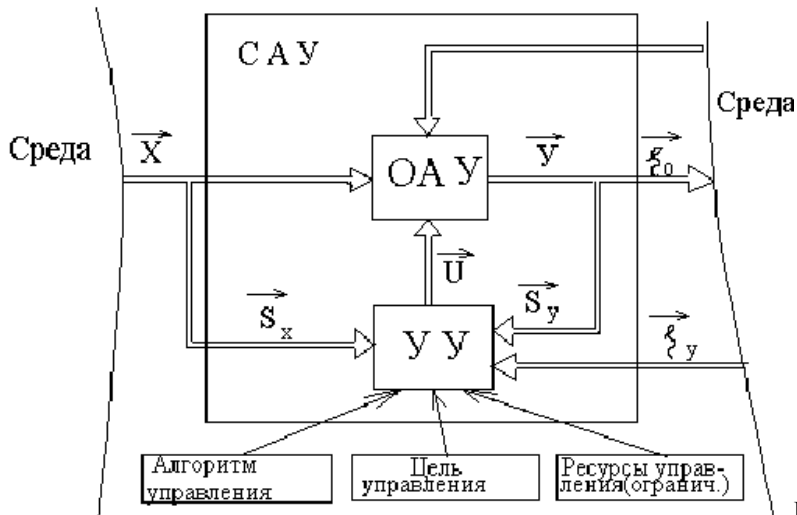


Рис.1.

1. Система управления: $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - множество (вектор) воздействий среды на объект; $\vec{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ - множество (вектор) воздействий объекта на среду; $\vec{U}$ - множество (вектор) воздействий УУ на ОАУ; $\vec{S}_x = \{s_{x_1}, s_{x_2}, \dots, s_{x_r}\}$ - множество (вектор) информативных признаков о состоянии среды; $\vec{S}_y = \{s_{y_1}, s_{y_2}, \dots, s_{y_s}\}$ - множество (вектор) информативных признаков о состоянии ОАУ; $\vec{z}_0, \vec{z}_1$ - множества (векторы) неконтролируемых воздействий на ОАУ и УУ (помех), называемых возмущениями

- СЭ-сравнивающий элемент: в общем случае определяет рассогласование сигналов - задающего $f_3(t)$ и управляемого $y(t)$, т.е. ошибку управления: $x(t) = y(t) - f_3(t)$.

- ИПЭ - измерительно-преобразовательный элемент: измеряет фактическое (действительное) значение управляемого параметра (процесса) $y(t)$, имеющего различную физическую природу, и преобразует его в одно-

значно соответствующий сигнал (параметр) $y^*(t)$, удобный для сравнения с $f_3(t)$. В общем случае ИПЭ состоит из первичного измерительного преобразователя (чувствительного элемента) - датчика и измерительных преобразователей различного рода. Конструктивно операции, выполняемые ИПЭ, ЗЭ и СЭ, могут быть совмещены в одном устройстве.

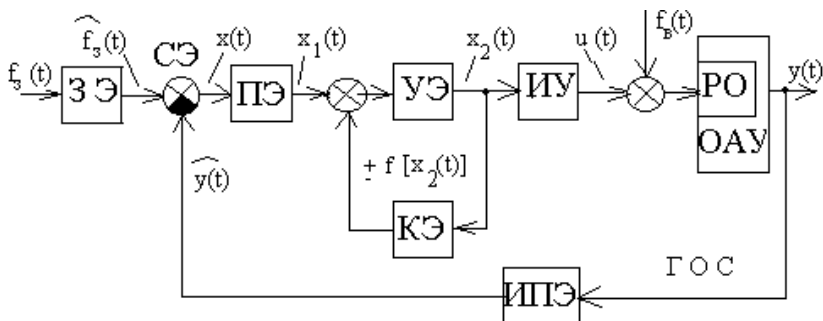


Рис.

1.2.Обобщенная структурная функциональная схема САУ

- ПЭ - преобразующий элемент: обеспечивает преобразование сигнала ошибки $x(t)$ в удобный для дальнейшей обработки сигнал $x_1(t)$.

- УЭ - усилительный элемент: осуществляет увеличение (без искажений) сигнала рассогласования $x_1(t)$ до уровня $x_2(t)$, достаточного для надежной работы исполнительного устройства.

- ИУ - исполнительное устройство: вырабатывает и подает на регулирующий орган (РО) объекта автоматического управления (ОАУ) управляющее воздействие $u(t)$.

- КЭ (КОС, МОС, ВОС) - корректирующий элемент (корректирующая, местная или внутренняя обратная связь): улучшает (корректирует) качество процесса управления, чаще всего с помощью местной (внутренней) обратной связи (положительной или отрицательной).

- ГОС - главная обратная связь: связывает вход и выход САУ, образуя замкнутый контур управления. ГОС включает, в общем случае, также и ИПЭ.

$f_B(t)$ - возмущающие воздействия на ОАУ и устройство управления, приведенные к входу ОАУ;

□- сумматор (с зачерненным сектором – алгебраический сумматор, т.е. вычитатель).

В реальных САУ функции отдельных элементов ИПЭ, ЗЭ, СЭ, ПЭ могут быть конструктивно совмещены в одном устройстве.

Исследование первичных измерительных преобразователей (на примере фотодатчиков)

В САУ технологическими производственными процессами необходимо измерять около двух тысяч физических, химических, биологических и других величин. В каждом первичном измерительном преобразовании используется какая-либо закономерность (или закон), связывающая одну физическую (или другой природы) величину с другой. В первичных измерительных преобразователях (датчиках) используются как одинарные, так и двойные или тройные эффекты (одновременно или последовательно), чаще всего физические. Связь между выходной y и входной x величинами датчика описывается функцией преобразования (статической характеристикой) $y=f(x)$. Отношение $k_n=y_i/x_i$ при $x=x_i$ называется коэффициентом преобразования, а отношение изменения выходной величины Δy к соответствующему изменению входной величины Δx - чувствительностью датчика:

$$s=\Delta y/\Delta x.$$

Если зависимость $y=f(x)$ линейная, то чувствительность не зависит от x , т.е. $k_n=s$.

Все датчики делятся на две большие группы: генераторные и параметрические. *Генераторные датчики* преобразуют входную величину x в выходную y непосредственно за счет энергии входного сигнала. *Параметрические датчики*, кроме первичного преобразования входной величины x , осуществляют, как правило, промежуточное преобразование в выходную величину y и имеют вспомогательный источник энергии (питания). Датчики классифицируются по принципу действия, по виду входных и выходных величин, по функциональному назначению.

Описание лабораторного стенда и методические указания

Лабораторный стенд предназначен для снятия характеристик фотодатчиков типа СЦВ-3, ЦГ-3, ФСК-Г1 и ФД-1, а также для исследования работы фотореле.

Вакуумный фотоэлемент типа СЦВ-3 и газонаполненный фотоэлемент типа ЦГ-3 представляют собой стеклянную колбу с катодом из светочувствительного слоя, нанесенного на внутреннюю поверхность стеклянного баллона, и анодом в виде полусферы (у СЦВ-3) или кольца (у ЦГ-3). Указанные датчики используют явление внешнего фотоэффекта, при котором электроны выбиваются с катода под действием световой энергии (квантов - фотонов).

Ток, протекающий через эти датчики, образуется за счет того, что электроны, выбитые из катода, увлекаются электрическим полем, образованным в анодно-катодном пространстве (при подаче постоянного напряжения между электродами – анодом и катодом).

В вакуумном фотоэлементе с нарастанием напряжения на аноде ток увеличивается только до определенного предела, затем наступает насыщение (ток не растет), и все выбитые с катода электроны попадают на анод. Ток может увеличиваться в датчике только с ростом освещенности.

В газонаполненном фотоэлементе колба заполнена инертным газом. Фотоэлектроны, освобожденные светом, при движении к аноду соударяются с атомами газа и ионизируют его. За счёт появления дополнительных заряженных частиц (ионов) ток усиливается в сравнении с вакуумным фотоэлементом.

Фоторезистор типа ФСК-1 представляет собой стеклянную пластину с нанесенным на неё тонким слоем однородного светочувствительного полупроводникового вещества, с металлическими электродами по краям. Пластина запрессована в пластмассовую оправу с рабочим окном, через которое проходят световые лучи. Под действием света в полупроводнике образуются свободные электроны, а следовательно, увеличивается его электропроводность, что характерно для датчиков с внутренним фотоэффектом.

В фотодиоде ФД-1 используется вентильный фотоэффект. Вентильные фотоэлементы - полупроводниковые диоды, триоды, и тиристоры, один из электродов которых полупрозрачный. Световой поток проходит через этот электрод, а также через тонкий слой полупроводника n -типа и поглощается в соседнем p -слое. Благодаря внутреннему фотоэффекту в нем образуется повышенная концентрация электронно-дырочных пар. Под действием электрического поля электроны и дырки разделяются и на гра-

нице $p-n$ - перехода создают разность потенциалов. Во внешней цепи образуется ток, протекающий только в одном направлении, так как сопротивление $p-n$ - перехода в обратном направлении велико.

Снятие вольтамперных характеристик фотодатчиков, представляющих собой зависимость силы тока датчика от напряжения при постоянной освещенности, производится на стенде, схемы которого представлены на рис. 1.3, 1.4.

Световую характеристику фотодатчиков, т.е. зависимость фототока от светового потока при постоянстве приложенного напряжения, можно построить, используя семейство вольтамперных характеристик, снятых для разных значений освещённости.

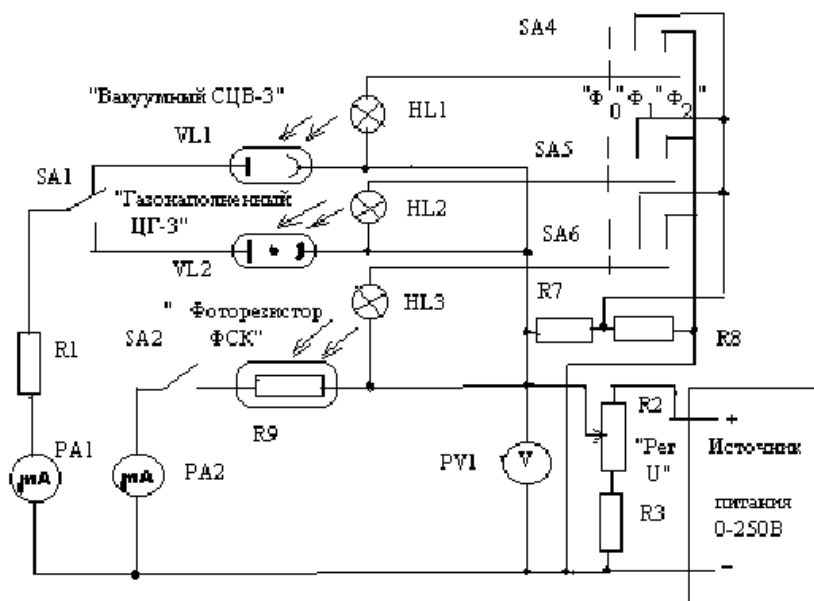


Рис.1.3.Принципиальная схема лабораторного стенда для испытания фотодатчиков СЦВ-3, ЦГ-3 и ФСК-Г1

Чувствительность по световой характеристике определяется как приращение тока датчика, отнесённое к приращению светового потока (аналогично из семейства вольтамперных характеристик при постоянстве напряжения).

Фотореле (см. рис.1.4) представляет собой транзисторный усилитель на транзисторе МП42, ток цепи база-эмиттер которого определяется током фотодиода VD, т.е. освещённостью. В цепь коллектора транзистора включена катушка электромагнитного реле KV. При увеличении освещённости в цепи источник питания - VD - R6 протекает ток. Когда падение напряжения на сопротивлении R6 достигнет уровня открытия перехода база-эмиттер транзистора, он открывается. Когда ток коллектора достигает тока срабатывания реле KV, контакты реле KV размыкаются и лампочка HL6 гаснет. При снижении освещённости реле действует в обратном порядке, что приводит к включению лампы HL6. Параметры схемы можно подобрать так, чтобы искусственное освещение автоматически включалось при снижении естественной освещённости ниже допустимого уровня.

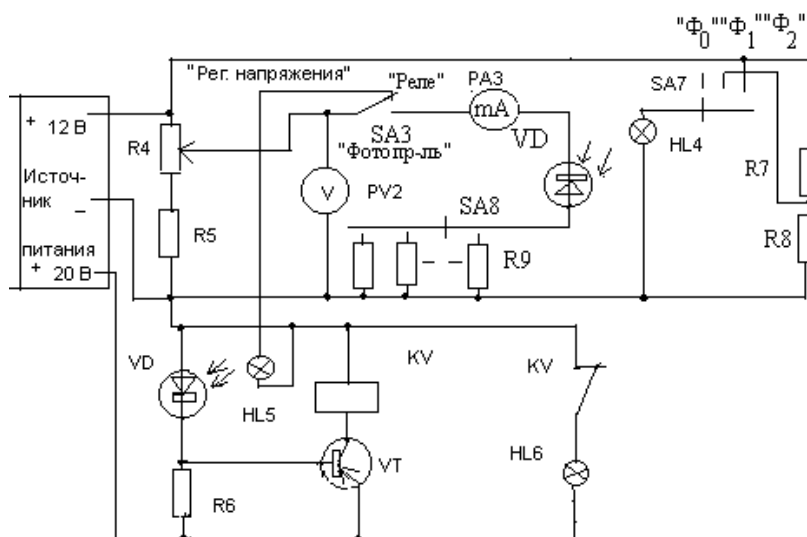


Рис.1.4. Принципиальная схема лабораторного стенда для испытаний фотодиода ФД-1 и фотореле

Программа работы

1.Подключить шнур питания к сети, тумблером «Сеть» включить стенд. Ознакомиться с конструкцией фотодатчиков.

2. Снять вольтамперные характеристики каждого фотодатчика для трёх значений светового потока: $\Phi_0=0$ (темновую), $\Phi_1=1\text{ лм}$ и $\Phi_2=2\text{ лм}$. Результаты занести в таблицу 1.1 (число столбцов зависит от типа датчика)

Таблицу 1.1

$\Phi_0=0$	$U_a, \text{ В}$				
	$I_a, \text{ mA } (\mu\text{A})$				
$\Phi_1=1\text{ лм}$	$U_a, \text{ В}$				
	$I_a, \text{ mA } (\mu\text{A})$				
$\Phi_2=2\text{ лм}$	$U_a, \text{ В}$				
	$I_a, \text{ mA } (\mu\text{A})$				

3. Построить вольтамперные характеристики $I_a=f_1(u_a)$. По полученным графикам для заданного преподавателем значения напряжения построить световые характеристики $I_a=f_2(\Phi)$ и определить чувствительность датчика $S=\Delta I_a/\Delta \Phi$.

4. Исследовать работу фотореле.

Порядок выполнения работы

1. При испытаниях СЦВ-3 устанавливают: тумблер SA1 - в положение «вакуумный», тумблер SA4 – поочередно в положение, соответствующее требуемому световому потоку (Φ_0 , Φ_1 или Φ_2), тумблеры SA5 - SA7 - в среднее положение. Регулируя напряжение питания U_a на аноде фотоэлемента резистором R2 «Рег. напряжения» в диапазоне от 0 до 25В - через 5В, в диапазоне от 25 до 200В - через 25В и измеряя его прибором PV1, измерить ток I_a , протекающий через фотоэлемент, прибором PA1 (поочередно при положениях SA4 « Φ_0 », « Φ_1 » и « Φ_2 »).

2. При испытаниях ЦГ-3 устанавливают: тумблер SA1 - в положение «газонаполненный», тумблер SA5 - поочередно в положение, соответствующее требуемому световому потоку (Φ_0 , Φ_1 или Φ_2), тумблеры SA4, SA6, SA7- в среднее положение. Регулируя напряжение питания U_a резистором R2 «Рег. напряжения» в диапазоне 0 - 60В через 10В (измеряя его прибором PV1), измерить силу тока I_a прибором PA1.

3. При испытаниях ФСК-Г1 устанавливают: тумблер SA2 - в положение «Вкл», тумблер SA6 - поочередно в положение, соответствующее требуемому световому потоку (Φ_0 , Φ_1 или Φ_2), тумблеры SA4, SA5, SA7 - в среднее положение. Регулируя напряжение питания U_a резистором R2

«Рег. напряжения» в диапазоне 0 - 60В через 10В (измеряя его прибором PV1), измерить силу тока I_a прибором PA2.

4. При испытаниях ФД1 устанавливают: тумблер SA3 - в положение «Фотопреобразователь»; переключатель SA8 - в положение «300 кОм». . Регулируя напряжение питания U_a резистором R4 «Рег. напряжения» в диапазоне 0 - 10В через 2В (измеряя его прибором PV2), измерить силу тока I_a прибором PA3.

5. Исследовать работу фотореле. Для этого тумблер SA3 поставить в положение «реле» т.е. включить лампочку HL5. Меняя её освещённость резистором R4 «0-12В», определить пороги срабатывания фотореле по загоранию и погасанию лампочки HL6 и зафиксировать по прибору PV2 напряжение срабатывания $U_{ср}$ и отпускания $U_{отп}$. Результаты измерения занести в отчёт.

Контрольные вопросы

1. Каковы общие принципы построения системы управления?
 2. Каков состав и назначение элементов обобщенной структурно-функциональной схемы САУ?
 3. Каково назначение измерительно-преобразовательных элементов САУ ?
 4. Какие типы фотодатчиков применяются в автоматике? Какова их конструкция и принцип действия?
 5. Что такое чувствительность, световая и вольтамперная характеристика фотодатчиков? Объясните поведение этих характеристик у исследуемых датчиков.
 6. Сопоставьте исследуемые фотодатчики с точки зрения чувствительности, диапазона рабочих напряжений, токов, световых потоков и принадлежности к группам: генераторной или параметрической.
- Поясните принцип работы фотореле.

Лабораторная работа 2

Исследование электромагнитных реле

Цель работы. Изучить реле и приобрести практические навыки определения основных эксплуатационных параметров электромагнитных реле.

Основные положения

Классификация, принцип действия, конструктивное исполнение и характеристики реле подробно описаны в учебниках и должны быть изучены самостоятельно. Здесь приведены необходимые основные сведения для выполнения работы.

Назначение реле - применение в системах автоматизации для управления различными процессами, для защиты различных устройств от появления ненормативных режимов работы, для усиления, размножения и коммутации (соединения) сигналов, для выполнения логических операций.

По принципу воздействия на выходную цепь реле бывают контактные и бесконтактные; по роду физической величины, на которую реагирует реле: тока, напряжения, частоты, мощности, сопротивления и т.д. (на электрических схемах они обозначаются соответственно КА, КV, КР и т. д.).

Основные показатели работы реле

1. *Статическая характеристика.* Важнейшей характеристикой реле является его статическая характеристика - зависимость выходной величины y (сигнала) от входной величины x (сигнала). Выходная величина (сигнал) - та, которая обеспечивает срабатывание устройства управления, контроля, защиты и т.д. Входная - та, которая обеспечивает срабатывание самого реле (переход его из одного в другое устойчивое состояние). Например, выходная величина реле, обеспечивающая подключение электродвигателя, - это напряжение питания этого электродвигателя, которое появляется на его обмотках в момент срабатывания реле, и нулевое напряжение на его обмотках, появляющееся в момент отключения реле. Входная величина для реле напряжения, например, - это напряжение, подаваемое на основной нелинейный элемент реле, которая обеспечивает переход реле из од-

ного устойчивого состояния в другое (в случае электромагнитного реле это катушка электромагнита, на которую подается напряжение).

Статические характеристики (рис.2.1) могут быть обычными нейтральными (y не зависит от знака x) и реверсивными, когда y принимает знак «+» или «-».

Большинство реле являются двухпозиционными: y принимает два значения y_{min} и y_{max} (при выполнении логических операций уровень y_{min} принимается за логический ноль, y_{max} - за логическую единицу). Применяются также трехпозиционные реле. Реле, имеющие характеристику (рис.2.1,а), называются нейтральными, характеристику (рис.2.1, в) - поляризованными (уровень «-1» соответствует включению в работу, т.е. коммутацию, иного устройства, чем при уровне «+1»).

Значение входной величины $x=x_c$ называется *параметром срабатывания* реле, а значение $x=x_o$ - *параметром отпуска* реле. Значение x_c характеризует чувствительность реле.

2. *Мощность срабатывания реле* - минимальная мощность, потребляемая реле при срабатывании.

3. *Выходная мощность* - коммутируемая (управляемая) мощность на выходе реле (например, мощность на контактах электромагнитного реле).

4. *Время трогания t_{mp} реле* (рис.2.1,г) - время, в течение которого подвижные части реле находятся ещё в покое, а входная величина x (ток, напряжение и т.д.) возрастает до значения параметра срабатывания x_c .

5. *Время срабатывания t_{cp} реле* (рис.2.1,г) - время от момента подачи на вход реле управляющего сигнала до появления сигнала на его выходе (замыкания или размыкания выходной цепи реле).

6. *Время отпуска t_{om} реле* (рис.2.1,г) - время от момента снятия входного (управляющего) сигнала до момента размыкания (замыкания) выходной цепи реле: $t_{om} = t_{mp} + t_{dv}$, где t_{dv} - время движения якоря.

7. *Номинальное значение x_n* - установившееся (рабочее) значение входного управляющего сигнала, обеспечивающее надёжную работу реле при случайном изменении x .

8. *Коэффициент возврата реле* (характеризует ширину петли статической характеристики): $k_g = x_o / x_c < 1$ (для идеального реле $k_g = 1$).

9. *Коэффициент запаса при срабатывании*: $k_{зcp} = x_n / x_c$.

10. *Коэффициент запаса при отпуске*: $k_{зom} = x_o / x_n$.

11. Коэффициент усиления:

$$k_y = y_{\max} / x_c.$$

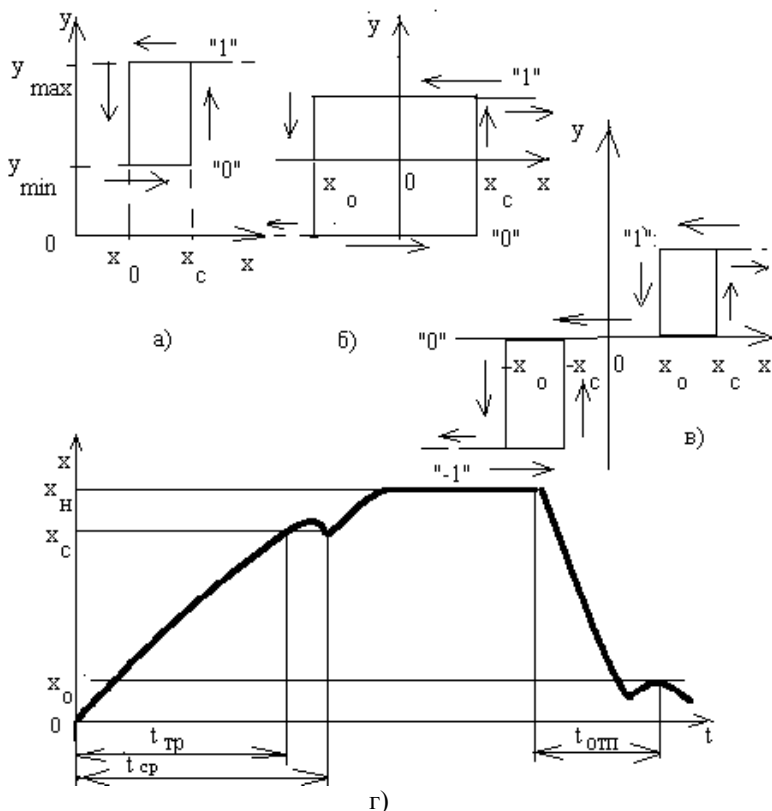


Рис.2.1.Статические характеристики реле: а) обычная нейтральная; б) двухпозиционная реверсивная; в) трехпозиционная (с зоной нечувствительности); г) временная диаграмма работы реле

Для выходных цепей реле (особенно контактных) важнейшими являются также предельно-допустимые значения $u_{п.д}$ (предельно-допустимые ток, напряжение, мощность).

В зависимости от частоты управляющего (входного) сигнала бывают реле постоянного тока и реле переменного тока. Электромагнитные реле переменного тока можно отличить по конструктивным признакам: наличию короткозамкнутого медного витка (экрана) на части полюса (магни-

топровода), который расположен в торцевой части магнитопровода, примыкающей к воздушному зазору и якорю, и исполнению магнитопровода в виде набора пластин. Применение этого экрана способствует уменьшению вибраций контактов и, следовательно, более надежной работе реле. Эти вибрации вызваны переменностью магнитного потока и тягового усилия. В короткозамкнутом витке возникает круговой магнитный поток, который, взаимодействуя с основным потоком, вызывает его расщепление на два потока и сдвиг одного потока относительно другого по фазе на угол, близкий к 90^0 . Последующее суммирование этих двух потоков приводит к значительному снижению пульсаций результирующего магнитного потока и тягового усилия реле.

Якорь нейтрального реле притягивается к сердечнику независимо от направления тока в обмотке электромагнита этого реле. Якорь поляризованного реле перемещается в одном направлении или в противоположном (замыкая или размыкая при этом одну или другую группы контактов) в зависимости от полярности напряжения, приложенного к обмотке реле. Это обеспечивается за счет установки на якоре реле постоянного магнита. Взаимодействие магнитного потока постоянного магнита, который не меняет свое направление, с магнитным потоком электромагнита, направление которого изменяется на противоположное при изменении полярности управляющего напряжения, приводит к перемещению якоря в ту или другую сторону.

К электромагнитным реле относятся также безъякорные реле с магнитоуправляемыми герметичными контактами (герконы). Герконы конструктивно выполнены в виде колбы с инертным газом или вакуумом, в которую помещены ферромагнитные пластинки (две, три и более) с напыленными на их концах контактами из благородного металла. Управление контактами может осуществляться с помощью магнитного поля постоянного магнита или электромагнита (для этого на колбе геркона помещена катушка).

Описание лабораторного стенда

На стенде имеется четыре реле напряжения: переменного тока, постоянного тока, герконовое и поляризованное (рис.2.2). Все реле доступны для обозрения без прикосновения к токоведущим частям, номинальные напряжения реле указаны на лицевых панелях.

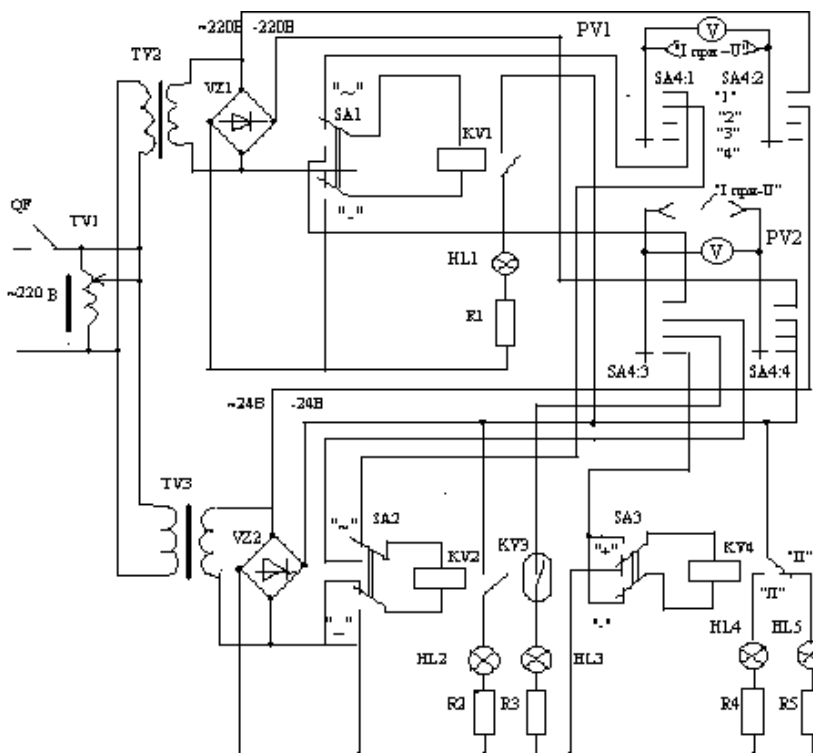


Рис.2.2. Принципиальная схема лабораторного стенда

Коммутация схем и подключение к источникам питания выполняются галетными переключателями и тумблерами. В комплект оборудования входят также электроизмерительные приборы, которые подключаются к измерительным точкам схем включения реле дополнительными проводами (шнурами).

Методические указания

Как статические, так и динамические параметры реле имеют относительно большой разброс, поэтому необходимо проводить не менее $n=3...5$ измерений. В отчете необходимо представлять результаты измерений y_i , среднее значение $\bar{y}$ и среднеквадратичное отклонение измеряемой величины от среднего значения: $S = \sqrt{[1/(n-1)] \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$.

Результаты измерения записываются в виде , где $t(P, n)$ - параметр распределения Стьюдента (для вероятности $P=0,95$ и $n=5$ параметр $t=2,78$).

Во избежание выхода из строя реле недопустимо его включать под напряжение, существенно превышающее номинальное значение.

При исследовании поляризованного реле следует после каждого его срабатывания производить переполюсовку питания, соответственно, обеспечивая переброс якоря в исходное положение.

Результаты исследований каждого реле заносятся в таблицу 2.1. Число таблиц соответствует числу исследуемых реле.

Таблица 2.1

№ п/п	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	$\checkmark$	s
U_{cp}, B							
I_{cp}, mA							
$U_{отп}, B$							
$I_{отп}, mA$							
$I_{ном}, mA$							

Программа работы

1. Исследовать параметры реле напряжения переменного тока при питании его от источника напряжения переменного тока.
2. Исследовать параметры нейтрального реле напряжения постоянного тока при питании его от источника напряжения постоянного тока.
3. Исследовать параметры герконового реле.
4. Исследовать параметры поляризованного реле напряжения.

При исследовании конкретного реле определяют: номинальный ток обмотки реле $I_{ном}$; напряжение и ток срабатывания (втягивания) U_{cp} , I_{cp} ; напряжение и ток отключения (отпускания) $U_{отп.}$, $I_{отп.}$; коэффициент возврата $K_v = U_{отп.}/U_{cp}$; коэффициент запаса при срабатывании $K_z = U_{ном}/U_{cp}$.

Порядок выполнения работы

1. Испытание реле напряжения «KV~220В» (KV1) при питании от источника переменного тока с напряжением 220В.

Для этого необходимо органы управления на лабораторном стенде установить в следующие положения (рис.2.2): тумблер SA1 - в положение «~»; штекеры шнуров (проводов) амперметра РА вставить в гнезда «I при ~U=220В»; на панели амперметра РА нажать клавишу «~» режима изме-

рения; переключатель пределов измерения амперметра РА поставить в положение « $\sim 30\text{mA}$ ».

Вращая ручку ползунка лабораторного трансформатора TV1 (ЛАТР), постепенно увеличивать напряжение, добиваясь срабатывания реле. Визуально это определяется по моменту загорания сигнальной лампочки этого реле. Затем, уменьшая напряжение с помощью ЛАТРа, добиться отключения реле (при этом лампочка гаснет). По приборам: вольтметру PV1 и амперметру РА измерить напряжения и токи срабатывания и отпускания, а также номинальный ток реле. Повторить опыт $n=3-5$ раз, данные занести в таблицу.

2. Испытание реле напряжения «KV-24В» (KV2) при питании от источника постоянного тока с напряжением 24В.

Для этого необходимо органы управления на лабораторном стенде установить в следующие положения: переключатель SA4 - в положение «2»; тумблер SA2 - в положение «-»; штекеры шнуров (проводов) амперметра РА вставить в гнезда «I при $-U=24\text{В}$ »; на панели амперметра РА нажать клавишу «-» режима измерения; переключатель пределов измерений амперметра РА поставить в положение « -60mA ».

Вращая ручку ползунка TV1 (ЛАТР), постепенно увеличивать напряжение, добиваясь срабатывания реле. Визуально это определяется по моменту загорания сигнальной лампочки данного реле. Затем, уменьшая напряжение с помощью ЛАТРа, добиться отключения реле (при этом лампочка гаснет). С помощью приборов - вольтметра PV2 и амперметра РА - измерить напряжения и токи срабатывания и отпускания, а также номинальный ток реле. Повторить опыт $n=3-5$ раз, данные занести в таблицу.

3. Испытание герконового реле (KV3) при питании от источника постоянного тока с напряжением 24В.

Для этого необходимо органы управления на лабораторном стенде установить в следующие положения: переключатель SA4 - в положение «3»; тумблер SA2 - в положение «-»; штекеры шнуров (проводов) амперметра РА вставить в гнезда «I при $-U=24\text{В}$ »; на панели амперметра РА нажать клавишу «-» режима измерения; переключатель пределов измерений амперметра РА поставить в положение « -60mA ».

Испытания проводятся аналогично методике испытания реле напряжения постоянного тока.

4. Испытания поляризованного реле (KV4) при питании от источника постоянного тока. Для этого необходимо органы управления на лабораторном стенде установить в следующее положение: переключатель SA4 - в положение «4»; тумблер SA3 - в положение «+» (при этом горит сигнальная лампочка «лев»); тумблер SA2 - в положение «-»; штекеры шнуров (проводов) амперметра РА вставить в гнезда «I при $-U=24В$ »; на панели амперметра РА нажать клавишу «-» режима измерения; переключатель пределов измерения амперметра РА поставить в положение « $-6mA$ ».

Вращая ручку ползунка ЛАТРа постепенно увеличивать напряжение, добиваясь срабатывания реле. Визуально этот момент определяется так: гаснет сигнальная лампочка «лев» и загорается сигнальная лампочка «прав». Затем уменьшить напряжение до нуля. Далее следует после каждого срабатывания производить переплюсовку питания, что способствует возвращению якоря в исходное состояние. Для этого необходимо тумблер SA3 поставить в положение «-» и повторить опыт.

5. Дополнительно (по заданию преподавателя) испытайте реле KV~220В (KV1) при питании от источника постоянного тока. Для этого необходимо органы управления на лабораторном стенде установить в следующие положения: тумблер SA1 - в положение «-»; штекеры шнуров (проводов) амперметра РА вставить в гнезда «I при $-U=24В$ »; на панели амперметра РА нажать клавишу «-» режима измерения; переключатель пределов измерения амперметра РА поставить в положение « $-60mA$ ».

Снимите однократно показания приборов: вольтметра PV2, амперметра РА.

