



О С Н О В Ы
А В Т О М А Т И З А Ц И И
П Р О И З В О Д С Т В Е Н Н Ы Х
П Р О Ц Е С С О В

Лабораторные работы

1

Таллин, 1967

XI

А.14248

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра автоматики и телемеханики

О С Н О В Ы
АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Лабораторные работы

I

Таллин
1967

Лабораторные работы, описанные в настоящем сборнике, предназначены для студентов электротехнического факультета ТПИ по специальности "Автоматика и телемеханика" (0606). Ввиду того, что работы носят общетехнический характер, они могут быть использованы студентами других специальностей в соответствующих курсах автоматизации (особенно работы № 1, 4 и 5).

Составитель

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
35269

Лабораторная работа № I

МНОГОТОЧЕЧНЫЙ АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИОМЕТР ЭПР-09

Ц е л ь р а б о т ы - ознакомиться с устройством и применением многоточечных автоматических регистрирующих приборов [9, 10].

Описание применяемой аппаратуры

В лабораторной работе изучается многоточечный электронный автоматический потенциометр ЭПР-09, предназначенный для автоматической регистрации температуры в 12 точках с использованием термопар. Шкала прибора проградуирована для термопар хромель-алюмель (ХА). В работе исследуется точность регистрации сигналов, изменяющихся по линейному и синусоидальному законам при наличии дискретности измерения во времени. Производится регистрация тепловых процессов, определяется градуировка термопар различных типов по заданной градуировке термопары ХА или ХК.

В многоточечном автоматическом потенциометре ЭПР-09 так же, как и в автоматических потенциометрах других типов, используется компенсационный метод измерения. Особенностью многоточечного варианта является запись измеряемых величин путем печатания точек. Одновременно с отпечатыванием точки

отпечатывается и условный (порядковый) номер измеряемой величины.

Измерение большого числа величин производится в определенной последовательности. Для переключения измерительных цепей термонар используется автоматический переключатель, который приводится в движение синхронным двигателем.

В многоточечном варианте имеется также механизм переменного цикла, функцией которого является корректирование работы механизмов переключения и печатания точек в том случае, если за цикл компенсации измеряемая величина оказалась некомпенсированной. Этот механизм изменяет ритм работы переключающего и печатающего механизмов до тех пор, пока не наступит равновесное состояние измерительной схемы.

Если за цикл измерения компенсационная схема не успевает прийти к состоянию равновесия, то отпечатывания точки не происходит. Проверку состояния схемы перед нанесением отпечатка выполняет механизм переменного цикла. Остановка печатания точек происходит также и на время включения механизма установки рабочего тока.

В приборе предусмотрена возможность изменения цикла печатания точек путем смены шестерен. В таблицах I и 2 указаны возможные циклы печатания и скорости движения диаграммной ленты.

Т а б л и ц а I

Цикл, сек	0,75	1,5	3
Скорость ленты	1600; 2400;	800; 1200;	400; 600;
мм/час	4800; 9600	2400; 4800	1200; 2400

Т а б л и ц а 2

Цикл, сек	5	10	20
Скорость ленты мм/час	240; 360; 720; 1440	120; 180; 360; 720	60; 90; 180; 360

Лентопротяжный механизм осуществляет перемещение диаграммной ленты с постоянной скоростью. Для привода лентопротяжного механизма используется синхронный двигатель СД-09.

Скорость движения ленты может изменяться от 60 мм/час до 9600 мм/час соответствующей установкой сменных шестерен редуктора.

Вспомогательная аппаратура для работы:

- линейный делитель напряжения,
- синусный делитель напряжения,
- регулируемый источник напряжения постоянного тока,
- электронагреватель с двумя терморпарами,
- потенциометр III-I.

Линейный делитель напряжения используется для снятия градуировочной кривой, а синусный - для определения погрешности при регистрации синусоидально изменяющихся сигналов. Синусный делитель напряжения обеспечивает подачу на вход прибора напряжений, соответствующих шести точкам синусоидальной кривой: $\sin 15^\circ$, $\sin 45^\circ$, $\sin 75^\circ$, $\sin (-15^\circ)$, $\sin (-45^\circ)$, $\sin (-75^\circ)$.

При расшифровке соответствующие точки кривой соединяются отрезками прямых линий, по одной из ординат кривой вычисляется значение $\sin 90^\circ$. Максимальная погрешность определяется по формуле:

$$\delta_m \% = (1 - \cos \frac{\pi}{n}) \cdot 100,$$

где n - число точек, приходящихся на один период синусоидальной кривой.

Позиционные электрические регулирующие и аварийные устройства, встроенные в приборы типа ЭПР и ЭПП, выпускаются следующих видов:

1) двухпозиционное регулирующее устройство для регулирования одного заданного значения параметра по 3; 6 или 12 каналам регулирования с общей для всех каналов аварийной сигнализацией;

2) двухпозиционное регулирующее устройство для регулирования одного заданного значения параметра по 3 или 6 каналам с коммутируемой по всем каналам аварийной сигнализацией;

3) трехпозиционное регулирующее устройство для регулирования одного заданного параметра по 3; 6 или 12 каналам регулирования без аварийной сигнализации.

Позиционные регулирующие устройства могут быть использованы в качестве сигнальных устройств.

Позиционные электрические регулирующие и аварийные устройства встраиваются в потенциометры и мосты с временем пробега кареткой всей шкалы 8 сек.

Ход работы

1. Ознакомиться с описанием и конструкцией многоотчетного потенциометра ЭПР-09, обратив особое внимание на механизмы переключения и печатания точек, механизм временного цикла, печатающую каретку.

2. Установить при помощи сменных шестерен скорость диаграммы и цикл печатания по указанию преподавателя.

3. Включить прибор и произвести установку рабочего тока.

4. Произвести снятие градуировочной кривой, для чего произвести соединения по схеме рис. I-I, установив максимальный входной сигнал равным около 40 мв. Установку про-

изводить с помощью переносного потенциометра III-I, регулируя величину сигнала сопротивлением.

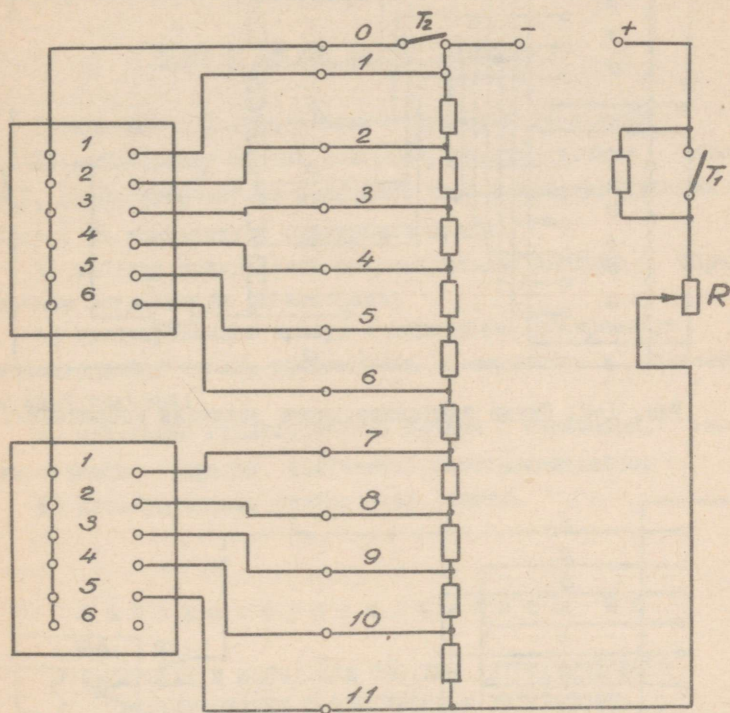


Рис. I-I. Схема линейного делителя напряжения.

5. Произвести испытание прибора при синусоидальном входном сигнале, для чего произвести соединения по схеме рис. I-2.

6. Непрерывно изменяя сопротивление R , убедиться в том, что в этом случае механизм переменного цикла выключает печатающее устройство.

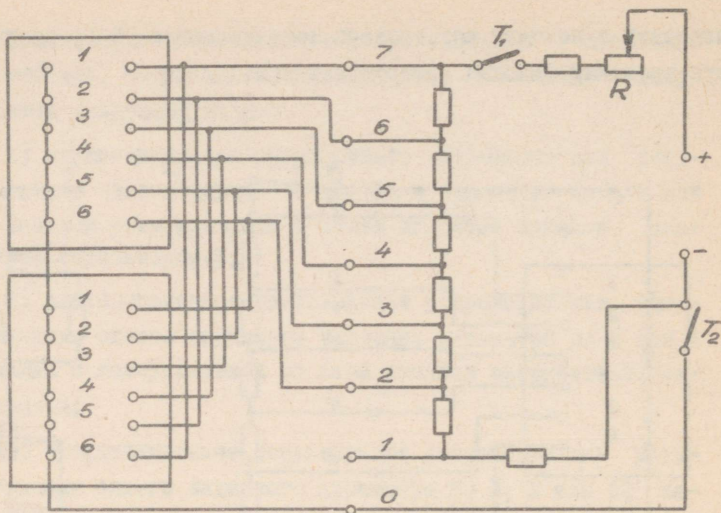


Рис. I-2. Схема синусоидального делителя напряжения.