6. Дополнительно (по заданию преподавателя) испытайте реле KV-24В (KV2) от источника переменного тока. Для этого необходимо органы управления лабораторного стенда установить в следующие положения: тумблер SA2 - в положение «~»; штекеры шнуров (проводов) амперметра РА вставить в гнезда «I при $\sim U=220В$ »; на панели амперметра РА нажать клавишу «~» режимов работы; переключатель пределов измерений амперметра РА поставить в положение « $\sim 30mA$ ».

Снимите однократно показания приборов: вольтметра PV1, амперметра РА.

Контрольные вопросы

1. Объясните устройство и принцип действия реле переменного тока.
2. Объясните устройство и принцип действия реле постоянного тока.
3. Объясните устройство и принцип действия герконового реле.
4. Объясните устройство и принцип действия поляризованного реле.
5. При каких условиях можно использовать реле переменного тока в цепях постоянного тока?
6. Какие операции в системах автоматизации и электрооборудования выполняет реле?
7. Какими параметрами характеризуется реле?
8. Какова область применения реле различных типов?
9. Нарисуйте и объясните физический смысл статической характеристики реле.

Лабораторная работа № 3

Исследование усилительного элемента. Исследование влияния обратных связей на процессы в сау

Цель работы :

1. Изучить принцип действия и показатели качества усилительного элемента САУ (на примере электромашинного усилителя).
2. Исследовать влияние различных видов обратных связей на процессы в системах автоматического управления (на примере системы автоматической стабилизации напряжения).

Основные положения

Принцип работы и показатели качества усилительного элемента (на примере электромашинного усилителя)

Операции масштабного преобразования (масштабирования) в САУ, обеспечивающие линейное преобразование входного сигнала $X(p)$ согласно уравнению

$$K(p) = Y(p)/X(p),$$

(где $Y(p)$ - сигнал на выходе преобразующего элемента, $K(p)$ - масштабирующий коэффициент, p - оператор Лапласа), выполняются с помощью

делителей на резисторах, конденсаторах, индуктивностях и др. (при $K < 1$), трансформаторах (при $K < 1$, или при $K > 1$), усилителях (при $K > 1$).

У идеального усилителя $K(p) = K = \text{const}$ для всех значений $x(t)$ и $y(t)$, во всей области частот. Реальные усилители, независимо от их физической природы, преобразуют энергию источника питания в требуемую энергию для усиления и характеризуются следующими основными показателями качества.

1. Коэффициент усиления:

$$K(p) = Y(p)/X(p). \quad (1)$$

Для электрических усилителей существуют коэффициенты усиления по напряжению $K_u(p) = U_{\text{вых}}(p)/U_{\text{вх}}(p)$, по току $K_I(p) = I_{\text{вых}}(p)/I_{\text{вх}}(p)$, по мощности $K_P(p) = P_{\text{вых}}(p)/P_{\text{вх}}(p)$.

2. Минимально допустимая мощность входного сигнала $P_{\text{вх min}}$.

3. Динамический диапазон усилителя

$$D = y_{\text{max}}/y_{\text{min}}, \quad (2)$$

где y_{max} и y_{min} определяют интервал $[y_{\text{min}}, y_{\text{max}}]$, при котором $K(p) = K = \text{const}$.

4. Амплитудно-частотная характеристика реального усилителя $|K(j\omega)|$ характеризует диапазон частот ω , в котором $K(p) \approx K = \text{const}$.

5. Энергетические показатели усилителя:

- выходная мощность $P_{\text{вых}}$;
- максимальный уровень выходного сигнала $y_{\text{вых max}}$;
- коэффициент полезного действия: $\eta = P_{\text{вых}}/P_{\text{п}}$, где $P_{\text{п}}$ - мощность, потребляемая от источника питания.

6. Стабильность (точность поддержания $K = \text{const}$):

$$\delta K = (\Delta K/K_{\text{НОМ}})100\%. \quad (3)$$

В работе исследуется электромашинный усилитель (ЭМУ) с поперечным полем. ЭМУ - агрегат, состоящий из двух электрических машин, вращающихся на одном валу: приводного двигателя (в лабораторном стенде используется трехфазный асинхронный двигатель М - рис.3.1) и генератора постоянного тока Г. Принцип действия ЭМУ основан на усилении мощности сигнала напряжения или тока, подаваемого на обмотку управления, за счет превращения механической энергии, подводимой к валу от приводного двигателя, в энергию электромагнитного поля внутри генератора. ЭМУ с поперечным полем имеет генератор с двумя парами

щёток. Поперечные щётки I-I расположены под углом 90° к направлению потока управления Φ_y , создаваемого управляющей обмоткой возбуждения (ОВ) при подаче на неё управляющего напряжения U_y . Это напряжение (или ток I_y) являются входными величинами ЭМУ, которые необходимо усилить. Продольные щётки II-II совпадают с направлением потока Φ_y . Поперечные щётки I-I замкнуты накоротко.

Малый поток Φ_y при вращении якоря индуцирует в его проводниках э.д.с. E_1 , которая снимается с якоря щётками I-I. За счет соединения щёток накоротко в цепи протекает большой ток I_1 , который вызывает мощный поток реакции Φ_1 , направление которого с помощью специальных вырезов в полюсах статора ориентировано вдоль оси щёток I-I. При вращении якоря в его проводниках индуцируется э.д.с. E_2 , которая снимается главными продольными щётками II-II. Если внешняя цепь генератора замкнута на сопротивление нагрузки R_n , то в ней возникает ток I_n , который, в свою очередь, создает свой магнитный поток Φ_n реакции якоря. Направление потока Φ_n противоположно направлению потока Φ_y . Возникновение потока Φ_n вредно, так как он может полностью скомпенсировать поток Φ_y и уменьшить усиление до нуля, а также исказить зависимость выходного напряжения ЭМУ U_n от управляющего потока Φ_y .

Поэтому на главных полюсах II-II располагают компенсационную обмотку KO , в которой при протекании тока I_n создается близкий по значению, но противоположный по направлению поток Φ_K .

Принципиальная схема генератора ЭМУ может быть изображена в виде последовательного соединения двух генераторов постоянного тока: первый образован обмоткой ОВ и короткозамкнутой цепью, второй – короткозамкнутой цепью и выходной цепью ЭМУ (рис.3.1,б).

Для регулировки числа ампервитков обмотки КО параллельно или последовательно с ней включают шунт. Это обеспечивает необходимую компенсацию потока Φ_n . Однако, при изменении параметров нагрузки или возмущений, действующих на ЭМУ, такое включение не обеспечивает стабилизацию усиления или выходного сигнала ЭМУ. Эффективным средством решения этой задачи является введение обратных связей (отрицательных и положительных), т.е. создание системы автоматического регулирования усиления.

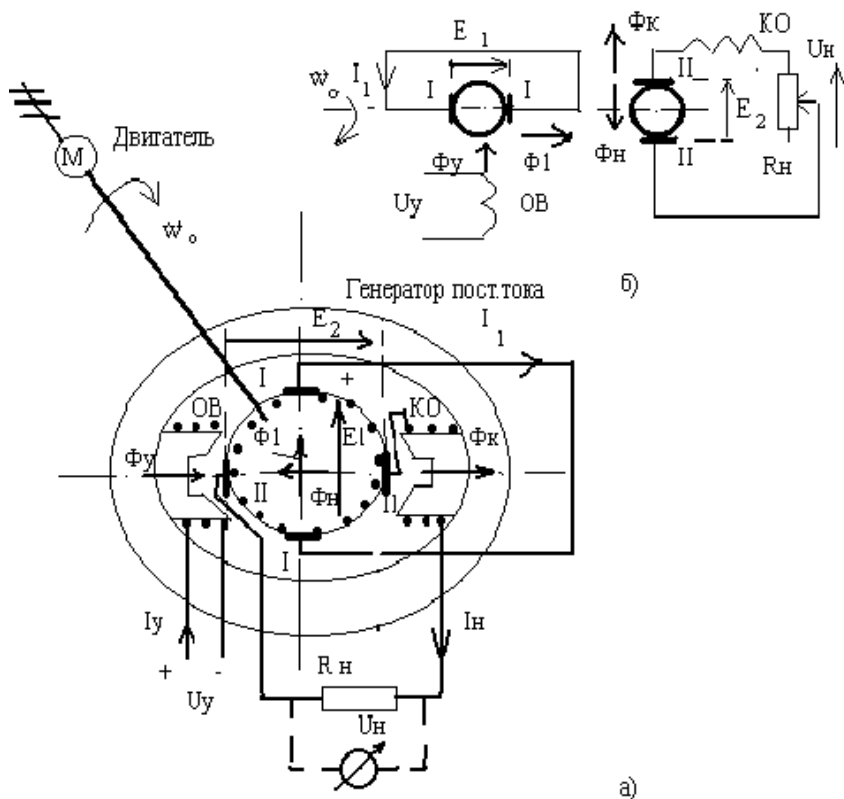


Рис.3.1. Электромашинный усилитель: а-взаимодействие магнитных и электрических полей; б-представление ЭМУ с поперечным полем в виде двух последовательно соединённых усилителей

Работа ЭМУ с поперечным полем в генераторе описывается в стационарном режиме следующими уравнениями, базирующимися на основных законах электротехники (в рабочем диапазоне ЭМУ):

$$\left. \begin{aligned}
 E_1 &= c\phi_y\omega_0 \approx cq_yU_y\omega_0; \\
 K_{u1} &= E_1/U_y = cq_y\omega_0; \\
 I_1 &= E_1/r_{як} = cq_yU_y\omega_0/r_{як}; \\
 \Phi_1 &= I_1k_1 = cq_yU_y\omega_0k_1/r_{як} = q_1U_y\omega_0; \\
 E_2 &= c\phi_1\omega_0 \approx cq_1U_y\omega_0^2; \\
 \Phi_H &= k_1I_H;
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$E_n = c\Phi_n\omega_0;$$

$$U_n = E_2 - E_n - I_n r_{як} = c(\Phi_1 - \Phi_n)\omega_0 - I_n r_{як}.$$

При $\Phi_n \approx \Phi_k$ имеем

$$U_n \approx c q_{\Gamma} U_y \omega_0^2;$$

$$K_{U2} = U_n / E_1 \approx c k_1 \omega_0 / r_{як};$$

$$K_U = \Delta U_n / \Delta U_y = K_{U1} K_{U2} = c q_{\Gamma} \omega_0^2;$$

$$K_P = c q_{\Gamma} \omega_0^2 I_n / I_y = K_U I_n / I_y = K_U K_I,$$

где c - постоянная якоря : $c = pN/2\pi a$ (p -число пар полюсов, N -число проводников обмотки якоря, a -число пар параллельных ветвей); $q_y = const$ - коэффициент пропорциональности между потоком Φ_y и напряжением U_y ; ω_0 - частота вращения ЭМУ; $r_{як}$ - активное сопротивление якоря генератора, $q_{\Gamma} = c q_y k_1 / r_{як}$; ($k_1 = const$ - коэффициент пропорциональности между током I_1 и потоком Φ_1); K_{U1} , K_{U2} , K_U - коэффициенты усиления по напряжению первого, второго каскадов и всего усилителя в целом; K_P - коэффициент усиления ЭМУ по мощности; K_I - коэффициент усиления ЭМУ по току. Из-за малой величины $r_{як}$ полагаем $U_n \approx E_2$.

2. Система автоматической стабилизации напряжения стэнда

Принципиальная схема лабораторного стэнда при исследовании системы автоматического управления (стабилизации) с внутренней отрицательной обратной связью (ООС) и принципом управления по отклонению представлена на рис.3.2, а с внутренней положительной обратной связью (ПОС) и принципом управления по возмущению - на рис.3.3.

В обеих схемах напряжение U_y на обмотку управления ОУ подается от источника сигнала ИС (выполненного на мостовом диодном выпрямителе VZ) и регулируется потенциометром R_y . Напряжение U_y измеряется вольтметром PV1, а ток I_y в цепи ОУ -амперметром PA1. В качестве нагрузки в обеих схемах использованы два последовательно включенных реостата $R_{н1}$ и $R_{н2}$. Напряжение нагрузки U_n измеряется вольтметром PV2, а ток I_n , протекающий по нагрузке, амперметром PA2. Включение стэнда осуществляется автоматическим выключателем QF. В схеме (рис.3.2) отрицательная обратная связь обеспечивается встречным включением обмоток ОУ и ОС (точки на схемах обозначают начала обмоток), а в схеме (рис.3.3) положительная обратная связь - их согласованным включением.

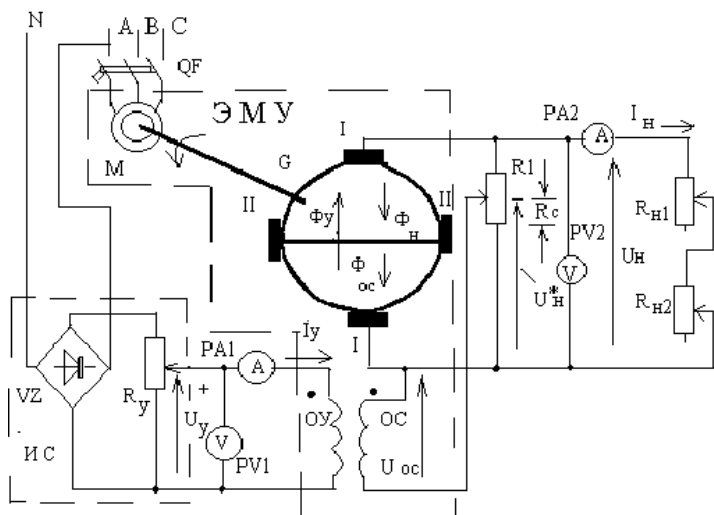


Рис.3.2. Принципиальная схема системы автоматического регулирования усиления с отрицательной обратной связью и принципом управления по отклонению

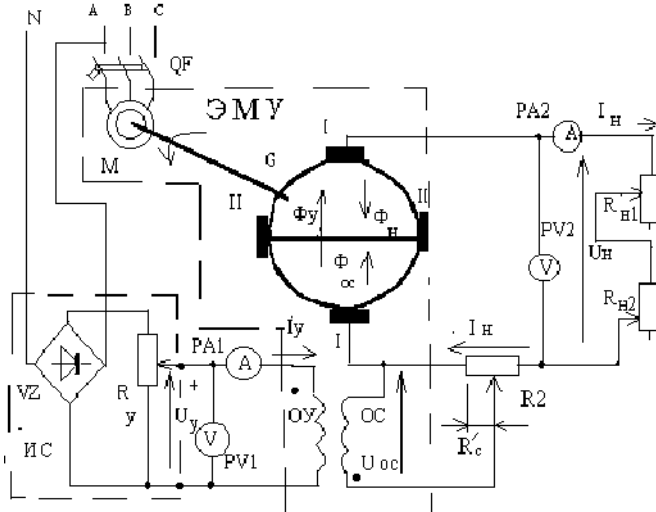


Рис.3.3. Принципиальная схема системы автоматического регулирования усиления с положительной обратной связью и принципом управления по возмущению.

Исследуемую САУ лабораторного стенда можно представить в виде обобщенной алгоритмической структурной схемы САУ (согласно рис.1.2) с внутренней обратной связью и с измерительно-преобразовательным элементом в цепи главной обратной связи (рис.3.4). Работа такой САУ описывается уравнением :

$$Z(p) = K_3(p)F_3(p) + K_B(p)F_B(p), \quad (5)$$

$$\text{где } K_3(p) = W_{BOC}(p)W_{OAY}(p)/[1 + W_{BOC}(p)W_{OAY}(p)W_{ИП}(p)]; \quad (6)$$

$$K_B(p) = W_{OAY}(p)/[1 + W_{BOC}(p)W_{OAY}(p)W_{ИП}(p)]; \quad (7)$$

$K_3(p)$ и $K_B(p)$ - передаточные функции по задающему $F_3(p)$ и возмущающему $F_B(p)$ воздействиям соответственно.

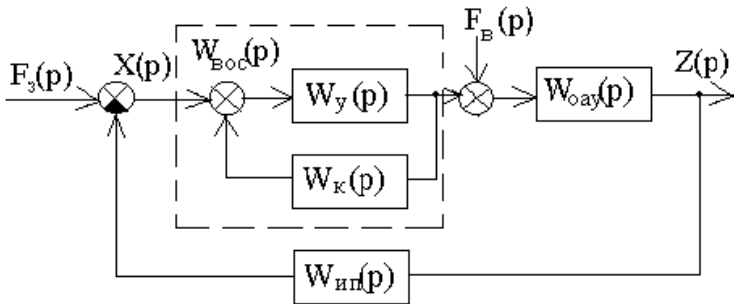


Рис.3.4. Структурная алгоритмическая схема САУ стабилизации напряжения

Передаточная функция устройства управления (в нашем случае - ЭМУ) с внутренней обратной связью:

$$W_{BOC}(p) = W_y(p)/[1 \pm W_y(p)W_K(p)], \quad (8)$$

причем минус - для положительной, а плюс - для отрицательной обратных связей.

Управляемый параметр (сигнал) $Z(p)$ объекта автоматического управления будет равен задающему $F_3(p)$ при $K_3(p) \rightarrow 1$ и $K_B(p) \rightarrow 0$ (при этом ошибка управления $X(p) = [F_3(p) - Z(p)] \rightarrow 0$). На практике можно добиться, чтобы $Z(p)$ был пропорционален $F_3(p)$ с постоянным коэффициентом масштабирования, независимо от изменения $Z(p)$, т.е. $Z(p) = k_3 F_3(p)$, где $k_3 = \text{const}$. Таким образом, необходимо в этом случае стабилизировать коэффициент $K_3(p)$. Для этого вводится внутренняя отрицательная обратная связь (ООС). При большом коэффициенте усиления ($W_y(p) \rightarrow \infty$) имеем $W_{BOC}(p) \rightarrow 1/W_K(p)$.

Нестабильность коэффициента усиления определяется выражением $\delta W_{BOC}(p) = \Delta W_{BOC}(p) / W_{BOC}(p) \rightarrow \delta W_K(p)$. Передаточную функцию $W_K(p)$, также как и $W_{III}(p)$, можно получить стабильной, слабо зависящей от различных воздействий (в лабораторном стенде это реостаты R1 или R2).

Как видно из формул при $W_Y(p) \rightarrow \infty$ и $W_K(p) = w_K = const$ нестабильность коэффициента усиления при введении ООС уменьшилась в $W_Y(p)W_K(p)$ раз: $\delta W_{BOC} = \delta W_Y(p) / [W_Y(p)W_K(p)]$. В рабочем диапазоне усилителя $W_Y(p) = w_Y = const$, тогда $\delta w_{BOC} = \delta w_Y / (w_K w_Y)$. При этом стабилизируется также $K_B(p)$, т.е. влияние изменения вомущающих воздействий уменьшается.

Другим путём уменьшения ошибки управления может быть введение внутренней положительной обратной связи (ПОС). Как видно из формул (5)-(8) ошибка $X(p) \rightarrow 0$ при задании $W_K(p) = 1 / W_Y(p)$, т.е. коэффициент передачи цепи обратной связи должен изменяться обратно пропорционально изменению коэффициента усиления усилителя.

Усилитель, охваченный обратной связью (внутренняя обратная связь в схеме рис.3.4) фактически является самостоятельной системой автоматического регулирования усиления - САРУ (подсистемой системы стабилизации напряжения). САРУ с ООС обеспечивает стабилизацию коэффициента усиления, повышение устойчивости работы усилителя, расширение его частотного диапазона и повышение быстродействия, уменьшение статической ошибки (при задании уровня выходного сигнала).

Действительно, если в реальный усилитель с передаточной функцией $W_Y(p) = k_Y / (1 + T_1 p)$, где k_Y - коэффициент усиления, T_1 - постоянная времени усилителя, ввести жесткую обратную связь $W_K(p) = w_K$, то получим для усилителя, охваченного обратной связью

$$W_{BOC}(p) = k_Y / (1 + T_1 p \pm k_Y k_K) = k_3 / (T_3 p + 1), \quad (9)$$

где $k_3 = k_Y / (1 \pm k_Y k_K)$; $T_3 = T_1 / (1 \pm k_Y k_K)$, плюс - для ООС, минус - для ПОС.

Как видно из (9) при ООС усиление уменьшается, быстродействие и устойчивость увеличиваются. Введение различных корректирующих элементов (гибкой обратной связи), особенно при ПОС, позволяет также получить различные алгоритмы (законы) управления.

Введение положительной обратной связи в усилитель обеспечивает повышение коэффициента усиления (такие усилители называются регенеративными), однако при сильной ПОС (когда $k_Y k_K \approx 1$), усиление, как видно

из (9), неограниченно растет (реально в несколько раз). Усилитель в этом случае, как бы становится генератором, т.е. наступает перекомпенсация.

САУ с ООС и с ПОС (рис.3.2, 3.3) можно представить в виде соответствующих обобщенных структурных функциональных схем (согласно рис.1.2). В схеме с ООС в качестве задающего элемента ЗЭ выступает нижняя часть реостата R1. Этот же реостат выполняет функции измерительно-преобразовательного элемента ИПЭ, а также сравнивающего элемента (его нижняя часть R_с). Объектом автоматического управления ОАУ в обеих системах является сопротивление нагрузки (R_{н1}+R_{н2}); управляемым параметром $y(t)$ - напряжение на нем; усилительным элементом УЭ - ЭМУ. Операции суммирования с учетом знака осуществляет генератор G за счет общего магнитопровода для суммирования электромагнитных полей и двух обмоток ОУ и ОС: на ОУ подается входной (задающий) сигнал управления U_y ; на ОС – напряжение U_{oc} , пропорциональное сигналу ошибки ΔU . Корректирующая (внутренняя) ООС обеспечивается за счет подачи с выхода ЭМУ части выходного напряжения на его вход. В лабораторном стенде напряжение на выходе ЭМУ равно напряжению на нагрузке: $U_n^* = U_n$. Часть выходного напряжения снимается с движка реостата R1 и подается на обмотку ОС: $U_{oc} = (R_c/R_1)U_n$. Таким образом, для упрощения в лабораторном стенде функции ИПЭ, ЗЭ, СЭ и КЭ совмещены, их роль выполняет реостат R1.

Принцип действия САУ с ООС (рис.3.2;3.4) заключается в следующем. С помощью R1 устанавливают глубину ООС согласно заданию (см. порядок выполнения работы). При подаче напряжения на обмотку ОУ в ЭМУ появляется поток Φ_y . В результате усиления в ЭМУ через нагрузку протекает ток, который вызывает поток Φ_n , направленный навстречу потоку Φ_y . На обмотку ОС подается часть выходного напряжения $U_{oc} = (R_c/R_1)U_n$, что вызывает протекание тока в этой обмотке и возникновение магнитного потока Φ_{oc} , который направлен вдоль главной оси II-II навстречу потоку Φ_y . Результирующий поток вдоль этой оси будет равен (по модулю):

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_y - \Phi_n - \Phi_{oc}.$$

Затем потенциометром R_y устанавливают на нагрузке (на выходе ЭМУ) напряжение $U_{n,0}$, которое САУ должна поддерживать постоянным. Часть напряжения $U_{n,0}$: $(R_c/R_1)U_{n,0} = U_{oc,0}$ снимается с нижней части потен-

циометра R_1 и подается на обмотку ОС. Суммарный поток будет равен:

$$\Phi_{\Sigma 0} = \Phi_y - \Phi_{n,0} - \Phi_{oc,0}$$

В соответствии с ситемой уравнений (4) этому потоку в исходном стационарном режиме соответствует значение коэффициента усиления $K_0 = U_{n,0}/U_y$.

При увеличении тока нагрузки I_n (которое имитируется уменьшением R_{n1} или R_{n2}) растет поток реакции якоря $\Phi_n = \Phi_{n,0} + \Delta\Phi_n$. Это вначале приводит к частичной компенсации потока Φ_y , а следовательно к уменьшению потока Φ_I , результирующего потока Φ_Σ э.д.с. E_2 и напряжения нагрузки U_n . Снижение U_n вызывает уменьшение U_{oc} и появление ошибки рассогласования (управления) $\Delta U = U_n - U_{n,0}$. При этом поток Φ_{oc} уменьшается на величину $\Delta\Phi_{oc} \approx \Delta\Phi_n$ и результирующий поток изменится на величину $\Delta\Phi_\Sigma \approx 0$. Таким образом происходит стабилизация Φ_Σ и U_n . Аналогично при уменьшении I_n уменьшается поток Φ_n , однако растет примерно на столько же поток Φ_{oc} , что также приводит к стабилизации Φ_Σ и U_n .

Достоинством принципа управления по отклонению является то, что он обеспечивает снижение ошибки управления независимо от причин, вызвавших это отклонение. Например, при снижении напряжения питающей сети приводного асинхронного двигателя ЭМУ снижается частота ω , что в соответствии с (4) приводит к уменьшению E_2 , а, следовательно, U_n и Φ_{oc} и к росту Φ_Σ . При этом напряжение U_n стабилизируется.

Недостаток этого принципа управления - запаздывание управляющего воздействия на объект управления, так как сигнал управления формируется только при накоплении достаточного отклонения, обеспечивающего приведение в действие исполнительного устройства.

Принцип действия САУ с внутренней ПОС и принципом управления по возмущению (рис.3.4) заключается в следующем. В отличие от предыдущей системы напряжение U_{oc} снимается с движка реостата R_2 (с сопротивления R_{2c}), который включен последовательно с сопротивлением нагрузки. В этом случае U_{oc} и ток I_c в обмотке ОС пропорциональны не управляемому параметру U_n , а току нагрузки I_n . В лабораторном стенде изменением этого тока имитируется возмущающее воздействие на САУ. Действительно его изменение влияет на изменение U_n по закону Ома (т.е. косвенно). Сопротивление R_{2c} выполняет в схеме (рис.3.4) функции ИПЭ,

ЗЭ, СЭ и КЭ. Первоначально САУ устанавливается в исходный стационарный режим с заданной глубиной ПОС аналогично предыдущей системе с ООС. Благодаря ПОС (обмотки ОУ и ОС включены согласно) на главной оси II-II результирующий поток равен (по модулю):

$$\Phi_{\Sigma 0} = \Phi_y - \Phi_{H0} + \Phi_{oc.0}.$$

При увеличении тока нагрузки I_n растет поток Φ_n , который направлен навстречу Φ_y (вычитается из потока Φ_y), а также растет поток Φ_{oc} , который направлен одинаково с Φ_y (суммируется с ним). Прирост $\Delta\Phi_n$ приводит к примерно такому же отклонению $\Delta\Phi_{oc}$ в сторону уменьшения. Следовательно, поток Φ_{Σ} и напряжение U_n стабилизируются. Аналогично при снижении I_n потоки Φ_n и Φ_{oc} уменьшаются, что также приводит к стабилизации U_n .

Применение ПОС обладает следующими особенностями. Если $\Phi_{\Sigma} = const$ (что трудно обеспечить во всем диапазоне нагрузочных режимов), то достигается полная компенсация потока Φ_n потоком Φ_{oc} и $U_n = const$ при варьировании нагрузки. Если же поток Φ_{oc} изменяется в большей степени, чем поток реакции якоря Φ_n , то Φ_{Σ} растет (явление перекompенсации), растет U_n . Это в свою очередь вызывает рост I_n и дальнейший рост Φ_{Σ} и U_n . В результате теряется устойчивость работы ЭМУ и он может выйти из строя. Если поток Φ_{oc} изменяется в меньшей степени, чем Φ_n , то наблюдается недокомпенсация, т.е. выходное напряжение U_n с ростом I_n может значительно измениться. Поэтому обычно коэффициент КОС при ПОС устанавливают таким, чтобы обеспечить работу ЭМУ с незначительной недокомпенсацией.

Преимущество принципа управления по возмущению - управляющее воздействие формируется быстрее, чем при управлении по отклонению. Это объясняется тем, что обычно проектируют САУ, обеспечивающую реагирование на те возмущения, которые наиболее существенно влияют на управляемый параметр ОАУ. Поэтому САУ с управлением по возмущению, реагируя на прирост возмущения (причину изменения управляемого параметра), значительно уменьшает отклонение управляемого параметра. Недостаток подобного управления - необходимость иметь САУ по каждому возмущению.

Программа и порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами и оборудованием, входящими в состав лабораторного стенда.

2. Собрать схему САУ (см. рис.3.2). Обратить внимание на полярность напряжений, подводимых к обмоткам ОУ и ОС, начала которых обозначены на стенде и схеме точками.

3. Сопротивление нагрузки установить на максимальном уровне, напряжение обратной связи и управления - на ноль. Для этого движки реостатов $R_{н1}$, $R_{н2}$, $R1$, $R2$ перевести в соответствующее крайнее положение, движок реостата R_y перевести до упора в направлении «0».

4. После проверки схемы преподаватель включает стенд выключателем QF.

5. Установить реостатом R_y заданное преподавателем значение напряжения U_n на нагрузке, измеряемое вольтметром PV2. Зафиксировать значения тока нагрузки прибором PA2, тока и напряжения управления (приборами PA1 и PV1). Уменьшая сопротивление нагрузки сначала реостатом $R_{н1}$, затем $R_{н2}$, снять зависимость U_n от I_n , при неизменном положении потенциометра R_y . Устанавливаемые значения силы токов нагрузки приведены в таблице. Для этих значений токов рассчитать коэффициенты K_U и K_P согласно (4). Результаты измерений и вычислений занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Входные параметры				Выходные параметры						
Вид обратной связи				Ток нагрузки I_H , А						
	U_v , В	I_v , mA	P_v , Вт		0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Отсутствует				U_n , В K_P						
Отрицательная слабая $R_{OC}=1/4 R1$				U_H , В K_U K_P						
Отрицательная сильная $R_{OC}=3/4 R1$				U_H , В K_U K_P						
Положительная слабая $R_{OC}=1/4 R2$				U_H , В K_U K_P						
Положительная сильная $R_{OC}=3/4 R2$				U_H , В K_U K_P						

6. Вернуть САУ в исходное состояние согласно п.3. Реостат обратной связи R_1 перевести в положение $(1/4)R_1$. Повторить измерения согласно п.5.

7. Повторить п.6 для реостата R_1 , переведенного в положение $(3/4)R_1$.

8. Собрать САУ (см. рис.3.3). Установить её в исходное состояние согласно п.3.

9. Прodelать измерения и вычисления с реостатом R_2 , последовательно введенным на $(1/4)R_2$ и $(3/4)R_2$, аналогично п.6,7.

10. По результатам п.5-7, 9, сведённым в таблицу, построить графики зависимостей напряжения U_n от тока нагрузки I_n , а также K_V и K_P от I_n .

11. Сопоставить полученные графики с точки зрения влияния вида и глубины обратной связи на работу ЭМУ. Сделать выводы.

12. Построить обобщенные структурные функциональные схемы систем автоматического регулирования усиления по принципиальным схемам (рис.3.2, 3.3).

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия, устройство и назначение элементов ЭМУ (рис.3.1). Каковы достоинства и недостатки ЭМУ?
2. Как определяется коэффициент усиления ЭМУ? От чего он зависит?
3. Объясните принцип действия системы автоматического управления с отрицательной обратной связью (рис.3.2), ее достоинства и недостатки.
4. Объясните принцип действия систем автоматического управления с положительной обратной связью (рис.3.3), ее достоинства и недостатки.
5. В чем заключаются принципы управления по отклонению и по возмущению? Их достоинства и недостатки?
6. Каковы особенности введения в САУ положительных обратных связей?

Лабораторная работа № 4

Изучение системы автоматического программного управления технологическими процессами

Цель работы. Изучить устройство и принцип действия системы автоматического программного управления кормораздачей, навозоудалением, облучением и освещением производственного помещения в животноводстве.

Описание лабораторного стенда

Лабораторный демонстрационный стенд представляет собой макет животноводческого помещения (рис.4.1), в котором моделируются технологические процессы кормораздачи, навозоудаления и облучения, а также управления освещением и температурным режимом. В камере 1 с прозрачными стенками и потолком по сторонам от центрального прохода расположены клетки-боксы 2 для животных. Раздаются корма в кормушки 3 транспортной тележкой-раздатчиком 4, которая приводится в движение реверсивным асинхронным электродвигателем М1 (рис.4.2), питающимся от трехфазной сети через главные контакты КМ1:1 пускателя КМ1 (при движении вперед) или КМ2:1 пускателя КМ2 (при движении назад). Нахождение тележки в крайних точках пути фиксируется датчиками положения, роль которых выполняют герконы 5 (герметизированные контакты, управляемые магнитным полем), закрепленные на стойках 6 в начале и конце помещения. Благодаря постоянным магнитам 11, закрепленным на тележке, соответствующий геркон срабатывает, когда магнит на кормораздатчике оказывается возле него.

Для уборки навоза предусмотрены два продольных транспортёра 7 и один поперечный - 8, смонтированные в каналах. Продольные транспортёры приводятся в действие электродвигателем М3, который подключается к сети через главные контакты КМ4:1 пускателя КМ4, поперечный - двигателем М2, подключаемым через главные контакты КМ3:1 пускателя КМ3 (рис.4.2). Учитывая, что один более короткий поперечный транспортёр обслуживает два более длинных продольных, скорость движения поперечного и, следовательно, его производительность, выбраны выше, чем продольных. Кроме того, система управления приводами транспортёров построена так, чтобы во избежание переполнения поперечного транспортёра продольные транспортёры нельзя было включить при отключенном поперечном.

Работа облучательных установок имитируется включением светильников 9 (рис.4.1), подвешенных в два ряда. Лампы подключаются к сети через контакты пускателя КМ5:1 (рис.4.2). Освещается помещение лампами 10 в три ряда. Чтобы приблизить освещённость к естественным условиям, лампы включают и выключают в две ступени: сначала через контакты пускателя КМ 6:1 подается напряжение на лампы 1-й ступени, подвешен-

ные вдоль центральной оси помещения, затем через контакты КМ 7:1 к сети подключаются лампы 2-й ступени освещения - вдоль стен помещения (рис.4.2). Отключается помещение в обратной последовательности. В лабораторной установке питание ламп освещения и облучения осуществляется от однофазной сети напряжением 24В. Для имитации служебного ночного освещения крайняя лампа $EL_{ноч}$ в центральном ряду остаётся включенной после отключения остальных ламп обеих ступеней освещения.

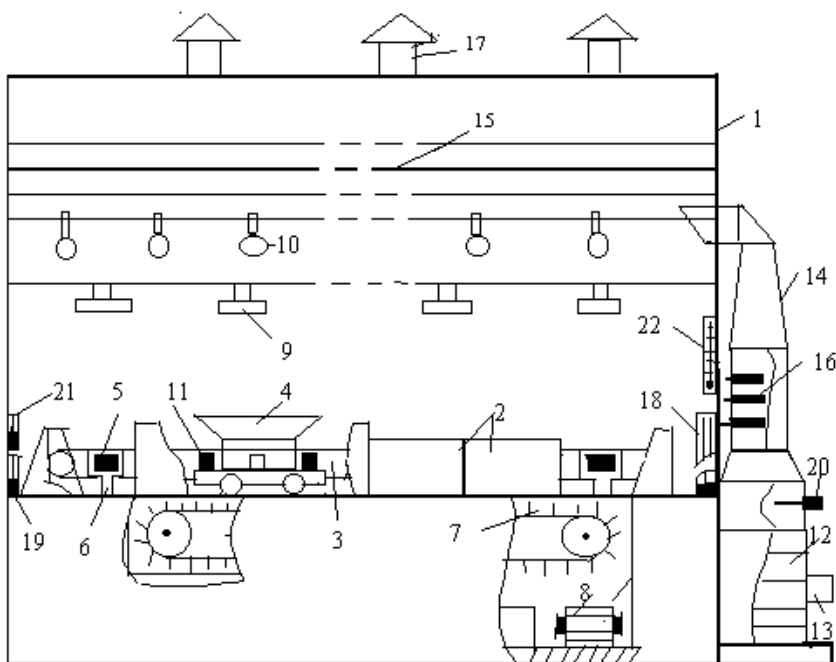


Рис.4.1.Общий вид лабораторного стенда:1-камера; 2-клетки-боксы; 3-кормушки; 4-тележка-раздатчик; 5-герконовое реле; 6-стойка; 7-продольный транспортёр; 8-поперечный транспортёр; 9-облучающие светильники; 10-лампы освещения; 11-магниты;12-вентилятор; 13-электродвигатель; 14-металлический короб; 15-полиэтиленовые воздуховоды; 16-электронагреватель; 17-шахты-дефлекторы; 18-датчик влажности; 19,20,21-датчики температуры; 22-термометр

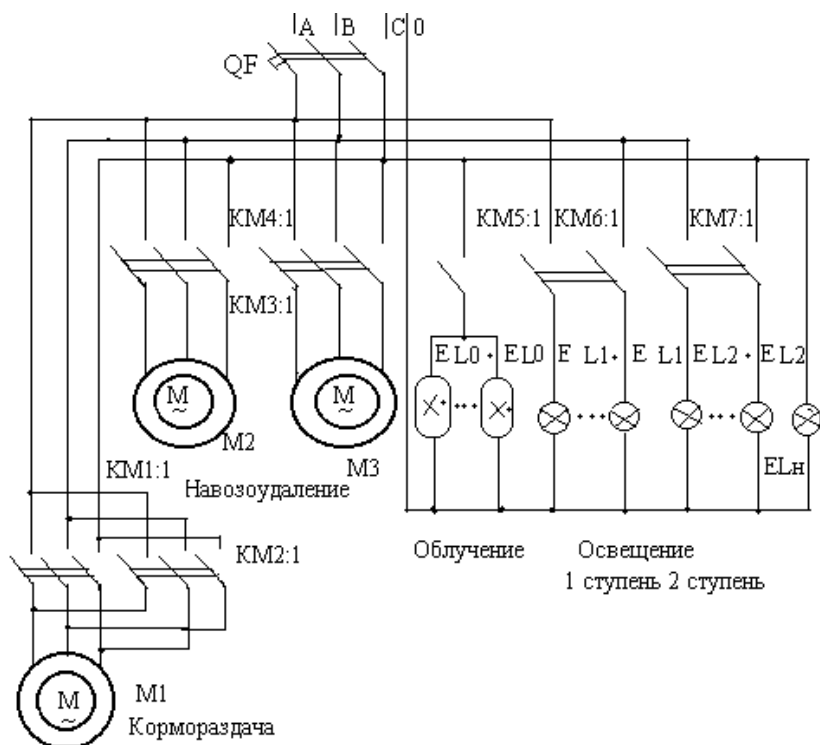


Рис.4.2. Принципиальная схема включения исполнительных устройств и регулирующих органов САУ.

Каждый из названных видов оборудования может работать независимо друг от друга в ручном или в автоматическом режиме. Основной режим-автоматический, в котором управление всем оборудованием, кроме отопительно-вентиляционной системы, осуществляется с помощью программного реле времени типа ВС-10 (рис.4.3). При подаче напряжения через тумблер SA1 включаются синхронный двигатель 1 и электромагнит 2. Электромагнит включает сцепную муфту 12, которая соединяет вал редуктора 13 через шестерни 11 и 4 с главной осью 6 реле. На оси 6 свободно установлены шесть программных дисков 10, на боковых поверхностях которых нанесены шкалы в единицах времени.

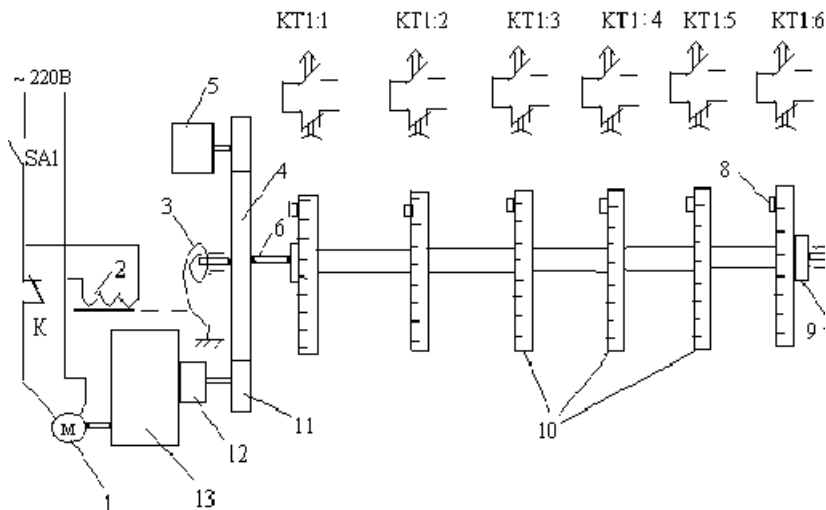


Рис.4.3.Принципиальная схема включения программного реле времени типа BC-10

Диски снабжены включающими упорами 8, При помощи общего винта и гайки 9 их можно фиксировать на оси в определённом положении. При включении реле ось 6 вместе с дисками начинает медленно поворачиваться. Через заданный промежуток времени упоры дисков, нажимая на кулачки, переключают выходные контакты 7, тем самым определяется момент начала или конца выполнения соответствующей операции. После того как ось совершит один оборот, автоматически размыкается служебный контакт К в цепи питания двигателя и он отключается от сети. Однако выходные контакты реле не переключаются, так как электромагнит не отключен. Таким образом, реле работает с удержанием. Только после размыкания управляющего контакта SA1 механизм реле под действием пружины 3 возвращается в исходное положение. При этом скорость движения механизма замедляется центробежным тормозом 5. Для того чтобы снова включить реле, необходимо повторно подать команду на включение - замкнуть контакт SA1. В лабораторной установке имитируется суточный цикл работы механизмов. В момент времени $T=0$ (рис.4.4) включается

тумблер SA1, синхронный двигатель начинает вращать программные диски, что означает начало выполнения программы. При этом горит только лампа ночного освещения $EL_{\text{ноч}}$. В момент T_1 диск 1 программного реле доходит до нулевой отметки, замыкается контакт КТ1:1 и включаются лампы 1-й ступени утреннего освещения. В момент T_2 замыкается контакт КТ1:2, включаются лампы 2-й ступени дневного освещения и начинается движение тележки кормораздачи. Одновременность начала этих процессов обусловлена недостаточным числом программных дисков на реле ВС-10. Однако это не противоречит технологии, так как включение ламп в начале кормления стимулирует аппетит у животных, вырабатывая у них соответствующий условный рефлекс. Скорость движения тележки определяется технологическими требованиями. После достижения ею конца помещения кормораздача заканчивается. К моменту T_3 тележка возвращается на исходную позицию. В тот же момент T_3 включается в работу моторное реле времени типа РВ4, задающее время задержки T_n до начала следующего цикла кормораздачи. Реле РВ4 выполняет в схеме роль дополнительного программного диска, ввиду ограниченного числа дисков у программного реле ВС-10. В момент T_4 замыкается контакт КТ1:3, включая транспортёры навозоудаления и облучательные лампы. Одновременная работа этих установок также продиктована ограниченными техническими возможностями реле ВС-10, однако это оправдано тем, что облучатели выполняют разнообразные функции, в том числе бактерицидные, особенно важные в период навозоудаления. Отключение транспортёров навозоудаления и облучательных установок происходит в момент T_5 , когда размыкаются контакты КТ1:4.

В момент T_6 завершается пауза T_n , задаваемая реле времени типа РВ 4, и начинается очередной цикл кормораздачи, заканчивающийся возвращением тележки в исходную точку к моменту T_7 . В момент T_8 замыкаются контакты КТ1:5 и начинается уборка навоза и облучение, длящиеся до момента T_9 , определяемого размыканием контактов КТ1:6. При этом отключаются лампы 2-й ступени дневного освещения. Лампы 1-й ступени вечернего освещения горят до тех пор, пока не разомкнуться контакты КТ1:1. Это происходит при отключении тумблера SA1 (рис.4.3), и механизм реле ВС-10 возвращается в исходное положение, после чего остается включенной только лампа ночного освещения $EL_{\text{ноч}}$.



Рис.4.4.Временная диаграмма технологических процессов

Щит управления технологическим оборудованием позволяет осуществить как автоматическое управление процессами, так и ручное каждым из видов оборудования независимо один от другого. Для этого в щите смонтированы все необходимые аппараты и устройства управления, а на лицевую панель выведены переключатели и кнопочные станции для ручного режима работы. Кроме того, ряд переключателей и тумблеров позволяют внести в схему управления определённую неисправность, характер и вид которой студент должен определить по отмеченным нарушениям в работе технологического оборудования.

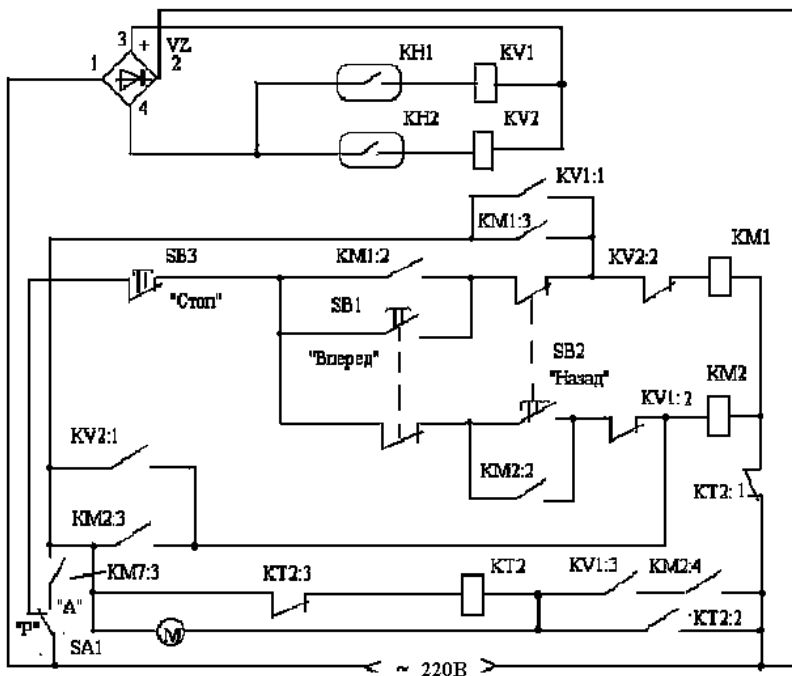


Рис.4.5. Принципиальная схема управления приводом тележки.

4.1.Подсистема управления движением кормораздатчика

Работа подсистемы в режиме ручного управления. Для работы в ручном режиме переключатель SA1 устанавливается в положение «Р» (рис.4.5). Тогда при нажатии кнопки SB1 «Пуск вперед» катушка пускателя KM1 подключается к питающей сети. Через неё протекает ток, главные контакты KM1:1 (рис.4.2) замыкаются, в результате чего на двигатель M1 подается напряжение трёхфазной питающей сети и двигатель приводит в движение тележку. Одновременно с этим замыкаются блокирующие контакты KM1:2 (рис.4.5), что обеспечивает протекание тока в катушке и после отпускания кнопки SB1. Останавливается кормораздатчик нажатием кнопки SB3 «Стоп». В результате размыкается цепь питания катушки KM1, ток в ней падает до нуля, силовые контакты пускателя KM1:1 отключают двигатель M1 от сети, а блок-контакты KM1:2 разомкнувшись,

предотвращают повторное подключение к сети катушки КМ после отпущения кнопки SB3. При нажатии кнопки SB2 «Пуск назад» к сети подключается катушка пускателя КМ2. Главные контакты этого пускателя КМ2:1 подают на двигатель М1 питающее напряжение, однако чередование фаз питающей сети на обмотках статора двигателя здесь иное, чем при подключении двигателя через пускатель КМ1 (рис.4.2). В результате двигатель реверсируется и кормораздатчик двигается назад. При нажатии кнопки SB3 катушка пускателя КМ2 также отключается от сети и кормораздатчик останавливается.

Следует отметить, что направление движения кормораздатчика можно изменить без специальной остановки и нажатия кнопки «Стоп». Это достигается благодаря наличию у кнопок SB1 и SB2 как замыкающих контактов в цепи катушек «своих» пускателей, так и размыкающих в цепи «чужих» (рис.4.5). Поэтому, если, например, кормораздатчик движется назад, то при нажатии кнопки SB1 сначала размыкается контакт в цепи катушки пускателя КМ2, что приводит к отключению двигателя, а затем замыкается контакт в цепи катушки КМ1, в результате чего двигатель снова подключается, реверсируется, и кормораздатчик начинает двигаться вперед.

При ручном управлении в системе предусмотрена автоматическая остановка двигателя при достижении крайних точек. Это происходит в случаях, когда персонал своевременно не остановил кормораздатчик или ошибочно дал команду на его движение не в том направлении. Обеспечивается это наличием размыкающих контактов KV1:2 и KV2:2, включённых последовательно с «чужими» катушками пускателей. Поэтому, если кормораздатчик при движении вперёд дошёл до конца помещения, герконовое реле КН2 замыкается, срабатывает реле KV2, размыкая контактами KV2:2 цепь питания катушки пускателя КМ1. Теперь движение тележки вперёд невозможно даже при нажатии кнопки SB1 до тех пор, пока кормораздатчик не отъедет от конца помещения, после чего разомкнутся контакты геркона КН2, отключится катушка реле KV2, контакты KV2:2 замкнутся и подготовят цепь питания катушки КМ1 к очередному включению. Аналогично схема работает при движении кормораздатчика в обратном направлении к началу помещения, когда замыкается геркон КН1, в результате чего срабатывает реле KV1 и размыкается контакт KV1:2 цепи катушки КМ2.

Работа подсистемы в режиме автоматического управления. Для работы в автоматическом режиме переключатель SA1 устанавливают в положение «А». Начать движение в этом режиме кормораздатчик может только при его нахождении в одной из крайних точек. Так, если он находится в исходном положении, геркон КН1 замкнут, катушка KV1 подключена к сети, её контакт KV1:1 замкнут и цепь питания катушки KM1 подготовлена к работе. В момент времени T_2 (рис.4.4) срабатывает контакт КТ1:2 программного реле, замыкается контакт КМ7:3 (пускатель КМ7, обеспечивающий подключение ламп 2-й степени освещения, одновременно с началом кормораздачи, показан на рис.4.7). Катушка KM1 получает питание и кормораздатчик начинает двигаться вперёд. При этом размыкается геркон КН1, отключается реле KV1, размыкаются его контакты KV1:1, но катушка KM1 остаётся под напряжением из-за блок-контактов КМ1:3, шунтирующих контакты KV1:1.

При достижении тележкой конечной точки замыкается геркон КН2, запитывается катушка KV2, её контакты KV2:2 размыкаются и отключают катушку KM1, двигатель и тележка останавливаются, а контакты KV2:1 замыкаются и запитывают катушку КМ2, что вызывает реверсирование двигателя и изменение направления движения кормораздатчика. Кроме того, при этом замыкаются блок-контакты КМ2:3, шунтирующие контакты KV2:1, и контакты КМ2:4 пускателя КМ2, включённые в цепь катушки реле времени КТ2.

При возврате тележки в исходную точку (момент T_3 , рис.4.4) замыкается геркон КН1 и срабатывает реле KV1. Это приводит к замыканию контактов KV1:3, подключению катушки КТ2 к сети и размыканию контактов КТ2:1, отключающих цепь питания катушек пускателей КМ1 и КМ2. Кормораздатчик останавливается в исходной точке. Одновременно с этим замыкается контакт КТ2:2, обеспечивая протекание тока в катушке КТ2 при размыкании контактов КМ2:4. С момента появления тока в катушке реле времени КТ2 начинает отсчитывать установленную заранее заданную паузу T_n . За время паузы синхронный двигатель М поворачивается на заданный угол и через систему механических передач в момент T_6 размыкает контакт КТ2:3. В результате этого катушка КТ2 отключается от сети, реле времени автоматически возвращается в состояние готовности отсчитывать паузу T_n , контакты КТ2:1 замыкаются, подключая к сети катушку

КМ1, поскольку контакты KV1:1 уже замкнуты, после чего кормораздатчик начинает движение и процессы в схеме повторяются.

Указанные циклы движения кормораздатчика с возвратом его в исходную точку и паузой между циклами будут повторяться до тех пор, пока не сработает размыкающий контакт программатора КТ1:6 (момент T_9), после чего обесточится катушка КМ7 (рис.4.7) и её контакты КМ7:3 отключат схему управления приводом кормораздатчика от сети.

4.2. Подсистема управления транспортёрами навозоудаления

Работа подсистемы в режиме ручного управления. Для работы в ручном режиме переключатель SA2 (рис.4.6) переводят в положение «Р».

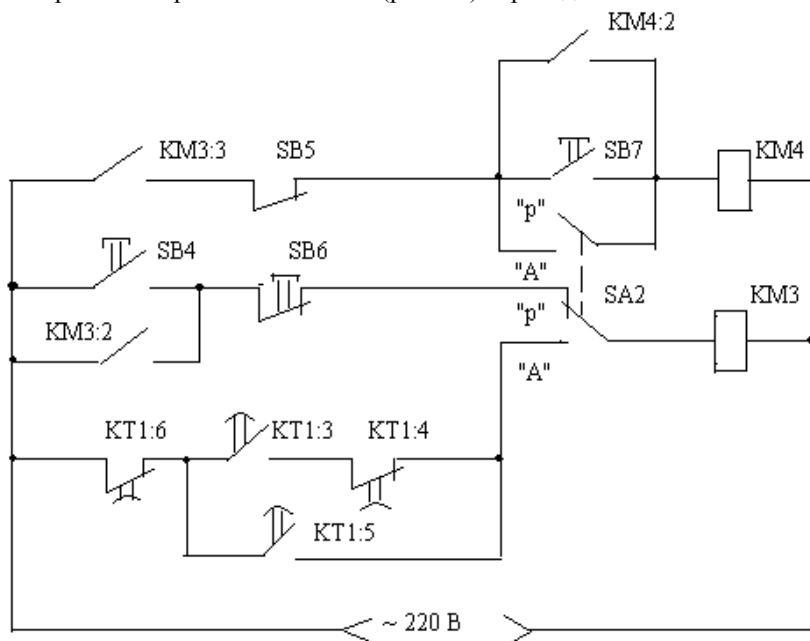


Рис.4.6. Принципиальная схема управления приводами навозоудаления

Тогда при нажатии кнопки SB4 замыкаются цепь питания катушки пускателя КМ3 и главные контакты КМ3:1 (рис.4.2), подключают двигатель М2 к сети, в результате чего поперечный транспортёр начинает работать. Одновременно замыкаются блок-контакты КМ3:2, обеспечивая под-

держание тока в катушке КМ3 при отпускании кнопки SB4, а также блок-контакты КМ3:3, создающие предпосылки для включения продольного транспортёра. Теперь при нажатии кнопки SB7 к сети подключается катушка пускателя КМ4, главные контакты КМ4:1 которого подключают двигатель М3 (рис.4.2) к сети и в работу вступают продольные транспортёры. Включение продольных транспортёров раньше поперечного невозможно, так как при отключенном контакте КМ3:3 нажатие кнопки SB7 не приводит к подключению к сети катушки пускателя КМ4. Чтобы отключить продольные транспортёры, надо нажать кнопку SB5, после чего обесточивается катушка пускателя КМ4 и её главные контакты КМ4:1 отключают двигатель М3. При этом поперечный транспортёр продолжает работу. Если же нажать кнопку SB6, обесточивается катушка КМ3, что приводит не только к размыканию главных контактов КМ3:1, отключению двигателя М2 и остановке поперечного транспортёра, но и к размыканию блок-контактов КМ3:3 и, следовательно, к остановке продольных транспортёров.

Работа подсистемы в режиме автоматического управления. Для работы в автоматическом режиме переключатель SA2 переводят в положение «А». В этом случае катушка пускателя КМ3 подключается к сети через соответствующие контакты программного реле. Так, в момент времени T_4 (рис.4.4) замыкается контакт КТ1:3, на катушку КМ3 подаётся напряжение, что приводит к включению поперечного и продольных транспортёров, благодаря замыканию блок-контактов КМ3:3 и подключению к сети катушки КМ4. В момент T_5 размыкается контакт КТ1:4, отключая пускатели КМ3 и КМ4, в результате чего транспортёры останавливаются. В момент T_8 включается контакт КТ1:5, вновь запуская транспортёры, а в момент T_9 размыкается контакт КТ1:6, останавливаются транспортёры, отключается 2-я ступень освещения.

4.3.Подсистемы управления облучением и освещением

Работа подсистемы управления облучательными установками. Подсистема управления облучением может работать в режимах ручного и автоматического управления. В ручном режиме переключатель SA4 (рис.4.7) устанавливают в положение «Р». Для включения облучателей надо нажать кнопку SB9, появится ток в катушке магнитного пускателя КМ5, замкнут-

ся главные контакты КМ5:1 (см.рис.4.2) и подключаются облучатели к сети. Одновременно замыкаются блок-контакты КМ5:2 (рис.4.7) и после отпущения кнопки SB9 в катушке КМ5 сохраняется ток. При нажатии кнопки SB11 обесточивается катушка КМ5. Это приводит к размыканию главных контактов пускателя КМ 5:1 и отключению облучателей от сети.

В автоматическом режиме переключатель SA4 устанавливают в положение «А». При этом катушка пускателя КМ5 подключается к сети через соответствующие контакты программного реле. В момент времени T_4 (см.рис.4.4) замыкается контакт КТ1:3, на катушку пускателя КМ5 подаётся напряжение и включаются облучатели. В момент T_5 размыкаются контакты КТ1:4, отключая катушку КМ5 от сети и прекращая тем самым облучение, в момент T_8 замыкаются контакты КТ1:5, а в момент T_9 размыкаются контакты КТ1:6, что обеспечивает облучение в интервале T_8 - T_9 .

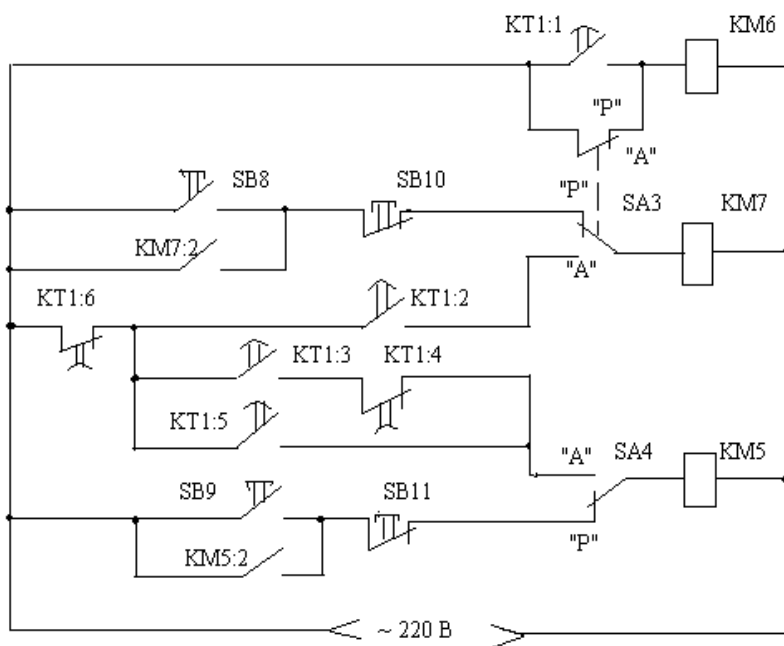


Рис.4.7. Принципиальная схема подсистемы управления облучением и освещением

Работа подсистемы управления освещением. Обе ступени освещения работают как в режиме ручного, так и автоматического управления. При работе в ручном режиме переключатель SA3 переводят в положение «Р», подключая катушку пускателя КМ6 к сети. Главные контакты пускателя КМ6:1 (рис.4.2) замыкаются, подавая на лампы 1-й ступени освещения питающее напряжение. Лампы 2-й ступени освещения включаются при нажатии кнопки SB8, после чего на катушку пускателя КМ7 поступает напряжение, её главные контакты КМ7:1 замыкаются и подключают к сети лампы 2-й ступени, а блок-контакты КМ7:2 замыкаются и обеспечивают протекание тока в катушке КМ7 после отжатия кнопки SB8. Лампы 2-й ступени освещения отключаются нажатием кнопки SB10, в связи с чем отключается катушка КМ7 от сети и размыкаются её главные контакты КМ7:1. Отключаются лампы 1-й ступени или обеих ступеней одновременно переводом переключателя SA3 в положение «А», что означает переход на режим автоматического управления освещением.

При работе в автоматическом режиме включение ламп 1-й ступени происходит в момент T_1 при замыкании контактов программного реле КТ1:1, через которые получает питание катушка пускателя КМ6. Лампы 1-й ступени отключаются в момент T_{10} , когда заканчивается полный цикл программного реле. Включение 2-й ступени в автоматическом режиме происходит в момент T_2 , когда замыкаются контакты КТ1:2, подключая катушку пускателя КМ7 к сети. Лампы 2-й ступени отключаются в момент T_9 , когда размыкаются контакты КТ1:6, разрывая цепь питания катушки КМ7.

Программа работы

1. Изучить принцип работы технологического оборудования макета.
2. Изучить принцип работы элементов автоматики и подсистем управления технологическими процессами кормораздачи, навозоудаления, освещения и облучения.
3. Включением тумблера «Сеть» подать напряжение на щит управления.
4. Соответствующими переключателями перевести исследуемые подсистемы в режим ручного управления и нажатием на кнопки «Пуск» и «Стоп» понаблюдать за работой оборудования.

5. Перевести систему в режим автоматического управления, запустить тумблером SA1 программное реле и понаблюдать за работой оборудования в течение одного цикла. Записать время начала и окончания каждого технологического процесса и нанести его на временную диаграмму (рис.4.4).

6. Понаблюдать за работой оборудования после внесения преподавателем неисправности в систему. Определить характер неисправности и предложить меры по её устранению.

7. Построить обобщённую структурную функциональную схему исследуемой системы.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение и состав технологического оборудования лабораторного макета.
2. Дайте краткую оценку работы систем программного автоматического управления на примере взаимодействия технологического оборудования макета в течение производственного цикла.
3. Объясните назначение, устройство и принцип действия элементов автоматики, входящих в систему управления: программного реле, реле времени, герконов, электромагнитных промежуточных реле, магнитных пускателей.
4. Поясните, как работают подсистемы управления технологическими процессами в ручном и автоматическом режимах.
5. Составьте обобщённую структурно-функциональную схему системы автоматического управления (макета).

Лабораторная работа № 5

Исследование релейных систем автоматического регулирования параметров микроклимата производственного помещения

Цель работы

1. Изучение принципов работы релейных систем автоматического регулирования (на примере 2-х и 3-х позиционных регуляторов температуры типа РТ-2 и РТ-3 и регулятора влажности типа СПР-2).

2. Исследование принципа работы системы регулирования температурно-влажностного режимов помещения с принципами управления по отклонению и по возмущению.

Описание лабораторного стенда

Работа проводится на том же макете животноводческого помещения, что и лабораторная работа 4.

Воздухообмен, поддержание заданной температуры и влажности воздуха в помещении осуществляются принудительной приточной вентиляцией с электрообогревом поступающего в помещение воздуха в сочетании с естественной вытяжной вентиляцией. Приточная вентиляция обеспечивается центробежным вентилятором 12 (рис.4.1) с двухскоростным электродвигателем 13, производящим воздухозабор извне помещения. С помощью металлических коробов 14 и четырех полиэтиленовых воздуховодов 15 свежий воздух распределяется внутри помещения. Подогревается приточный воздух тремя секциями электронагревательных элементов 16 (рис.4.1). Схема электросилового оборудования показана на рис.5.1.

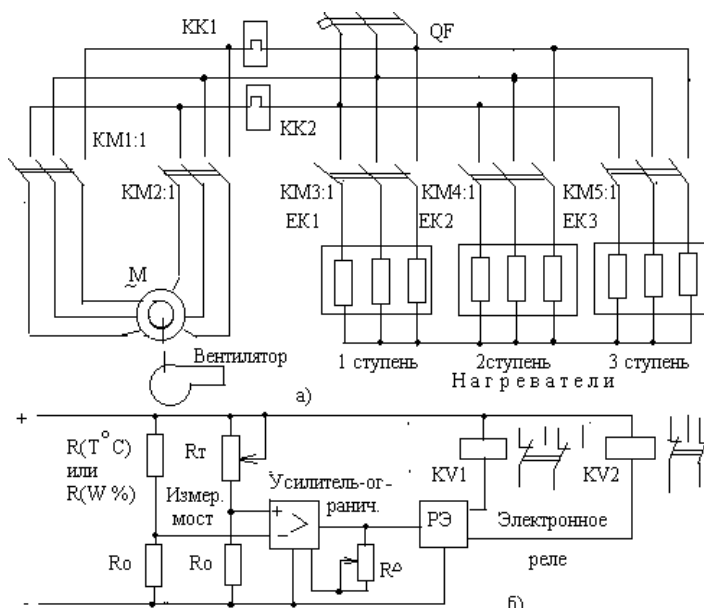


Рис.5.1: а - схема электросилового оборудования системы управления микроклиматом; б- функциональная схема регуляторов типа РТ и РВ (б)

Естественная вытяжная вентиляция осуществляется через специальные отверстия в крыше, над которыми смонтированы шахты-дефлекторы 17 (рис.4.1). На практике возможно и иное решение вытяжной вентиляции.

Для управления работой вентилятора и нагревателей используются серийно выпускаемые регуляторы температуры типа РТ-2 и РТ-3 и влажности - СПР-2. Автоматическое управление микроклиматом этими регуляторами происходит по замкнутому контуру. Управляющий сигнал формируется не только по команде задающего элемента (рис.1.2), но и с учетом изменений выходной регулируемой величины - температуры или влажности воздуха в помещении (управление по отклонению) или с учетом изменений основного внешнего воздействия наружной температуры (управление по возмущению). Двух-и трехпозиционные регуляторы температуры и влажности состоят из выносного датчика (температуры или влажности) и собственно регулятора, конструктивно представленного в виде отдельного прибора.

Датчик температуры типа ТСМ-6114 представляет собой полупроводниковый терморезистор в соответствующем конструктивном оформлении. Сопротивление терморезистора $R(T^{\circ}C)$ повышается при понижении температуры. Датчик влажности типа ЭВЧ-04-2 представляет собой полый цилиндр из полистирола, покрытый влагочувствительной плёнкой, сопротивление которой $R(W\%)$ увеличивается с понижением влажности воздуха.

Соответствующий датчик (температуры или влажности) включается в плечо измерительного моста ИМ (рис.5.1, б), в другое плечо - потенциометр R_t (задающий элемент), движок которого соединен со стрелкой, расположенной на лицевой панели прибора. Устанавливая стрелку напротив соответствующего деления, задают определённое значение сопротивления потенциометра и, следовательно, требуемую температуру или влажность воздуха. В противоположные плечи моста включены резисторы R_0 , равные по значению. На одну диагональ моста подается постоянное напряжение с блока питания БП, питающего все узлы прибора, с другой диагонали снимается выходное напряжение U_M , поступающее на вход операционного усилителя-ограничителя (УО). Если температура (или влажность) в поме-

щении равна заданной, измерительный мост сбалансирован ($R_T=R(T^{\circ}C)$ или $R_T=R(W\%)$) и напряжение U_M равно нулю. При температуре (или влажности), отличной от заданной, мост разбалансируется ($R_T\neq R(T^{\circ}C)$ или $R_T\neq R(W\%)$) и появляется напряжение U_M того или иного знака, которое после увеличения в усилителе УО поступает на вход двух-или трехпозиционного электронного реле (РЭ). Если напряжение усилителя УО достаточно для срабатывания электронного реле РЭ, то оно переключает электромагнитное реле KV1 (в двухпозиционном регуляторе) или одно из электромагнитных реле KV1 или KV2 (в трехпозиционном). Контакты реле KV1 и KV2 подключают или отключают требуемую внешнюю цепь.

Рассмотрим работу двухпозиционного регулятора температуры РТ-2 с помощью временных диаграмм (рис5.2, а, б).

В этом случае система автоматического регулирования выступает как система автоматической стабилизации. Пусть температуру воздуха внутри помещения требуется поддерживать на требуемом уровне T_T с определенной точностью $\pm\Delta T$. Точность поддержания параметра зависит от сопротивления потенциометра R_{Δ} , включенного в цепь обратной связи усилителя УО. Это позволяет регулировать коэффициент усилителя УО и обеспечивает срабатывание реле РЭ при разных значениях напряжения U_M . Ручка потенциометра R_{Δ} , как и потенциометра R_T , выведена на лицевую панель прибора.