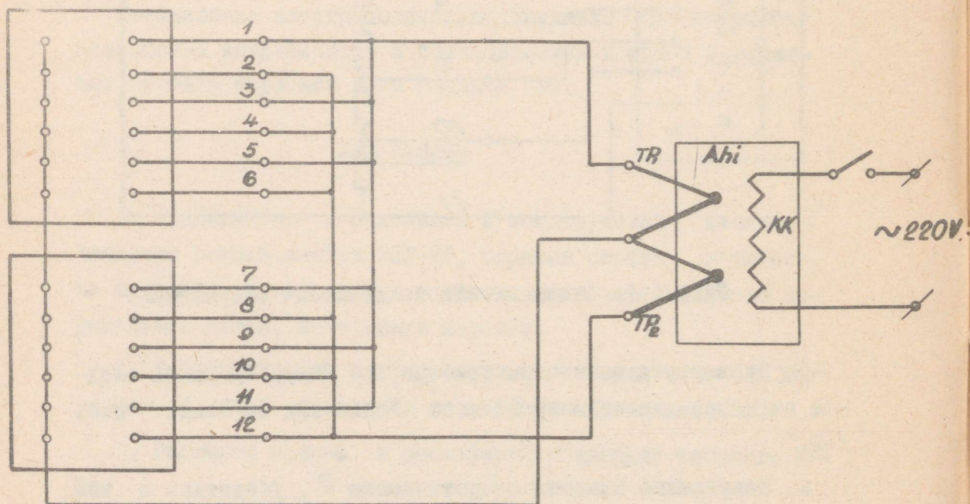


Рис. I-3. Схема соединения для градуирования термопар.

7. Произвести испытание прибора с двумя термопарами, установленными в электронагревателе. Произвести соединения согласно рис. 1-3. Произвести включение электронагревателя ключом К2 и записать кривые нагрева и остывания.

Отчет о работе должен содержать:

- 1) краткое описание работы и примененные схемы;
- 2) расшифровку снятых диаграмм, градуировочную кривую ЭПР, скорректированные временные характеристики (учесть поправку на температуру окружающей среды);
- 3) таблицу ординат при синусоидальном сигнале с определением погрешности регистрации;
- 4) градуировочную кривую I термопары, построенную при использовании таблиц градуировки II термопары и записанных кривых нагрева;
- 5) сравнение градуировочной кривой I термопары, взятой из таблицы, с кривой, полученной экспериментально;
- 6) краткую оценку результатов работы.

Лабораторная работа № 2

НАСТРОЙКА И ИСПЫТАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЭЛЕКТРОННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ ТИПА РУ4-16А

Цель работы - ознакомление с регулятором РУ4-16А и методами настройки систем автоматического регулирования.

Литература:

- 1 - стр. 74-75, 133-142.
- 2 - стр. 178-179, 160-163.
- 7 - стр. 84-109.

Теоретическое введение

Регулятор РУ4-16А относится к группе электронных регуляторов с корректирующим фильтром в цепи местной обратной связи по положению регулирующего органа, сигнал для которой снимается с реостатного датчика исполнительного механизма. На рис. 2-1 показана упрощенная структурная схема САР с регулятором такого типа.

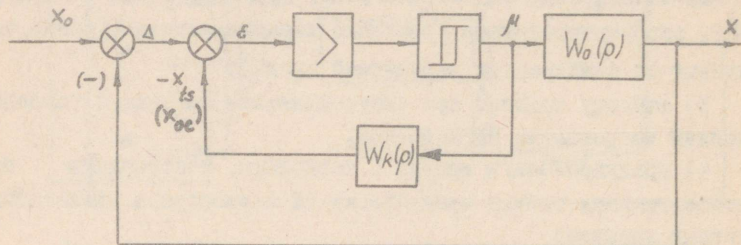


Рис. 2-1. Расчетная структурная схема САР.

В комплексе с рассматриваемыми регуляторами работают исполнительные механизмы постоянной скорости перемещения. Скорость перемещения регулирующего органа определяется уравнением

$$\dot{\mu} = \dot{\mu}_{\text{PO}} \text{ сигн. } (\Delta - x_{ts}). \quad (1)$$

В установившихся состояниях регулирующий орган неподвижен, т.е. $\dot{\mu} = 0$ и $\Delta = x_{0.c.}$ (2)

В переходных процессах условие (2) нарушается, так как команда к исполнительному механизму поступает лишь при $\Delta - x_{0.c.} \neq 0$. Величина сигнала $\Delta - x_{0.c.}$ зависит от скорости изменения рассогласования САР и чувствительности релейного усиления. Относительный сигнал $\left| \frac{\Delta - x_{ae}}{\Delta} \right|$ определяется главным образом отношением времени быстрого действия контура местной обратной связи по положению регулирующего органа ко времени быстрого действия полной САР. При практически возможных соотношениях $\left| \frac{\Delta - x_{ae}}{\Delta} \right|$ — величина малая, что

дает основание применить уравнение (2) для приближенного анализа динамики САР.

При учете соотношения (2) вытекает следующее выражение передаточной функции САР в разомкнутом состоянии:

$$W_{(p)} = \frac{X(p)}{\Delta(p)} \approx \frac{X(p)}{X_{0.c.}(p)} = \frac{X(p)}{M(p)} \cdot \frac{M(p)}{X_{0.c.}(p)} = \frac{W_o(p)}{W_k(p)}. \quad (3)$$

Как видно из полученного соотношения, динамические свойства САР зависят только от свойств объекта регулирования с датчиком и фильтра в цепи обратной связи. Закон регулирования предопределяется выбором типа фильтра.

ПИ-регулятор, если
$$W_{k(p)} = \frac{pT_{\text{И}}}{1 + pT_{\text{И}}}.$$

ПИД-регулятор, если
$$W_{k(p)} = \frac{pT_{\text{И}}}{1 + pT_{\text{И}} + p^2T_{\text{И}}T_{\text{Д}}}.$$

При практическом использовании регуляторов с фильтром в обратной связи по положению регулирующего органа необходимо учитывать:

1) наличие утечки в конденсаторах дифференцирующей ячейки фильтра, приводящей к возникновению в САР статической ошибки регулирования;

2) ограниченный диапазон настроек, так как повышение постоянной времени $T_{\text{И}}$ лимитируется возрастанием статической ошибки регулирования, а повышение $T_{\text{Д}}/T_{\text{И}}$ ограничивается возрастанием искажений от контура местной обратной связи;

3) желательность подстройки чувствительности регулятора в зависимости от вида корректирующего фильтра.

На рис. 2-2 показана принципиальная схема САР с регулятором РУ4-16А.

На рис. 2-3 показана схема корректирующего фильтра регулятора РУ4-16А.

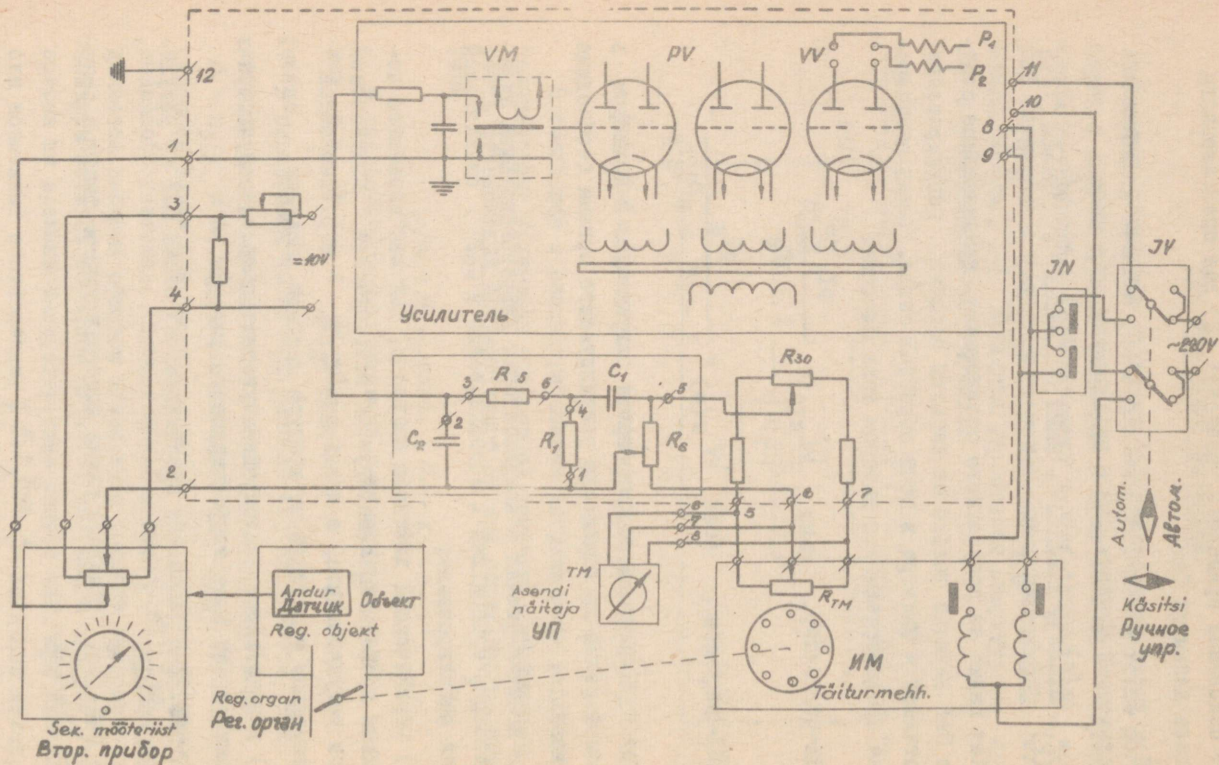


Рис. 2-2. Принципиальная схема САР.