В исходный момент времени ($t=0$) температура наружного воздуха равна T_1 (рис.5.2), нагреватели включаются, потребляют из сети мощность P_n , температура внутри помещения T_n увеличивается. При этом сопротивление терморезистора $R(T^{\circ}C)$ уменьшается, напряжение U_M увеличивается, и в момент t_1 , когда температура T_n достигает значения $T_T+\Delta T$, реле РЭ переключается, в результате чего реле KV1 своими контактами отключает коммутационные аппараты, питающие нагреватели. С падением мощности P_n до нуля температура в помещении уменьшается. При переходе температуры T_n через уровень T_T сопротивление $R(T^{\circ}C)$ сначала изменяется до R_T , затем превышает его, напряжение на выходе моста U_M меняет знак, и когда оно достигает уровня срабатывания, реле РЭ переключается (момент t_2), а реле KV1 подключает аппараты, подающие питание на нагреватели, после чего температура T_n снова начинает увеличиваться и т.д. С момента t_3 до момента t_4 наружная температура уменьшается до значения T_2 . При

этом помещение нагревается медленнее, охлаждается быстрее, интервал времени, в течение которого работают нагреватели, удлиняется, но внутренняя температура поддерживается в пределах $T_T \pm \Delta T$.

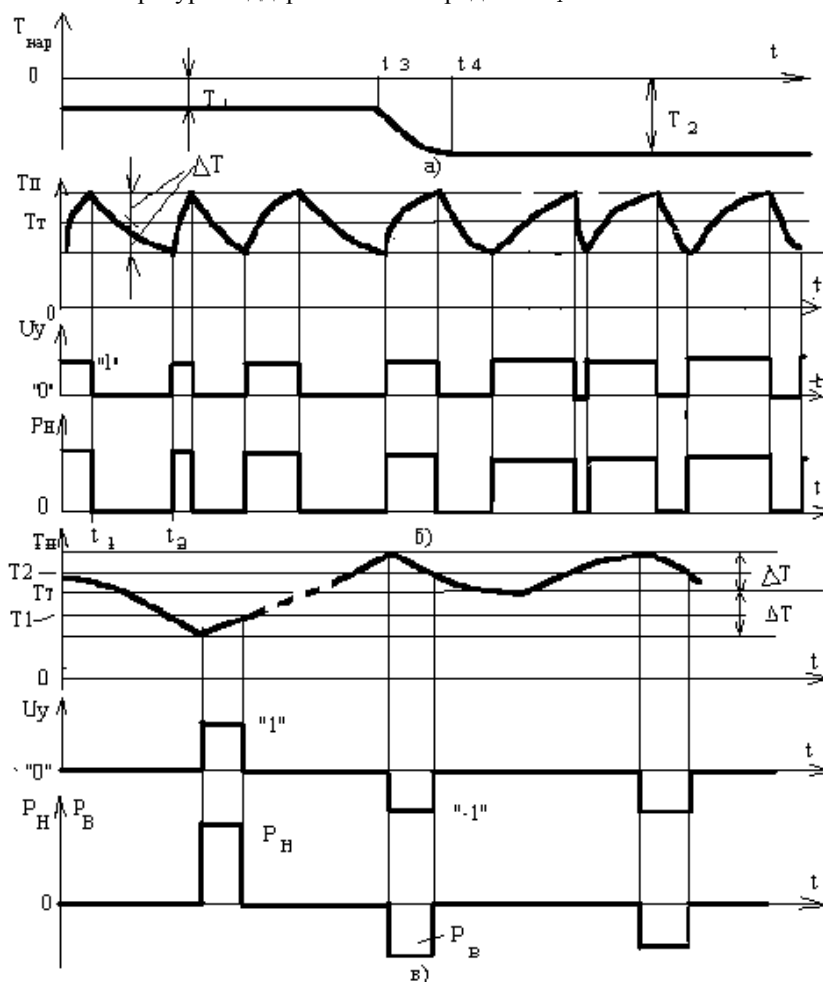


Рис.5.2. Временные диаграммы работы регуляторов

Сущность автоматического релейного управления при двухпозиционном регулировании заключается в том, что управляющее воздействие на регулирующий орган (нагреватель) объекта автоматического управления,

которое поступает с выхода исполнительного устройства (реле РЭ и KV1), производится только при двух значениях (позициях) управляемого (регулируемого) параметра. Таким образом, поддерживается температура в пределах $T_T \pm \Delta T$ (рис.5.2, б):

$$U_y = \begin{cases} "+1" \text{ при } T_n \leq T_T - \Delta T; \\ "0" \text{ при } T_n \geq T_T + \Delta T. \end{cases} \quad \square$$

При трёхпозиционном регулировании (рис.5.2,в) управляющее воздействие на регулирующий орган (нагреватель) поступает в трех уровнях (позициях):

$$U_y = \begin{cases} "+1" \text{ при } T_n \leq T_T - \Delta T; \\ "0" \text{ при } T_1 \leq T_n \leq T_2; \\ "-1" \text{ при } T_n \geq T_T + \Delta T. \end{cases}$$

При этом выходной параметр также поддерживается между двумя заданными уровнями. Однако это осуществляется двумя исполнительными элементами, один из которых включается при достижении заданного верхнего уровня выходного параметра, а другой - нижнего. Каждый из исполнительных элементов отключается при определенном удалении выходного параметра от крайнего значения, причем в середине зоны отключения оба элемента.

Рассмотрим работу трёхпозиционного регулятора температуры типа РТ-3. Если температура в помещении T_n уменьшается (рис.5.2, в) до заданного значения $T_T - \Delta T$ (с учетом допуска), сопротивление термодатчика $R(T^\circ C)$ увеличивается по сравнению с сопротивлением задатчика R_T , на выходе измерительного моста ИМ возникает напряжение U_M , которое после усиления в усилителе УО становится достаточным для срабатывания электромагнитного реле KV1, подключающего через соответствующую коммутационную аппаратуру нагреватели. За интервал времени t_1-t_2 нагреватели от сети потребляют мощность P_n и помещение нагревается. При повышении температуры выше уровня T_1 уровень напряжения на выходе УО недостаточен для удержания реле РЭ и реле KV1, поэтому нагреватели

отключаются. С увеличением температуры в помещении выше уровня T_T сопротивление датчика становится меньше сопротивления задатчика R_T и знак напряжения на выходе измерительного моста меняется. При дальнейшем увеличении температуры до уровня $T_T + \Delta T$ электронное реле РЭ переключается, вызывая срабатывание электромагнитного реле KV2. Через контакты реле KV2 включается коммутационная аппаратура, вызывающая подключение к сети электродвигателя вентилятора. Вентилятор, нагнетая свежий воздух, охлаждает помещение, потребляя при этом из сети мощность P_B . За время t_3-t_4 помещение охлаждается до температуры T_2 . Напряжение на выходе усилителя УО снижается до уровня, при котором отключается реле РЭ, в результате реле KV2 тоже отключается и вентилятор останавливается. Таким образом, с помощью регулятора типа РТ-3 нагреватели включаются при температуре в помещении $T_T - \Delta T$ и отключаются при температуре T_1 , а вентилятор включается при температуре $T_T + \Delta T$ и отключается при температуре T_2 . С понижением температуры от уровня T_2 до $T_T - \Delta T$ и повышением от уровня T_1 до $T_T + \Delta T$ вентилятор и нагреватели не работают.

Схема управления температурно-влажностным режимом помещения приведена на рис.5.3. После включения автоматического выключателя QF напряжение через контакты тепловых реле КК1 и КК2 и блок-контакты КМ2:2 поступает на катушку пускателя КМ1. Главные контакты этого пускателя КМ1:1 (рис.5.1), замыкаясь, включают электродвигатель М вентилятора на низкую частоту вращения. Вентилятор в этом режиме обеспечивает обдув нагревателей, предохраняя их от перегорания, а также способствует воздухообмену в помещении.

Если влажность в помещении превысит значение, допустимое по зоогигиеническим нормам, сопротивление датчика влажности 18, установленного в помещении (рис.4.1), становится ниже сопротивления задатчика R_T , что вызывает замыкание выходных контактов регулятора влажности МС типа СПР-2. Это приводит к подключению к сети катушки пускателя КМ2. Размыкающие контакты КМ2:2 отключают катушку КМ1, главные контакты КМ2:1 замыкаясь, включают двигатель М вентилятора на повышенную частоту вращения, обеспечивая более интенсивный воздухообмен. В результате влажность снижается, контакты МС размыкаются, от-

ключая катушку КМ2, контакты КМ2:2 замыкаются, включая пускатель КМ1, и двигатель вновь работает на более низкой частоте вращения. Управление температурным режимом осуществляется тремя регуляторами. Первый регулятор ТС1 (типа РТ-3) поддерживает температуру внутри помещения за счет управления 1-й ступенью нагревателей и 2-й - вентилятора. Задатчик R_T этого регулятора настроен на температуру T_{opt} , оптимальную по зоогигиеническим нормам помещения. Четыре датчика для более равномерного и точного поддержания температуры размещены по углам помещения (рис.4.1, поз.19) и соединены параллельно-последовательно, представляя собой как-бы один датчик с усредненным значением сопротивления.

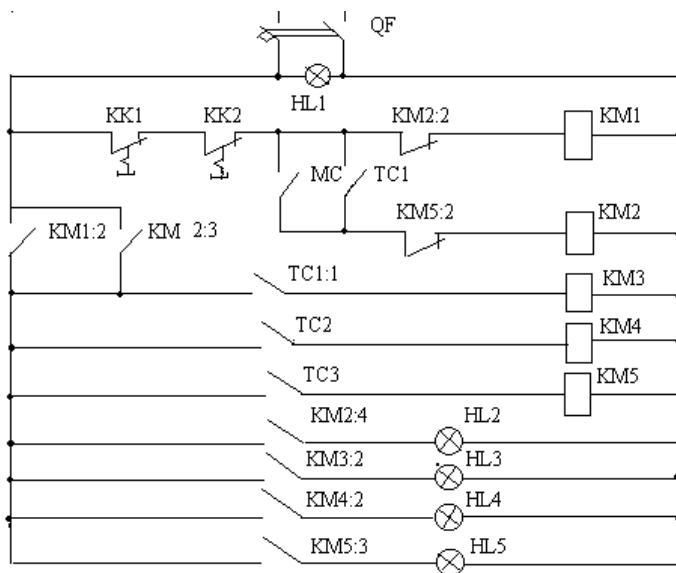


Рис.5.3. Схема управления температурно-влажностным режимом

Второй регулятор температуры ТС2 типа РТ-2 подключает 2-ю ступень нагревателей, если наружная температура воздуха $T_{нар}$ достигает некоторой критической - $T_{кр}$ (рис.5.4). Датчик этого регулятора (рис.4.1, поз.20) установлен в коробе воздухозаборника вне помещения. При температуре ниже $T_{кр}$ тепловой энергии 1-й ступени нагревателей (даже при их постоянной

работе) недостаточно, чтобы полностью покрыть тепловые потери помещения и нагреть вентилируемый воздух, обеспечив при этом температуру внутри помещения на нижней границе оптимального уровня с учетом допустимого отклонения $T_{ont}-\Delta T$.

Следует отметить принципиальную разницу между управлением по внутренней и наружной температуре воздуха. Внутренняя температура воздуха может меняться в результате воздействия различных факторов (возмущений) на объект управления (изменения наружной температуры, скорости и направления ветра, теплопотерь помещения и др.). При управлении по внутренней температуре (по отклонению) регулятор поддерживает температуру в помещении независимо от причин, вызывающих её отклонение. Это достоинство такого способа управления. Однако при регулировании по отклонению необходимо, чтобы сначала температура изменилась по отношению к заданной на достаточное значение, и только после этого регулятор будет корректировать это изменение (убирать рассогласование). При управлении по наружной температуре (по возмущению) регулятор не учитывает влияние каких-либо факторов, из-за которых температура в помещении может измениться. Однако воздействие на объект осуществляется сразу же при изменении наружной температуры, т.е. до того момента, когда возмущение окажет влияние на внутреннюю температуру, управление осуществляется значительно быстрее, чем при регулировании по отклонению. Поэтому вторая секция нагревателей, включающаяся при похолодании, более оперативно обеспечивает стабильность внутренней температуры.

Третий регулятор температуры ТС-3 (типа РТ-2) управляет 3-й ступенью нагревателей. С помощью датчика (рис.4.1, поз.21), установленного внутри помещения, он включает нагреватели, когда при постоянно работающих двух ступенях нагревателей температура воздуха в помещении опускается до минимально допустимой $T_{мин}$ по зоогигиеническим требованиям. Поддержание внутренней температуры на уровне $T_{мин}$, а не на уровне T_{ont} экономически обосновано при наиболее холодных температурах окружающего воздуха.

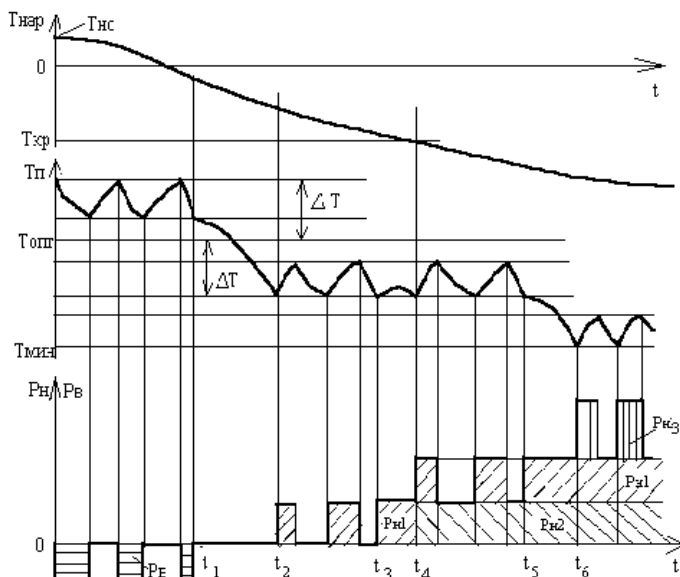


Рис.5.4. Графики изменения температуры воздуха внутри помещения T_n , тепловой P_n и вентилируемой P_v мощностей в зависимости от изменения наружной температуры $T_{нар}$

Рассмотрим работу схемы управления температурным режимом с помощью временных диаграмм (рис.5.4). На интервале времени $0 - t_1$ температура наружного воздуха $T_{нар}$ достаточно высока. Когда благодаря тепловыделениям животных температура в помещении повышается до верхней границы оптимального уровня с учетом допустимого отклонения $T_{опт} + \Delta T$, включаются контакты TC1:2, катушка KM2 подключается к сети и вентилятор переходит на повышенную частоту вращения с помощью главных контактов KM2:1, вынося из помещения тепловую энергию мощностью P_v .

При снижении внутренней температуры контакты TC1:2 размыкаются и, если влажность в помещении не превышает допустимую, пускатель KM2 отключается, интенсивность вентиляции снижается. По мере снижения наружной температуры длительность работы вентилятора на повышенной частоте уменьшается. С момента t_1 наружная температура снижается настолько, что температура внутри помещения находится в пределах $T_{опт} \pm \Delta T$ без воздействия управляющих элементов. К моменту t_2 из-за

дальнейшего уменьшения $T_{нар}$ тепловыделения животных не компенсируют теплотери помещения, и температура T_n падает до нижней границы оптимального уровня $T_{опт}-\Delta T$. При этом замыкаются контакты ТС1:1, к сети подключается катушка пускателя КМ3, главные контакты КМ3:1 которого подключают к сети 1-ю ступень нагревателей. В помещение начинает поступать тепловая энергия мощностью $P_{н1}$, температура T_n повышается и нагреватели с помощью регулятора ТС1 отключаются. По мере снижения наружной температуры интервалы работы нагревателей увеличиваются, пока с момента t_3 они не начинают работать непрерывно. К моменту t_4 наружная температура снижается до критической $T_{кр}$, замыкаются контакты ТС2. В результате запитывается катушка пускателя КМ4 и его главные контакты КМ4:1 включают 2-ю ступень нагревателей. В этом режиме при температуре ниже $T_{кр}$ 2-я ступень включена постоянно, обеспечивая поступление в помещение тепловой энергии мощностью $P_{н2}$, а 1-я ступень, управляемая регулятором ТС-1 периодически подключаясь, обеспечивает поступление в помещение энергии мощностью $P_{н1}$, что позволяет поддерживать внутреннюю температуру на оптимально допустимом уровне.

С момента t_5 1-я и 2-я ступени нагревателей работают не отключаясь, а внутренняя температура после некоторого повышения начинает снижаться из-за снижения наружной температуры. К моменту t_6 температура T_n достигает величины $T_{мин}$, замыкаются контакты ТС3, запитывая катушку КМ5, главные контакты которой вводят в работу 3-ю секцию нагревателей, которая добавляет к поступающему теплу энергию мощностью $P_{н3}$. Третья секция нагревателей, периодически подключаясь с помощью регулятора ТС3, не дает опуститься температуре внутри помещения ниже уровня $T_{мин}$. Наконец, при отключении пускателя КМ5 его размыкающие блок-контакты КМ5:2 в цепи катушки пускателя КМ2 отключаются, тем самым исключая возможность интенсивного воздухообмена при наиболее низких наружных температурах.

Для защиты электродвигателя М вентилятора от перегрузок используются тепловые реле КК1 и КК2, нагревательные элементы которых включены в силовую цепь (рис.5.1), а контакты - в цепь управления (рис.5.3). При увеличении фазного тока выше допустимого значения контакты КК1 или КК2 размыкаются, катушки пускателя КМ1 и КМ2 обесто-

чиваются, что приводит к отключению электродвигателя М вентилятора от сети. Одновременно с этим размыкаются блок-контакты пускателей КМ1:2 и КМ2:3, обеспечивая отключение катушек пускателей КМ3 - КМ5, что исключает работу нагревателей при неработающем вентиляторе.

Схема управления смонтирована в серийном щите управления режимами электрокалорифера СФОА-40, на лицевую панель щита выведены кнопки автоматического выключателя QF, подключающего систему управления, силовые цепи и сигнальные лампы к сети. Лампа HL1 включается при подаче напряжения на схему, лампа HL2 - при включении пускателя КМ2, запускающего электродвигатель вентилятора на повышенную частоту вращения. Лампы HL3-HL5 загораются при включении пускателей КМ3 - КМ5 и сигнализируют о работе 1, 2 и 3-й секций нагревателей. Кроме того, на лицевой панели имеется переключатель с ручного режима на автоматический и ручной переключатель пускателей, обеспечивающих работу соответствующих секций нагревателей. Так как в работе исследуются системы в автоматическом режиме, эти переключатели при испытаниях не используются.

Программа работы

1. Изучить принцип работы регуляторов температуры типа РТ-2 и РТ-3 и регулятора влажности типа СПР-2.

2. Изучить принцип работы объекта управления и системы управления температурно-влажностным режимом помещения.

3. Установить на лицевой панели регуляторов указанные преподавателем значения заданных температур и влажности, а также допустимых отклонений параметров. Данные занести в табл.5.1.

Таблица 5.1

	1-я ступень	2-я ступень	3-я ступень	Влажность
Заданная температура включения T , °C				
Заданное допустимое отклонение ΔT , °C				

4. Зафиксировать температуру в камере с помощью термометра (рис.4.1, поз.22), включить автоматический выключатель.

5. Понаблюдать за процессами нагрева и охлаждения, фиксируя температуру в помещении и отмечая моменты переключения регуляторов при

соответствующих температурах в помещении. Результаты измерений занести в табл.5.2. Измерения проводить в течение 3 циклов нагрева - охлаждения.

Таблица 5.2

Время включения и выключения РО t , мин							
Температура в помещении T , °C							

6. По результатам измерений построить график зависимости температуры в помещении от времени, совместив его с графиком работы оборудования.

7. Построить обобщенную структурную функциональную схему системы.

Контрольные вопросы

1. Поясните назначение элементов лабораторного стенда.
2. Объясните принцип работы релейных систем автоматического управления с 2-и 3-позиционным управлением.
3. Каков принцип действия исследуемых регуляторов температуры и влажности?
4. Объясните принцип работы систем автоматического управления температурно-влажностным режимом помещения.
5. Каким образом в исследуемых САУ реализуются принципы управления по отклонению и возмущению?

Лабораторная работа № 6.

Контроль качества преобразования физических процессов (на примере выпрямителя переменного тока с импульсно-фазовым тиристорным управлением)

Цель работы: Исследование методов контроля качества преобразования физических процессов (на примере выпрямителя переменного тока с импульсно-фазовым тиристорным управлением)

Основные положения

Довольно часто в различного рода устройствах требуется регулировать величину выпрямленного напряжения. Такие выпрямители получили название управляемых выпрямителей. В них в качестве управляемых вентилях в настоящее время применяются тиристоры. Тиристор - полупроводниковый переключатель, он изготавливается из кремния и имеет три p - n -перехода (рис.6.1,а). Напряжение питания E_a подаётся на тиристор так, что переходы П1 и П3 открыты, а переход П2 закрыт. Ток I_a , проходящий через тиристор, при этом будет определяться высоким сопротивлением закрытого перехода. На рис.6.1,б приведены вольт-амперные характеристики тиристора для положительных значений напряжений. С увеличением напряжения U_a ток тиристора возрастает незначительно. Но при достижении напряжения $U_{вкл}$ (рис.6.1,б) наступает электрический пробой в переходе П2. При этом происходит лавинообразное увеличение числа носителей зарядов за счёт лавинного умножения носителей в переходе П2 движущимися дырками и электронами. В результате этого ток I_a увеличивается скачком и напряжение на тиристоре уменьшается. В анодную цепь тиристора для ограничения тока включают резистор R_a . При скачкообразном росте анодного тока увеличивается падение напряжения на резисторе R_a и напряжение на тиристоре уменьшается. Изменение анодного тока после наступления электрического пробоя производится изменением величин R_a или E_a . Если снять питающее напряжение, то свойства p - n -перехода П2 восстанавливаются.

Напряжение $U_{вкл}$ можно снизить введением дополнительных носителей в любой из слоёв, образующих переход П2. Появление дополнительных носителей увеличивает число актов ионизации атомов в переходе, и поэтому напряжение $U_{вкл}$ уменьшается. Дополнительные носители зарядов, образующие ток I_y , вводятся в тиристор вспомогательной цепью от источника питания E_y . Влияние величины тока I_y на работу тиристора видно из рис.6.1,б. При включении тиристора в обратном направлении переходы П1 и П3 будут закрыты и в нём появится весьма небольшой ток. Во избежание пробоя тиристора в обратном направлении необходимо, чтобы обратное напряжение было меньше $U_{обр.доп}$.

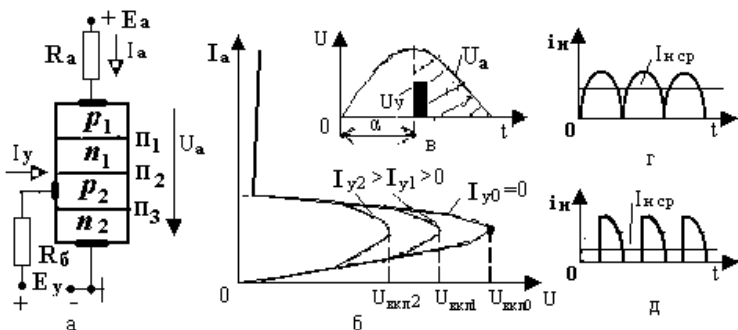


Рис.6.1. Структурная схема (а) и вольт-амперные характеристики (б) тиристора; фазовое управление моментом отпирания тиристора (в); осциллограммы тока в нагрузочном устройстве при фазовом управлении для $\alpha=0$ (г) и $\alpha=90^\circ$ (д)

Управление в выпрямителе сводится к управлению моментом отпирания тиристорov. Наиболее распространённый способ управления тиристорами - импульсно-фазовый: при этом на управляющий электрод тиристора периодически подаются импульсы напряжения u_y , которые могут сдвигаться во времени по отношению к моменту появления положительной полуволны коллекторного напряжения тиристора u_k (рис.6.1,в). В результате изменяется момент отпирания тиристора, начиная с которого и до конца положительной полуволны коллекторного напряжения, тиристор находится в открытом состоянии. Этот сдвиг α называется углом управления. При $\alpha=0$, ток в нагрузочном резисторе $I_{н.ср.}$ будет максимальным (рис.6.1,г). При увеличении α ток $I_{н.ср.}$ будет уменьшаться. На рис.6.1,д изображена осциллограмма тока при $\alpha=90^\circ$. При $\alpha=180^\circ$ ток нагрузки становится равным нулю.

К управляющим импульсам напряжения предъявляются следующие требования: а) крутизна управляющих импульсов должна быть весьма высокой, чтобы чётко открывались тиристоры; б) амплитуда и длительность управляющих импульсов должны быть достаточными для надёжного открывания, но амплитуда не должна превышать допустимых значений $I_{y.доп.}$

Исходя из этих требований и проектируется устройство (блок) импульсного фазового управления. На рис.6.2,а изображена схема управляемого двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора с импульсно-фазовым управлением. Напря-

жение в цепь управления подаётся через мостовой фазовращатель, состоящий из трансформатора с выводом средней точки вторичной обмотки, конденсатора C и переменного резистора R . При изменении величины сопротивления R , как видно из круговой векторной диаграммы (рис.6.2,б), угол сдвига фазы выходного напряжения моста по отношению к входному может изменяться от 0 до 180° . При этом величина выходного напряжения моста остаётся неизменной. Управляющее напряжение после фазовращателя через диоды $VD1$ и $VD2$, которые пропускают только положительные полуволны синусоидального напряжения, поступает на два транзистора $VT1$ и $VT2$. Питательное коллекторное напряжение подаётся на транзисторы с отдельного выпрямителя, собранного по мостовой схеме (диоды $VD5, VD6, VD7$ и $VD8$).

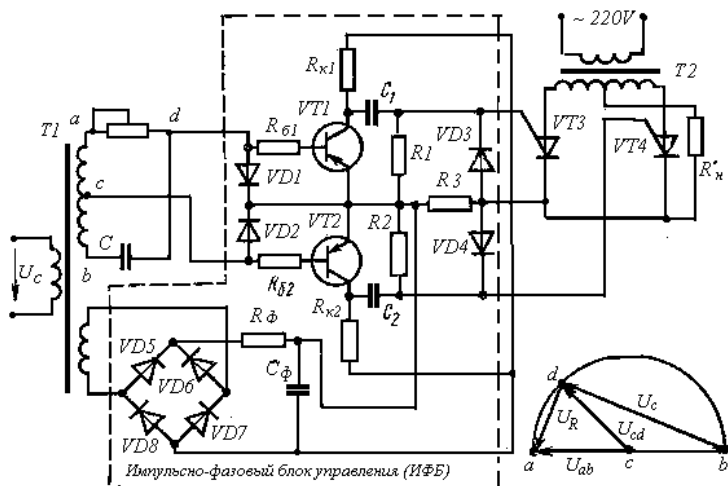


Рис.6.2. Схема двухполупериодного выпрямителя с импульсно-фазовым управлением (а); векторная диаграмма мостового фазовращателя (б)

Выходные напряжения, снимаемые с транзисторов, имеют трапецидальную форму, так как на их входы подаются напряжения довольно значительной величины, выходящие далеко за пределы линейного участка переходной характеристики транзистора. Далее трапецидальные напряжения дифференцируются с помощью цепочек $R1C1$ и $R2C2$. На управляющие электроды тиристоров $VT3$ и $VT4$ поступают только положительные импульсы напряжения, так как отрицательные импульсы шунтируются диодами $VD3$ и $VD4$. Таким образом, изменяя величину сопротивления

переменного резистора R , можно изменять время прихода управляющих импульсов на управляющие электроды тириستоров.

Программа работ

Снять регулировочную характеристику $U_n = f(\alpha)$.

Зарисовать осциллограммы в указанных точках для $\alpha = 0^\circ$, $\alpha = 90^\circ$ и измерить для этих α нагрузочный ток.

3. Определить коэффициенты пульсаций напряжения в измеренных точках: $\kappa_n = U_m / U_{cp}$, где U_m , U_{cp} - амплитудное и среднее значение.

Методические указания по выполнению лабораторной работы

Исследования проводятся на стенде для исследования регулируемого выпрямителя. Соедините с входом « Y_1 » первого луча осциллографа гнездо 1 стенда, а со входом « Y_1 » второго луча гнездо 2. Включите стенд. Установите переключатель R_ϕ на стенде в положение «1». Зарисуйте осциллограммы. Поочередно соедините вход « Y_1 » с гнездом 4 (или 5); 6 (или 8), 13, зарисуйте осциллограммы. Поочередно установите R_ϕ в положения 4 и 7 и зарисуйте осциллограммы в указанных гнездах. Соедините гнездо 14 стенда с входом « Y_2 », поочередно установите $R_n = 20$ и 120 Ом . Зарисуйте осциллограммы.

Приложение

Описание электронного осциллографа

Любой универсальный осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки, трех электрических каналов управления лучом, калибратора K (рис.6.3) и блока питания (на схеме не показан).

По каналу Y поступает исследуемый сигнал U_Y , вызывающий вертикальное отклонение луча в электронно-лучевой трубке. В канал Y входят: аттенюатор At для ослабления больших сигналов; предварительный усилитель $Y_{упр}$ для усиления малых сигналов; линия задержки ЛЗ для небольшой временной задержки сигнала; оконечный усилитель $Y_{ок}$, на выходе которого вырабатывается симметричный противофазный сигнал, поступающий на две вертикально отклоняющие пластины Y . Переключателем P_1 можно отключить канал Y и соединить пластины Y непосредственно с гнездами «Вход на пластины Y ». Этот вход используется в том случае, если частота сигнала выше верхней граничной частоты канала Y , а напряжение его не требует усиления.

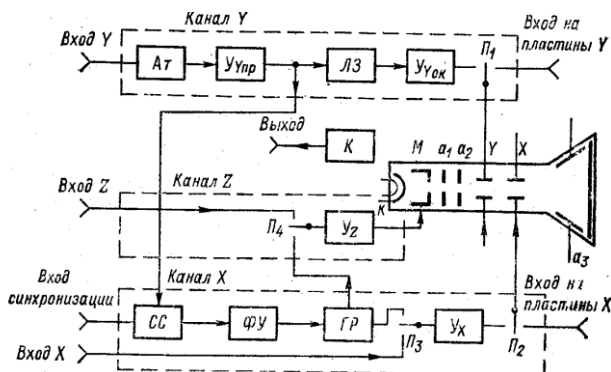


Рис.6.3. Структурная схема универсального осциллографа

По каналу X поступает напряжение u_x , вызывающее горизонтальное отклонение луча. Одновременное воздействие двух напряжений u_y и u_x на электронный луч трубки вызывает появление осциллограммы, отображающей зависимость $u_y = f(u_x)$ или $u_y = f(t)$. Напряжение u_x называют развертывающим напряжением, а канал X — каналом развертки. Главным узлом канала X является генератор развертки ГР, вырабатывающий напряжение, пропорциональное времени: $u_x = mt$; для управления частотой развертывающего напряжения используется напряжение синхронизации, поступающее из канала Y или от внешнего источника через селектор синхронизации СС и формирующее устройство ФУ. В канале X имеется усилитель U_x , вход которого с помощью переключателя Π_3 можно присоединить к выходу генератора развертки или к зажимам «Вход X». Выходное двухфазное напряжение усилителя поступает на пластины X.

По каналу Z через усилитель U_z и переключатель Π_4 подают напряжение от генератора развертки или внешнего источника через «Вход Z» для управления яркостью электронного луча.

В двухлучевых осциллографах применяются электронно-лучевые трубки с двумя электронными пушками и двумя парами пластин Y; для управления ими предусматриваются два отдельных канала Y. В двухканальных осциллографах используется обычная однолучевая трубка и один быстродействующий электронный коммутатор, подключающий выходы двух каналов Y к отклоняющим пластинам Y. Канал горизонтального отклонения всегда один.

Основными характеристиками осциллографов являются: диапазон измеряемых напряжений; диапазон измеряемых интервалов времени; полоса пропускаемых частот канала Y или время нарастания переходной характеристики, выброс на ней и ее неравномерность; диапазон значений коэффициента отклонения канала Y, мВ/дел (В/дел); диапазон значений коэффициента развертки (длительности развертки), мкс/дел; входные сопротивления и емкости канала Y, канала X, канала Z, входа синхронизации и входов на пластины Y и X; диапазон частот и амплитуд напряжения внешней синхронизации (длительность импульсов синхронизации); диапазон частот и амплитуд напряжения в канале Z; параметры сигнала на выходе калибратора (амплитуда, частота, форма).

Некоторые особенности осциллографических измерений.

Параметры электрического сигнала, поданного на вход осциллографа, определяются по его осциллограмме путем измерения ее геометрических размеров и сопоставления их с коэффициентом отклонения и коэффициентом развертки данного осциллографа. Следовательно, достоверность результатов измерения зависит от точности воспроизведения осциллограммы и погрешности измерения ее геометрических размеров. Точность воспроизведения определяется в основном используемой площадью экрана электронно-лучевой трубки и линейными искажениями сигнала в тракте осциллографа.

Осциллограмма должна размещаться на рабочей площади экрана, ограниченной измерительной шкалой — сеткой. С помощью последней, используя значения коэффициентов отклонения и развертки, можно непосредственно измерять напряжение сигнала и его временные параметры. Эти коэффициенты имеют фиксированные значения, точность которых определяется классом точности осциллографа. Следует иметь в виду, что если осциллограмма занимает 80% рабочей площади экрана, то погрешность измерения уменьшается вдвое.

Большое влияние на погрешность измерения оказывает тщательность отсчета геометрических размеров осциллограммы и совмещения следа электронного луча с линиями измерительной шкалы.

Линейные искажения определяются параметрами амплитудно-частотной (АЧХ) и переходной (ПХ) характеристик канала Y и нормиру-

ются в виде погрешности измерения данным осциллографом в пределах 5—10 %.

Чтобы погрешность результата измерения не превышала погрешности осциллографа, полезно соблюдать следующие правила. При исследовании синусоидального сигнала его частота должна быть значительно ниже верхней частоты f_v полосы пропускания осциллографа по его паспортным данным или определенной по АЧХ усилителя Y в точке с уровнем напряжения —3 дБ относительно уровня на средней частоте. При исследовании импульсных сигналов определяющим является время нарастания ПХ, т.е. интервал времени, в течение которого луч проходит от 0,1 до 0,9 установившегося значения.