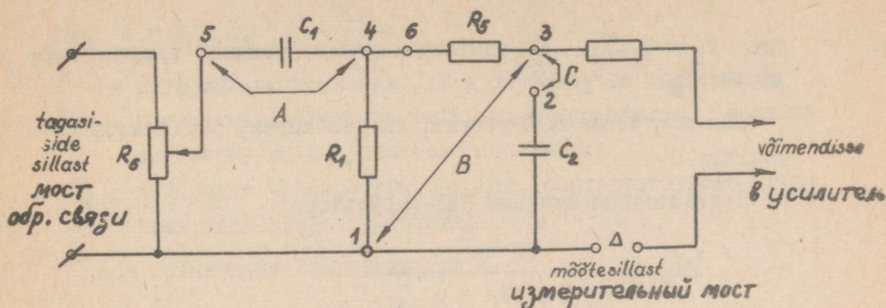


Рис. 2-3. Схема корректирующего звена регулятора.

Настройка регулятора

При включении переключки „В” на вход усилителя поступает сигнал, пропорциональный рассогласованию Δ . Ввиду большой скорости перестановки регулирующего органа и ограничения его перемещений регулятор при такой настройке можно рассматривать как релейный двухпозиционный (Рп).

Пропорциональный (П) регулятор получается при установке переключки А (переключки В и С должны быть сняты).

В этом случае на входе усилителя сигнал рассогласования Δ компенсируется сигналом обратной связи $X_{0.c.}$, пропорциональным перемещению регулирующего органа. Начальное положение регулирующего органа определяет положение потенциометра R_{30} ("ручная перестановка").

Коэффициент усиления регулятора

$$K_p = \frac{M}{\Delta}$$

устанавливают при помощи движка потенциометра "статизм".

Передаточная функция RC-цепочки при ПИ-регуляторе:

$$W_{k(p)} = \frac{pT_I}{I + pT_I},$$

где $T_I = C_I \cdot R_I$. T_I соответствует постоянной времени изодрома T_{II} .

Для получения ПИД-регулятора необходимо установить перемычку С.

Передаточная функция ПИД-регулятора

$$W_{K(p)} = \frac{p \cdot T_I}{I + pT_I' + p^2 \cdot T_I \cdot T_2},$$

где $T_I = C_I \cdot R_I$; $T_2 = C_2 \cdot R_2$; $T_I' = T_I + T_2 + C_2 \cdot R_I$.

Если $T_2 \ll T_I$, то

$$W_{K(p)} = \frac{pT_I}{I + pT_I + p^2T_I \cdot T_2}.$$

Следовательно, T_I примерно соответствует постоянной времени изодрома T_{II} , а T_2 - постоянной времени предварения T_g . Предварение в регуляторе РУ4-16А ограничено; ориентировочно

$$\left(\frac{T_g}{T_{II}} \right)_{\max} = 0,16 + 0,18.$$

Исходными данными работы являются статические и динамические характеристики объекта регулирования вместе с датчиком регулируемой величины или отдельные характеристики объекта и датчика. Совместная АФЧ-характеристика представляется в виде:

$$W_0(j\omega) = \frac{K}{I + j\omega T_0} \cdot e^{-j\omega\tau_0}.$$

При настройке регулятора на пропорциональный закон регулирования комплексная частотная характеристика САР в разомкнутом состоянии следующая:

$$W(j\omega) = K \cdot \frac{e^{-j\omega\tau_0}}{I + j\omega T_0},$$

$$\text{где } K = K_p \cdot K_0 \cdot \frac{n_{p0}}{n_3};$$

K - коэффициент усиления САР в разомкнутом состоянии;
 n_{p0} - изменение напряжения ЛАТР, соответствующее полному диапазону шкалы указателя положения;

n_3 - изменение температуры объекта, соответствующее полному диапазону задатчика.

При применении ПИ-регулятора

$$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega} \cdot \frac{(I + j\omega T_{И})}{I + j\omega T_0},$$

$$\text{где } K = \frac{K_p \cdot K_0 \cdot n_{p0}}{T_{И} \cdot n_3}.$$

Для ПИД-регулятора

$$W(j\omega) = \frac{K}{j\omega} \cdot \frac{(I + j\omega T_{И})(I + j\omega T_2)}{I + j\omega T_0},$$

$$\text{где } K = \frac{K_p \cdot K_0 \cdot n_{p0}}{T_{И} \cdot n_3}; \quad (I + j\omega T_{И})(I + j\omega T_2) = I + j\omega T_1' + (j\omega)^2 \cdot T_1 \cdot T_2.$$

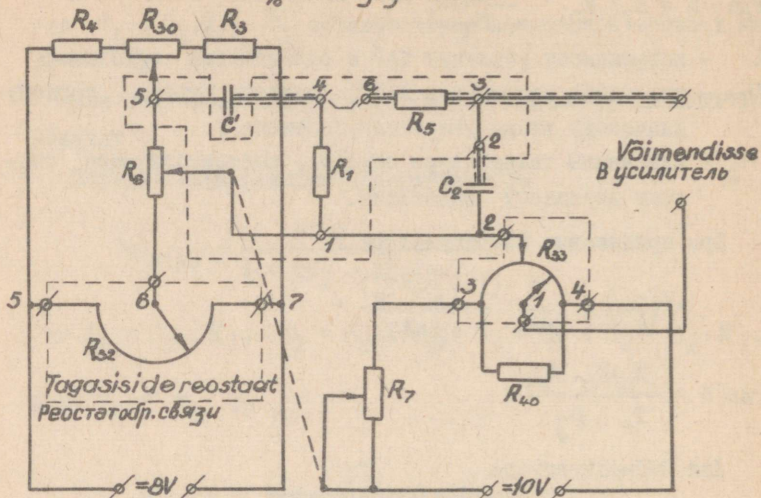
Целью расчета является выяснение настроек регулятора, при которых САР имеет наибольшее быстродействие и, следовательно, наибольшую угловую частоту среза ω_c при достаточных запасах устойчивости ($\varphi = 40^\circ$, $\Delta L = 6-10 \text{ дБ}$).

Расчет производится применительно к заданному закону регулирования по логарифмическим частотным характеристикам системы в разомкнутом состоянии. По полученным результатам определяют параметры настройки регулятора K_p , $T_{И}$ и T_2 и подбирают элементы цепи обратной связи.

Ход работы

1. Ознакомиться с устройством регулятора РУ4-16А и всех элементов САР. Составить схему САР по рис. 2-4.

Включение 100%-ного затвора



Включение 10%- или 20%-ного затвора

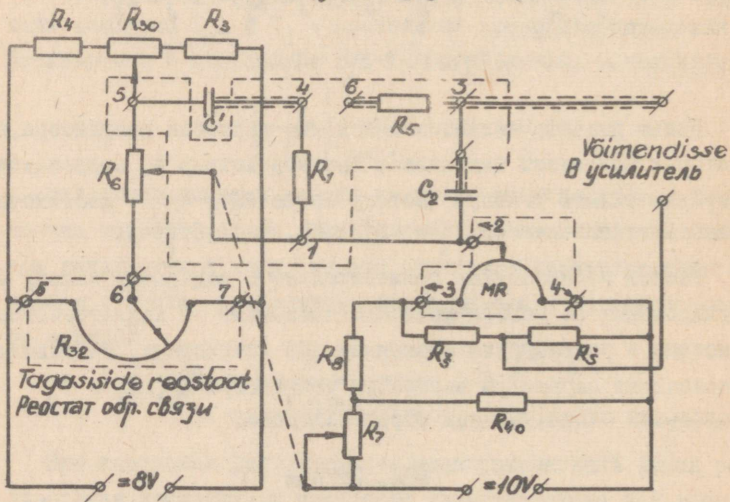


Рис. 2-4.