Входное сопротивление и входная емкость осциллографа вносят дополнительную погрешность измерения. Выходное сопротивление источника сигнала $R_{вых}$ и входное сопротивление осциллографа $R_{вх}$ образуют делитель напряжения; чтобы погрешность была пренебрежимо мала, необходимо соблюдение следующего неравенства: $R_{вх} \geq 100R_{вых}$. Входная емкость осциллографа $C_{вх}$ и выходное сопротивление источника сигнала $R_{вых}$ образуют постоянную времени $\tau_{вх} = R_{вых}C_{вх}$, которая удлиняет фронт сигнала: $\tau_{ф}$ до $\tau_{ф\text{ вх}}$:

$$\tau_{ф\text{ вх}} = [(\tau_{ф}^2 + (2,2\tau_{вх})^2)]^{1/2}.$$

Входная емкость осциллографа достигает 40—50 пФ, а с соединительным кабелем превышает 100 пФ. Для ее уменьшения применяют выносные делители, особенно полезные при исследовании коротких прямоугольных импульсов. Нелинейные искажения в канале Y не оказывают большого влияния на погрешность измерения.

Погрешность временных измерений определяется в основном погрешностью установки коэффициента развертки и ее нелинейностью. Погрешность может быть значительно уменьшена с помощью калибратора длительности, сигналы которого образуют на осциллограмме яркостные метки. Цена меток в единицах времени известна и высокостабильна.

Калибровка осциллографа по амплитуде производится при установке ручки «Усиление» в положение «Калибр.». Амплитуда сигнала калибровки может изменяться с помощью органов управления калибратора. Период следования калиброванного сигнала можно определить по сетке.

На передней панели осциллографа расположены следующие основные ручки управления:

- 1) тумблер «Сеть» для включения и выключения осциллографа;
- 2) ручка «Яркость» для установки необходимой яркости луча;
- 3) ручка «Фокус» для фокусировки луча ЭЛТ;
- 4) ручка «Освещение шкалы» для регулировки освещения шкалы.

К усилителю «Y» относятся

5) переключатель «закр./откр. Вх.», для выбора входа усилителя при осциллографировании соответственно импульсного (постоянного) или переменного сигнала;

6) гнездо «Y» для подачи исследуемого сигнала на осциллограф;

7) ручка переключателя «V/см, mV/см» для переключения делителя входного аттенюатора;

8) ручка «Усиление» для плавной регулировки коэффициента усиления усилителя;

9) ручка «Смещение Y» для перемещения луча по вертикали;

10) ручка «Баланс» для балансировки усилителя;

К развертке относятся

12) гнездо «X» для подачи внешнего сигнала на усилитель горизонтального отклонения (у некоторых осциллографов оно может отсутствовать);

14) ручка «смещение X» для перемещения луча по горизонтали;

15) двоянный переключатель «Время/см» и «Длительность» для ступенчатой и плавной регулировки частоты генератора развертки;

16) ручка «Стабильность» для выбора режима работы генератора развертки (автоколебательный или ждущий).

К устройству синхронизации относятся

17) ручка переключателя вида синхронизации «От сети» «От иссл. сигнала» «Внеш. 1:1, 1:10» для установки соответственно синхронизации от сети, внутренней, внешней с делителем и без делителя напряжения;

18) ручка переключателя полярности синхронизации « $\pm$, $\sim$ » для установки полярности запускающего развертку сигнала с внешней синхронизацией;

19) ручка «Уровень» для регулировки уровня (амплитуды) синхронизирующего сигнала развертки;

20) гнездо для подачи внешнего сигнала синхронизации.

Порядок работы

Перед началом работы с осциллографом необходимо органы управления установить в следующие положения:

тумблер «Сеть» — выключено,
ручку «Яркость» — в среднее,
ручку «Фокус» — в среднее,
переключатель входа — в положение «~»; переключатель аттенюатора «V/см, mV/см» — в положение «2mV/см»;
ручку «Усиление» — в крайнее правое положение («Калибр»);
ручки «Смещение Y » и «Смещение X » — в среднее;
ручку «Баланс» — в среднее;
переключатель «Время/см» — в положение «0,5 mS»;
ручку «Длительность» — в крайнее правое положение;
ручку «Стабильность» — в среднее положение;
ручку «Уровень» — в среднее положение;
переключатель вида полярности синхронизации в положение «±»;
переключатель вида синхронизации в положение «От сети».

После этого следует тумблером «Сеть» включить прибор. При этом должна загореться сигнальная лампочка. Через 2—3 мин после включения необходимо установить луч в пределах рабочей части экрана, отрегулировать его яркость и фокус так, чтобы изображение луча было ярким и четким. Это производится соответственно ручками «Смещение Y », «Смещение X », «Яркость» и «Фокус».

После прогрева прибора в течение 15 мин следует сбалансировать усилитель вертикального отклонения луча (при наличии органов балансировки в данном осциллографе). С этого момента электронный осциллограф готов для наблюдений на его экране исследуемых сигналов.

Для наблюдения исследуемого сигнала необходимо соблюдать следующий порядок действий:

1. Выбрать тип развертки — автоколебательный или ждущий режим. Ждущий режим развертки применяется при исследованиях непериодических сигналов, импульсов с большим отношением длительности импульса к паузе и крутыми фронтами. Исследования подобных сигналов являются

специфической областью измерения и в лаборатории не производятся. Поэтому порядок работы в ждущем режиме здесь не рассматривается.

Для установки автоколебательного режима ручку «Стабильность» необходимо повернуть вправо до тех пор, пока не появится яркая светящаяся горизонтальная линия.

2. Выбрать вид синхронизации. Как правило, обычно применяется внутренняя синхронизация. В этом режиме генератор пилообразных напряжений управляется синхронизирующими импульсами с частотой, равной или кратной частоте исследуемого сигнала, поступающего с выхода усилителя вертикального отклонения. Чтобы установить такой вид синхронизации, необходимо ручку переключателя вида синхронизации установить в положение «От иссл. сигнала».

3. Подать исследуемый сигнал с помощью коаксиального кабеля на гнездо «Y». При этом следует выбрать характер входа с помощью переключателя входа «закр./откр.». Если исследуются периодические сигналы, то переключатель входа устанавливается в положение «закр.». Если же во входном сигнале присутствуют как переменная, так и постоянная составляющие, то переключатель входа ставят в положение «откр.».

4. Плавно поворачивая ручку «Уровень», добиться получения на экране устойчивого изображения. Если этого сделать не удастся, то следует немного поворачивать в обе стороны ручку «Стабильность», добиваясь устойчивого изображения.

5. Изменяя положение ручек переключателя «V/см, mV/см» и «Усиление», получить удобный для наблюдения размер изображения по вертикали.

6. Изменяя положение ручек переключателя «Длительность» и множителя развертки получить удобный размер изображения по горизонтали.

Контрольные вопросы

Принцип действия тиристора.

Сущность импульсно-фазового управления тиристором.

Принцип действия двухполупериодного выпрямителя с импульсно-фазовым управлением (рис.6.2).

Устройство и принцип действия электронного осциллографа (по структурной схеме, рис. 6.3).

Органы управления электронного осциллографа.

«Виртуальная» лабораторная работа №7

Исследование динамики системы автоматического управления (сау)
(на примере сау кормодробилкой)

Цель работы. Ознакомиться с устройством и структурой «виртуальной» САУ кормодробилкой, научиться составлять схему САУ из набора типовых элементов, анализировать функционирование САУ в определенных режимах и типовых ситуациях, принимать решения при воздействии на САУ различных управляющих и возмущающих воздействий и при обнаружении отклонений от нормального режима функционирования объекта автоматического управления (ОАУ), проводить учебно-исследовательские эксперименты с моделями изучаемых САУ

Описание реальной САУ кормодробилкой

Пример. На рис. 7.1. представлены схемы дробилки грубых кормов и зерна.

Подлежащее измельчению зерно с помощью шнека 8 (рис. 7.1, а) загружается в бункер 9, уровень в котором автоматически поддерживается на основе информации от двух датчиков. Подачу зерна на измельчение регулируют заслонкой 10. При этом продукт дробления по кормопроводу воздушным потоком перемещается в фильтр 6. Достаточно измельченное зерно, прошедшее решетный сепаратор 4, представляет собой готовый продукт, который выгружается шнеком 2. Оставшаяся часть возвращается в дробильную камеру, причем количество этого продукта устанавливает оператор с помощью регулирующей заслонки 5 (в крайнем правом положении весь материал идет на выгрузку без разделения на фракции). Одна часть запыленного воздуха возвращается в дробильную камеру, а другая часть, пройдя фильтр 6, выбрасывается в атмосферу. Схема управления дробилкой (рис. 7.1, б) обеспечивает последовательный пуск электродвигателей *М1* выгрузного шнека и затем дробилки *М2*, причем с целью снижения пускового тока электродвигатель дробилки включается по схеме «звезда», а затем переключается на схему «треугольник». Загрузочный шнек пускают, нажимая кнопку *SB6* при незаполненном бункере дробилки. Шнек работает до момента замыкания контактов *SL1* мембранного датчика верхнего уровня зерна в бункере. Магнитный пускатель *KM4* и

реле *KV* отключаются при их шунтировании контактом *SL1*. Повторный пуск шнека происходит также автоматически после опорожнения бункера и размыкания контактов датчиков верхнего *SL1* и нижнего *SL2* уровней. Производительность дробилки регулируется автоматически в зависимости от силы тока, потребляемого электродвигателем *M2*, с помощью регулирующей заслонки, перемещаемой исполнительным устройством *M4* по команде автоматического регулятора загрузки (АРЗ). При значительных перегрузках двигателя и перерывах в электропитании электромагнитная муфта *УС*, соединяющая заслонку с *M4*, отключается контактом АРЗ, заслонка падает под действием собственного веса и подача зерна в дробильную камеру прекращается.

Полное открытие заслонки, свидетельствующее о снижении загрузки дробилки, сигнализируется сиреной *НА* при замыкании конечного выключателя *SQ2*. Схема управления обеспечивает последовательный пуск двигателей дробилки и затем (через 20с) бункера. При этом пуск дробилки происходит с переключением двигателя со схемы «звезда» на схему «треугольник». В случае перегрузки двигателя дробилки на короткое время отключается электромагнитная муфта и прекращается подача корма в дробилку. После снижения загрузки дробилки подача корма возобновляется. Если перегрузка двигателя длится более 20с, то электродвигатель привода бункера отключается.

Описание «виртуальной» САУ нагрузкой кормодробилки

На рис. 7.2...7.5 представлен пример применения подсистемы Simulink пакета программ Matlab. При моделировании САУ пользователь может по своему усмотрению изменять параметры элементов САУ и ОАУ: значение уровня нагрузки (в блоке 3); значения коэффициента усиления в прямой ветви (блок 10) и в главной обратной связи (блок 5); масштабы шкал и единицы измерений на графиках (блоки 6 и 16); мощность и быстродействие приводного двигателя (блок 7) путем изменения коэффициента усиления и постоянной времени; вид грубых или других кормов, подаваемых транспортером (блок 8) путем задания последовательности импульсов, случайного процесса, синусоиды и др.; производительность кормодробилки (блок 10) путем задания параметров усиления и постоянной времени.

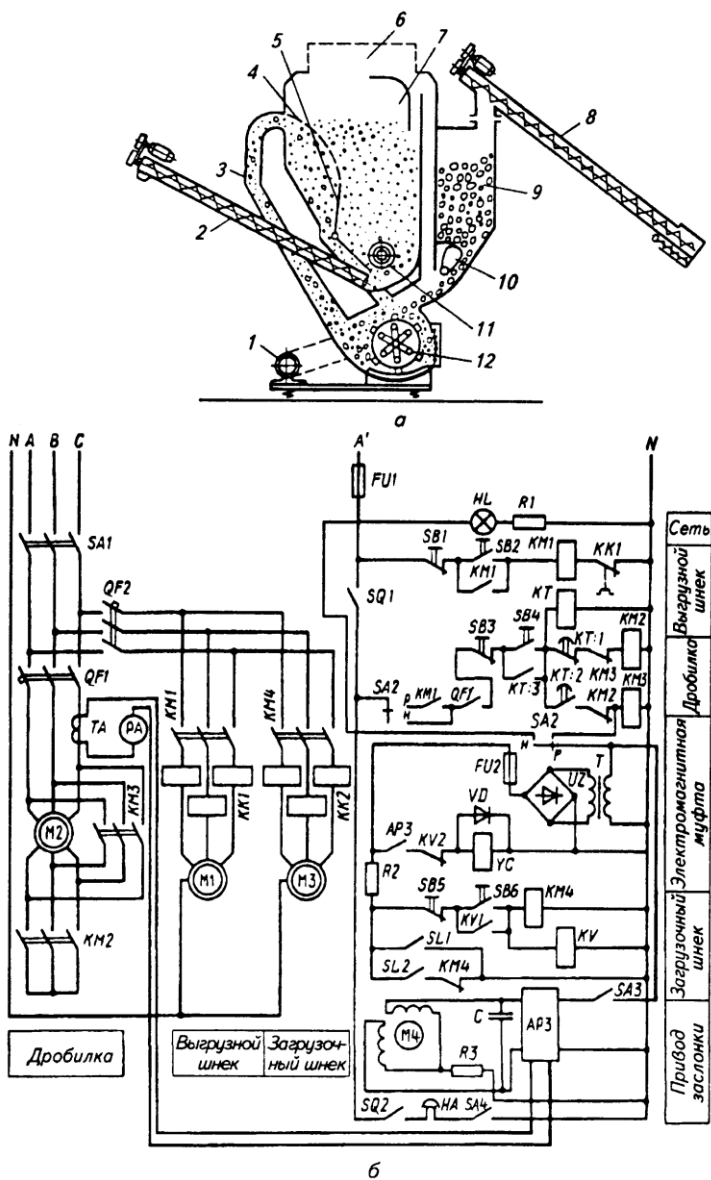


Рис. 7.1. Функциональная схема (а) и схема управления (б) дробилкой ДБ-5: 1 — двигатель; 2, 8 — шнеки; 3 — воздуховод; 4 — сепаратор; 5, 10 — заслонки; 6 — фильтр; 7 — камера; 9 — бункер зерна; 11 — ворошилка; 12 — ротор

По значению уровня статической ошибки управления, измеряемой в установившемся режиме прибором 15, можно судить о качестве работы САУ. Изменяя параметры элементов управляющего устройства можно оптимизировать рабочие процессы САУ.

Порядок выполнения работы

1. Вызвать пакет программ **Matlab 6.5** (рис.7.6). После нажатия кнопки **Start** откроется окно **Simulink Library Browser** (система просмотра библиотек **Simulink**), изображенное на рис. 6. В верхней части этого окна две крайние левые кнопки служат для создания новой и открытия существующей модели соответственно. После нажатия левой кнопки на экране появится окно для построения новой модели **Untitled1** (рис. 7.7). При желании набранная из блоков система может быть объединена в один составной блок с помощью пункта меню **Edit/Create Subsystem**.

2. Процесс построения модели включает в себя компоновку САУ из отдельных блоков и задание необходимых параметров этих блоков. Компоновка заключается в выборе из библиотек **Simulink** необходимых блоков, размещение их в открывшемся окне **Untitled1** и задание межблочных связей. Основным "строительным" элементом в процессе построения модели в пакете **Simulink** является *блок*. Блок представляет собой систему типа "вход-выход-состояние" (или просто "вход-выход") и может быть как простым, так и составным. Для того чтобы переместить необходимый блок из библиотеки в окно построения модели, необходимо найти его в списке стандартных блоков **Simulink**: в окне **Simulink Library Browser** следует выбрать пункт **Simulink**, затем выделить и раскрыть соответствующий пункт в появившемся списке библиотек. Для перемещения курсор мыши устанавливается на нужный блок. Затем, нажав левую клавишу мыши, блок перемещают в окно модели. Для объединения блоков в систему необходимо соединить их входные и выходные порты, которые на пиктограммах блоков отмечены значком ">": чтобы соединить два блока между собой, надо подвести курсор мыши к порту одного из соединяемых блоков (при этом курсор примет форму "крестика"), нажать левую кнопку мыши и, удерживая ее в нажатом положении, переместить курсор к порту другого блока, после чего отпустить удерживаемую кнопку.

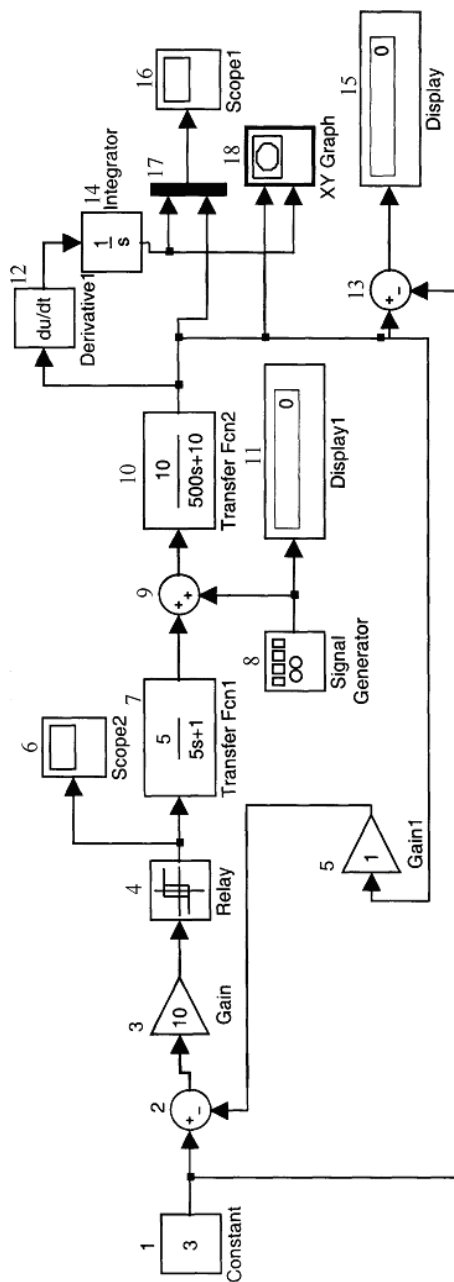


Рис. 7.2. Функциональная САУ дробилкой грубых кормов: 1 - задатчик уровня нагрузки дробилки; 2 - сравнивающее устройство; 3, 5 - электронные усилители; 4 - электронное реле и магнитный пускатель; 6, 16 - осциллографы; 7 - привоной асинхронный электродвигатель; 8 - трансформатор ядачи грубых кормов; 9 - сумматор; 10 - кормодробилка; 11 - датчик уровня кормов и вольтметр; 12 - дифференциатор; 13 - вычитающее устройство; 14 - интегратор; 15 - измерительный прибор ошибки управления (вольтметр); 17 - аналоговый мультиметр; 18 - плоттер (графопроектор)

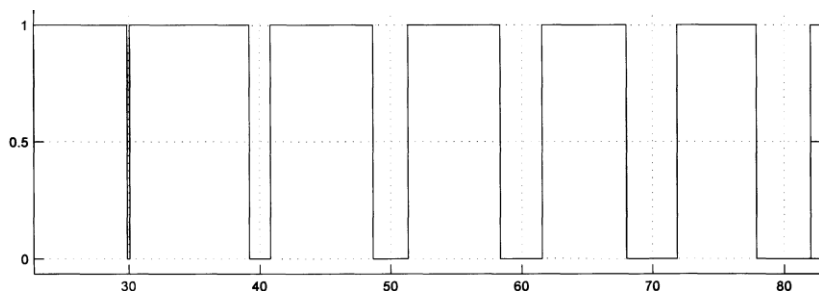


Рис. 7.3. Временная диаграмма процесса на выходе реле 4 (управляющее воздействие) при периодическом распределении корма значительных объемов на ленте транспортера, изображенная на экране осциллографа 6 (рис.1)

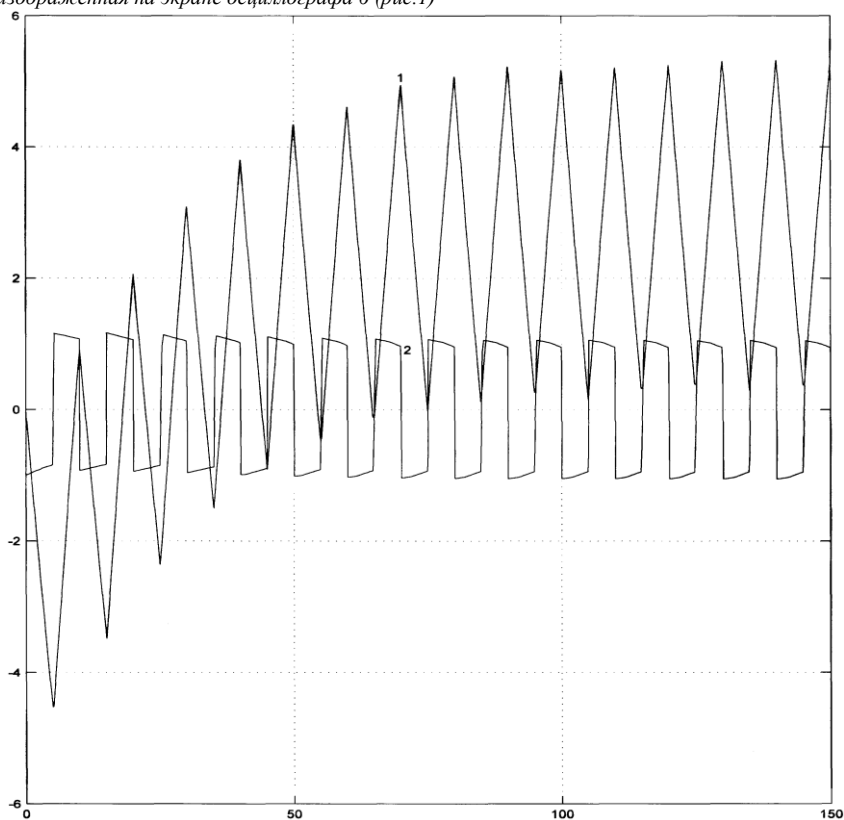


Рис. 7.4. Временные диаграммы управляемых процессов (на выходе ОАУ) при периодическом распределении корма значительных объемов на ленте транспортера, изображенные на экране осциллографа 16 (рис.1): 1 – изменение нагрузки; 2 – скорость изменения нагрузки

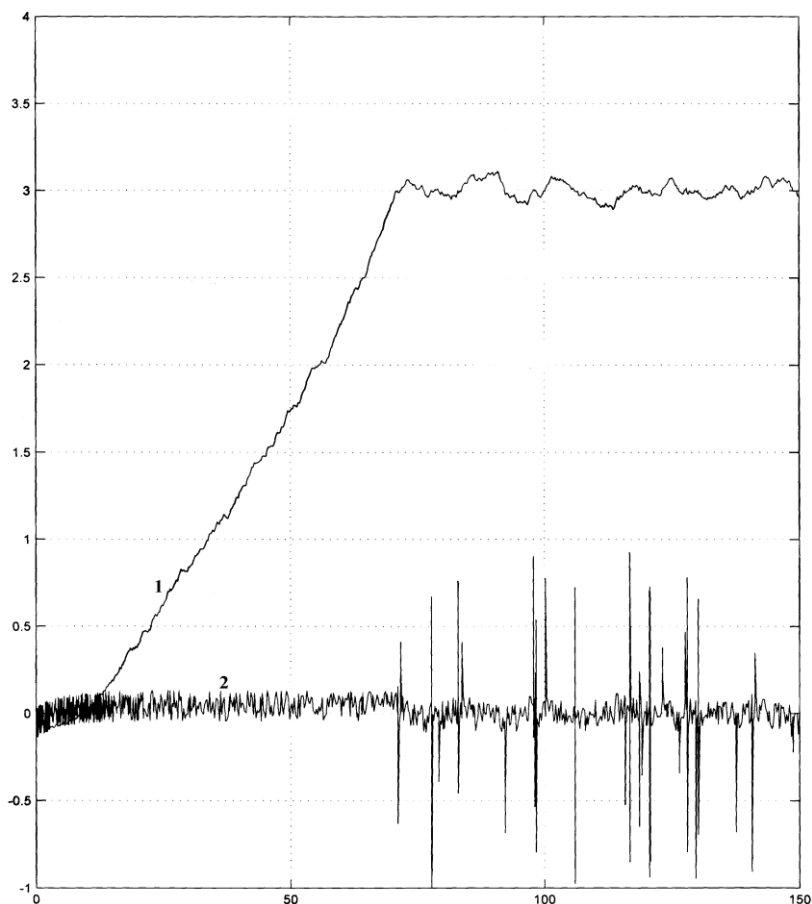


Рис. 7.5. Временные диаграммы управляемых процессов (на выходе ОАУ) при равномерном случайном распределении корма достаточно тонким слоем на ленте транспортера, изображенные на экране осциллографа 16 (рис.1): 1 – изменение нагрузки; 2 – скорость изменение нагрузки

3. Для каждого блока моделируемой САУ установить значения параметров, указанные на примере (рис. 7.2): необходимо сделать двойной щелчок левой кнопкой мыши по пиктограмме блока и установить необходимые параметры. Установить в блоке 8 **Signal Generator** виды процессов, имитирующих нагрузку: **square** (последовательность прямоугольных импульсов), **Amplitude 4, Frequency 1**. Нажатием левой кнопкой мыши

по пиктограмме блоков **Scope** вызвать операции и затем нажать кнопку **Open block**. Появившиеся экраны осциллографов **Scope** и графопостроителя **XY Graph** расположить по площади окна **Untitled1** без перекрытия (рис. 7.7).

4. В верхней части окна **Untitled1** нажать кнопку **Simulation**. Установить флажок у команды **Normal**. Подведя курсор мыши к команде **Simulation parameters** установить в опции **Solver** время «виртуального» эксперимента **Start time: 0.0** и **Stop time:150; Type: Variable-step, ode45**. Вернуться в окно **Untitled1**, нажать кнопку **Simulation** и появившуюся затем кнопку **Start**. При необходимости увеличения размера графиков, появившихся на экранах осциллографов, подвести курсор мыши к соответствующему окну **Scope**, нажать правую кнопку мыши, затем нажимая левую кнопку мыши на команду **Axes properties**, установить требуемые значения **Y-min** и **Y-max**. Убедиться в работоспособности модели (рис.7. 8).

Программа работы

1. Для каждого блока установить соответствующие параметры, отвечающие заданию для моделируемой САУ. Вариант задания выбирается из таблицы 7.1 по указанию преподавателя.

Таблица 7.1

Варианты	Значения параметров блоков					
	1	3	5	7	8	10
1	5	5	1	10 10 1	100 5	10 100 10
2	3	20	1	20 20 5	50 10	5 10 10
3	5	10	2	1 1 1	30 100	100 500 50
4	3	15	1	100 100 10	10 500	20 300 10
5	10	50	1	5 50 10	40 100	5 500 50

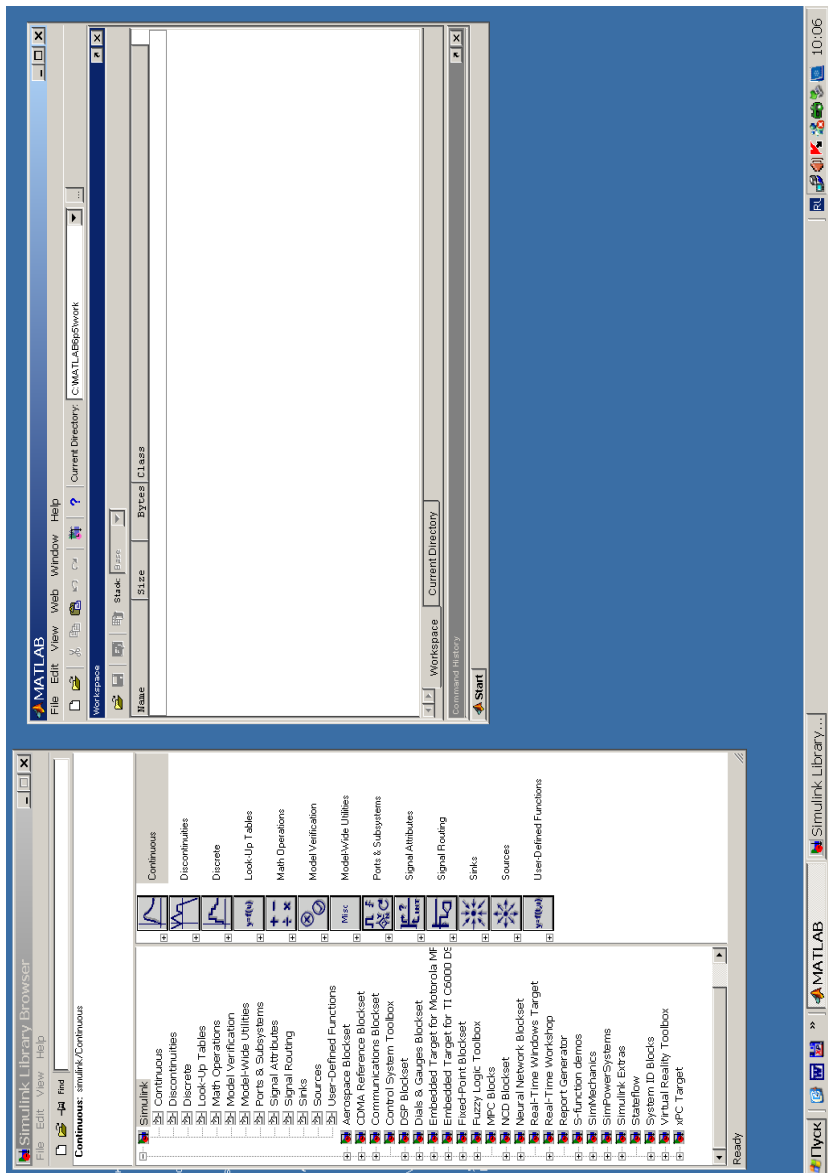


Рис. 7.6. Окна пакета **Matlab** и библиотеки блоков пакета **Simulink**

2. Поочередно установить в блоке 8 **Signal Generator** виды процессов, имитирующих нагрузку: **sine** (синусоидальный), **square** (последовательность прямоугольных импульсов), **sawtooth** (последовательность треугольных импульсов), **random** (случайный процесс). Вывести на печать и представить в отчете графики, изображенные на экранах **Scope1**, **Scope2**, **XY Graph**, а также модель САУ.

3. Изменяя параметры управляющего устройства (блоков 3, 5, 7), добиться при каждом из процессов в блоке 8 **Signal Generator** (п. 2) ошибки управления менее 1%, измеряемой цифровым прибором (блок 15). Если этого достичь не удастся, то этой же ошибки добиться путем изменения параметров загрузочного транспортера (блок 8) – скорости движения (изменяя частоту процесса) и массу отдельных скоплений корма (изменяя амплитуду процесса). Вывести на печать и представить в отчете графики, изображенные на экранах **Scope1**, **Scope2**, **XY Graph**, а также полученную модель САУ.

4. Сделать выводы о возможных мероприятиях по управлению кормодробилкой с помощью САУ.

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение каждого блока в обобщенной структурной функциональной схеме САУ и определите их в схеме примера САУ (рис.7.2).

2. Объясните устройство и принцип действия реальной САУ кормодробилкой (рис. 7.1).

3. Что такое статический и динамический режимы САУ? Как определить ошибку управления САУ в статическом и динамическом режимах?

4. Что такое устойчивость САУ? Как определить устойчивость САУ по экспериментально снятой (или «виртуальной») зависимости в переходном режиме?

5. Что такое быстродействие и переходное запаздывание? Как его определить по экспериментально снятой (или «виртуальной») зависимости в переходном режиме?