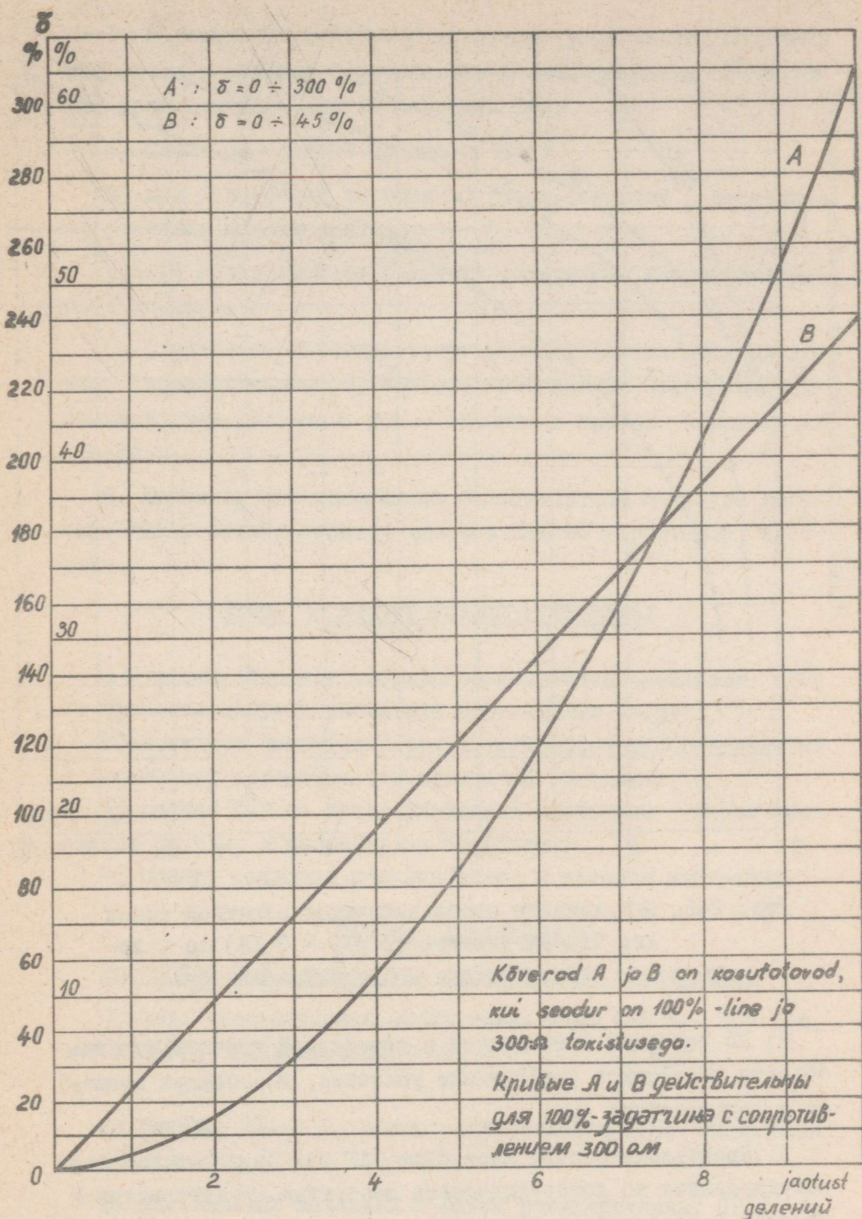


Рис. 2-5. Зависимость диапазона пропорциональности РУ4-16А от положения потенциометра "статизм".

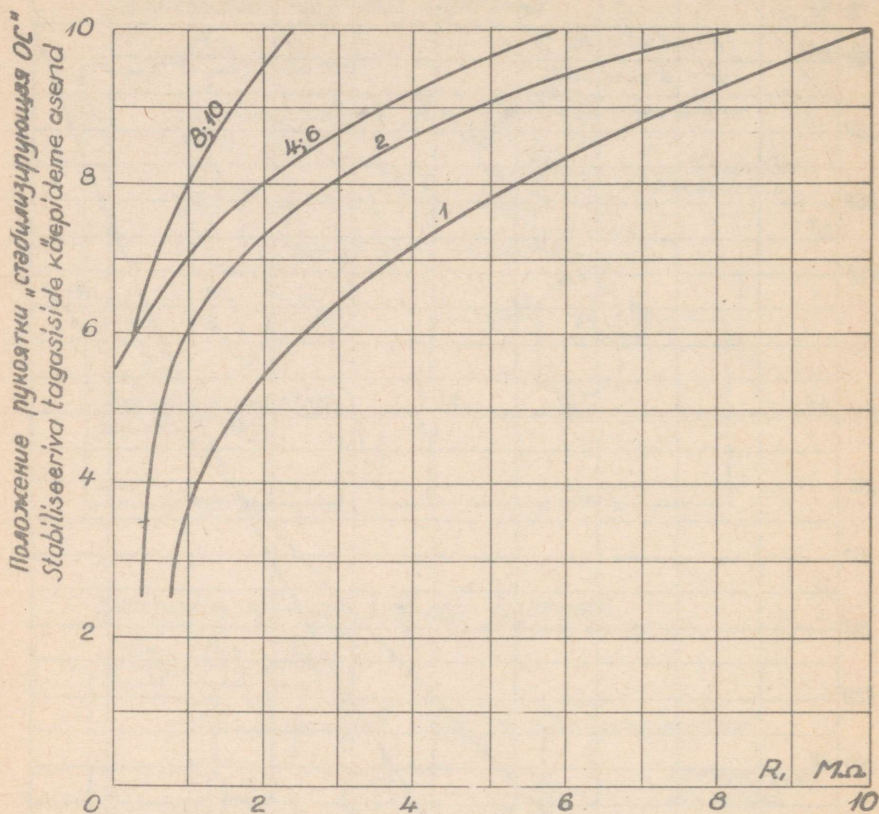


Рис. 2-6. Определение стабилизирующей обратной связи для ПИД-регулятора ($T/T_I = 0,18$) по величине статизма и сопротивления R_I .

2. По заданным статической и переходной характеристикам объекта определить коэффициент усиления, постоянную времени и запаздывание его.

3. Произвести расчет настройки САР для заданных законов регулирования по логарифмическим частотным характеристикам системы в разомкнутом состоянии.

4. Настроить регулятор.

5. Переключить регулятор на ручное управление, включить нагреватель объекта и установить в объекте режим по указанию преподавателя, затем включить САР.

6. Снять переходный процесс в САР:

а) при возмущении по заданию (перестановкой задатчика по указанию преподавателя);

б) при возмущении по нагрузке (открытием двери электропечи и т.д.).

7. Определить качество регулирования (время регулирования, перерегулирование, частота собственных колебаний, быстроедействие системы и т.п.) по снятым кривым переходного процесса.

8. Оценить, как изменились бы показатели качества регулирования, если регулятор настраивать по упрощенной методике.

Отчет о работе должен содержать:

- 1) краткое описание устройства и принципа действия САР; ее принципиальную и расчетную структурную схему;
- 2) протокол испытания; результаты обработки статических и переходных характеристик элементов системы;
- 3) расчет САР по логарифмическим частотным характеристикам системы в разомкнутом состоянии;
- 4) оценку качества регулирования и методов настройки.

Образец протокола

Настройка САР температуры лабораторной электропечи

Объект: лабораторная электропечь типа СЭШ-3, 2,5 квт,
 $0 + 250^{\circ}\text{C}$; дин.параметры - $K_0 =$; $T_0 =$,
 $T_0 =$ мин.

Регулятор: РУ4-16А; закон регулирования - П; параметры настройки - $K_p =$.

Исполнительный механизм и орган регулирования: ПР-1 с автотрансформатором АТЛ-4/250.

Датчик и измерительный прибор: терморезистор ТК-ХТУ; ЭПМ-09 с 10%-ным реостатным датчиком.

Снятие переходной характеристики САР:

начальная температура - $t_0 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$;
возмущение по заданию - 10 %.

t мин									
t° $^\circ\text{C}$									
$\frac{t^\circ}{t}$ $^\circ\text{C}/\text{мин}$									

Из графика переходной характеристики определяются:

время регулирования $t_{\text{рег}} =$ мин,
 время быстрогодействия $t_{\text{б}} =$ мин,
 период колебания $T_{\text{рег}} =$ мин,
 число колебаний $n_{\text{рег}} =$ мин,
 перерегулирование $a =$ %,
 собственная частота колебаний САР $\omega_0 =$ 1/мин.

Результаты расчета:

$K_0 =$ мв/%, $R_1 =$ мом,
 $\omega_c =$ 1/мин, $R_2 =$ мом,
 $T_{\text{н}} =$ сек, $C_1 =$ мкф,
 $T_{\text{г}} =$ сек, $C_2 =$ мкф.

Приложение

Автоматические регулирующие устройства РУ4-16А предназначены для регулирования тепловых и других производственных процессов и работают в комплексе с автоматическими измерительными приборами со встроенным реостатным задатчиком и исполнительными механизмами (ИМ) со встроенным реостатом

обратной связи, указателем положения регулирующего органа и пультом управления, обеспечивающим автоматическое и ручное дистанционное управление ИМ.

Основные технические характеристики

1. Минимальная зона нечувствительности - не более 0,2%.
2. Диапазон пропорциональности от I до 300%.
3. Время издрорма - от I до 3000 сек.
4. Время предварения - от 0,2 до 470 сек.
5. Питание силовой цепи - 220 в, 50 гц.
6. Потребляемая мощность - не более 50 ва.

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО РЕГУЛЯТОРА ТИПА ЭР-III

Ц е л ь р а б о т ы - ознакомление с электронными регуляторами серии ЭР и методами их настройки.

Литература:

- I - стр. II4-I33.
- II - стр. I66-I76.

Характеристика регулятора

Регуляторы серии ЭР относятся к группе электронных регуляторов с корректирующей RC-цепочкой в цепи местной обратной связи, охватывающей релейный усилитель. В комплексе с этими регуляторами применяются электромоторные исполнительные механизмы постоянной скорости вращения. На рис.3-I показана упрощенная структурная схема САР с регулятором ЭР.

В установившемся состоянии $\dot{\lambda} = 0$, что возможно при

$$\Delta = X_{0.c.} \quad (I)$$

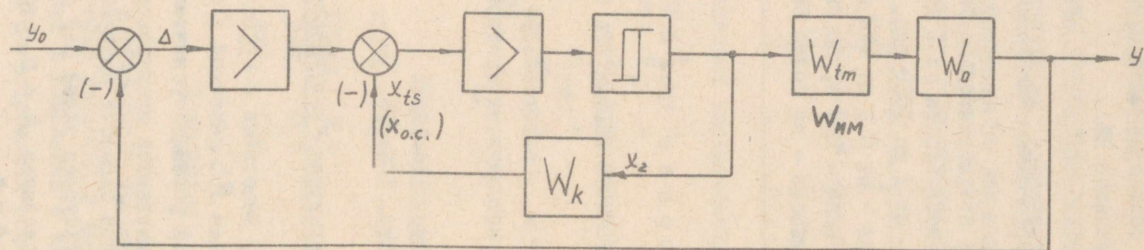


Рис. 3-1. Структурная схема САР с регулятором ЭР.

Ввиду малого изменения параметра в объекте регулирования за время одного периода колебаний соотношение (I) может быть положено в основу приближенного анализа динамики САР. При таком допущении:

$$W_p(p) = \frac{M(p)}{D(p)} = W_{им}(p) \cdot \frac{X_2(p)}{D(p)} = \frac{W_{им}(p) X_2(p)}{X_{ос}(p)} = \frac{W_{им}(p)}{W_k(p)}$$

Передаточная функция разомкнутой системы:

$$W(p) = W_p(p) \cdot W_o(p) = \frac{W_{им}(p) \cdot W_o(p)}{W_k(p)}$$

При пренебрежении электромеханической постоянной времени передаточная функция исполнительного механизма следующая:

$$W_{им}(p) = \frac{K_{им}}{p}$$

где $K_{им}$ — коэффициент усиления, определяемый крутизной скоростной характеристики исполнительного механизма.

Для получения изодромного закона регулирования необходимо в цепь обратной связи ввести однозвенный интегрирующий RC-фильтр с передаточной функцией

$$W_k(p) = \frac{K_k}{1 + pT_{и}}$$

тогда

$$W_p(p) = \frac{K_{им}}{K_k} \cdot \frac{1 + pT_{и}}{p} = K_p \left(1 + \frac{1}{pT_{и}} \right),$$

где

$$K_p = \frac{K_{им}}{K_k} \cdot T_{и}$$

Для получения изодромного с предварением закона регулирования необходимо вводить двухзвенный интегрирующий RC-фильтр с передаточной функцией:

$$W_K(P) = \frac{K_K}{(1 + pT_1)(1 + pT_2)}$$

Тогда

$$W_P(P) = \frac{K_{ИМ}}{K_K} \cdot \frac{(1 + pT_1)(1 + pT_2)}{P} = K_P \left(1 + \frac{1}{pT_{И}} + pT_{Э} \right),$$

где

$$T_{И} = T_1 + T_2; \quad T_{Э} = \frac{T_1 T_2}{T_{И}}; \quad K_P = \frac{K_{ИМ}}{K_K} \cdot T_{И}.$$

Достоинством регуляторов с корректирующим фильтром в обратной связи, охватывающей релейный усилитель, является отсутствие влияния утечки в конденсаторах фильтра на статическую ошибку САР (статическая ошибка зависит только от зоны нечувствительности регулятора), недостатками — сложность и ограниченный диапазон настройки. Сложность настройки регулятора обусловлена зависимостью коэффициента усиления от постоянной времени издрома, выбора исполнительного механизма и нагрузки на валу регулирующего органа. Диапазон настройки ограничивается, с одной стороны, возникновением автоколебаний, а с другой — допустимым снижением эффективности обратной связи. Практически в регуляторах этого типа $T_{Э}/T_{И} < 0,15$.

Ход работы

1. Ознакомиться с регулятором ЭР-III и исполнительным механизмом.
2. Произвести настройку регулятора ЭР-III на заданный закон регулирования.
3. Снять скоростную характеристику регулятора с исполни-

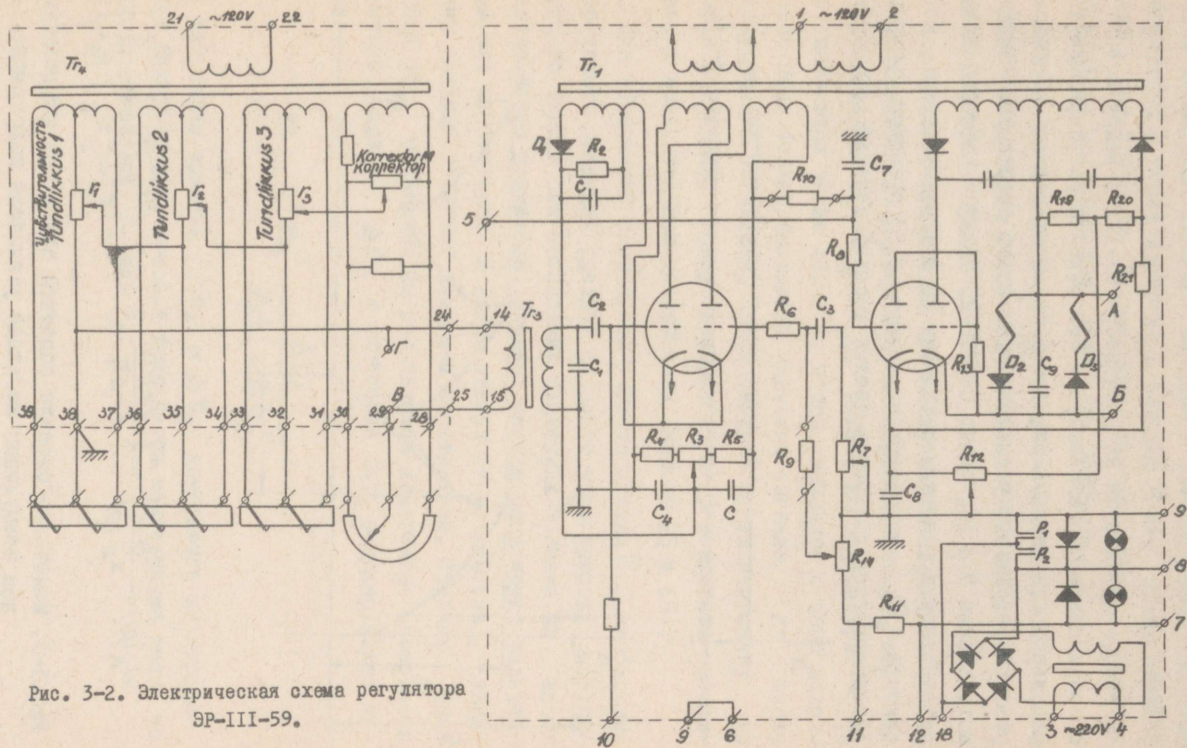
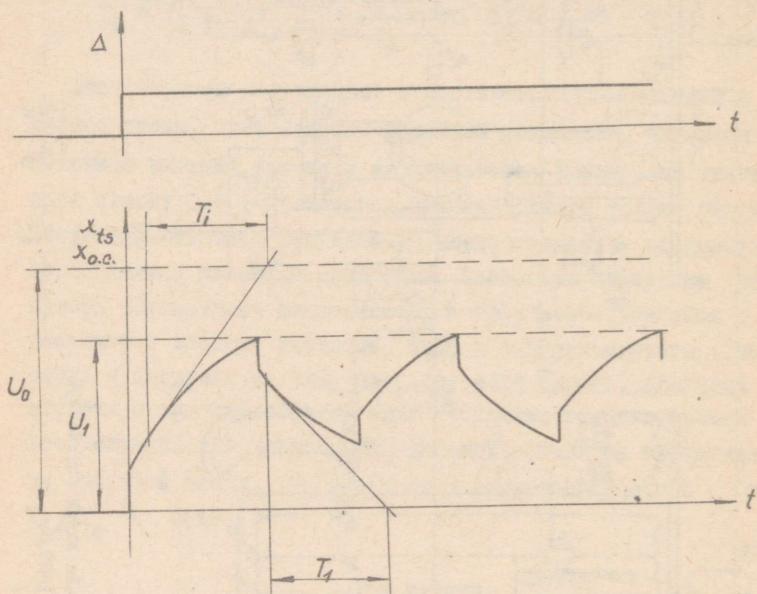


Рис. 3-2. Электрическая схема регулятора
SR-III-59.

тельным механизмом и определить коэффициент усиления регулятора.

Работа проводится на регуляторе ЭР-III в комплексе с исполнительным механизмом, но без объекта регулирования. В начальной стадии эксперимента следует проверить балансировку электронного усилителя. Для этого необходимо соединить клеммы 9 и 10, снять перемычку между измерительным устройством и усилителем (клеммы 25 и 15), рукоятку корректора R_3 поставить на деление 3,5; рукоятки прочих потенциометров повернуть против часовой стрелки до упора.



$$W_k(p) = \frac{x_{ts}(p)}{x_2(p)} = k \frac{1+pT_1'}{1+pT_1}; \quad T_1 = C_3(R_7 + R_9);$$

$$T_1' = C_3 R_7; \quad k_k = f(R_{14})$$

Рис.3-3. Изменение сигнала обратной связи при скачкообразном возмущении на входе усилителя напряжения.

Затем необходимо включить питание к электронному усилителю регулятора и после прогрева в течение 5 мин можно приступить к балансировке. Балансировка производится поворотом корректора до погасания сигнальных лампочек.

Движок потенциометра R_{I2} следует установить так, чтобы нечувствительность регулятора по шкале корректора была порядка половины большого деления.

После этого производят настройку корректирующего фильтра (потенциометр R_7 выводят, а сопротивление R_9 подбирают из расчета $C_3 \cdot R_9 = T_{II}$). Движок потенциометра R_{I4} устанавливают таким образом, чтобы снимаемое с него напряжение было больше ожидаемых значений сигнала на входе электронного усилителя. Затем следует снять перемычку на входе усилителя. Между клеммами I4 и I5 соединить усилитель с измерительным устройством (клеммы 25 и I5).

Для построения скоростной характеристики необходимо определить значение средней скорости перестановки регулирующего органа при нескольких значениях сигнала на входе электронного усилителя. Входной сигнал регулируют задатчиком или корректором И (измерительного устройства), величину сигнала измеряют ламповым вольтметром. Среднюю скорость n_{cp} оценивают по результатам измерения интервалов времени движения Δt_1 , и остановки Δt_2 регулирующего органа:

$$n_{cp} = n_0 \cdot \frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2}.$$

Интервалы времени Δt_1 и Δt_2 измеряются электрическим секундомером, который включается контактными реле на выходе усилителя P_I или P_2 .

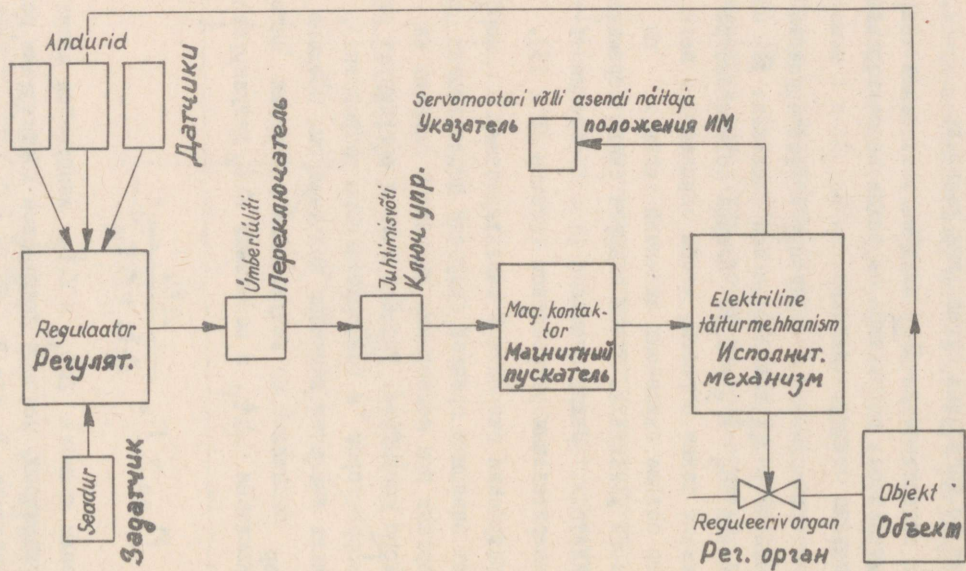


Рис. 3-4. Структурная схема САР.

Отчет о работе должен содержать:

- 1) краткое описание ЭР-III, принципиальную схему САР с регулятором ЭР-III;
- 2) структурную схему регулятора;
- 3) описание порядка настройки регулятора и установки всех регулировок;
- 4) протокол испытания;
- 5) скоростную характеристику исполнительного механизма совместно с регулятором;
- 6) экспериментальные и расчетные значения коэффициента усиления регулятора;
- 7) оценку результатов работы.

Образец протокола

Регулятор: ЭР-III; тип и другие техн. данные.
 Исполнительный механизм: КДУ-I и другие техн. данные.

Задано: режим ПИ; $T_{И} = 4$ мин; $C_3 = \dots\dots\dots$ мкФ;

$R_3 = \dots\dots\dots$ мом; $n_0 = \dots\dots\dots$ об/мин.

Скоростная характеристика

U_1 мВ	Δt_1 сек	Δt_2 сек	$\eta = n_0 \frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$K_p \frac{\text{об/мин}}{\text{мВ}}$
5				
10				
15				
20				

Расчетное значение

$$K_p = K_I \cdot \frac{n_{cp}}{U_{R_{И}}} T_{И} = \dots\dots\dots \frac{\text{об/мин}}{\text{мВ}}$$

П р и м е ч а н и е.

$U_{pн}$ - напряжение на потенциометре;

K_1 - коэффициент усиления первого каскада усилителя напряжения, приведенный к сигналу постоянного тока.

Приложение

Технические данные ЭР-III

Регулятор ЭР-III-59 предназначен для применения в схемах автоматического регулирования технологических процессов (давления, разрежения, уровня, расхода газовых и жидких сред и др.) на тепловых электростанциях и других промышленных объектах.

Измерительная схема регулятора ЭР-III-59 производит суммирование и компенсацию сигналов, поступающих от индукционных датчиков первичных приборов (дифманометров ДММ-К, дифтягомеров ДТМ-К, манометров ЧМП-К и т.п.). Она выполнена таким образом, что при заданном значении регулируемой величины напряжение на выходе измерительного устройства равно нулю.

При отклонении регулируемой величины от заданного значения на выходе устройства появляется пропорциональное этому отклонению напряжение переменного тока, фаза которого зависит от направления отклонения.

Измерительное устройство регулирующего прибора типа ЭР-III-59 предназначено для работы с одним, двумя или тремя первичными приборами указанного выше типа.

Усилительное устройство ЭР-III-59 служит для усиления напряжения переменного тока, поступающего от измерительного устройства.

Это усиление осуществляется входным трансформатором, двухкаскадным электронным усилителем и электромагнитным реле.

Органами контроля измерительного блока регулятора являются контрольные гнезда В-Г, предназначенные для подключения вольтметра переменного тока во время настройки измерительного блока, а также для шунтирования входа усилителя при проверке его баланса во время работы прибора.

Органами контроля электронного блока являются:

1. Гнезда А-Б на панели сменных сопротивлений, подсоединенные к выходу второго каскада усиления и предназначенные для подключения вольтметра постоянного тока, для контроля за напряжением срабатывания реле РКМ-1 или для балансировки прибора.

1. Клеммы 5 - 6 - на клеммнике блока, присоединенные к выводу первого каскада усиления, предназначены для включения контрольного вольтметра постоянного тока (лучше лампового).

3. Индикаторные лампочки КЛ₁ и КЛ₂, позволяющие наблюдать за направлением действия регулирующего прибора. Лампочка КЛ₁ (красная) загорается при срабатывании прибора в сторону "больше". Лампочка КЛ₂ (зеленая) загорается при срабатывании прибора в сторону "меньше".

Техническая характеристика электронного
регулирующего прибора

Напряжение питания (номинальное)	
при основной частоте 50 гц	
сетевое $U_{\text{сети}}$, в	220
Стабилизированное $U_{\text{стаб}}$, в	120
Потребляемая мощность от стабилизатора	
$P_{\text{стаб}}$, ва	не более 20
Входное сопротивление усилителя переменному току $Z_{\text{вх}}$, ом	не менее 1000

Минимальная зона нечувствительности усилителя по входному сигналу переменного тока $\Delta_{\text{мин}}$, мВ	не более	7
Зона возврата усилителя $\Delta_{\text{в}}$, мВ	$(0,15 + 0,35) \cdot \Delta$	

П р и м е ч а н и е. Δ - зона нечувствительности.

Нестабильность "нуля" усилителя при колебаниях напряжения сети от 190 до 230 в, приведенная к входному сигналу усилителя $U_{\text{нест}}$, мВ	не более	7
Диапазон измерения времени изодрома $T_{\text{и}}$, сек		I - 500
Максимальное значение произведения скорости обратной связи на время изодрома, приведенное к входному сигналу усилителя $T_{\text{и макс}}$, мВ	не менее	1000
Выходное (управляющее) напряжение постоянного тока на клеммах 7-8 или 8-9 прибора при номинальном напряжении питания $U_{\text{упр}}$, в		27^{+3} -1
Выходная (управляющая) мощность $P_{\text{упр}}$, вт	не более	6
Максимальное количество подключенных первичных приборов, снабженных индукционными датчиками, шт		3
Температура окружающего воздуха при относительной влажности 80%, $t_{\text{окр}}$, °C		0 - 40
Габаритные размеры, мм		300 x 175 x 342
Вес прибора, кг		12

РЕЛЕЙНОЕ (ДУХПОЗИЦИОННОЕ) РЕГУЛИРОВАНИЕ
ТЕМПЕРАТУРЫ

Ц е л ь р а б о т ы - ознакомиться с основами релейного регулирования и промышленными приборами, применяемыми для релейного регулирования технологических процессов.

Теоретическое введение

Духпозиционные Рп-регуляторы, как правило, являются регуляторами приборного типа. В комплекте измерительного прибора, с помощью которого измеряется значение регулируемой величины, имеются элементы для установки заданного значения регулируемой величины и релейный блок двухпозиционного регулирования.

Рп-регулятор в процессе регулирования периодически полностью прекращает и восстанавливает приток энергии к регулируемому объекту.

В зависимости от измерительного прибора различают два вида электрических Рп-регуляторов, построенных

- на базе измерительных приборов прямого действия (например, приборы МПЦР-54, МСЦР-018, ЛР1-02, МСЦР-018 и др.), и

- на базе автоматических компенсаторов (например, приборы ЭП, ЭПР, ПСР1, МСР1, ДСР1, ЭМВ2, ЭПВ2 и др.).

В системах двухпозиционного регулирования регулирующее воздействие на объект (M) принимает только два значения:

1) соответствующее поданному на регулирующий орган номинальному воздействию;

2) соответствующее отключенному регулирующему воздействию.

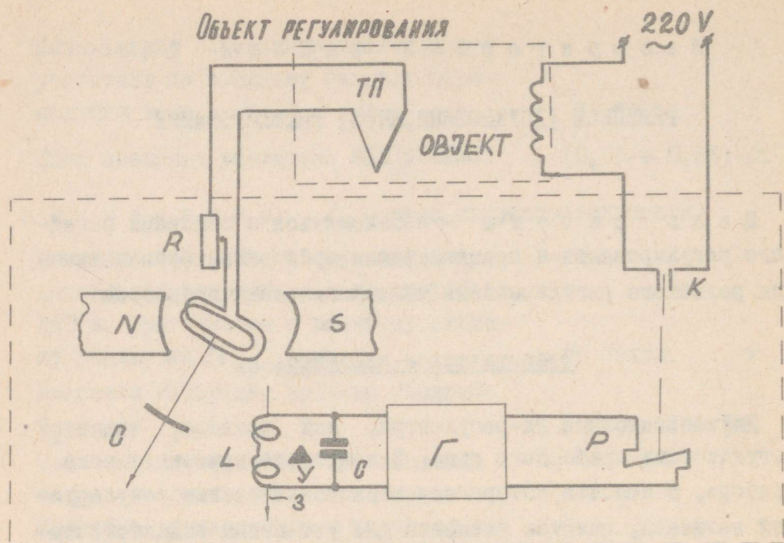


Рис. 4-Г. Релейный регулятор на базе пирометрического милливольтметра МРЩПР-54:

ТП-термопара; С-стрелка с флажок-экраном; L-катушка; З-задающая стрелка; Г-генератор высокой частоты; Р-реле; К-ртутный контакт реле.

Уравнение идеализированного регулятора (рис. 4-3) может быть записано в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \mu_m \operatorname{sgn} y \\ \mu_m &= \frac{|\mu_1 - \mu_2|}{2} \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

Реальные позиционные элементы Рп-регулятора характеризуются так называемой гистерезисной зоной 2ε (рис. 4-4). Наличие этой зоны объясняется разностью сигнала срабатывания и возврата релейного элемента (ток срабатывания электромагнитного реле больше тока отпускания её и т.д.).

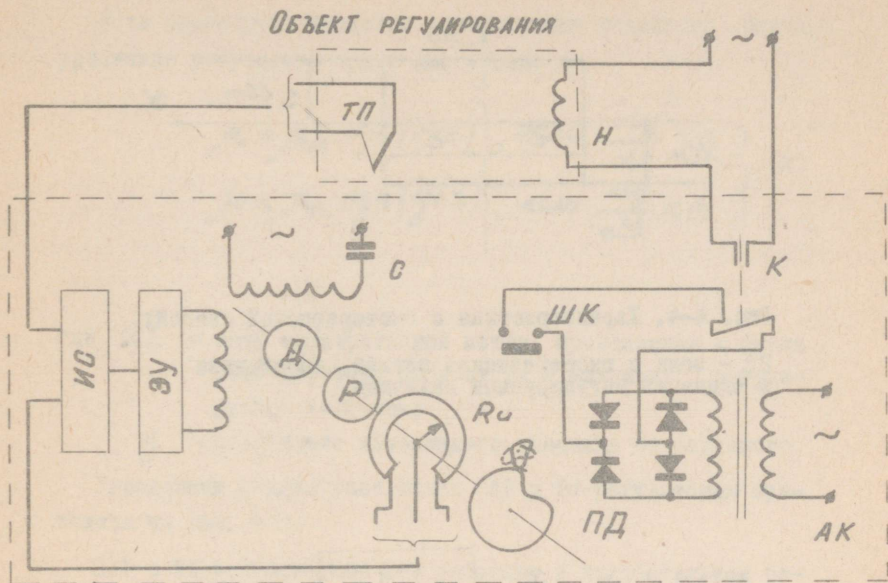


Рис. 4-2. Релейный регулятор на базе автоматического компенсатора:

ТП-термопара; Н-нагреватель; ИС-измерительная схема; ЭУ-электронный усилитель; Д-реверсивный двигатель; Р-редуктор; R_u -измерительный реохорд; ПД-профильный диск; ШК-шарнирный контакт; К-ртутный контакт реле.

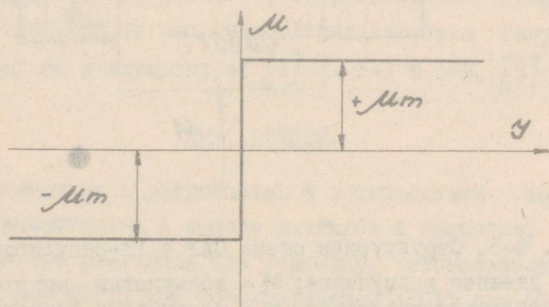


Рис. 4-3. Характеристика идеализированного релейного регулятора:

y - входной сигнал; M - регулирующее воздействие.

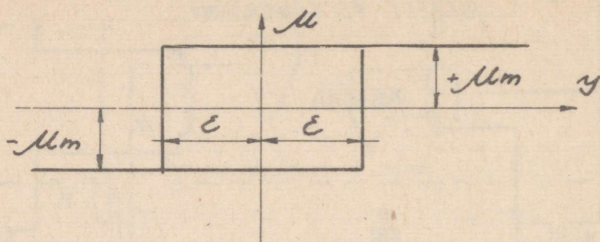


Рис. 4-4. Характеристика с гистерезисной петлей:

2ε - зона с гистерезисной петлей, выраженная в единицах регулируемой величины.

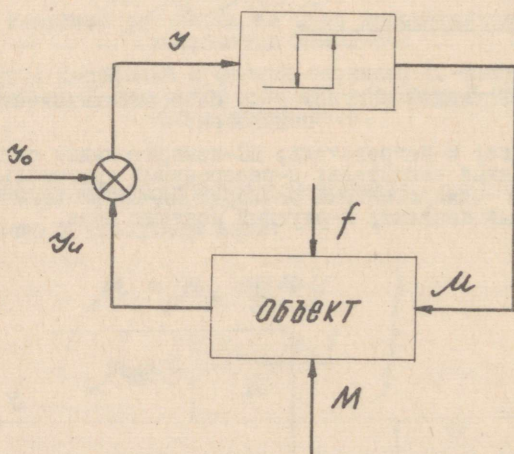


Рис. 4-5. Структурная схема САР с Рп-регулятором:

f - внешнее возмущение; M - возмущение нагрузки;
 y_0 - заданное значение; y_u - измеренное значение
 регулируемого параметра; y - отклонение параметра.

Если пренебречь временем переключения релейного блока, уравнение регулятора будет иметь вид:

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \mu_m \operatorname{sgn}(y - \varepsilon), \text{ если } \frac{dy}{dt} > 0 \\ \mu &= \mu_m \operatorname{sgn}(y + \varepsilon), \text{ если } \frac{dy}{dt} < 0 \end{aligned} \right\}, (2)$$

где 2ε — зона гистерезисной петли, приведенная к шкале прибора, т.е. выраженная в единицах регулируемой величины;

y — отклонение измеренного значения от заданного.

Упрощенная структурная схема САР с Рп-регулятором приведена на рис. 4-3.

САР с Рп-регуляторами все работают в колебательном режиме, так как регулирующий орган принимает только крайние положения $\pm \mu_m$. Амплитуда и период колебаний в установившемся режиме зависят от параметров регулятора ($\mu_m \varepsilon$) и объекта (K_0, T_0, τ_0), а также от величин заданного значения (y_0) и возмущений (f, M).

Рекомендации по применимости Рп-регуляторов, графики и расчетные зависимости для определения качества регулирования приведены в литературе: [1]-п. 5-3 и 5-4, [5]-п.4-4.

Ход работы

1. Ознакомиться с устройством и техническими характеристиками применяемых в работе датчиков и приборов, т.е. термометров сопротивления или термопар, автоматических устройств (ЭВВ2 или МСР1) или потенциометров (ПСР1 или ЭВВ2) и объекта регулирования (термостат СЭН-3).

2. Собрать схему для измерения и регулирования температуры термостата при помощи автоматического электронного

измерительного прибора с двухпозиционным регулятором. Процесс регулирования и переходные процессы записать при помощи безинерционной самодельной термопары и автоматического потенциометра ЭПШ или ПС.

3. Зарегистрировать колебания температуры термостата при полном и частичном включении нагревателя. Зарегистрировать переходные процессы, возникающие из-за изменения задания, из-за внутренних (скачок напряжения питания) и внешних (включение или отключение вентилятора термостата) возмущений. Вид и величина последних задаётся преподавателем.

4. Снять характеристику разгона термостата.

5. Определить зону нечувствительности 2ϵ (гистерезиса) релейного регулятора.

Отчет о работе должен содержать:

1) краткое описание применённой аппаратуры, принципиальную электрическую схему САР с Рп-регулятором (с указанием всех внешних соединений), а также расчетную структурную схему САР;

2) оригинальные диаграммные ленты регистрирующих приборов;

3) контрольные расчеты переходных процессов и сравнение их с экспериментально полученными результатами [1, 5, 6].

Лабораторная работа № 5

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИГНАЛИЗАТОРЫ И ИНДУКТОРЫ УРОВНЯ

Цель работы - ознакомление и изучение принципа работы и устройства сигнализаторов и индикаторов уровня (ЭСУ-1, ЭСУ-2, МЭСУ-1М и ЭИУ-1) и комплектующей измерительной и регулирующей аппаратуры (РЭД-3104, ЭПИД, ИИ-1).

Литература:

- [8] - глава УІ;
- [3] - главы Ш и ІУ.

Введение

Объектом лабораторной работы служит бак с водой, который для непрерывного измерения уровня снабжен автоматическим индикатором ЭИУ-І. Для стабилизации уровня применяется система автоматического регулирования, состоящая из двухпозиционного сигнализатора уровня ЭСУ-І и электрического исполнительного механизма ПР-І с регулирующим клапаном на притоке воды. Приток воды измеряется ротаметром РЭД-3ІО4.

Схема расположения аппаратуры приведена на рис. 5-І.

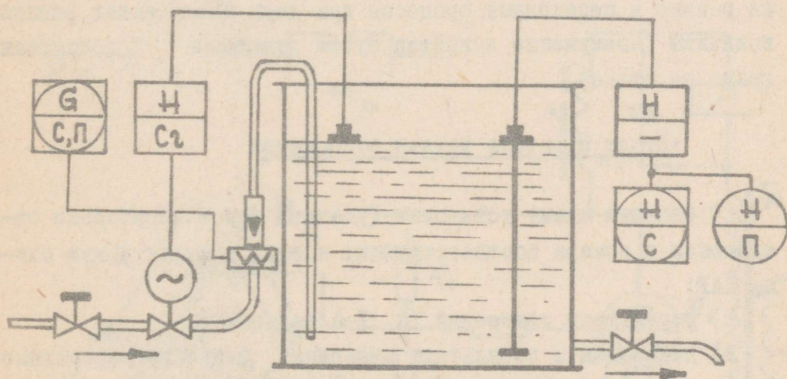


Рис. 5-І. Схема установления аппаратуры.

Ход работы

І. Заполнить бак водой и определить (при помощи мерила) уровни срабатывания и возврата сигнализатора ЭСУ-І.

2. Подключить к ротаметру вторичный регистрирующий прибор (ЭПИД) и определить зависимость показаний ротаметра от положения регулирующего клапана. Определить угол поворота выходного вала исполнительного механизма и скорость перемещения клапана.

3. Снять градуировочную кривую индикатора ЭИУ-1 при заполнении и опустошении бака. При необходимости следует подрегулировать прибор.

4. Определить уровни срабатывания и возврата ЭСУ-2 и МЭСУ-1М (при вертикальном расположении датчиков).

5. Подключить к ЭИУ-1 автоматический регистрирующий прибор и снять переходные характеристики заполнения и опустошения бака.

6. Записать процесс регулирования уровня в установившемся режиме и переходные процессы при двух возмущениях разной величины (возмущение задаётся путем изменения положения крана на стоке).

Отчет о работе должен содержать:

1) блочную схему установки (указать все межприборные соединения и номера соответствующих клемм) и структурную схему САР;

2) результаты измерений (п. 1-4 задания);

3) диаграммы и результаты измерения, зарегистрированные в соответствии с пунктами 5 и 6 задания, а также вычисленные по результатам работы характеристики объекта регулирования ($W(p)$, $W(j\omega)$) и параметры объекта) и показатели качества регулирования (см. работу № 4).

ка на 2-5 пф. При этом резко возрастает анодный ток, и реле, включенное в анодную цепь лампы, срабатывает, переключая цепь сигнализации и управления. Описанные сигнализаторы применяются для измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов (песок, зерно, сахар и т.д.), а также для измерения уровня раздела двух жидкостей с различными плотностью и диэлектрической проницаемостью.

Техническая характеристика регуляторов

	ЭСУ-1	ЭСУ-2	МЭСУ-1М
1. Количество датчиков	1	2	1
2. Допускаемая погрешность сигнализации уровня	$\pm 2,5(\pm 5)$ мм	$\pm 3(\dots \pm 15)$ мм	$\pm 2,5$ мм
3. Чувствительность схемы	3-5 пф	3-5 пф	2-5 пф
4. Длина соединительного кабеля	коаксиальный кабель 3 - 7 м		5-жильный кабель до 200 м
5. Температура среды	-60... + 250° С		
6. Питание прибора	220 в, 50 гц, 20 ва	220 в, 50 гц, 23 ва	220 в, 50 гц, 26 ва
7. Габариты	электр. блок 180x180x x125 мм	эл. блок 175x130x x230 мм	блок питан. 140x110x x180 мм

И н д и к а т о р у р о в н я (у р о в н е м е р)
 ЭМУ-1. В основу работы прибора положен мостовой метод измерения емкости датчика. Датчик включен в одно плечо моста переменного тока, индуктивно связанного с питающим генератором высокой частоты. Мост уравнивается при "нулевом" уровне измеряемой среды. Повышение уровня приводит к разбалансу моста, и сигнал разбаланса после усиления и детек-

тирования подается на показывающий измерительный прибор. Прибор имеет выход для подключения серийного регистрирующего потенциометра.

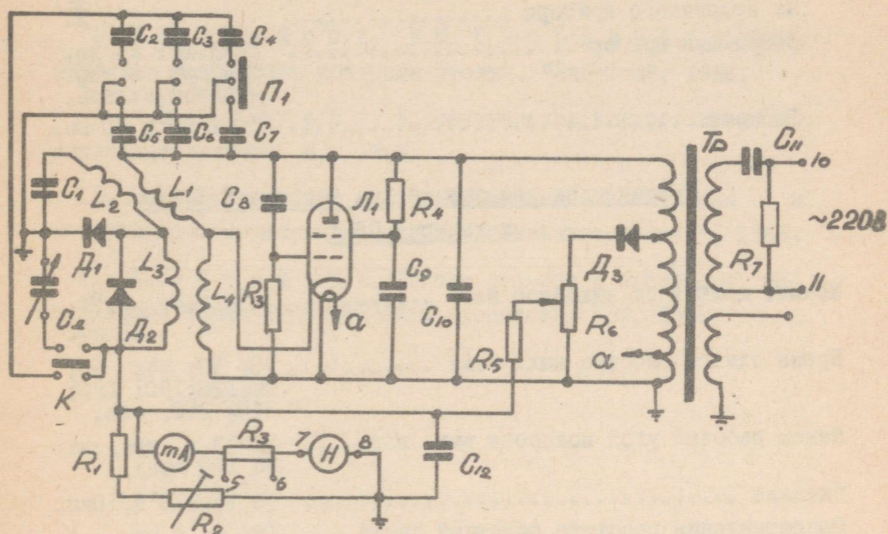


Рис. 5-3. Схема индикатора уровня ЭИУ-1.

Техническая характеристика ЭИУ-1

1. Пределы измерения уровня 0,1; 0-1,5; 0-2...0,5 м.
2. Погрешность измерения 2,5 %.
3. Температура измеряемой среды до 250° С.
4. Давление измеряемой среды до 640 н/см².
5. Питание прибора 220 в; 50 гц; 40 ва.
6. Габариты электронного блока 290x285x190 мм.
7. Габариты показывающего прибора 160x160x70 мм.

Техническая характеристика ротаметра РЭД-3104

Диапазон измерения воды	25; 40; 63 л/ч.
Условный проход (калибр)	8 мм.
Погрешность показаний комплекта по шка- ле вторичного прибора	± 2,5 %.
Вторичный прибор	ЭПИД, ДСР и др. приборы с диф. -трансф. схемой.
Габариты	230 x 80 x 50 мм.

Техническая характеристика исполнительного механизма ПР-I

Номин. момент на выходном валу	3,5; 5,0; 6,9; 10 нм.
Время одного оборота вых. вала	20; 30; 44; 60; 90; 120; 150; 180; 210; 240, сек.
Макс. рабочий угол поворота вых. вала....	любой в пределах до 180 град.
Питание	60 ва, 220 в, 50гц.
Сопrotивление реостата обратной связи ...	185 ± 5 ом.

Л и т е р а т у р а

1. Е.К. К р у г и О.М. М и н и н а. Электрические регуляторы промышленной автоматики. ГЭИ, 1962.
2. Лабораторный практикум по курсу "Основы автоматики и автоматизации производственных процессов". Гизлегпром, 1963.
3. Б.Д. К о ш а р с к и й и др. Автоматические приборы и регуляторы (справ. материалы). Машгиз, 1964.
4. В.Я. Р о т а ч. Расчет настройки промышленных систем регулирования. ГЭИ, 1961.
5. H. L i n d (koostaja). Automaatregulaatorite valik ja häälestamine. "Eesti Raamat", 1964.

6. А.А. Кампене-Немм. Динамика двухпозиционного регулирования. ГЭИ, 1955.

7. Т.К. Такер и Д.М. Уиллс. Упрощенные методы анализа системы автоматического регулирования. ГЭИ, 1963.

8. А.К. Макаров, В.М. Свердлин. Автоматические устройства контроля уровня. "Энергия", 1966.

9. И.В. Бутусов. Автоматические контрольно-измерительные приборы. М., 1963.

10. В.А. Кулаков. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы. "Машиностроение", 1966.

11. Е.П. Стефани. Основы расчёта и настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. ГЭИ, 1960.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

Лабораторная работа № 1 Многоточечный автоматической потенциометр ЭПР-09	3
Лабораторная работа № 2 Настройка и испытание системы автоматического регулирования с электронным регулятором типа РУ4-16А	9
Лабораторная работа № 3 Испытание электронного регулятора типа ЭР-Ш	21
Лабораторная работа № 4 Релейное (двухпозиционное) регулирование температуры	33
Лабораторная работа № 5 Электрические сигнализаторы и индикаторы уровня	38

Одобрено на заседании кафедры
автоматики и телемеханики
7 декабря 1966 г. Протокол № 12/66.

Составитель Л. Эйнер

Сдано в печать 20 января 1967 г.
Бумага 60x84, 1/16. Печ. л. 3,0. Усл.печ. л. 2,8
Тираж 300. Зак. № 43 Ротапринт ТПИ, Таллин
Цена 8 коп.

Цена 8 коп.

XI

A-14248

35269

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00666589 9