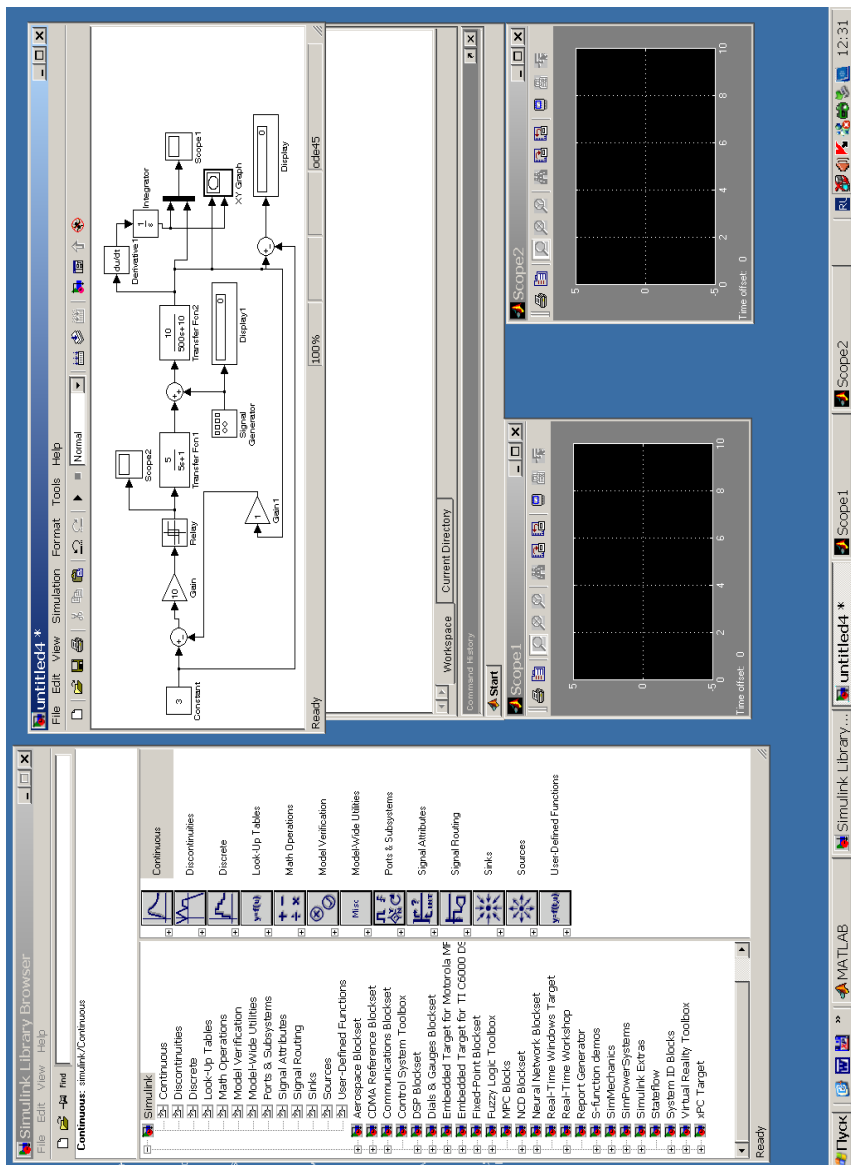


Рис. 7.7. Окна библиотеки блоков пакета **Simulink**, собранной модели САУ и осциллографов

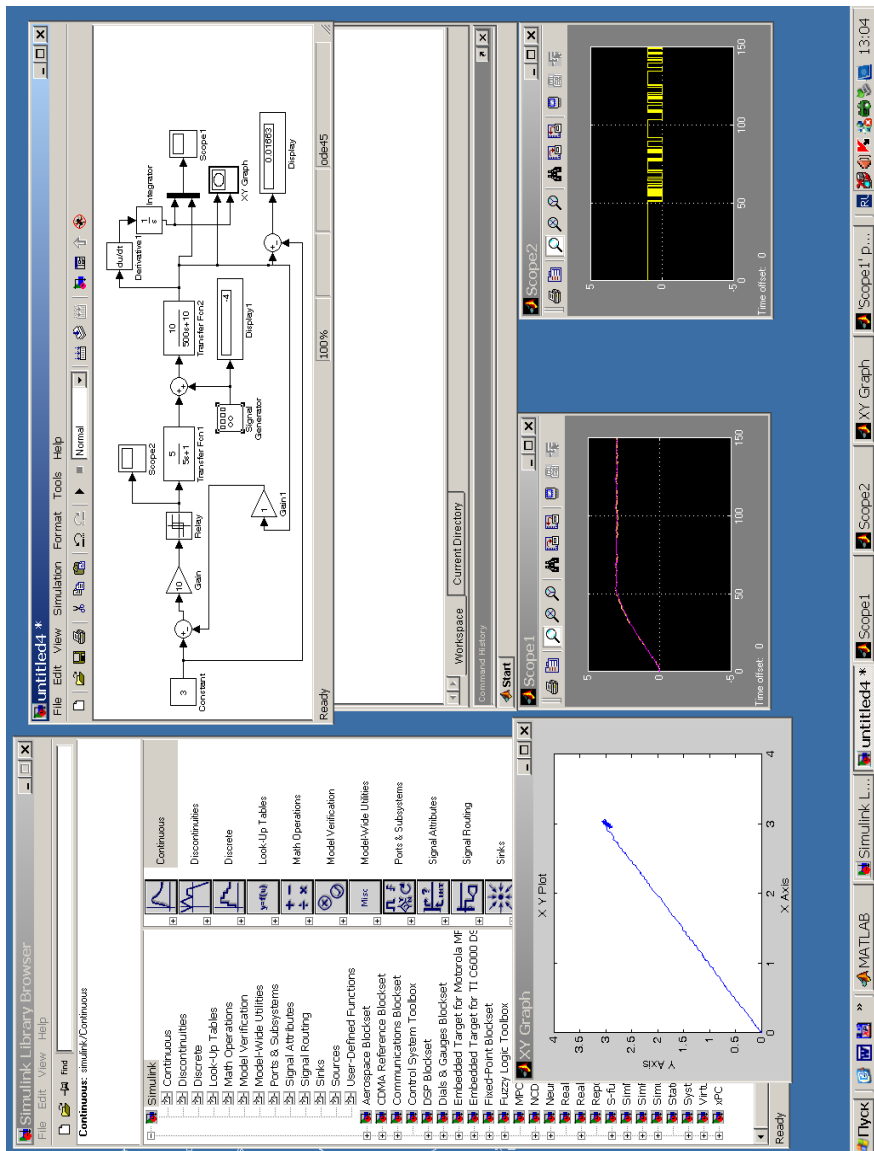


Рис.7.8. Пример переходного процесса модели САУ

Лабораторная работа № 8

Исследование микропроцессорной системы автоматического управления (на примере сау микроклиматом производственного помещения)

Цель работы

1. Изучение принципов работы микропроцессорных систем автоматического управления.
2. Исследование типовых законов регулирования: Т-релейного; П-, И-, ПИ-, ПД- и ПИД.

8.1. Описание лабораторного стенда

Лабораторная работа проводится на макете животноводческого помещения (смотри лабораторную работу №4 и №5).

Структурная схема САУ каждым регулируемым параметром (рис. 8.1) содержит регулятор R (с законами регулирования: Т-релейным; П-, И-, ПИ-, ПД- и ПИД), макет животноводческого помещения - ОАУ, датчики температуры или влажности - ИПЭ.

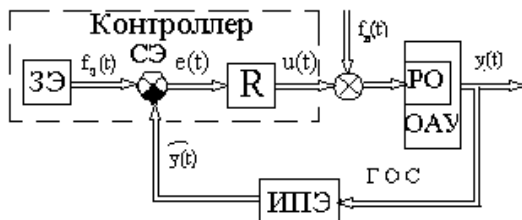


Рис. 8.1. Структурная схема САУ: R - регулятор; – объект автоматического управления; ЗЭ – задающие элементы; ИПЭ – измерительно-преобразовательные элементы (датчики); РО – регулирующие органы; СЭ – сравнивающие элементы; $f_z(t)$ – задающие воздействия (уставки); $f_d(t)$ – возмущающие воздействия (помехи); $y(t)$ – выходные процессы ОАУ

Процесс на выходе ПИД-регулятора R описывается выражением (рис. 8.1):

$$u(t) = ke(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

где $u(t)$ - выходная переменная регулятора во времени; k, T_i, T_d - пропорциональный коэффициент, постоянная интегрирования и постоянная диф-

ференцирования соответственно; $e(t)=f_s(t)-y(t)$ - ошибка управления (рас-
согласование), например, $e(t)=T_{ycm}(t)-T_{изм}(t)$ ($T_{ycm}(t)$ – уставка).

В частном случае пропорциональная, интегральная или дифференци-
альная компоненты в (1) могут отсутствовать, такие упрощённые регуля-
торы называют П-, И-, ПД- или ПИ-регуляторами. Релейные регуляторы
(2- и 3-позиционные) исследуются в лабораторной работе №5. Характе-
ристики регуляторов представлены в табл. 8.1. В области нижних частот ам-
плитудная частотная (АЧХ) и фазовая частотная (ФЧХ) характеристики
ПИД-регулятора (рис. 8.2) определяются интегральным членом, в области
средних частот — пропорциональным, в области высоких частот — диф-
ференциальным членом.

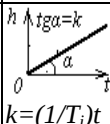
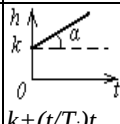
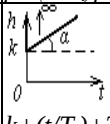
Вид АЧХ и ФЧХ регулятора определяет его точность и запас устойчи-
вости. С уменьшением интегральной составляющей T_i , увеличивается мо-
дуль коэффициента усиления регулятора на низких частотах (то есть при
приближении к установившемуся режиму), и поэтому снижается погреш-
ность $e(t)$. С увеличением дифференциальной составляющей T_d растёт
усиление на высоких частотах, что приводит к усилению шумов измере-
ний и внешних возмущений. Поэтому дифференциальную составляющую
используют только для улучшения формы переходного процесса в САУ, а
её практическая реализация обычно содержит фильтр высоких частот. С
ростом пропорционального коэффициента k увеличиваются модуль петле-
вого усиления $k\beta$ контура управления (β - коэффициент передачи в цепи
главной обратной связи) и точность во всём диапазоне частот, однако па-
дает запас по фазе и усилению, что ухудшает качество управления, а при
дальнейшем увеличении k возникают периодические колебания (система
теряет устойчивость). Влияние шума и помех измерений n также умень-
шается с ростом $k\beta$ и k .

Таблица 8.1

Характеристики типовых законов управления (регулирования)

	Законы управления				
	П	И	ПИ	ПД	ПИД
$y=f(x)$	$y=kx$	$y= \frac{1}{\tilde{O}_i} \int_0^t xdt$	$y=kx + \frac{1}{\tilde{O}_i} \int_0^t xdt$	$y=kx + T_d(dx/dt)$	$y=kx + T_d(dx/dt) + \frac{1}{\tilde{O}_i} \int_0^t xdt$

Продолжение таблицы 8.1

ПФ: $W(p)$	k	$(1/T_i)p$	$k+(1/T_i)p$	$k+T_d p$	k_1+T_d $p+(1/T_i)p$
ПХ: $h(t)$					
	k	$k=(1/T_i)t$ $\operatorname{tg} \alpha=1/T_i$	$k+(t/T_i)t$ $\operatorname{tg} \alpha=1/T_i$	$k+T_d \delta(t)$	$k+(t/T_i)+T_d$ $\delta(t)$

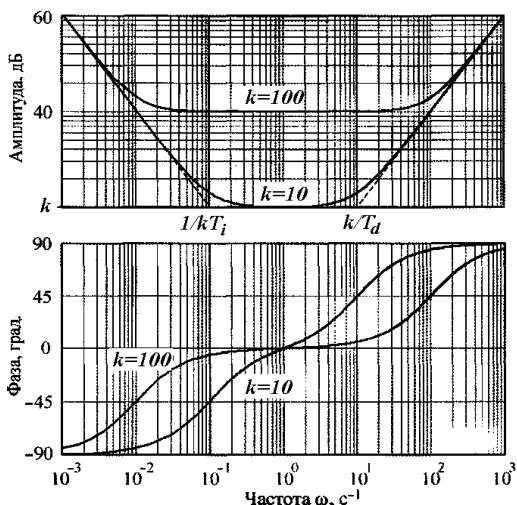


Рис. 8.2. Амплитудная частотная и фазовая частотная характеристики ПИД-регулятора

Цифровой ПИД-регулятор реализуется в контроллере при непосредственном аналого-цифровом преобразовании (1):

$$u(i\Delta t) = k \left[e_i + \frac{1}{\tau_i} \sum_{n=0}^i f(e_n) + \tau_d \frac{\Delta e}{\Delta t} \right]$$

где $u(i\Delta t) = D_i / T_{cl}$; D_i – длительность выходного управляющего импульса; T_{cl} – период следования управляющих импульсов дискретизации; $k = 1/X_p$ – коэффициент пропорциональности; e_i – ошибка управления, измеренная в i -й момент времени (отсчет); $\Delta e = e_i - e_{i-1}$ – разность между текущим e_i и предшествующим e_{i-1} измерениями ошибки $e(t)$; Δt – время между этими измерениями; $\tau_i = kT_i$, $\tau_d = T_d / k$ – постоянные времени интегральной и диф-

ференциальной составляющих; $f(e_n)$ – функция ограничения очередного члена интегральной суммы; n – число измерений (отсчетов) от начала управления до i -го момента времени.

При действии П-закона контроллер выдает импульсы, в которых присутствует только пропорциональная составляющая выходного сигнала. Полоса пропорциональности X_p (рис. 8.3), как и ошибка $e(t)$, выражается в единицах контролируемого параметра. Чем шире полоса X_p , тем меньше значение выходного сигнала при одном и том же значении $e(t)$. Вне полосы X_p выходной сигнал равен 0 или 100 %. При изменении выходного сигнала выходные управляющие импульсы изменяют свою ширину при постоянном периоде следования (широтно-импульсная модуляция – ШИМ). При уменьшении X_p зона ШИМ также будет уменьшаться. Если $X_p = 0$, ШИМ осуществляться не будет (это частный случай П-закона регулирования – релейный Т-закон)

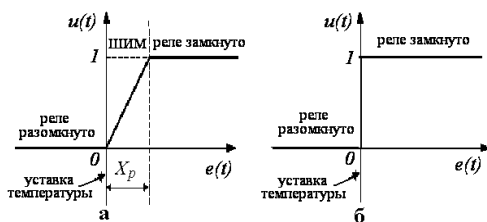


Рис. 8.3 Выходной процесс П-регулятора (а); Т-регулятора (б)

При действии ПИ- или ПИД-закона общая сумма интегральной составляющей сигнала оказывается недопустимо большой при приближении температуры к уставке, что приводит к значительному перерегулированию. Чтобы этого не происходило, вводится ограничение значения очередного слагаемого интегральной суммы при помощи зоны линейного действия интегральной составляющей $2X_u = 1/\tau_i$ (аналогично рис. 8.3, а с добавлением отрицательной зоны), которая задается программируемым параметром $P05$ ($P.05$):

$$\begin{cases} f(e_n) = e_i, & \text{при } |e_i| < X_u; \\ f(e_n) = P05, & \text{при } |e_i| > X_u, \end{cases}$$

т.е. в диапазоне значений от $e_i = 0$ до $e_i = \pm X_u$ имеем $f(e_n) = e_i$, а за пределами диапазона происходит ограничение $f(e_n)$.

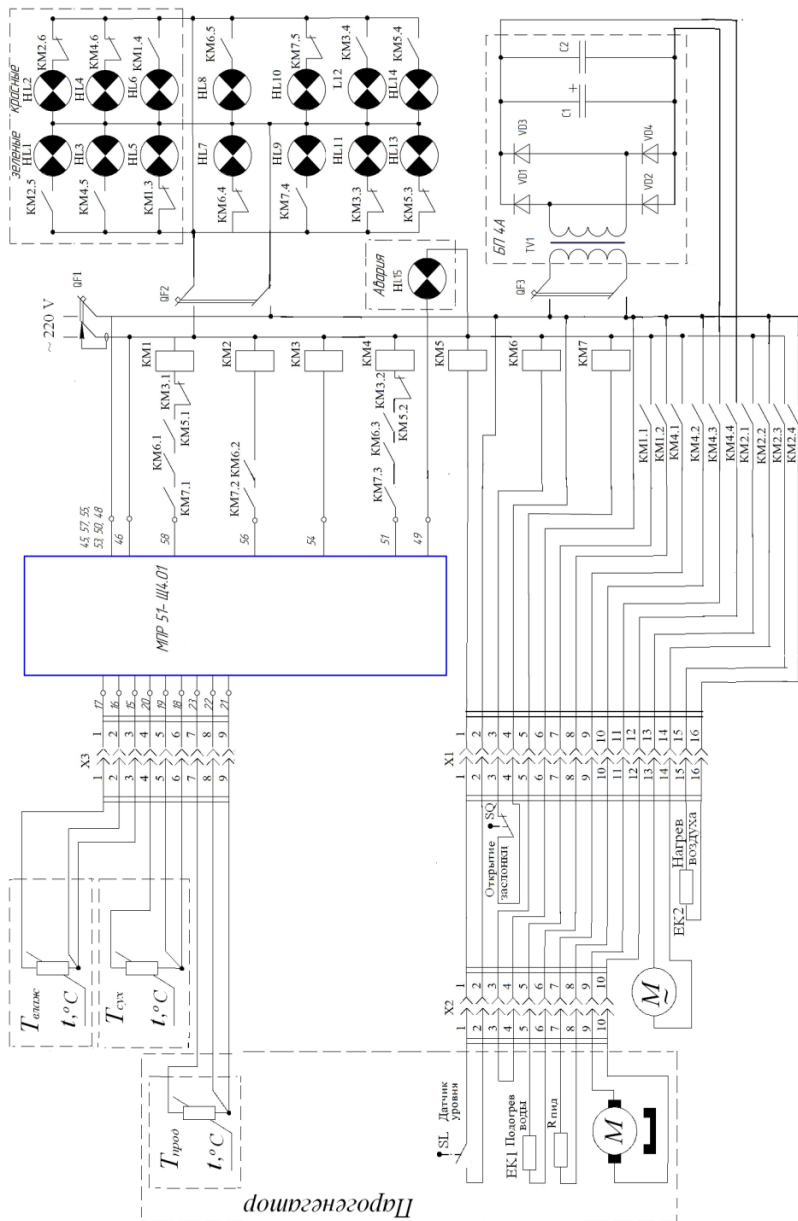


Рис. 8.4. Принципиальная схема лабораторного стенда

В макете (рис. 8.4) животноводческого помещения (далее камера) установлено три терморезисторных датчика типа ТСМ-50М, измеряющих температуры $T_{\text{сух}}$ (газовой среды в камере), $T_{\text{влаж}}$ (с увлажненным фитилем на чувствительном элементе датчика) и $T_{\text{прод}}$ (продукта в камере).

В контроллере МПР51-Щ4 (рис. 8.5) вычисляется величина $\Delta T = T_{\text{сух}} - T_{\text{прод}}$ и относительная влажность воздуха, определяемая по психрометрическому методу:

$$\psi = \frac{P_{\text{влаж}}}{P_{\text{сух}}} - \frac{A P_{\text{атм}} (\dot{O}_{\text{прод}} - \dot{O}_{\text{влаж}})}{P_{\text{сух}}},$$

где $P_{\text{влаж}}$ – максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре воздуха $T_{\text{влаж}}$, Па; $P_{\text{сух}}$ – максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре воздуха $T_{\text{сух}}$, Па; $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па (принято $P_{\text{атм}} = 101308 \text{ Па}$); A – психрометрический коэффициент (психрометрическая постоянная). Микропроцессорный контроллер МПР51-Щ4 выполняет следующие основные функции (табл. 8.2): а) измерение $T_{\text{сух}}$, $T_{\text{влаж}}$, $T_{\text{прод}}$ и регулирование температур по двум независимым каналам; б) измерение относительной влажности воздуха; в) задание программы управления с защитой ее от несанкционированного доступа; г) определение текущего положения задвижек при наличии у них резистивных датчиков положения; д) сигнализацию об обрыве или коротком замыкании в линии «прибор – датчик»; е) регистрацию измеренных параметров на компьютере (при помощи адаптера интерфейса АС2 ОВЕН). В блоках ВХОД1...ВХОД5 осуществляется преобразование физических процессов, измеряемых датчиками, в электрический сигнал, согласование с датчиками, усиление сигналов и их аналого-цифровое преобразование. Для ослабления влияния внешних импульсных помех на качество управления САУ в контроллере предусмотрена фильтрация результатов измерений входных величин низкочастотными цифровыми фильтрами первого порядка, осуществляемая независимо для каждого канала измерения, а также при определении влажности. Для каждого канала измерения в отдельности можно при необходимости вводить свою постоянную времени фильтра (программируемые параметры $d01$, $d02$, $d03$, $d04$, $d05$, $d06$). При значении программируемого параметра фильтра, равном нулю,

фильтрации не происходит. При увеличении значения параметра возрастет инерция изменения показаний датчика.

В пределах схемы стенда возможно только изменение параметров контроллера на уровне программирования L2 без изменения соединений элементов.

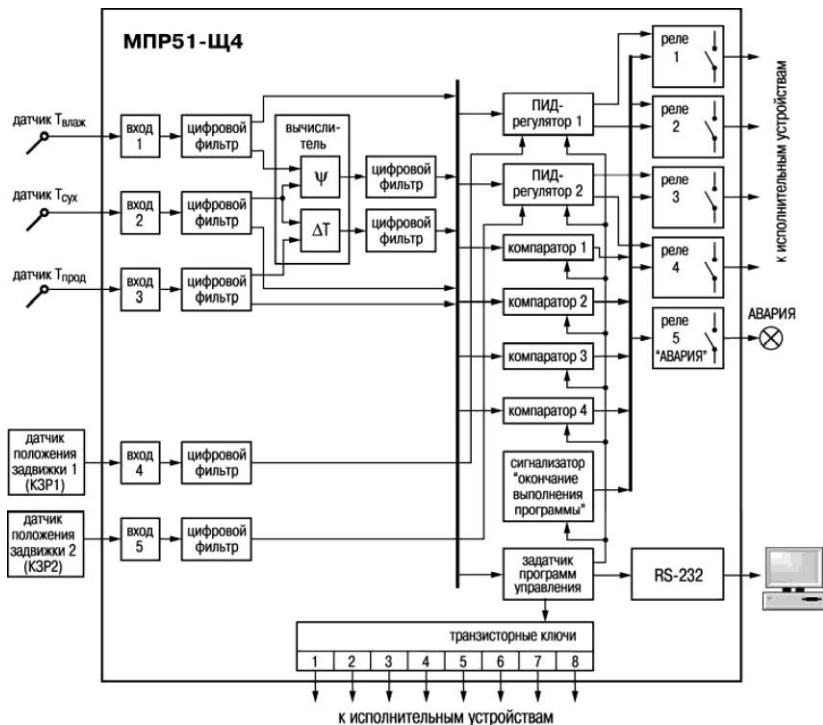


Рис 8.5. Структурная схема контроллера МПП51-Щ4

В САУ используются 2 ПИД-регулятора, 2 компаратора и 5 реле. Транзисторные ключи в схеме стенда не используются, но они могут быть введены в схему при дальнейшем ее развитии. ПИД-регулятор №1 используется в системе автоматической стабилизации температуры в камере. На вход системы поступает процесс изменения во времени температуры $T_{сух}$ в камере, выход контроллера программно связан с промежуточным реле №2, которое коммутирует магнитный пускатель КМ2. Пускатель осущест-

вляет коммутацию двигателя привода вентилятора и нагревательного элемента с источником питания (сетью 220 В). ПИД-регулятор №2 используется в системе автоматической стабилизации влажности в камере.

На вход системы поступает процесс изменения влажности $T_{\text{влаж.}}$, а выход программно связан с промежуточным реле №4, которое коммутирует магнитный пускатель КМ4. Пускатель осуществляет коммутацию двигателя привода вентилятора и нагревательного элемента с источником питания (сетью 220 В). Нагревательный элемент обеспечивает нагревание воды в парогенераторе, а вентилятор - повышенную циркуляцию воздуха в парогенераторе. Реле №5 срабатывает при возникновении аварийной ситуации.

Кроме того, в системе реализован релейный закон управления, осуществляемый с помощью двух регуляторов, построенных на компараторах. Регулятор с компаратором №1 поддерживает температуру воды не ниже 60°C . На вход регулятора поступает процесс изменения температуры $T_{\text{прод}}$ в парогенераторе, а его выход программно связан с промежуточным реле №1, которое коммутирует магнитный пускатель КМ1. Пускатель осуществляет коммутацию нагревательного элемента, находящегося в парогенераторе, с источником питания (сетью 220 В).

Технические характеристики контроллера МПР51-Щ4 Таблица 8.2

Наименование	Значение
<i>Каналы измерения температуры</i>	
Количество каналов	3
Диапазон измерений, $^{\circ}\text{C}$, при использовании:	
датчиков ТСМ	-50...+200
датчиков ТСП	-80...+750
Разрешающая способность, $^{\circ}\text{C}$	0,1
Предел основной приведенной погрешности, %	0,5
<i>Канал измерения относительной влажности</i>	
Диапазон температур, измеряемых «сухим» датчиком, $^{\circ}\text{C}$	+10...+95
Диапазон измерения, %	1...99
Разрешающая способность, %	1
Предел основной приведенной погрешности	
при температурах +10...+49,9 $^{\circ}\text{C}$ «сухого» датчика, %	5
%, не более	

Продолжение таблицы 8.2

Наименование	Значение
при температурах +50...+95 оС «сухого» датчика, %, не более	4
Период измерения входных величин, с, не более	6,5
<i>Каналы управления</i>	
Количество каналов	2
Количество компараторов	0...4
Количество выходных реле	5
Количество выходных транзисторных ключей	8
Период следования управляющих импульсов на выходе регулятора, с	1...120
Максимально допустимый ток нагрузки устройств управления:	
электромагнитного реле (при ~220 В, $\cos \varphi \leq 0,4$; или ~30 В), А	4
транзисторного ключа (при постоянном напряжении ~50 В), мА	200
<i>Каналы контроля положения задвижек</i>	
Количество каналов	2
Диапазон контроля, %	0...100
Разрешающая способность, %	1
<i>Другие характеристики</i>	
Диапазон переменного напряжения питания:	
напряжение, В	150...245
частота, Гц	47...63
Диапазон напряжения питания постоянного тока, В	210...300
Потребляемая мощность, ВА, не более	12
Интерфейс связи с ЭВМ (через адаптер сети AC2 для модификаций «токовой петли» или через адаптер сети AC3-M для модификаций RS-485)	RS-232
Длина линии связи прибора с AC2 (токовая петля), м, не более	3
Длина линии связи прибора с AC3-M (RS-485), м, не более	1200
Степень защиты со стороны лицевой панели	IP54
Габаритные размеры корпуса прибора, мм	(96×96×145) ±1

Продолжение таблицы 8.2

Наименование	Значение
Масса прибора, кг, не более	1,0
Средний срок службы прибора, лет	8
Примечание. 1. Пределы основных приведенных погрешностей измерения указаны без учета погрешностей датчиков. 2. При работе с датчиками погрешность канала измерения суммируется с погрешностью самого датчика.	

Регулятор с компаратором №2 ограничивает верхний предел температуры в парогенераторе уровнем 90^0 С. На вход регулятора поступает процесс изменения температуры T_{prod} в парогенераторе, а его выход программно связан с промежуточным реле №3, которое управляет магнитным пускателем КМ3.

Компаратор – сравнивающий элемент, предназначенный для сравнения входной величины с заданным значением (уставкой); при этом компаратор имеет два состояния, изменяющееся, если входная величина достигает уставки. Компараторы используются: а) для релейного двухпозиционного регулирования; б) для включения (выключения) оборудования при достижении управляющим сигналом установленного уровня или выходе его за установленные пределы; в) для оповещения об аварийных или близких к аварийным ситуациям (сигнал ТРЕВОГА); г) для включения (выключения) оборудования по истечении заданного времени. Программируемые параметры **c01... c10** для каждого компаратора устанавливаются на уровне L1 (табл. 8.3) для каждой программы в целом (отдельно для каждого шага задать уставки и другие параметры компаратора нельзя). На вход компаратора подается одна из пяти измеряемых или вычисляемых входных величин ($T_{сух}$, T_{prod} , $T_{влаж}$, ΔT , ψ) непосредственно или входной сигнал, поступающий на вход одного из регуляторов (параметр **c01**).

Определение положения задвижки осуществляется с помощью резистивного датчика ($R=100...1000$ Ом). Положение задвижки отображается на индикаторе «ПАРАМЕТР» в процентах 0...100% (от закрытого к открытому).

На передней панели лабораторного стенда находятся сигнальные лампы: состояния (HL1...HL6); аварийные (HL7...HL15). Для ламп HL1...HL6 зеленый цвет указывает на включенное состояние пускателей,

красный - на выключенное. Для ламп HL7...HL15 зеленый цвет указывает, что данный параметр находится в оптимальных пределах (например, уровень воды, состояние шлейфов и др.), а красный - что данный параметр не соответствует норме, и необходимо обратить на него внимание (обрыв шлейфа, открытие камеры и др.).

Предусмотрена защита системы от пуска при отсутствии воды в парогенераторе. Для этого используются датчик уровня воды в парогенераторе и магнитный пускатель КМ5. С помощью контактного датчика и магнитного пускателя КМ6 осуществляется контроль состояния верхней крышки камеры. При открытой крышке не допускается работа системы микроклимата. Подключение основного шлейфа Х1 осуществляется при помощи реле №7, это защищает систему от возможных замыканий и обеспечивает электробезопасность персонала. Неисправность шлейфа терморезисторов контролируется лампой HL15 контроллера МПР51 – Щ4.

Органы управления и индикация контроллера

Контроллер может функционировать в следующих режимах: ОСТАНОВ; РАБОТА; ПРОГРАММИРОВАНИЕ. Контроллер может находиться либо в режиме РАБОТА, либо в режиме ОСТАНОВ. Работа в режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ происходит на фоне режимов ОСТАНОВ или РАБОТА. Режим ОСТАНОВ – это исходный режим, в который контроллер автоматически переходит при включении питания. В этом режиме контроллер функционирует как измеритель и индикатор, регулирование не происходит, компараторы не работают. Режим РАБОТА – это режим задатчика-регулятора, при котором контроллер осуществляет регулирование по заданной пользователем программе управления; регуляторы и компараторы работают, происходит отсчет времени от начала выполнения программы.

На лицевой панели контроллера (рис. 8.6) расположены кнопки, предназначенные для управления прибором в различных режимах, а также цифровые и точечные светодиодные индикаторы, служащие для отображения текущей информации о параметрах и режимах работы контроллера.

Цифровой индикатор «ЧАСЫ: МИНУТЫ» в режимах ОСТАНОВ и РАБОТА указывает время от начала работы программы; в режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ – имя задаваемого (просматриваемого) параметра.

Цифровой индикатор «ПАРАМЕТР» отображает значения температур, полученных по трем каналам измерения ($T_{\text{сух}}$, $T_{\text{влаж}}$, $T_{\text{прод}}$) и положение задвижек, определенное по двум каналам (КЗР1 и КЗР2). Индикация температуры в зависимости от параметра **002** выполняется в двух режимах: при **002=000** температура индицируется с точностью до 1°C; при **002=001** - с точностью 0,1°C. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ на этот индикатор выводится значение задаваемого (просматриваемого) параметра. Индикация измеряемых величин производится автоматически (**011=001**) или вручную (**011=000**).

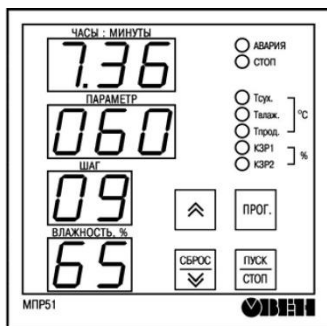


Рис. 8.6. Лицевая панель контроллера

Цифровой индикатор «ШАГ» в режимах ОСТАНОВ и РАБОТА указывает номер шага программы. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ на уровне L1 при задании или просмотре параметров компараторов на цифровом индикаторе «ШАГ» указывается номер компаратора. По окончании работы программы индицируется слово «**Ed**» (сокр. англ. «**End**» – конец).

Цифровой индикатор «ВЛАЖНОСТЬ, %» показывает влажность или номер программы в зависимости от значения параметра **002** (табл. 8.5) управляющего выводом на этот индикатор. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ на уровнях L2, L3, L4 на этом индикаторе высвечивается номер уровня.

Светодиод «АВАРИЯ» загорается при выходе значения входного параметра за пределы допустимых значений, а также после окончания работы программы. Светодиод «СТОП» загорается, когда контроллер находится в режиме ОСТАНОВ. Пять зеленых светодиодов указывают канал из-

мерения, показания которого выведены на цифровой индикатор «ПАРАМЕТР».

Кнопка  «вверх» в режиме ОСТАНОВ и РАБОТА предназначена для перехода между входными величинами, отображаемыми на индикаторе «ПАРАМЕТР». В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ она служит для перехода между параметрами при их просмотре и увеличении значения программируемого параметра.

Кнопка  «прог.» предназначена для входа в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ, перехода на различные уровни основного меню, а также для занесения в память выбранного значения программируемого параметра.

Кнопка  «вниз» в режиме ОСТАНОВ служит для перехода в начало первого шага программы и сброса сигнала АВАРИЯ. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ – для уменьшения значения программируемого параметра.

Кнопка  «пуск/стоп» переводит прибор из режима ОСТАНОВ в режим РАБОТА и обратно. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ с помощью этой кнопки осуществляется выход из текущего уровня в основное меню без записи нового значения программируемого параметра, а из основного меню осуществляется выход из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ).

8.2. Программирование САУ микроклиматом

Задатчик программ управления служит для задания уставок регуляторов и компараторов, режимов работы транзисторных ключей Программы управления (технолога) создаются пользователем в соответствии с технологическим процессом, каждой стадии технологического процесса соответствуют отдельные участки программы технолога – шаги. Параметры программы технолога состоят из параметров собственно программы и параметров шага. *Параметры программ* включают параметры, относящиеся непосредственно к программе (**H01** и **H02**), и параметры компараторов – **c01...c10** (табл.8.3). С помощью параметра **H01** задаётся число шагов программы, а с помощью параметра **H02** возможно создание циклов. Циклы могут состоять из нескольких шагов, например, при организации суточного цикла работы помещения, или из одного шага, например, при регулировании температуры и влажности в помещениях, где поддерживаются постоянные климатические условия.

Параметры шагов. Каждый шаг программы описывается тремя группами параметров: параметры **n01...n08** задают режимы работы транзисторных ключей; параметры **Y01...Y05** - условия перехода от одного шага к другому; параметры **E01...E05 (E.01...E.05)** - уставки для 1-го (2-го) регуляторов. Шаг программы управления (программы технолога) может быть задан: а) по длительности (по времени), **Y01=001**; б) по достижении установленного значения управляемой величины, **Y01=000**; в) по выполнении первых двух условий; шаг окончится по событию, произошедшему последним: если истекло установленное время шага, то по достижении управляемой величиной установленного значения, и наоборот, **Y01=002**; г) по выполнении первых двух условий; шаг окончится по событию, произошедшему первым: по истечении времени шага, если не достигнуто установленное значение управляемой величины, и наоборот, **Y01=003**.

Условия перехода к следующему шагу в зависимости от значения температур $T_{\text{сух}}$, $T_{\text{влаж}}$, $T_{\text{прод}}$, ΔT и влажности ψ по отношению к их уставкам задаются параметром **Y02**. Уставка температуры (или влажности), по достижении которой произойдет переход к следующему шагу, задается параметром **Y03**. Время длительности шага задается параметрами **Y04** и **Y05**. Максимально возможная уставка для часов – 63 часа, а для минут – 59 минут.

Параметры 1-го (2-го) регуляторов на данном шаге. Входная величина регулятора задается параметрами **E01** (для 1-го регулятора) и **E.01** (для 2-го регулятора). Уставка входной величины 1-го (2-го) регуляторов задается параметрами **E02 (E.02)** – целая часть, **E03 (E.03)** – дробная часть. Скорость выхода управляемой величины на уставку задается параметрами **E04 (E.04)** – значение скорости выхода на уставку; **E05 (E.05)** – знак скорости (положительный – рост входной величины, отрицательный – снижение входной величины).

Разбиение памяти на программы и шаги. Программы управления можно создавать с разным числом шагов. Поскольку объем памяти ограничен, предусмотрен жесткий порядок разбиения памяти, отведенной для программ технолога: чем больше число шагов в программе, тем меньше число возможных программ, и наоборот. Поэтому максимальное число шагов следует определять заранее, на этапе подготовки контроллера к работе. Требуемый по условиям технологического процесса тип разбиения

памяти задается программируемым параметром **o10** (табл. 8.5). Задавая число шагов в программе с помощью программируемого параметра **H01**, следует иметь в виду, что их число будет ограничено значением параметра **o10**.

Режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ предназначен для установки значений параметров работы контроллера, необходимых при эксплуатации, записи их в энергонезависимую память МПР51-Ц4, а также просмотра значений параметров. В контроллере предусмотрено программирование параметров на четырех уровнях: на уровне L1 задаются значения параметров программ управления; на уровне L2 задаются значения параметров, общих для всего контроллера, и значения параметров регулирования; на уровне L3 задаются значения параметров автонастройки ПИД-регуляторов; на уровне L4 задаются значения параметров калибровки датчиков температуры и положения задвижки.

Основное меню режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ (рис.8.7)

По вертикали расположены изображения того, что индицируется на верхнем индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ», на который выводятся имена программируемых параметров, общих для всего контроллера, и параметров регулирования. Линии со стрелками указывают направления перехода с одного уровня программирования на другой, изображения кнопок около линий показывают, с помощью какой кнопки можно перейти с уровня на уровень.

Для входа в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ надо нажать кнопку «прог.», при этом на верхнем индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» замигает сообщение «**PrG**». Для выбора уровня программирования необходимо после появления сообщения «**PrG**» нажать кнопку «вверх», прибор перейдет на уровень L1; дальнейшее нажатие этой кнопки позволяет последовательно перейти на уровни программирования L2, L3, L4 и далее - в «нижнее» состояние «**Out**» основного меню (означает окончание списка параметров, в данном случае - списка уровней программирования). При этом на индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» высвечивается наименование каждого уровня и состояния. Нажатием кнопки «сброс/вниз» осуществляется обратный переход от уровня L4 к уровням L3, L2, L1, «**PrG**» и далее – в «верхнее» состояние «**Out**» основного меню.

Для перехода в подрежим выбора программы (шага) для исполнения необходимо после появления сообщения «PrG» нажать кнопку «прог.».

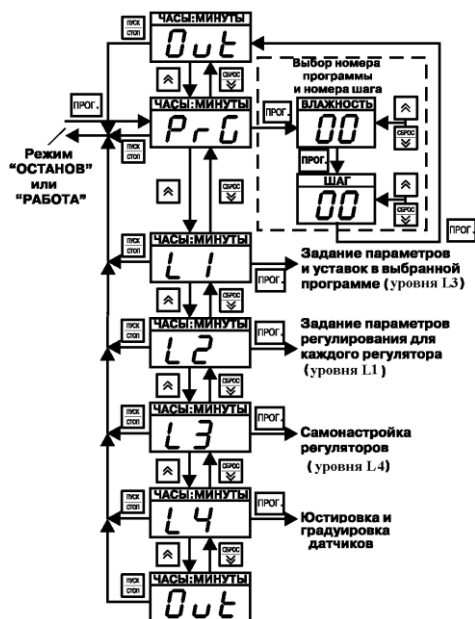


Рис. 8.7. Основное меню режима программирования

Контроллер перейдет в подрежим выбора программы (шага) для исполнения (на рис. 8.7 справа сверху обведенную пунктиром часть схемы). При этом на индикаторе «ВЛАЖНОСТЬ» индицируется номер программы. С помощью кнопок «вверх» или «вниз» устанавливается номер нужной программы, которая будет выполняться с первого шага.

Если программа должна выполняться не с первого шага, то, нажав кнопку «прог.», устанавливают кнопками «вверх» или «вниз» номера шага, с которого начнется выполнение программы; при этом на индикаторе «ШАГ» высвечивается номер шага. Для выхода из этого подрежима надо нажать кнопку «прог.» - происходит переход в «верхнее» состояние «Out», при этом на индикаторе «ВЛАЖНОСТЬ, %» высвечиваются прочерки, а на индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» появляется надпись «Out». Для последующего выхода из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ надо еще раз нажать кнопку «прог.».

Если вход в режим программирования осуществляется из режима РАБОТА, то после выхода из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ сразу начнется выполнение установленной программы (шага).

Выход из основного меню режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ осуществляется путем нажатия кнопки «пуск/стоп». Контроллер перейдет в тот режим, из которого был произведен вход в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

Программирование на уровне L2 (рис. 8.8). По вертикали расположены изображения верхнего индикатора «ЧАСЫ: МИНУТЫ», на который выводятся имена программируемых параметров, общих для всего прибора, и параметров регулирования. Группы параметров обведены пунктиром; полностью изображены только первый и последний параметры группы; параметры, находящиеся между ними, условно обозначены в виде узкого прямоугольника.

Переход от параметра к параметру происходит путем нажатия кнопки «вверх» или (вниз), направление перехода указано на рисунке стрелкой. Справа по вертикали расположены изображения индикатора «ПАРАМЕТР», на который выводятся значения программируемых параметров. Здесь же изображен sdвоенный индикатор: на верхнем индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» высвечивается имя кода доступа в уровень программирования - «**Cod**», на нижнем индикаторе «ПАРАМЕТР» - значение кода доступа, например, «000».

Вход в уровень L2 осуществляется следующим образом. Необходимо, находясь в основном меню на мигающем «L2», нажать кнопку «прог.». На sdвоенном индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» будет гореть надпись «**Cod**», на индикаторе «ПАРАМЕТР» будет мигать произвольное число (на рис. 8.8 число «000» изображено условно), на самом нижнем индикаторе отображается обозначение уровня L2.

В общем случае (когда параметр секретности «**Scr**» в уровне L2 равен 1 или 2) надо кнопками «вверх» и «вниз» установить код доступа в уровень L2: **Cod**=-13, и затем нажать кнопку «прог.». Если параметр **Scr**=3 (устанавливается при продаже), то можно сразу нажимать кнопку «прог.». Происходит переход к первому, общему для всего прибора параметру «**o01**» (см. середину рис. 8.8), при этом имя параметра «**o01**» мигает на индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ», значение параметра отображается на

индикаторе «ПАРАМЕТР». Для изменения значения параметра следует нажать кнопку «прог.». Имя параметра на индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» перестанет мигать, начнет мигать значение параметра на индикаторе «ПАРАМЕТР». Кнопками «вверх» и «вниз» надо установить требуемое значение параметра.

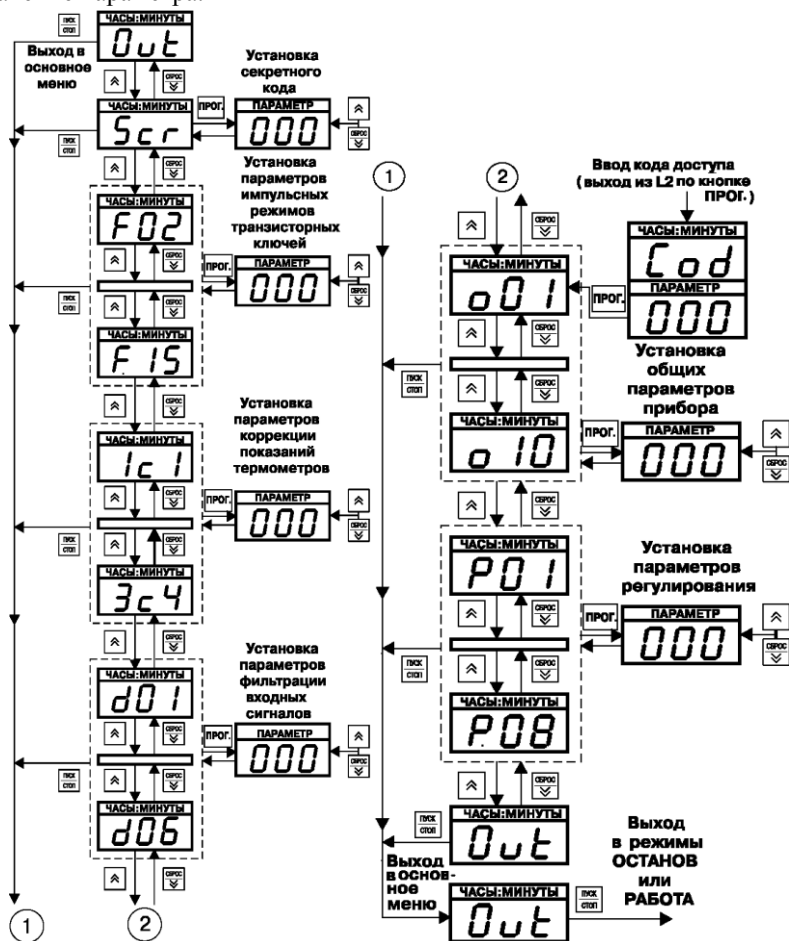


Рис. 8.8. Схема, поясняющая программирование на уровне L2 (1, 2 – точки соединения частей рисунка)

Для записи измененного значения надо нажать кнопку «прог.», новое значение запишется в память и произойдет переход к следующему параметру (на рис. 8.8 показано стрелками вниз). Если набрано неверное значение, то вместо кнопки «прог.» следует нажать кнопку «пуск/стоп», тогда записи в память нового значения и перехода к следующему параметру не произойдет.

Для просмотра значений параметров надо использовать кнопку «вверх», если надо перемещаться вниз по списку параметров, и кнопку «вниз», если надо перемещаться вверх по списку параметров. При этом на мигающем индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» отображается имя параметра, а на индикаторе «ПАРАМЕТР» - его значение. Таким образом, можно просмотреть значения всех параметров, не входя в режим изменения значения параметра.

Для выхода из режима L2 необходимо нажать кнопку «пуск/стоп», контроллер перейдет в состояние «**Out**» основного меню.

Программирование на уровне L1 (рис. 8.9).

На уровне L1 задаются значения параметров программ управления (программ технолога). На индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» отображаются имена параметров программ управления, на индикаторе «ПАРАМЕТР» - значения параметров (табл. 8.3). Все параметры, изображенные на рис. 8.9, кроме двух самых верхних и двух самых нижних прямоугольников, принадлежат только одной программе управления (программе технолога). Группы параметров обведены мелким пунктиром; крупным пунктиром обведены параметры, относящиеся к одному шагу программы. Переход от параметра к параметру происходит после нажатия кнопки «вверх» или «вниз», направление перехода указано на рис.8.9 стрелкой.

Вход в программу осуществляется нажатием кнопки «прог.». Выбор программы L1 осуществляется с помощью кнопок «вверх» или «вниз» (через код доступа **Cod**=987). После нажатия кнопки «прог.» происходит переход к выбору номера программы управления (программы технолога), значения параметров которой необходимо задать или просмотреть; при этом на верхнем индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» высвечивается имя первого параметра «**H01**», на индикаторе «ПАРАМЕТР» мигает число шагов в программе, на нижнем индикаторе мигает «01» – номер программы. Номер программы устанавливается с помощью кнопок «вверх» и «вниз».

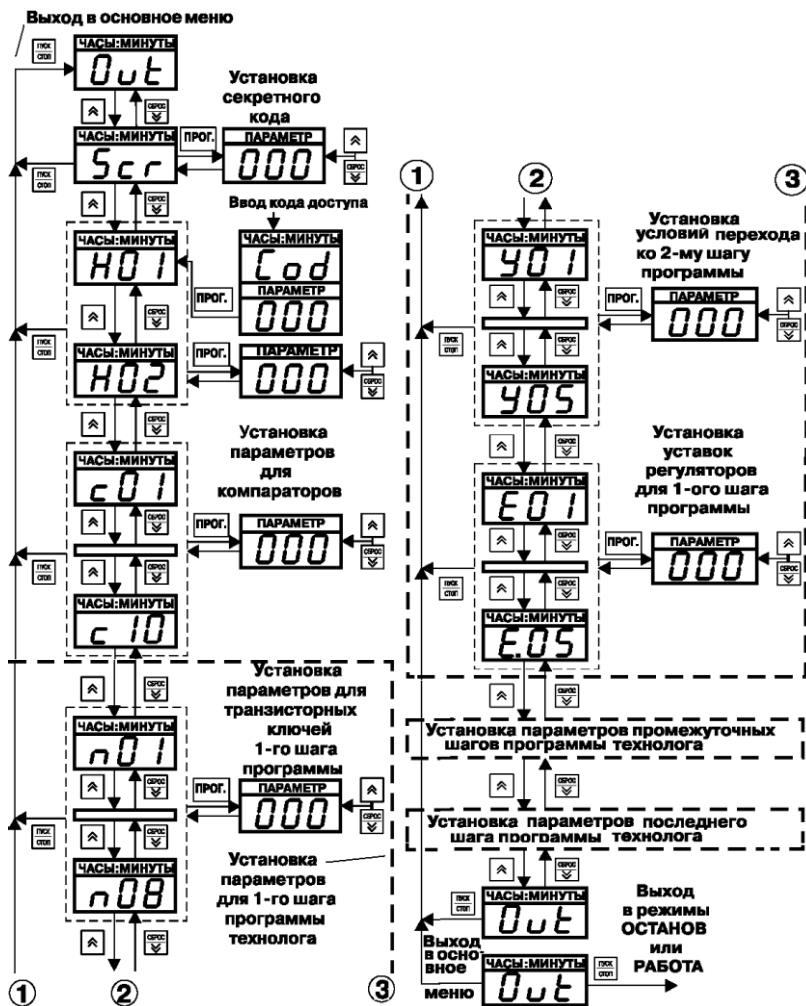


Рис. 8.9. Схема, поясняющая программирование на уровне L1 (1-3 – точки соединения частей рисунка)

Вход в выбранную программу осуществляется нажатием кнопки «прог.». Изменение, запись нового значения параметра, отказ от записи, а также просмотр значений параметров без записи производятся в том же порядке, что и при программировании на уровне L2. Выход из режима L1 осуществляется так же, как из режима L2.

Программирование на уровне L3 (рис. 8.10). На уровне L3 задаются значения параметров автонастройки ПИД-регуляторов. Вход в уровень L3 осуществляется также, как и в уровни L2 и L1 программирования, код доступа в уровень L3: **Cod**=465.

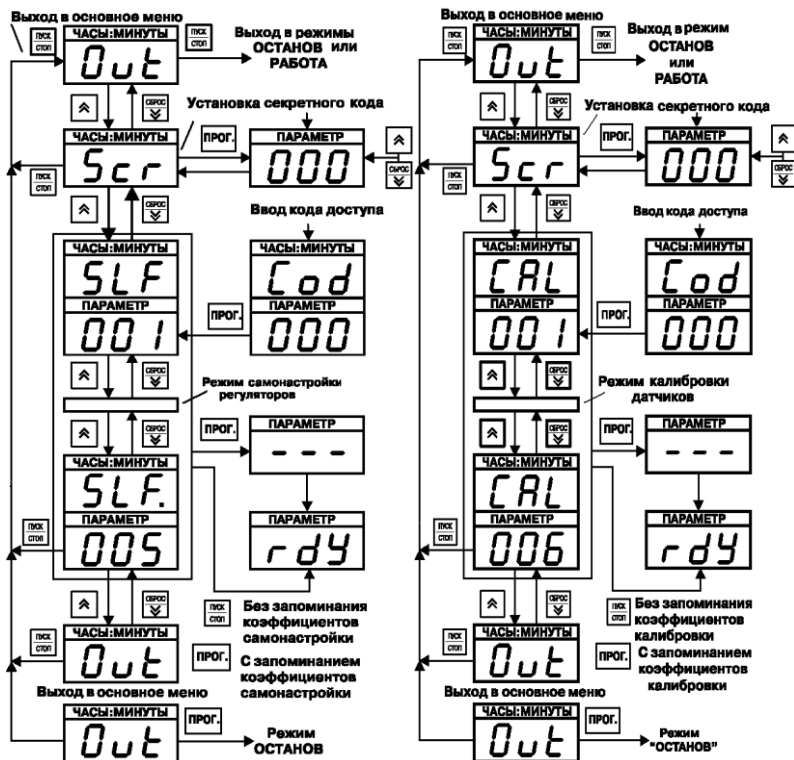


Рис 8.10. Схема, поясняющая работу на уровне L3

Рис 8.11. Схема, поясняющая работу на уровне L4

На индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» отображается имя программируемого параметра (**SLF** или **SLF.**), на индикаторе «ПАРАМЕТР» - значение параметра, определяющее, для какой входной величины производится автонастройка (табл. 8.5). На индикаторе «ПАРАМЕТР» во время процедуры автонастройки высвечиваются прочерки «---», по ее окончании появляется сообщение «**rdY**» (сокр. англ. «ready» - готово).

Программирование на уровне L4 (рис. 8.11)

На уровне L4 задаются значения параметров калибровки датчиков. Вход в уровень L4 осуществляется так же, как и в другие уровни, код доступа в уровень L4: **Cod=343**. На индикаторе «ЧАСЫ: МИНУТЫ» отображается имя программируемого параметра («**CAL**»). На индикаторе «ПАРАМЕТР» - значение параметра, определяющего вид калибровки (табл. 8.3). На индикаторе «ПАРАМЕТР» во время калибровки высвечиваются прочерки («---»), по ее окончании появляется сообщение «**rdY**».

Ручная настройка ПИД-регулятора осуществляется после составления таблиц программирования и программы технолога при многократном запуске технологического процесса для каждого нового значения одного из трех коэффициентов ПИД-регулятора (и, в некоторых случаях, для периода следования управляющих импульсов). Время установления выходного процесса (например, температуры) в лабораторном стенде при каждом новом значении коэффициентов составляет единицы минут.

Для подбора коэффициентов необходимо задать значения программируемых параметров **P01=000**, **P02=000**, **P03=000** (см. табл. 8.5), выставить уставку входного параметра и запустить составленную программу на этапе подготовки контроллера к работе. Контроллер будет поддерживать входную величину (например, температуру) возле уставки с большими колебаниями. Постепенно увеличивая значения параметра **P03** (т.е. осуществляя П-закон регулирования) надо добиться минимальных колебаний. Затем следует ввести интегральную составляющую (реализуя ПИ-закон регулирования), установив большое значение параметра **P02** (например, 500 или 800). Постепенно уменьшая значение **P02**, необходимо добиться минимального отклонения входной величины от уставки при максимальном значении **P02**. Затем нужно ввести дифференциальную составляющую (реализуя ПИД-закон регулирования), постепенно увеличивая значение параметра **P01**.

Автонастройка ПИД-регулятора предназначена для автоматического определения оптимальных значений коэффициентов ПИД-регулятора при работе конкретной САУ. Режим автонастройки 1-го (2-го) регуляторов реализуется с помощью программируемых параметров **SLF (SLF.)**, значения которых зависят от вида входной величины, для которой производится автонастройка. Перед началом процедуры сигнал на выходе регу-

лятора отсутствует. При запуске процедуры автонастройки регулятор выдает на свой выход максимальный сигнал и одновременно отслеживает сигнал на входе. Как только скорость изменения регулируемого параметра начнет уменьшаться, процесс автонастройки заканчивается, контроллер прекращает выдавать выходной сигнал и вычисляет коэффициенты ПИД-регулирования: постоянные времени дифференцирования, интегрирования, полосу пропорциональности, а также период следования управляющих импульсов. После этого вычисленные значения коэффициентов можно занести в память контроллера, в уровень L2. Время автонастройки зависит от свойств объекта (его инерционности) и может меняться от секунд до десятков минут.

Для проведения процедуры автонастройки нужно войти в уровень L3 режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ. В зависимости от вида входной величины, для которой производится автонастройка, установить значение параметра для 1-го (2-го) регулятора (табл. 8.5). Нажав кнопку «прог.», запустить процедуру автонастройки, при этом на индикаторе «ПАРАМЕТР» появятся мигающие прочерки; по окончании процедуры автонастройки на индикаторе «ПАРАМЕТР» появится сообщение «rdY», указывающее на завершение вычисления ПИД коэффициентов. Нажав кнопку «прог.», записать вычисленные ПИД коэффициенты в память контроллера. Если вместо кнопки «прог.» нажать кнопку «»пуск/стоп», то внесение в память новых значений ПИД коэффициентов не произойдет.

При отключении одного или обоих ПИД-регуляторов (параметры **PD1** и **P.D1** уровня L3), соответствующие ему параметры (**E0x** и **E.0x**) на уровне L1 становятся недоступными.

Таблица 8.3

Программа, набираемая в контроллере МПР51-Щ4

Уровень L1. Параметры программы технолога

Обозначение	Название	Значения	Комментарии
	<i>Параметры программ</i>		
H01	Количество шагов в программе	001	
H02	Номер шага программы, являющимся начальным шагом цикла	000	
	<i>Параметры компараторов C1 ... C4</i>		
C01 (1)	Входная величина	001	T_{prod} , град

Продолжение таблицы 8.3

Обозначение	Название	Значения	Комментарии
C02 (1)	Состояние выхода	001	1 реле
C03 (1)	1-я (верхняя) уставка	60	град
C04 (1)	2-я (нижняя) уставка	60	град
C05 (1)	Логика работы	001	*)
C06 (1)	Блокировка срабатывания до 1-го достижения уставки в начале программы	000	Откл.
C07 (1)	Блокировка срабатывания до 1-го достижения уставки в начале шага	000	Откл.
C08 (1)	Блокировка срабатывания до нажатия кнопки «СБРОС»	000	Откл.
C09 (1)	Время задержки срабатывания	000	с
C10 (1)	Время задержки отпускания	000	с
C01 (2)	Входная величина	001	T_{prod} , град
C02 (2)	Состояние выхода	003	3 реле
C03 (2)	1-я (верхняя) уставка	90	град
C04 (2)	2-я (нижняя) уставка	90	град
C05 (2)	Логика работы	000	**))
C06 (2)	Блокировка срабатывания до 1-го достижения уставки в начале программы	000	Откл.
C07 (2)	Блокировка срабатывания до 1-го достижения уставки в начале шага	000	Откл.
C08 (2)	Блокировка срабатывания до нажатия кнопки «СБРОС»	000	Откл.
C09 (2)	Время задержки срабатывания	000	с
C10 (2)	Время задержки отпускания	000	с
	Параметры шагов		
U05	Длительность шага	30	мин

*) Реле замыкается при значении, меньшем нижней уставки, а размыкается – при значении, большем верхней уставки.

**) Реле компаратора замыкается при значении, большем верхней уставки, а размыкается – при значении, меньшем нижней уставки.

Таблица 8.4

Параметры 1-го (2-го) регуляторов на данном шаге

Обозначение	Название	Значения	Комментарии
E01	Входная величина регулятора	002	$T_{\text{вх}}$ в камере, град
E02	Уставка входной величины (целая часть) – XXX.	40	град, задается только целая часть XXX, уставки XXX.X
E03	Уставка входной величины (дробная часть) – .00X	00	град, задается только дробная часть .00X уставки XXX.X
E04	Скорость выхода на уставку	05.0	град/мин
E05	Знак скорости выхода на уставку	000	Рост входной величины
E.01	Входная величина регулятора	005	Влажность Ψ , %
E.02	Уставка входной величины (целая часть) – XXX.	35	град, задается только целая часть XXX, уставки XXX.X
E.03	Уставка входной величины (дробная часть) – .00X	00	град, задается только дробная часть .00X уставки XXX.X
E.04	Скорость выхода на уставку	05.0	град/мин
E.05	Знак скорости выхода на уставку	000	Рост входной величины

Таблица 8.5

Уровень L2. Общие параметры

Обозначение	Название	Значения	Комментарии
Основные параметры работы контроллера			
o01	Тип термодатчиков	000	TSM (50M/100M)
o02	Индикация десятых долей измеренной величины на индикаторе «ПАРАМЕТР»	001	Индикация с десятичными долями
o03	Управление индикатором «ВЛАЖНОСТЬ»	001	Индикатор указывает влажность
o06	Психрометрический коэффициент для вычисления влажности	064... 080	Зависит от внешних условий
Параметры 1-го (2-го) ПИД-регуляторов			
P01(P.01)	Постоянная времени дифференцирования	000... 999	с
P02(P.02)	Постоянная времени интегрирования	000... 999	с
P03(P.03)	Полоса пропорциональности	000... 999	град.
P04(P.04)	Период следования выходных импульсов	000... 120	с
P05(P.05)	Зона действия интегральной составляющей	000... 999	град.
P06(P.06)	Ограничение максимальной мощности	000... 99	%
P07(P.07)	Тип исполнительного устройства	002	Коммутирует реле P2 (P4) как «нагреватель»
Уровень L3. Самонастройки 1-го (2-го) ПИД-регуляторов			
SLF (SLF.)	Входная величина, для которой производится самонастройка	002 (005)	Температура продукта (относительная влажность)

8.3. Составление отчета

Для дистанционной передачи данных с контроллера МПР51-Щ4 служит порт RS-232 («токовая петля»). Для связи контроллера с компьютером используется адаптер АС – 2, который обеспечивает также гальваническую развязку контроллер – компьютер. Составление отчета производится с помощью пакета программ **Owen Process Manager (OPM)** для сбора данных в реальном времени. OPM состоит из двух независимых подсистем: OPM - для разработки описаний технологических процессов и их сохранения в компьютере, запуска процессов на исполнение, опроса всех подсоединенных приборов и контроллеров с периодичностью, отображения результатов этого опроса в главном окне системы, а также сброса получаемых значений в файлы отчета; Owen Report Viewer (ORV) - для отображения сохраненной в архивных файлах информации в виде настраиваемых пользователем таблиц и графиков.

Создание описания технологического процесса начинается с запуска подсистемы Owen Process Manager. При ее запуске пользователь попадает в главное окно, в котором выполняются основные работы по созданию схем технологических процессов и в котором отображается состояние процесса, запущенного на исполнение. Это окно содержит панель управления и меню, позиции которого обеспечивают основные операции управления подсистемой. На рис. 8.12 показан начальный вид главного окна и описаны основные управляющие элементы.

С помощью левой клавиши (ЛК) мыши необходимо перейти в одну из пяти зон отображения в главном окне «Process Manager» или выбрать соответствующий пункт в меню «Вид». Затем необходимо создать ссылку на контроллер (прибор) для получения измеренных данных и представить их в удобном виде (например, с поясняющей подписью в виде графика, с контролем на выход за определенные границы и т.п.) После настройки интерфейса и контроллера необходимо определить, какие параметры будут отображаться на графиках, какие значения будут контролироваться на выходе за определенные пределы, с какой частотой и какие параметры архивируются. Нажатием кнопки «Работа с зоной отображения №1» переходят к окну зоны отображения №1.

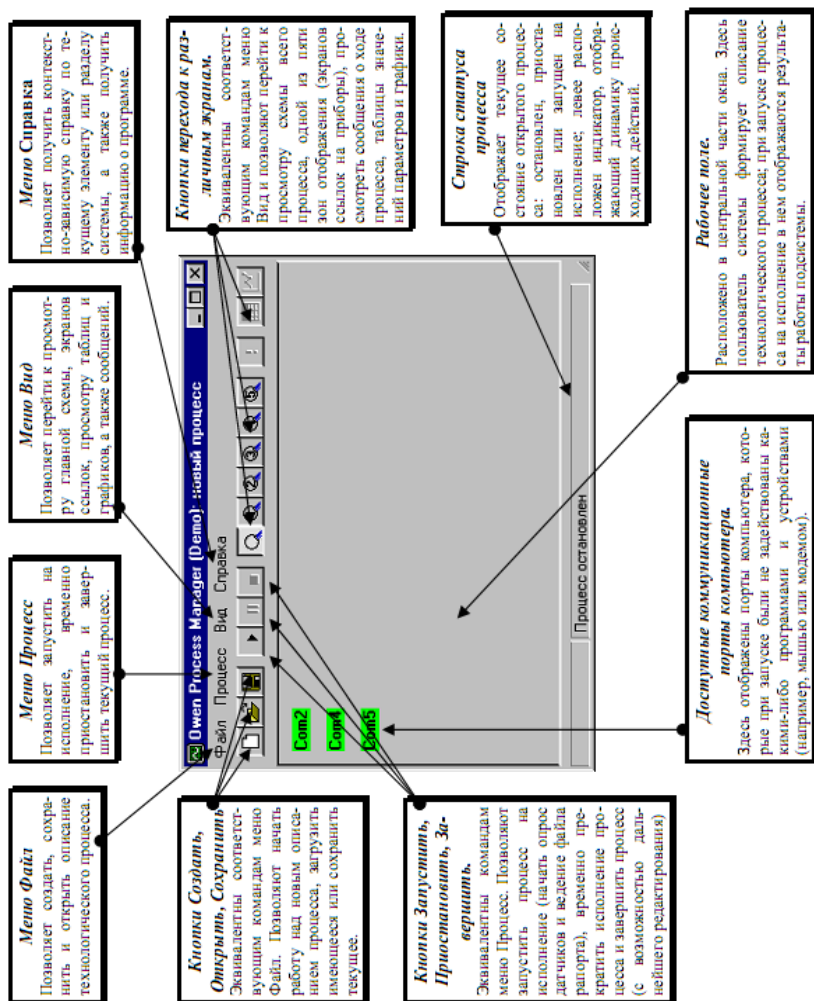


Рис. 8.12. Главное окно подсистемы Owen Process Manager

В рабочем поле зоны отображения вызывается всплывающее меню и выбирается из него пункт «Добавить ссылку». Появляется окно заполнения свойств «Новая ссылка», с помощью которого пользователь настраивает параметры ссылки (рис 8.13).

Нажать правую кнопку мыши на любом пустом месте экрана проекта. На появившемся контекстном меню «Новая ссылка» на закладке «Вид» выбрать текст для отображения, его шрифт, цвет, заливку, положение и размер ссылки.

На закладке «Ссылка» имеются следующие функции. «Прибор» - в этом поле выбирается контроллер (прибор), с которым будет связана ссылка. «Канал» - указывается номер канала в случае многоканального контроллера (прибора), данные из которого будут отображаться в ссылке и (или) на графике. Например, регулятор температуры МПР51 – Щ4 имеет три канала измерения, к ссылке можно подключить любой из них. «Описание» - указывается название ссылки, под которым оно заносится в архив. Текст, набранный в большом окне, будет выводиться на изображении ссылки в зоне отображения. «Шрифт» - выбор параметров шрифта. «Рамка» - вокруг поля ссылки может быть установлена рамка. «Заливка» - цвет заливки области ссылки. «Протокол и график» - выводится значение параметра и строится его график. «Протоколировать данные через» - для записи значений в архив должна быть проставлена галочка в чек-боксе и в той же строке должен быть выбран период протоколирования. «Контроль диапазонов» – предупреждает о выходе измеряемого параметра за допустимые границы. Ниже в окне можно выбрать взаимное расположение графика и подписи к нему, а также количество точек, выводимое на график в режиме реального времени. «Цвет» - выбор цвета линии графика. «Отображать минимальное и максимальное значения» - минимальное и максимальное значение параметра отображается на графике. «Шкала времени» - отображается временная шкала.

Просмотр архивных данных. Подсистема *Owen Report Viewer* обеспечивает отображение сохраненной информации в виде таблиц и графиков. Переключением закладок «Таблица» и «График» можно получить данные либо в табличном, либо в графическом виде. По умолчанию выводятся данные по всем сохраненным в архив ссылкам. Данные могут быть распечатаны на принтере. Пример построения графика показан на рис. 8.14.

8.4. Программа и порядок выполнения работы

1. Изучить принцип работы технологического оборудования макета.

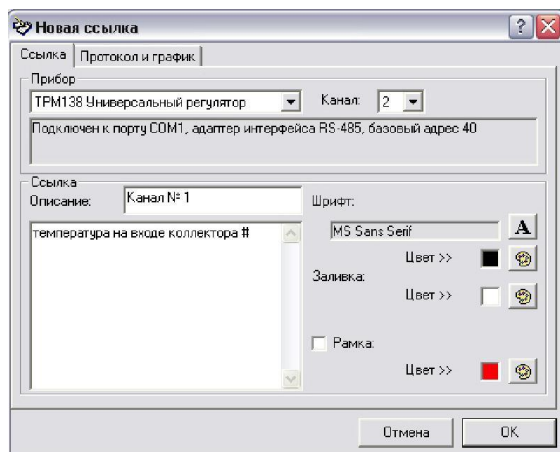


Рис. 8.13. Окно ссылки Owen Process Manager

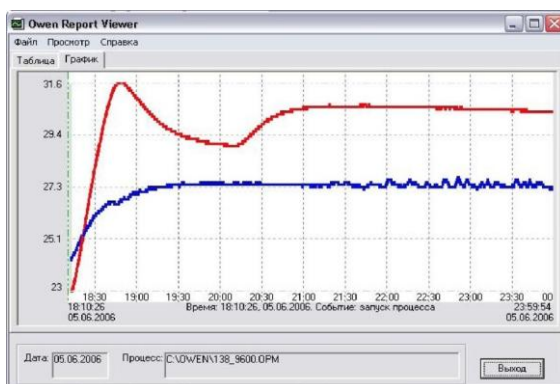


Рис. 8.14. Пример построения графика

2. Изучить принципы работы микропроцессорных систем автоматического управления и типовых законов регулирования (Т-релейного; П-, И-, ПИ-, ПД- и ПИД) технологическими процессами микроклимата. Изучить принцип работы контроллера и методику его программирования. Изучить принцип составления отчета с помощью компьютера.

3. Включением тумблера «Сеть» подать напряжение на щит управления. Если на верхнем индикаторе появляется сообщение «**R01**», следует нажать кнопку «сброс». Контроллер находится в режиме ОСТАНОВ, для исполнения автоматически установлена первая программа и первый шаг.

4. Руководствуясь п. 8.2 и таблицами 8.3...8.5, составить программу для контроллера.

5. Понаблюдать за работой САУ в режиме Т-регулирования. Измерить и записать интервал времени от начала до окончания работы регуляторов.

6. В режиме АВТОНАСТРОЙКА, наблюдая за работой САУ, записать параметры ПИД-регулятора: постоянные времени дифференцирования и интегрирования, полосу пропорциональности, а также период следования управляющих импульсов. Зарегистрировать переходные процессы на компьютере.

7. Произвести ручную настройку регуляторов. По заданию преподавателя (согласно варианта табл. 8.6) установить параметр П-регулятора, затем И, ПИ, ПД, и ПИД-регуляторов. Каждый раз необходимо наблюдать за работой САУ и регистрировать переходные процессы на компьютере.

8. Руководствуясь п. 8.2, составить отчет, с приведением требуемых графиков. Распечатать отчет на принтере.

Таблица 8.6

Законы регулирования	Варианты значений параметров регулятора				
П <i>P03</i>	5	10	15	20	25
И <i>P02</i>	500	400	300	200	100
ПИ <i>P03, P02</i>	5, 500	10, 400	15, 300	20, 200	25, 100
ПД <i>P03, P01</i>	5, 5	10, 10	15, 15	20, 20	25, 25
ПИД <i>P03, P02, P01</i>	5, 500, 5	10, 400, 10	15, 300, 15	20, 200, 20	25, 100, 25

Контрольные вопросы

1. Объясните назначение и состав технологического оборудования лабораторного макета. Дайте краткую оценку работы САУ на примере взаимодействия технологического оборудования макета в течение производственного цикла.

2. Объясните назначение, устройство и принцип действия элементов автоматики, входящих контроллер и в САУ: датчиков, АЦП, реле, фильтров, компараторов.

3. Поясните, как работает САУ технологическими процессами при Т-, П-, И-, ПИ-, ПД- и ПИД-регулировании.

4. Поясните, как составляется на контроллере программа технолога.

5. Изобразите структурную схему микропроцессорной САУ. Объясните назначение элементов и принцип работы САУ.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

1. Методические указания к задаче 1

1.1. Построение принципиальной схемы

На принципиальных схемах изображаются все элементы системы и связи между ними. Каждому элементу присваивается своё буквенно-цифровое обозначение.

Построение принципиальной схемы и описание её работы производится на основании материала, имеющегося в соответствующем литературном источнике, указанном для каждого варианта.

1.2. Построение обобщённой структурной функциональной схемы

При проектировании САУ построение обобщённой структурной функциональной схемы предшествует проектированию и выбору элементов принципиальной схемы. Вначале производится анализ заданной системы, поэтому обобщённая структурная функциональная схема строится применительно к заданной принципиальной схеме. Она помогает лучше уяснить, какие операции выполняют элементы системы, их взаимодействие и функциональное (математическое) описание.

Обобщённая структурная функциональная схема состоит из функциональных блоков, которые выполняют самостоятельные функции (операции).

Функциональные блоки на схеме обозначаются прямоугольниками, внутри которых приводятся их наименования в соответствии с выполняемыми функциями (операциями). Связи между функциональными блоками обозначаются линиями со стрелками, показывающими направление прохождения сигнала.

Обобщённая структурная функциональная схема САУ - графическое представление взаимосвязи элементов САУ и является обобщающим описанием САУ любого класса (рис.1).

Назначение элементов обобщённой структурной функциональной схемы САУ следующее.

ЗЭ-задающий элемент: формирует задающее (эталонное) воздействие $f^*(t)$, выработанное из $f_3(t)$, которое преобразуется в однозначно соответствующее (нормированное, приведенное к одной физической величине и т.д.) $f^*(t)$, удобное для сравнения с $y(t)$.

СЭ-сравнивающий элемент : в общем случае определяет рассогласование сигналов - задающего $f^{\wedge}_3(t)$ и управляемого $y^{\wedge}(t)$, т.е. ошибку управления :

$$x(t) = y^{\wedge}(t) - f^{\wedge}_3(t) .$$

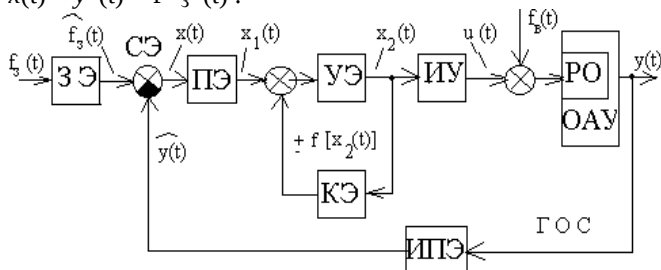


Рис.1. Обобщенная структурная функциональная схема САУ

ИПЭ - измерительно-преобразовательный элемент: измеряет фактическое (действительное) значение управляемого параметра (процесса) $y(t)$, имеющего различную физическую природу, и преобразует его в однозначно соответствующий сигнал (параметр) $y^{\wedge}(t)$, удобный для сравнения с $f^{\wedge}_3(t)$. В общем случае ИПЭ состоит из первичного измерительного преобразователя (чувствительного элемента) - датчика и измерительных преобразователей различного рода. Конструктивно операции, выполняемые ИПЭ, ЗЭ и СЭ, могут быть совмещены в одном устройстве.

ПЭ - преобразующий элемент: обеспечивает преобразование сигнала ошибки $x(t)$ в удобный для дальнейшей обработки сигнал $x_1(t)$.

УЭ - усилительный элемент: осуществляет увеличение (без искажений) сигнала рассогласования $x_1(t)$ до уровня $x_2(t)$, достаточного для надёжной работы исполнительного устройства.

ИУ - исполнительное устройство: вырабатывает и подает на регулирующий орган (РО) объекта автоматического управления (ОАУ) управляющее воздействие $u(t)$.

КЭ (МОС, ВОС) - корректирующий элемент (местная или внутренняя обратная связь): улучшает (корректирует) качество процесса управления, чаще всего с помощью местной (внутренней) обратной связи (положительной или отрицательной).

ГОС - главная обратная связь: связывает вход и выход САУ, образуя замкнутый контур управления. ГОС включает в общем случае ИПЭ.

$f_{\text{в}}(t)$ - возмущающие воздействия на ОАУ и устройство управления, приведенные ко входу ОАУ;

⊗- сумматор.

В реальных устройствах САУ функции отдельных элементов ИПЭ, ЗЭ, Э, ПЭ могут быть конструктивно совмещены в одном устройстве.

После определения всех функциональных элементов системы строится обобщённая структурная функциональная схема. На этой схеме нужно указать стрелками направление воздействий и обозначить их соответствующими буквами. В прямоугольниках схемы следует написать обозначения функциональных блоков - ОАУ, ЗЭ, УЭ и т.п., а над прямоугольниками соответствующие элементы или устройства системы, согласно их обозначению на принципиальной схеме.

Реальные САУ могут содержать несколько однородных элементов. Так, схема управления электроприводом может иметь два усилительных элемента - промежуточное реле и магнитный пускатель; система управления микроклиматом - два исполнительных элемента для управления режимами температуры и влажности с соответствующими измерительно-преобразовательными и другими элементами, обеспечивающими параметры микроклимата в общем объекте автоматического управления - производственном помещении, т.е. содержит две САУ: для температуры и для влажности. С другой стороны, в некоторых системах те или иные функциональные элементы могут отсутствовать. Например, разомкнутые САУ не содержат измерительно-преобразовательного элемента, контролирующего изменения управляемого (выходного) параметра.

1.3. Построение структурной алгоритмической схемы.

Структурная алгоритмическая схема САУ показывает, из каких динамических звеньев состоит система и как они соединены между собой. Эта схема удобна при исследовании динамических свойств САУ: устойчивости работы и показателей их качества, точности, быстродействия, устойчивости, чувствительности. При этом отвлекаются от конкретного конструктивного исполнения элементов САУ, на схеме изображают математическую модель (функциональную зависимость между выходом и входом) каждого звена. Это позволяет определить алгоритм управления САУ в целом.

На структурной алгоритмической схеме элементы изображаются в виде прямоугольников. Внутри каждого из них приводится передаточная функция данного звена, равная отношению изображений (по Лапласу) выходной величины и входной величины звена. Какое-либо устройство, которое на обобщённой функциональной схеме представляется в виде одного элемента, на структурной алгоритмической схеме может быть представлено как одним, так и несколькими динамическими звеньями и, наоборот, несколько однотипных устройств (например, реле или усилителей) могут быть показаны в виде одного динамического звена. При построении этой схемы следует ориентироваться также на обобщённую структурную функциональную схему (см. п. 1.2).

При анализе большинства линейных САУ оперируют с небольшим числом элементарных (типовых) динамических звеньев. Их названия, передаточные функции и примеры некоторых устройств, движение которых описывается соответствующим динамическим звеном, представлены в табл. 1. Воспользовавшись табл. 1 можно на основании принципиальной и обобщённой функциональной схемы САУ построить её структурную алгоритмическую схему.

2. Примеры решения задачи 1

2.1. Система автоматического управления нагрузкой рабочих органов зерноуборочного комбайна.

САУ нагрузкой рабочих органов комбайна призвана обеспечить возможно максимальную производительность комбайна при наименьших потерях зерна. На рис. 2а приведена принципиальная схема САУ, которая поддерживает постоянство поступления зерновой массы в молотильное устройство путём изменения скорости комбайна в зависимости от распределения урожая по полю. Система работает следующим образом. Когда хлебная масса, поступающая в комбайн, увеличивается по сравнению с заданной, ползковый датчик 1 перемещения передвигается, преодолевая сопротивление пружины 2. Возникающее при этом перемещение рычага вызывает движение плунжера золотника 4, что влечет за собой изменение давления на поршень гидроцилиндра 5, шток которого воздействует на вариатор ходовой части 6, в результате чего изменяется передаточное отношение, и скорость комбайна уменьшается. При уменьшении хлебной массы процессы происходят в обратной последовательности, вызывая увеличе-

ние скорости комбайна. Управляемым параметром САУ является толщина h слоя хлебной массы, объектом управления САУ является комбайн (точнее нагрузка рабочих органов). Измерительно-преобразовательным элементом (ИПЭ) служит ползковый датчик перемещения, который передвигается в зависимости от количества хлебной массы на некоторое текущее значение h , которому соответствует перемещение x штока золотника.

Таблица 1

Типовые динамические звенья

Наименование звена	Передаточная функция	Примеры
1	2	3
Безынерционное (усилительное или пропорциональное)	$W(p)=k$ $k=const$	Электронные усилители постоянного тока, рычажные, шестеренчатые передачи, потенциометрические и фотоэлектрические датчики, термопары, измерительные мосты, реле и магнитные пускатели
Инерционное 1-го порядка (апериодическое)	$W(p)=$ $=k/(Tp+1)$	Водонапорный бак с подводом воды ниже уровня её в баке, электродвигатель, генератор, регулятор скорости первичных двигателей путём изменения выпуска энергоносителя, ряд механических и электрических усилителей
Апериодическое 2-го порядка $T_2 > 2T_1$ Колебательное $T_2 < 2T_1$	$W(p)=k/(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)$	Нагревательные установки, отопительные печи, сушильные агрегаты, теплицы, животноводческие и складские помещения; электрическая цепь из RLC - элементов, демферное устройство с пружиной, центробежный регулятор скорости
Дифференцирующее (реальное)	$W(p)=$ $=T_1 p/(T_1 p + 1)$	Корректирующие связи; тахогенераторы; скоростные термопары, измеряющие скорость изменения температуры; успокоители гидромеханические
Интегрирующее (реальное)	$W(p)=k/Tp$	Счётчики, аналоговые датчики угла поворота; водонапорный бак с подводом воды выше уровня её в баке; гидроусилитель из двух блоков - управляющего (золотник) и исполнительного (гидроцилиндр)
Запаздывающее (чистое запаздывание)	$W(p)=\exp(-pt_d)$	Транспортёры, трубопроводы, тепловоды; реле времени

Функцию сравнивающего элемента СЭ, в котором при неравенстве усилий от ИПЭ и ЗЭ возникает разностное отклонение $\Delta h = h - h_0$, выполняет рычаг 3. В качестве ПЭ выступает золотник, преобразующий перемещение штока Δx в давление масла, подаваемого в гидроцилиндр. Усилителем элементом УЭ служит гидроцилиндр. Вариатор является регулирующим органом САУ и входит составной частью в объект управления ОАУ. Он обеспечивает изменение угловой скорости ω ведомого вала при перемещении штока гидроцилиндра. ИПЭ измеряет выходной параметр, оценивая толщину h хлебной массы, которая зависит от ω . В свою очередь, ω зависит от скорости v , последняя зависит от нагрузки $P_{наг}$ на рабочие органы, т.е. от урожайности: $h = f\{\omega[v(P_{наг})]\}$.

Функциональная схема, построенная согласно изложенному, представлена на рис.2,б. Таким образом, в данной САУ реализован принцип управления по возмущению.

Для построения структурной алгоритмической схемы воспользуемся табл. 1. Задающее воздействие h_0 устанавливается вручную в зависимости от средней урожайности натяжением x_0 пружины. Гидроусилительное звено (золотник - ПЭ, гидроцилиндр УЭ и рычаги 7 - ИУ) описывается передаточной функцией $W_1(p) = k_1/(T_1 p)$, где k_1 - коэффициент усиления, T_1 - постоянная времени этого звена. Вариатор и комбайн - инерционное звено второго порядка с передаточной функцией $W_2(p) = k_2/(T_2^2 p^2 + T_3 p + 1)$. Полос - безынерционное звено с передаточной функцией $W_3(p) = k_3$. Полагая, что сравнивающий элемент обеспечивает сравнение сигналов без запаздывания и без усиления, тогда структурная алгоритмическая схема имеет вид (рис.2,в).

2.2. Автоматизированный электробрудер типа Б-4

Брудер Б-4 предназначен для обогрева 500-600 цыплят в возрасте от 1 до 30 дней. Принципиальная электрическая схема брудера показана на рис.3,а. Заданная температура под брудером поддерживается в диапазоне от 24 до 40°C с точностью до 1° температурным реле-регулятором SK манометрического типа, состоящим из мембранного датчика и микропереключателя типа МП-1, который содержит подвижный контакт, соединенный с датчиком, и неподвижный контакт, соединенный с регулировочным винтом. Когда температура воздуха под брудером ниже заданной, которая

устанавливается с помощью регулировочного винта реле SK, контакты замкнуты, магнитный пускатель KM получает питание, его контакты замыкают цепь питания нагревательных элементов ЕК1-ЕК4 (по 400 Вт каждый) и сигнальной лампы HL1. При достижении заданной температуры манометрический датчик термореле-регулятора расширяется, контакты SK размыкаются, снимая питание с катушки пускателя KM, в результате контакты KM тоже размыкаются, что приводит к выключению нагревателей. Осветительную лампу HL2 при необходимости включают тумблером SA.

Разбиваем САУ на функциональные блоки. Регулируемым параметром будет температура $\theta^{\circ}\text{C}$ под брудером. Тепловое состояние брудера является объектом управления (ОАУ). Он осуществляет теплообмен с окружающей средой (возмущение $g(\theta)$). Функции измерительно-преобразовательного элемента (ИПЭ) выполняет манометрический датчик, перемещающий подвижный контакт переключателя при изменении температуры на некоторое расстояние l . Температурная уставка (заданное значение температуры θ_0) определяется расстоянием l_0 между подвижным и неподвижным контактами, которое устанавливается регулировочным винтом, выполняющим роль задающего элемента ЗЭ. Сравняющим элементом СЭ (и одновременно преобразующим элементом ПЭ) является микропереключатель типа МП, который при появлении ошибки $\Delta l = l_0 - l$ подключает обмотку пускателя KM к напряжению сети. Пускатель KM выступает в роли усилительного и одновременно исполнительного элементов. Через контакты KM к нагревателям поступает требуемая мощность Р. Нагревательные элементы ЕК1-ЕК4 являются регулирующими органами РО1-РО4, так как благодаря тепловой энергии, поступающей от них, под брудером поддерживается заданное тепловое состояние.

После определения всех функциональных элементов строим обобщённую функциональную схему САУ (рис.3,б). Сигнальная и осветительная лампы не принимают участия в формировании выходного параметра данной САУ, поэтому они не представлены на схеме.

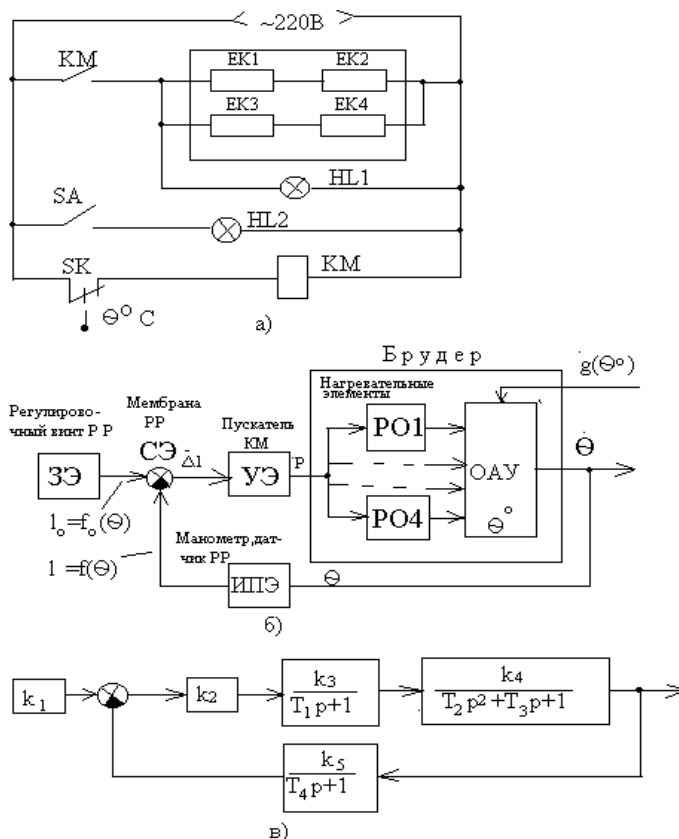


Рис.3. Принципиальная (а), обобщённая функциональная (б) и структурная алгоритмическая (в) схемы автоматизированного электробрудера Б-4.

Для построения структурной алгоритмической схемы воспользуемся [табл.2](#). Манометрический датчик, заполненный эфиром, является инерционным (апериодическим) звеном первого порядка, как и нагревательные элементы. Микропереключатель с регулировочным винтом и магнитный пускатель - безынерционные звенья. Тепловое состояние электробрудера (технологического ОАУ) является инерционным (апериодическим) звеном второго порядка. Структурная алгоритмическая схема, на которой

звенья представлены соответствующими передаточными функциями, представлена на рис.3,в.

2. Методические указания к задаче 2

Задача 2 решается студентами очного обучения профиля

Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе

и студентами заочного обучения профилей

Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе

Технические системы в агробизнесе

Технологическое оборудование для хранения и переработки сельскохозяйственной продукции

Технический сервис в агропромышленном комплексе

3.1. Цель задания и рекомендуемый план решения

Система автоматического управления является устойчивой, если она самостоятельно возвращается в состояние установившегося равновесия при ограниченном воздействии (возмущении), т.е. реакция такой САУ на ограниченное воздействие также ограничена. Поскольку на практике реальная САУ постоянно подвергается возмущениям, устойчивость является необходимым условием работоспособности САУ.

Чтобы установить, является ли система устойчивой без трудоёмкого решения дифференциальных уравнений, описывающих поведение САУ, предложен ряд критериев устойчивости, наиболее распространённые из которых применяются при решении задачи 2.

Выбрав свой вариант задачи 2 и выписав исходные данные, рекомендуется решать задачу в следующей последовательности.

1. Определить передаточные функции всех звеньев САУ.

Для этого необходимо заданные дифференциальные уравнения записать в операторной форме преобразования Лапласа, при котором входные и выходные переменные величины в функции времени заменяют на их изображения в функции оператора p .

После записи уравнения в операторной форме преобразования Лапласа определяется передаточная функция соответствующего i -го звена: $W_i(p) = \frac{Y_i(p)}{X_i(p)}$.

2. Составить структурную алгоритмическую схему САУ.

Структурная алгоритмическая схема САУ составляется по заданным условиям: передаточным функциям звеньев, последовательности их размещения, виду и месту подключения обратных связей (см. п. 2.3.3).

3. Найти передаточную функцию замкнутой САУ.

Передаточная функция САУ с главной обратной связью при последовательно соединенных звеньях в прямой ветви $W_n(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p)$ равна:

$$W(p) = \frac{W_y(p)W_{OAY}(p)}{1 + W_y(p)W_{OAY}(p)W_{GOC}(p)} = \frac{W_n(p)}{1 + W_n(p)W_{GOC}(p)},$$

где n - количество звеньев в прямой ветви; $W_{GOC}(p)$ - передаточная функция главной обратной связи (ГОС – всегда отрицательна, знак «минус» учтен в формуле).

Если какое-либо звено с передаточной функцией $W_i(p)$ охвачено корректирующей (местной) обратной связью с передаточной функцией корректирующего элемента $W_{KOC}(p)$, то передаточная функция такого соединения определяется формулой

$$W_{iKOC}(p) = \frac{W_i(p)}{1 \pm W_i(p) \cdot W_{KOC}(p)}.$$

Знак «минус» в знаменателе этого выражения соответствует положительной обратной связи, знак «плюс» - отрицательной.

Результирующая передаточная функция САУ, одно (i -е) из звеньев которой охвачено обратной связью, равна

$$W(p) = \frac{[\prod_{i=1}^{n-1} W_i(p)] \cdot W_{KOC}(p) \cdot W_{OAY}(p)}{1 + [\prod_{i=1}^{n-1} W_i(p)] \cdot W_{KOC}(p) \cdot W_{OAY}(p) \cdot W_{GOC}(p)} = \frac{H(p)}{G(p)}.$$

4. Найти характеристическое уравнение замкнутой САУ.

Характеристическое уравнение САУ определяется знаменателем передаточной функции замкнутой системы, т. е. находится по формуле: $G(p)=0$.

5. Определить устойчивость САУ с помощью заданных критериев устойчивости.

6. Сделать общие выводы по устойчивости САУ.

Очевидно, что при правильном ходе решения и отсутствии ошибок в вычислениях, исследование устойчивости систем по любому критерию приведет к одному и тому же результату.

3.2. Применение алгебраического критерия Гурвица.

Критерий Гурвица гласит: чтобы замкнутая САУ с характеристическим уравнением

$$G(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0$$

была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы при $a_0 > 0$, все определители матрицы Гурвица, составленной из коэффициентов многочлена $G(p)$, были бы положительными. Матрица Гурвица - матрица коэффициентов, содержащая n строк:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & \dots & \dots & \dots \\ a_0 & a_2 & a_4 & a_6 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & \dots & \dots & \dots \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-1} & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_{n-2} & a_{n-1} & a_n \end{vmatrix}$$

Таким образом, необходимо, чтобы выполнялись условия:

$$\Delta_1 = a_1 > 0;$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0; \quad \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0; \dots \Delta_n = a_n \Delta_{n-1} > 0.$$

Для САУ с характеристическим уравнением первой степени $G(p) = a_0 p + a_1 = 0$ условие устойчивости таково: $a_0 > 0$; $a_1 > 0$.

Для САУ, имеющей уравнение второй степени $G(p)=a_0p^2+a_1p+a_2$, условием устойчивости будет: $a_0>0$; $\Delta_1=a_1>0$; $a_2>0$.

Для САУ, имеющей уравнение третьей степени $G(p)=a_0p^3+a_1p^2+a_2p+a_3=0$, условие устойчивости следующее: $a_0>0$; $a_1>0$; $a_2>0$; $a_3>0$; $\Delta_2=a_1a_2-a_0a_3>0$.

Для САУ, имеющей $G(p)=a_0p^4+a_1p^3+a_2p^2+a_3p+a_4=0$, условие устойчивости: $a_0>0$; $a_1>0$; $a_2>0$; $a_3>0$; $a_4>0$; $\Delta_3=a_3(a_1a_2-a_0a_3)-a_1^2a_4>0$ и т.д.

Следует отметить, что если хоть один из коэффициентов или определителей системы отрицателен, система неустойчива и дальнейшие вычисления можно не производить. Если все коэффициенты и определители положительны, а определитель $\Delta_{n-1}=0$, то САУ находится на границе устойчивости. Например, для системы четвертого порядка граница устойчивости выражается условием $\Delta_3=0$.

В практических расчетах алгебраические критерии применяют для уравнений не выше шестого порядка из-за резкого возрастания трудоёмкости расчетов с повышением степени характеристического уравнения (для этих уравнений необходимы расчеты на ЭВМ).

3.3. Применение частотного критерия Михайлова.

Частотные критерии обладают наглядностью и могут быть использованы для САУ, описываемых уравнением любого порядка.

Критерий Михайлова позволяет судить об устойчивости САУ по виду годографа Михайлова, т.е. кривой, которую описывает на комплексной плоскости конец вектора $G(j\omega)$ характеристического многочлена замкнутой системы.

Критерий Михайлова гласит: Замкнутая САУ, описываемая дифференциальным уравнением n -го порядка устойчива, если при изменении частоты ω от 0 до ∞ годограф Михайлова, начинаясь на вещественной положительной полуоси и вращаясь против часовой стрелки, последовательно обходит n квадрантов комплексной плоскости, нигде не попадает в начало координат и не обращается в нуль.

Последовательность анализа устойчивости по критерию Михайлова:

1. Получение характеристического уравнения САУ.
2. Составление комплексного многочлена характеристического уравнения путем замены оператора p на $j\omega$.

3. Разделение многочлена на действительную и мнимую части.
4. Получение координат точек годографа Михайлова для различных значений частоты ω в диапазоне от 0 до ∞ .
5. Построение годографа Михайлова, по виду которого делается вывод об устойчивости САУ.

3.4. Пример решения задачи 2

Выбрав свой вариант задачи 2 по табл. 3 и выписав исходные данные, формулируем конкретное условие задачи.

Например:

Определить по критериям Гурвица и Михайлова устойчивость САУ, состоящей из трёх последовательно соединённых звеньев А, Е и Ж, третье звено охвачено местной отрицательной обратной связью (четвертым звеном М). САУ охвачена главной отрицательной обратной связью с коэффициентом $k_{гос} = -1$.

1. Определяем передаточные функции звеньев САУ.

Из табл.4 берем исходные данные.

Звено 1 - А (безынерционное):

$$y(t) = kx(t);$$

$$Y_1(p) = k_1 X_1(p);$$

$$W_1(p) = Y_1(p)/X_1(p) = k_1; \quad k_1 = 10.$$

Звено 2 - Е (интегро-дифференцирующее):

$$T_2 \frac{dy}{dt} + y = kT_1 \frac{dx}{dt} + kx;$$

$$T_2 p Y_2(p) + Y_2(p) = k_2 T_1 p X_2(p) + k_2 X_2(p);$$

$$W_2(p) = Y_2(p) / X_2(p) = \frac{k_2(1 + T_1 p)}{1 + T_2 p};$$

$$k_2 = 2; T_1 = 1c; T_2 = 5c.$$

Звено 3 - Ж (инерционное 2-го порядка):

$$T_3 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_4 \frac{dy}{dt} + y(t) = kx(t);$$

$$T_3 p^2 Y_3(p) + T_4 p Y_3(p) + Y_3(p) = k_3 X_3(p);$$

$$W_3(p) = \frac{k_3}{T_3^2 p^2 + T_4 p + I}; \quad k_3 = 4; T_3 = 1c; T_4 = 2c.$$

Звено 4 - М (звено корректирующей отрицательной обратной связи):

$$y(t) = k_{\text{кос}} x(t);$$

$$W_{\text{кос}}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = -k_{\text{кос}}, \quad k_{\text{кос}} = 1$$

2. Составляем структурную алгоритмическую схему САУ (рис.4).

3. Определяем передаточную функцию прямой ветви САУ (см.рис.4):

$$W_n(p) = W_1(p)W_2(p)W_{3\text{кос}}(p),$$

где передаточная функция третьего звена, охваченного корректирующей (местной) отрицательной обратной связью, определяется в виде:

$$W_{3\text{кос}}(p) = W_3(p) / [1 + W_3(p)W_{\text{кос}}(p)].$$

Подставляя соответствующие выражения передаточных функций звеньев с учетом численных значений коэффициентов k_i и постоянных времени T_i , получим:

$$W_n(p) = 10 \frac{2(1+p)}{(1+5p)} \frac{4/(p^2+2p+1)}{1+[4/(p^2+2p+1)]} = \frac{80(1+p)}{5p^3+11p^2+27p+5}$$

4. Определяем передаточную функцию замкнутой САУ:

$$W(p) = \frac{W_n(p)}{1 + W_n(p)W_{\text{кос}}(p)}$$

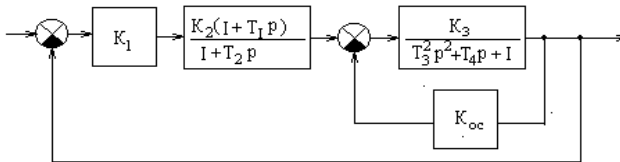


Рис. 4. Структурная алгоритмическая схема САУ (к задаче 2).

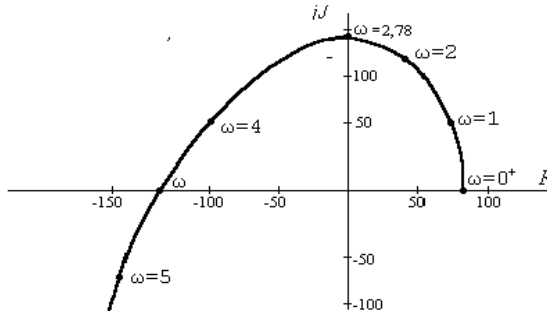


Рис. 5. Годограф Михайлова САУ (к задаче 2).

5. Вычисляем характеристическое уравнение замкнутой САУ $G(p)=0$:

$$1 + W_{II}(p)W_{ГOC}(p) = 0.$$

Подставляя значения передаточных функций $W_{II}(p)$ и $W_{ГOC}(p)$, получим после преобразований:

$$G(p) = 5p^3 + 11p^2 + 107p + 85 = 0.$$

6. Определяем устойчивость по критерию Гурвица.

Исследуемая САУ имеет характеристическое уравнение 3-й степени:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0.$$

Матрица Гурвица будет иметь вид:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 11 & 85 & 0 \\ 5 & 107 & 0 \\ 0 & 11 & 85 \end{vmatrix}$$

Поскольку все коэффициенты характеристического уравнения положительны

$$a_0 = 5 > 0; a_1 = 11 > 0; a_2 = 107 > 0; a_3 = 85 > 0$$

и определитель $\Delta_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 = 11 \cdot 107 - 85 \cdot 5 = 752 > 0$, то исследуемая САУ устойчива.

7. Определяем устойчивость по критерию Михайлова.

Для полученного характеристического уравнения комплексный многочлен имеет вид:

$$G(j\omega) = 5(j\omega)^3 + 11(j\omega)^2 + 107j\omega + 85.$$

Разделим многочлен $G(j\omega)$ на действительную $Re[G(j\omega)]$ и мнимую $Im[G(j\omega)]$ части:

$$G(j\omega) = Re[G(j\omega)] + Im[G(j\omega)] = R(\omega) + jJ(\omega),$$

$$\text{имея ввиду, что } j = \sqrt{-1}; j^2 = -1; j^3 = -j; j^4 = 1:$$

$$G(j\omega) = 85 - 11\omega^2 + j\omega(107 - 5\omega^2) = R(\omega) + jJ(\omega).$$

Задавая различные значения частоты ω , найдем координаты $R(\omega)$ и $J(\omega)$ точек годографа Михайлова. Вначале находим значения для характерных точек (при $J(\omega) = 0$ и при $R(\omega) = 0$).

$$\text{Годограф пересекает ось абсцисс, если } J(\omega) = \omega(107 - 5\omega^2) = 0.$$

$$\text{Решение этого уравнения дает действительные корни: } \omega_1 = 0; \omega_2 = 4,6.$$

Находим значения ω , при которых годограф пересекает ось ординат: $R(\omega) = 85 - 11\omega^2 = 0.$

$$\text{Это уравнение имеет один действительный корень } \omega_3 = 2,78.$$

Задавая несколькими промежуточными значениями частоты ω , вычисляем значения $R(\omega)$ и $J(\omega)$. Результаты сводим в табл. 2

Таблица 2

Координаты точек годографа Михайлова

ω	0	1	2	2,78	4	4,6	5
$R(\omega)$	85	74	41	0	-91	-146	-190
$J(\omega)$	0	102	174	188	108	0	-90

По полученным точкам строим годограф Михайлова (рис.5). Так как при изменении частоты от 0 до ∞ годограф Михайлова, вращаясь в положительном направлении против часовой стрелки, начинается на положительной части вещественной оси, последовательно проходит три квадранта и не пересекает начала координат, то анализируемая система третьего порядка устойчива.

Вывод. Проверка по двум критериям (Гурвица и Михайлова) показала, что исследуемая САУ устойчива.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добролюбов И.П. Автоматика: Учебное пособие.- Новосибирск. Новосибирский гос. аграр. ун-т.- 2002.- 300с.
2. Добролюбов И.П. Автоматизация измерений, контроля, испытаний. Учебное пособие .Новосиб. Гос. аграр. ун-т; Инж. ин-т. - Новосибирск, 2006. 314 с.
3. Добролюбов И.П. Автоматизация технологических процессов сельскохозяйственного производства. Учебное пособие / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т. – Новосибирск, 2007. – 308 с. 1986.
4. Добролюбов И.П. Автоматизация технологических процессов сельского хозяйства: Учебное пособие / – Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т. Ин-т заочного образования и повышения квалификации. 2007.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. и др. Средства автоматики и телемеханики. - М.: Агропромиздат. 1992.
5. Автоматика. Автоматизация измерений, контроля, испытаний. Методические указания к лабораторным и контрольным работам / Новосиб. гос. аграр. ун-т. Инженерный ин-т. Сост. И.П.Добролюбов.- Новосибирск, 2013.- 67.

СОДЕРЖАНИЕ

1. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	3
Лабораторная работа № 1. Исследование первичных, измерительно-преобразовательных элементов систем автоматики (на примере фотодатчиков)	6
Лабораторная работа № 2. Исследование электромагнитных реле	15
Лабораторная работа № 3. Исследование усилительного элемента. Исследование влияния обратных связей на процессы в системах автоматики	23
Лабораторная работа № 4. Испытание системы автоматического программного управления технологическими процессами	35
Лабораторная работа № 5. Испытание релейных систем автоматического регулирования параметров микроклимата производственного помещения	49
Лабораторная работа № 6. Контроль качества преобразования физических процессов (на примере выпрямителя переменного тока с импульсно-фазовым тиристорным управлением)	61
«Виртуальная» лабораторная работа №7. Исследование динамики системы автоматического управления (сау) (на примере сау кормодробилкой)	72
Лабораторная работа № 8. Исследование микропроцессорной системы автоматического управления (на примере сау микроклиматом производственного помещения)	84
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ	114
1. Методические указания к задаче 1	114
2. Методические указания к задаче 2	123
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	130

Составитель
Добролюбов Иван Петрович

АВТОМАТИКА.
АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, КОНТРОЛЯ, ИСПЫТАНИЙ.
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ И КОНТРОЛЬНЫМ РАБОТАМ

Редактор *М.Г. Девищенко*
Компьютерная верстка *В.Н. Зенина*

Подано в печать «__» _____ 2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆
Объем **1,5** уч.-изд. л., 1,75 усл. печ. л.
Тираж 100 экз. Изд №__ Заказ __

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru