

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.А. Воронин

Е.А. Ракул

**АВТОМАТИКА**

*Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для бакалавров очной и заочной формы обучения  
направления подготовки  
35.03.06 Агроинженерия*

Брянская область 2018 г.

УДК 681.5 (076)

ББК 32.965

В 75

Воронин, А. А. Автоматика: методические указания по выполнению лабораторных работ для бакалавров очной и заочной формы обучения направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия / А. А. Воронин, Е. А. Ракул. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 54 с.

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров очной и заочной форм обучения направления подготовки 35.03.06 Агроинженерия.

Рецензент: Безик В.А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой электроэнергетики и автоматики.

*Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией института энергетики и природопользования Брянского ГАУ, протокол №1 от 18.09.2018 года.*

© Брянский ГАУ, 2018

© А.А. Воронин, 2018

© Е.А. Ракул, 2018

## Содержание

Организация лабораторных занятий.....	4
Правила безопасной работы в лаборатории электрооборудования и автоматизации.....	5
Методика определения точности измерений.....	6
Лабораторная работа №1.....	9
Лабораторная работа №2.....	18
Лабораторная работа №3.....	24
Лабораторная работа №4.....	32
Лабораторная работа №5.....	40
Лабораторная работа №6.....	47
Приложение 1. Определение постоянной времени.....	51
Литература.....	53

## **Организация лабораторных занятий**

Выполнение лабораторных работ способствует лучшему усвоению студентами теоретических положений автоматики и обеспечивает приобретение практических навыков по экспериментальному исследованию, более полному и глубокому освоению конструкций, принципа действий, схемы работы и области применения основных типов элементов и систем автоматического регулирования и управления технологическими процессами.

До начала лабораторных работ студенты знакомятся с правилами техники безопасности и расписываются в соответствующем журнале.

К выполнению каждой лабораторной работы студент должен подготовиться, то есть изучить соответствующий раздел курса по рекомендуемой литературе. До проведения работы студенты изучают описание лабораторной работы, составляют необходимые таблицы, заготавливают формы графиков, выполняют в случае необходимости требуемые расчеты и т.д.

Проверка подготовленности студента к выполнению очередной лабораторной работы осуществляется преподавателем на коллоквиуме или в индивидуальной беседе. Если студент не знает данного раздела курса, содержания, методики проведения предстоящей лабораторной работы, то он не допускается к ее выполнению.

При выполнении лабораторной работы вначале готовят экспериментальную установку или модель и собирают соответствующие схемы (в зависимости от особенности работы), которые для проверки правильности подготовки показывают преподавателю или лаборанту. При этом особое внимание обращают на соблюдение правил техники безопасности.

Запуск установки в работу или подключение схем к источнику питания производится только с разрешения преподавателя или лаборанта.

Для выполнения лабораторных работ учебная группа в зависимости от наличия оборудования и рабочих мест может разделиться на бригады не более чем по три человека.

В процессе проведения лабораторной работы, полученные результаты следует обработать, построить необходимые графические зависимости, сделать анализ, показать преподавателю и только после его разрешения отключить установку или разобрать схему и все оборудование, приборы сдать лаборанту, привести рабочее место в надлежащее состояние.

По каждой лабораторной работе студент составляет индивидуальный отчет, для чего в процессе опытов их число должно быть не менее числа членов бригады. Отчет должен быть оформлен в соответствии со схемой, изложенной в каждой работе, и содержать ответы на контрольные вопросы, необходимые таблицы, графики, пояснения, анализ, выводы.

### **Правила безопасной работы в лаборатории электрооборудования и средств автоматизации**

Работающие в лаборатории электрооборудования и средств автоматизации подвергаются опасности поражения электрическим током, воздействия излучения источников электромагнитных полей и травмирования вращающимися частями установок с электрическими машинами.

Для снижения вероятности поражения электрическим током:

- включайте установку для проведения опыта только после разрешения преподавателя;
- не прикасайтесь к клеммам и проводам установки, находящейся под напряжением;
- перед каждым включением установки предупреждайте об этом своих товарищей по звену;
- запомните местоположение рубильников и выключателей, отключающих напряжение на установке и в лаборатории;
- не загромождайте рабочее место лабораторной установки одеждой и другими посторонними предметами.

Для уменьшения воздействия электромагнитного излучения:

- избегайте прямого попадания излучения в глаза;
- не оставляйте включенными установки без необходимости;
- по мере возможности экранируйте источники излучения.

Для исключения травмирования вращающимися деталями:

- не загромождайте рабочее место посторонними предметами;
- не работайте в одежде, допускающей возможность наматывания;
- не облакачивайтесь на оборудование и приборы лабораторной установки;
- предупреждайте коллег по звену о каждом включении установки.

### **Методика определения точности измерений**

Результат измерения является технически правильным, если он выражен двумя числами. Первое число соответствует показанию электроизмерительного прибора, а второе - возможной погрешности, обусловленной классом точности прибора.

Класс точности  $K$  прибора, указанный на шкале прибора, определяется приведенной погрешностью

$$\beta = K = \pm \frac{\Delta}{X_N} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\beta$  - предел допускаемой приведенной погрешности в процентах от нормирующего значения  $X_N$ ;

$\Delta = x - x_0$  - абсолютная погрешность измерения, равная разности между измеренной  $x$  и действительной  $x_0$  величиной.

$X_N$  - диапазон измеряемой величины по шкале прибора.

Точность измерения оценивается относительной погрешностью измерения

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Выражая  $\Delta$  из (1) и подставляя его значение в (2), получим

$$\delta = \pm K \frac{X_N}{x}. \quad (3)$$

Тогда результат измерения в общем виде будет

$$X = x(1 \pm \delta) = x \pm \delta x. \quad (4)$$

На практике почти всегда  $x < X_N$ , поэтому  $\delta > \beta$ . Чем ближе  $x$  к  $X_N$ , тем меньше  $\delta$  отличается от  $\beta$ , тем точнее результат измерения.

Приведенной погрешностью оценивается результат только прямых измерений. Результат косвенных измерений необходимо вычислять по формулам, функционально связывающим измеряемую величину с величинами, от которых измеряемая величина зависит. Так при косвенном измерении сопротивления его определяют как  $R = U/I$ . Тогда имеем  $\Delta R/R = \Delta U/U + \Delta I/I$ , т.е.  $\delta_R = \delta_U + \delta_I$ .

Все погрешности делят в зависимости от причин, их вызвавших, на случайные и систематические. Основная погрешность любого измерительного прибора содержит обе эти погрешности.

Систематическую погрешность можно либо устранить, применяя специальные методы особой точности измерения, например, компенсационный метод, либо уменьшить путем введения поправки.

Случайная погрешность выявляется только многократными измерениями одной и той же величины и последующим анализом методами математической статистики. Рассматривая результаты измерения величины  $x$  как случайные величины  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , можно считать их независимыми, тогда при известных допущениях результаты измерений имеют нормальное распределение. Такое допущение подтверждается многочисленными опытными данными. Тогда истинное значение измеряемой величины оценивают по среднему арифметическому результату отдельных измерений с соответствующими доверительными границами.

При технических измерениях в качестве наибольшей принимают ошибку, равную

$$\Delta_n = \pm t(\gamma, n) \cdot S, \quad (5)$$

где  $S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_{cp})^2}{m-1}}$  - среднее квадратическое отклонение (стандарт);

$x_i - i$  - е измерение,  $x_{cp}$  - среднее арифметическое  $n$  - измерений;

$t(\gamma, n)$  - коэффициент распределения Стьюдента как функция числа измерений  $n$  и надежности  $\gamma$  повторения результата измерения.

При увеличении числа опытов, ошибка измерения уменьшается, а надежность  $\gamma$  возрастает. Значения коэффициента  $t(\gamma, n)$  приведены в таблице 1.

Погрешность оценки результата измерения находят как

$$\delta = t(\gamma, n) \frac{S}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Таблица 1 - Коэффициент распределения Стьюдента  $t(\gamma, n)$

Число измерений	Надежность, $\gamma$					
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999	0,9999
3	2,92	4,30	6,97	9,92	22,33	31,60
4	2,35	3,18	4,54	5,84	10,22	12,90
5	2,13	2,78	3,75	4,60	7,17	8,61
6	2,01	2,57	3,37	4,03	5,89	6,86
7	1,94	2,45	3,14	3,71	5,21	5,96
8	1,89	2,36	3,00	3,50	4,79	5,40
9	1,86	2,31	2,90	3,36	4,50	5,04
10	1,83	2,26	2,82	3,25	4,30	4,78

В практике большинства исследований достаточной считается надежность  $\gamma = 0,9$ , а наибольшее значение коэффициента  $t(\gamma, n)$  не должно превышать 3. Тогда для надежности 0,9 достаточно 3-х измерений, а для надежности 0,95 - не менее 5-ти измерений.



# Лабораторная работа № 1

## *Термопреобразователи*

### *1. Общие сведения*

Тепловые преобразователи делятся на электрические (термоэлектрические (термопары), терморезисторные (термометры сопротивления) и механические).

*Термопары* представляют термоэлектрические преобразователи генераторного типа. Принцип действия их основан на термоэлектрическом эффекте – возникновении термо-ЭДС на концах спаев двух разнородных материалов, находящихся в разных температурных режимах.

Конструктивно термопара состоит из двух разнородных, специально подобранных проводников, одни концы которых сварены между собой. Как правило, две термопары соединяют последовательно и встречно, а выводы подсоединяют к прибору. Рабочий (горячий) спай устанавливают в месте контроля температуры. Если температура свободных (холодных) спаев термопары отличается от температуры горячего спаев, то вследствие термоэлектрического эффекта на электродах возникает термо-ЭДС, пропорциональная разности температур.

Отечественная промышленность выпускает термопары из благородных металлов (ТМК, ТХК, ТХА и др.), благородных металлов (ТПП, ТИР и др.), керамических и металлокерамических материалов.

Термопары из благородных металлов обладают высокой точностью и стабильностью. Для измерения низких температур в диапазоне от  $-200$  до  $+350^{\circ}\text{C}$  в основном используются термопары из благородных металлов, среди которых можно выделить термопару хромель-алюмелевую (ТХА). Учитывая то, что в диапазоне температур от  $0$  до  $800^{\circ}\text{C}$  зависимость термо-ЭДС от температуры для ТХА носит почти линейный характер, их часто используют в автоматических регуляторах температуры. При этом изменение термо-ЭДС составляет примерно  $40 \text{ мкВ}/^{\circ}\text{C}$ .

*Термометры сопротивления* представляют собой особую группу термодатчиков, в основу действия которых положен принцип изменения сопротивления материалов от температуры. Для изготовления чувствительных элементов используют чистые металлы (платину, медь, никель, железо), обладающие положительными температурными коэффициентами сопротивлений (ТКС). Наша промышленность выпускает в основном два вида металлических термометров сопротивления: платиновые ТСП и медные ТСМ.

Термочувствительные элементы (ТЧЭ) термометров сопротивления ТСП на слюдяной основе представляют собой платиновую проволоку диаметром 0,05...0,07 мм, намотанную на слюдяную пластинку с зубчатыми краями.

ТЧЭ для медных термопреобразователей сопротивления, представляет собой безындукционную обмотку из медной проволоки, диаметром 0,07...0,08 мм, покрытую фторопластовой пленкой. Для защиты от механических воздействий ТЧЭ помещают в тонкостенную металлическую гильзу, которую заполняют керамическим порошком и герметизируют.

Для меди в диапазоне температур от  $-50$  до  $+180^{\circ}\text{C}$  зависимость сопротивления от температуры аппроксимируется линейным законом

$$R_t = R_0(1 + \alpha t^{\circ}), \quad (7)$$

где  $R_0$  – значение сопротивления при  $t^{\circ} = 0^{\circ}\text{C}$ ;

$$\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ 1/}^{\circ}\text{C}$$

Чувствительность термометров сопротивления (Ом/ $^{\circ}\text{C}$ )

$$k_{\circ} = \frac{dR_t}{dt} = \alpha R_0. \quad (8)$$

Термометры сопротивления (проволочные терморезисторы) - одни из самых точных измерительных преобразователей (ИП) температуры. Они позволяют измерять температуру с точностью до  $0,001^{\circ}\text{C}$  при высокой стабильности параметров.

Основной их недостаток - большие размеры ТЧЭ, что не дает возможности использовать их при измерении температуры в малых объемах.

В автоматических регуляторах широко используются полу-

проводниковые терморезисторы (термисторы), воспринимающий элемент которых изготавливается из полупроводниковых материалов, обладающих большими отрицательными ТКС. Для их изготовления обычно используют порошкообразные смеси окислов марганца, меди, кобальта, никеля и других металлов, спрессованные и спеченные при высокой температуре.

Конструктивно по форме термисторы изготавливают в виде шарика, трубки или диска. Для защиты от воздействия окружающей среды термисторы покрывают слоем лака или жидкого стекла.

Статическая характеристика термистора (зависимость сопротивления термистора от температуры) нелинейная:

$$R_t = R_\infty e^{\frac{B}{T}}, \quad (9)$$

где  $B$  - постоянная термистора;  $T$  - температура,  $K$ ,  $R_\infty$  - сопротивление термистора при  $T \rightarrow \infty$ .

$$R_\infty = R_n e^{-\frac{B}{T_1}}, \quad (10)$$

где  $R_n$  - номинальное сопротивление термистора при комнатной  $T_1$  температуре.

Итоговая статическая характеристика

$$R_t = R_\infty e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{T_1}\right)}. \quad (11)$$

Коэффициент чувствительности

$$k_\partial = -\frac{B}{T^2} R_t. \quad (12)$$

Коэффициент  $B$  может быть найден из опытных данных по формуле

$$B = \frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{R_1}{R_2}, \quad (13)$$

где  $R_1, R_2$  - сопротивление термистора при  $T_1, T_2$ .

В практике находят также применение полупроводниковые терморезисторы с положительным ТКС, называемые позисторами. Материалом для ТЧЭ позисторов служит обычно титанат бария с определенными примесями.

Особенность позисторов заключается в том, что их сопротивление при

повышении температуры увеличивается только в диапазоне ограниченных значений температуры. Вне этих пределов ТКС позисторов будет отрицательным. При этом в диапазоне положительных значений ТКС выделяется линейный участок характеристики, который используется на практике.

Термисторы и позисторы по сравнению с термометрами сопротивления обладают повышенной чувствительностью, меньшей инерционностью, но имеют незначительный рабочий диапазон и разброс параметров в пределах до 20%.

*Термопреобразователи с механическими чувствительными элементами* используют явление теплового расширения твердых тел, жидкостей и газов. К ним относятся:

- упругие (измерительные пружины, мембраны, сильфоны, манометрические трубки, струны и др.);
- термобиметаллические;
- инерционные;
- гидравлические;
- пневматические.

В сельскохозяйственном производстве нашли наибольшее применение термобиметаллические преобразователи или термобиметаллы. Термобиметалл состоит из двух металлов или сплавов, имеющих различные коэффициенты теплового расширения ( $\alpha_1 < \alpha_2$ ), обладающих хорошими упругими свойствами, спаянных или сваренных по всей поверхности соприкосновения. Компонент с  $\alpha_1$  называется пассивным, изготавливается обычно из инвара (36 % Ni, 64 % Fe), а активный компонент с  $\alpha_2$  - из хромоникелевой, никельмолибденовой сталей или томпака.

Наиболее распространенной парой является термобиметалл ТБЗ из никельмолибденовой стали и инвара, обладающий наибольшей чувствительностью ( $\alpha_1 - \alpha_2 \approx 16 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>) и лучшей стабильностью. Термобиметаллы ТБ2 (хромоникелевая сталь + инвар) и ТБ1 (томпак + инвар) уступают и в стабильности и в чувствительности.

При нагревании или охлаждении компоненты термобиметалла деформируются в разной степени, что вызывает изгиб конструкции.

Величина угла  $\varphi$  изгиба консольно закрепленной биметаллической пластины пропорциональна длине пластины  $l$  и перепаду температур  $\Delta T = T_1 - T_2$ :

$$\varphi = k_0 l \Delta T, \quad (14)$$

где  $k_0$  - биметаллический коэффициент, зависящий от параметров компонентов пластины. Изгиб при нагревании происходит в сторону материала с меньшим коэффициентом линейного расширения.

Точность термобиметаллических преобразователей невысока. В связи с этим они применяются в качестве чувствительных элементов термометров, терморегуляторов, максимальных и тепловых реле и т.д.

## ***2. Исследование термопреобразователей***

Цель работы:

- изучение принципа действия измерительных преобразователей температуры (термопары, термистора, терморезистора, термобиметаллических пружин);
- приобретение навыков теоретического и экспериментального исследования измерительных преобразователей температуры.

## ***3. Порядок выполнения работы:***

1. Изучить устройство термистора, термопары и терморезистора, выписать их паспортные данные.
2. Соберите схемы для исследования термистора и термопары (рисунок 1).
3. Снимите вольтамперную характеристику терморезистора. Для этого при комнатной температуре, изменяя напряжение на терморезисторе, измеряйте протекающий через него ток. Измерения провести не менее чем в 5-ти точках

при различном напряжении. Полученные данные занести в таблицу 1. Вычислить значения статического сопротивления терморезистора  $R_{ст}$ .

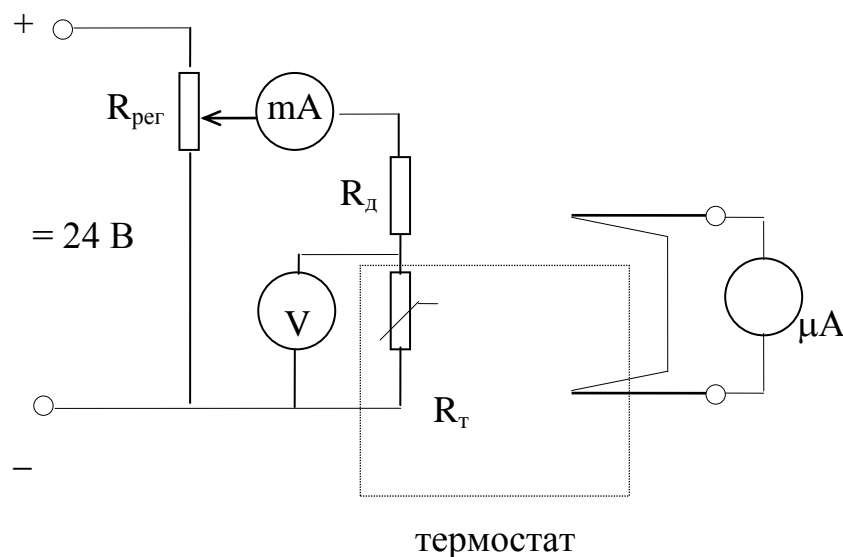


Рис. 1. Схема лабораторной установки

Таблица 2 – Результаты измерения вольтамперной характеристики полупроводникового терморезистора при комнатной температуре  $T = \underline{\hspace{2cm}}$

U, В	3	6	9	12	15
I, мА					
$R_{ст}$ , кОм					

4. По полученным данным построить вольтамперную характеристику  $I=f(U)$ . Выбрать рабочий участок характеристики.

5. Снимите статическую характеристику терморезистора и градуировочную характеристику термопары. Для этого включите сушильный шкаф СЭШ-3М, установите с помощью регулятора контактного термометра необходимую температуру.

При нагреве до необходимой температуры нагреватель сушильного шкафа отключится (погасание индикаторной лампы). Спустя 1-2 мин провести измерения тока через терморезистор и термопару.

6. Изменяя температуру сушильного шкафа через  $10^{\circ}\text{C}$  повторите измерения не менее чем в 5 точках.

7. Результаты измерений занесите в таблицы 3, 4.

Таблица 3 – Результаты измерения статической характеристики полупроводникового терморезистора при напряжении  $U=$ \_\_\_\_\_

T, K					
I, mA					
$R_{ст}$ , kOM					
$k_{д}$ , kOM/K					

Таблица 4 – Результаты измерения статической характеристики термопары

T, K					
I, mA					
$E_T$ , mV					

8. По экспериментальным данным рассчитайте значения статического сопротивления и коэффициента чувствительности. Результаты расчетов занесите в таблицу 3.

9. По результатам измерений постройте статические характеристики терморезистора  $R(T)$  и термопары  $E(T)$ .

10. Выньте терморезистор из сушильного шкафа и охладите до комнатной температуры.

11. Измерьте переходную характеристику терморезистора  $R_{ст}=f(t)$ . Для этого установите в сушильном шкафу температуру  $70^{\circ}$ . Поместите терморезистор в

сушильный шкаф и с этого момента измеряйте ток через терморезистор и напряжение на нем до тех пор, пока он не перестанет изменяться.

12. Результаты измерений занесите в таблицу 5. Рассчитайте значения статического сопротивления  $R_{ст}$  и занесите в таблицу 5.

13. Постройте переходную характеристику  $R_{ст}=f(t)$ . По ней определите тип звена, описывающего датчик и значения коэффициентов в его передаточной функции (коэффициент передачи  $k$ , постоянную времени –  $\tau$  (см. приложение 1).

Таблица 5 – Результаты измерения переходной характеристики терморезистора

t, с	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
U, В										
I, мА										
$R_{ст}$ , кОм										

14. Подключите к лабораторной установке проволочный терморезистор вместо полупроводникового.

15. Измерьте через него ток при комнатной температуре и рассчитайте сопротивление.

16. Установите температуру в сушильном шкафу  $70^{\circ}\text{C}$ , поместите в него терморезистор, спустя 1-2 мин проведите измерения тока и рассчитайте его сопротивление.

17. Считая линейным изменение сопротивления терморезистора при изменении температуры рассчитайте его коэффициент чувствительности.

#### ***4. Содержание отчета о работе***

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки.



4. Паспортные данные исследуемых термопреобразователей.
5. Таблицы измерений с измеренными и вычисленными данными.
6. Требуемые графики зависимостей, необходимые выкладки.
7. Выводы, в которых необходимо
  - охарактеризовать статические характеристики термопреобразователей;
  - охарактеризовать динамические свойства термопары, термистора, термосопротивления;
  - дать сравнительную оценку исследованных преобразователей по типу и месту в классификации.

### ***5. Контрольные вопросы***

1. В чем заключается принципиальное отличие термосопротивления от полупроводникового терморезистора?
2. Как выбрать рабочий участок вольтамперной характеристики терморезистора?
3. Перечислите основные характеристики полупроводникового терморезистора.
4. В чем причины нелинейности вольтамперной характеристики терморезистора?
5. На какие характеристики необходимо обращать внимание при выборе типа преобразователя температуры?
6. Объясните принцип работы терморезистора, термопары, термосопротивления.
7. Как определить тип звена, которым можно аппроксимировать элемент САУ?

### ***6. Литература***

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. - М.: Агропромиздат, 1985.
2. Баховец В.А., Ткачук Я.В. Основы автоматике и автоматизация производственных процессов в гидромелиоративном производстве. - Львов: Выща школа, 1989.

3. Бородин И.Ф. Автоматика и автоматизация сельскохозяйственного производства. - М.: Агропромиздат, 1992.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. Технические средства автоматики и телемеханики. - М.: Агропромиздат, 1992.

#### *Паспортные данные терморезистора ММТ-4*

Резистор ММТ-4 предназначен для использования в условиях повышенной влажности и в жидкостях.

Сопротивление при  $T_0=273$  К  $R_0=10...12$  кОм

Температурный коэффициент сопротивления  $-(2,4...3,4) \%/^{\circ}\text{C}$ .

Интервал рабочих температур  $-70...+120$   $^{\circ}\text{C}$ .

Максимально допустимая мощность рассеивания  $P_{\text{доп}}=0,4$  Вт.

Постоянная времени на воздухе  $\tau_{\text{в}}=115$  с.

## **Лабораторная работа № 2**

### ***Фотопреобразователи***

#### ***1. Общие сведения***

Входными устройствами оптических преобразователей автоматических систем управления служат различные первичные преобразователи оптического излучения в электрический сигнал - фотопреобразователи. В основе принципа действия фотопреобразователей лежит явление внешнего фотоэффекта, когда возбужденные излучением электроны покидают материал фотопреобразователя, или внутреннего фотоэффекта, когда возбужденные электроны вырываются из кристаллической решетки, но остаются в материале.

*Внешний фотоэффект* возможен в любом веществе, но при условии, что длина волны падающего излучения не превышает критической для данного вещества, т.е. при  $\lambda \leq \lambda_{\text{кр}}$ . Так например, для цезия (Cs)  $\lambda_{\text{кр}}=0,66$  мкм, для платины (Pt)  $\lambda_{\text{кр}}=0,1962$  мкм. Это означает, что для платины фотоэффект

возможен только при облучении ее ультрафиолетовыми лучами, тогда как цезий способен работать практически во всем видимом диапазоне спектра оптического излучения. На внешнем фотоэффекте основано действие вакуумных фотоэлементов, которые по целому ряду причин не получили широкого распространения в практической автоматике.

*Внутренний фотоэффект* наиболее сильно проявляется в полупроводниках. В полупроводниковых фотопреобразователях всех типов электроны, освобождающиеся под действием квантов поглощенного излучения, увеличивают проводимость, которая называется фотопроводимостью. Однако механизм преобразования оптического излучения в электрический сигнал в разных группах преобразователей происходит неодинаково.

В *фоторезисторах* первичные электроны фотопроводимости, сталкиваясь с атомами кристаллической решетки, вызывают вторичный поток электронов, что приводит к сильному уменьшению (в сотни раз) сопротивления фоторезистора. Если включить фоторезистор в замкнутую электрическую цепь, содержащую внешний источник питания, можно выделить электрический сигнал (ток или напряжение), пропорциональный значению освещенности. Изменяя величину потока оптического излучения  $\Phi$ , можно получить семейство вольтамперных характеристик фоторезистора

$$I = I_T + I_\phi = U(g_T + \Delta g) = \frac{U}{R_T} + \Phi s_I, \quad (15)$$

где  $R_T$ ,  $I_T$  - темновое сопротивление фоторезистора и соответствующий ток через него;

$U$  - напряжение на выводах фоторезистора;

$g_T$  - темновая проводимость фоторезистора;

$\Delta g$  - фотопроводимость;

$s_I$  - токовая чувствительность фоторезистора.

Для практических расчетов используется эмпирическая формула определения фототока

$$I_{\phi} = k_0 U s E^{\alpha}, \quad (16)$$

где  $\alpha < 1$  - коэффициент фотопреобразования, учитывающий не полное преобразование фоторезистором падающего излучения

$k_0$  - удельная чувствительность фоторезистора  $\left[ \frac{\mu A}{\text{лм} \cdot B} \right]$ , определяемая как

$$k_0 = \frac{I_{\phi}}{\Phi U} \text{ при } U = 1 \text{ В (паспортная величина);}$$

$s$  - площадь приемного окна фоторезистора,  $\text{м}^2$ ;

$E$  - освещенность, лк.

Статическая характеристика фоторезистора  $R(\Phi)$  имеет нелинейный падающий вид. Если характеристика построена для полного спектра оптического диапазона электромагнитных волн, то по ней находят интегральную чувствительность

$$S_s = \frac{dR}{d\Phi} \approx \frac{U}{\Delta I \Delta E s}, \quad (17)$$

где  $s$  - площадь приемного окна фоторезистора.

В случае известных данных по длинноволновой и коротковолновой границам фоточувствительности можно найти спектральную чувствительность  $s_{\lambda}$ , учитывающую зависимость фоточувствительности от длины волны  $\lambda$  обычно в виде графика  $s_{\lambda}(\lambda)$ .

В настоящее время наиболее широкое распространение получили фоторезисторы на основе собственных полупроводников:

- пленки сульфида кадмия для видимой области спектра (например, ФСК-1);
- пленки сульфида свинца для ближней инфракрасной области спектра (1,5 - 2,5 мкм);
- пленки селенида свинца ( $\Delta\lambda = 3 - 5,5$  мкм);
- монокристаллы твердого раствора теллурида кадмия и ртути ( $\Delta\lambda = 7 - 14$  мкм).

Фоторезисторы на основе примесных полупроводников изготавливаются на основе германия или кремния. Подбором легирующей примеси обеспечивается требуемый спектральный диапазон. В настоящее время фоторезисторы работают в инфракрасной области спектра от 5 до 30 мкм.

В **фотоэлементах** - фотопреобразователях, работающих также по принципу внутреннего фотоэффекта, реализуется иной механизм преобразования оптического излучения в электрический сигнал. Простейший фотоэлемент представляет из себя трехслойную конструкцию на железной или алюминиевой подложке. На ней нанесена пленка из полупроводникового материала, а затем полупрозрачная пленка золота. Оптическое излучение, поступающее в полупроводник через полупрозрачную пленку, вырывает электроны, которые диффундируют через границу раздела под действием внутреннего электрического поля р-п перехода образованного на границе материалов в пленку золота. При этом между верхним и нижним электродами появляется разность потенциалов. Таким образом, фотопроводимость, появляющаяся в фотоэлементе, приводит к появлению фото Э.Д.С.

На этом же принципе работают и фототранзисторы. В них создается второй р-п переход. Возникающая под действием света фото Э.Д.С. приводит к появлению тока базы. А от в свою очередь усиливается, как и при работе обычного транзистора. Фототранзисторы обладают наибольшей чувствительностью среди фотопреобразователей.

## ***2. Исследование фотопреобразователей***

Цель работы:

- Изучить основные типы и принципы работы фотодатчиков.
- Приобрести практические навыки измерения и вычисления параметров фотопреобразователей.

## ***3. Порядок выполнения работы:***

1. Изучите литературу по теме лабораторной работы, устройство принцип работы полупроводникового фоторезистора и фотоэлемента. Выпишите их паспортные данные.
2. Соберите лабораторную установку в соответствии с рисунком 2.
3. Измерьте вольтамперную характеристику фоторезистора. Для этого

установите максимально возможную освещенность при помощи  $R_d$  и изменяя напряжение на фоторезисторе с помощью  $R_{пер}$  измеряйте ток через него (снимите не менее 5-ти точек).

4. Рассчитайте статическое сопротивление фоторезистора  $R_{ст}$  в каждой из точек. Измеренные и рассчитанные данные занесите в таблицу 6.

5. По полученным данным постройте вольтамперную характеристику  $I=f(U)$ .

6. Измерьте статическую характеристику фоторезистора. Для этого установите на фоторезисторе максимальное напряжение и изменяя его освещённость, измеряйте ток через фоторезистор. Получите не менее 5-ти точек.

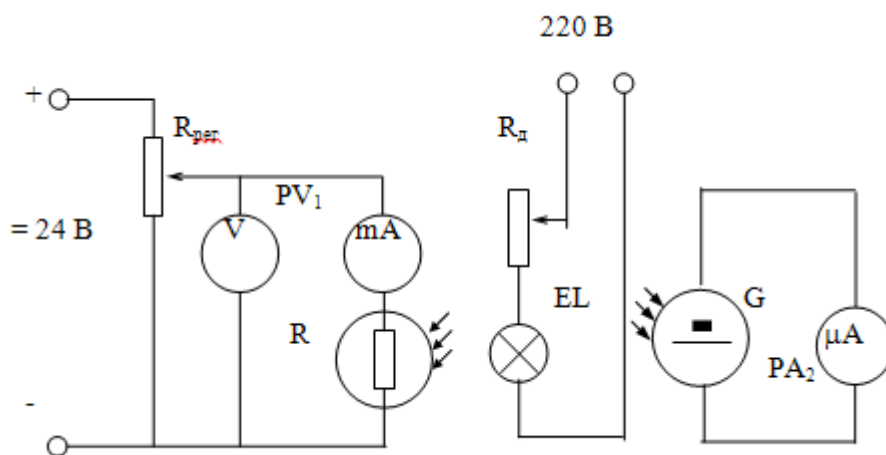


Рис. 2. Схема лабораторной установки для исследования фотопреобразователей

Таблица 6 – Результаты измерения вольтамперной характеристики фоторезистора при освещенности  $E = \underline{\hspace{2cm}}$

U, В	5	10	15	20	25
I, mA					
$R_{ст}$ , Ом					

7. По результатам измерений рассчитайте статическое сопротивление фоторезистора  $R_{ст}$  в каждой точке и коэффициент чувствительности  $k_o = \frac{dR}{dE}$ .

8. Измеренные и вычисленные данные занесите в таблицу 7.

9. По результатам измерений и вычислений постройте статическую характеристику фоторезистора  $R_{ст}(E)$ .

10. Снимите статическую характеристику полупроводникового фотоэлемента при напряжении 20 В. Для этого изменяя его освещенность, измеряйте силу тока. Проведите измерения не менее, чем в 5-ти точках.

Таблица 7 – Результаты измерений статической характеристики фоторезистора

Е, лк					
I, мА					
R, кОм					
$k_d$ , кОм/лк					

11. Измеренные данные занесите в таблицу 8 и постройте по ним статическую характеристику  $E_{ф}=f(E)$ .

Таблица 8 -Статическая характеристика полупроводникового фотоэлемента

Е, лк					
I, мкА					
$E_{ф}$ , мВ					

#### **4. Выводы о работе**

Необходимо:

- охарактеризовать статические характеристики преобразователей;
- охарактеризовать динамические свойства преобразователей;
- дать сравнительную оценку исследуемых преобразователей.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Объясните физическую сущность фоторезистора.
2. Что понимается под темновым током фоторезистора?

3. В чем отличие спектральной чувствительности от интегральной?
4. Перечислите области применения фотопреобразователей.
5. Приведите примеры генераторных и параметрических фотопреобразователей.
6. Объясните принцип работы полупроводникового фотоэлемента.

### ***6. Литература***

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. - М.: Агропромиздат, 1985.
2. Баховец В.А., Ткачук Я.В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в гидромелиоративном производстве. - Львов: Выща школа, 1989.
3. Бородин И.Ф. Автоматика и автоматизация сельскохозяйственного производства. - М.: Агропромиздат, 1992.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. Технические средства автоматики и телемеханики. - М.: Агропромиздат, 1992.

#### *Паспортные данные фоторезистора ФСК-1*

Коэффициент чувствительности  $k_0=3 \text{ мА}/(\text{лм}\cdot\text{В})$ .

Площадь приемного окна  $s=28,8 \text{ мм}^2$ .

Допустимая мощность  $P_{\text{доп.}}=0,1 \text{ Вт}$ .

Коэффициент фотопреобразования  $\alpha=0,81$ .

Максимально допустимое рабочее напряжение  $U_{\text{р.мах.}}=400 \text{ В}$ .

Темновое сопротивление  $R_{\text{темн.}}>107 \text{ Ом}$ .

### **Лабораторная работа № 3**

#### ***Реле***

##### ***1. Общие сведения***

Реле - это электрический аппарат, в котором при плавном изменении входной (управляющей) величины и достижении ею определенного значения происходит скачкообразное изменение выходной (управляемой) величины.



Функции, выполняемые реле, и их конструкции чрезвычайно разнообразны. В связи с этим и классифицируют реле по ряду различных признаков. По роду физической величины, на которую они реагируют различают реле напряжения, мощности, тепловые, оптические и т. п. При этом следует отметить, что реле может реагировать не только на значение конкретной величины, но и на разность значений (дифференциальные реле), на изменение знака величины (поляризованные реле) или на скорость изменения входной величины.

Реле обычно состоит из трех основных функциональных элементов: воспринимающего, промежуточного и исполнительного. Воспринимающий (первичный элемент) воспринимает контролируемую величину  $x$  и преобразует ее в другую физическую величину  $y$  (например, в контактных реле – в механическую силу).

Промежуточный элемент (у контактных реле - это обычно пружина) сравнивает значение преобразованной величины с заданным значением и при превышении установленного (заданного) значения передает первичное воздействие на исполнительный элемент.

Исполнительный элемент (у контактных реле - подвижная контактная система) воздействует непосредственно на управляемую цепь, замыкая или размыкая свои контакты.

В ряде конструктивных исполнений реле может быть четвертый элемент - элемент, создающий выдержку времени между моментом времени, когда воспринимающий элемент воспринимает контролируемую величину, и моментом срабатывания исполнительного элемента.

*Нейтральные электрические реле.* В зависимости от способа включения воспринимающего элемента различают реле первичные, вторичные и промежуточные. Первичные реле включаются непосредственно в контролируемую цепь. Вторичные реле включаются в контролируемую цепь через измерительные, трансформаторы тока или напряжения. Воспринимающие элементы промежуточных реле включаются в цепь через исполнительные

органы первичных или вторичных реле и служат обычно для размножения и (или) усиления сигнала.

По принципу действия исполнительных элементов различают реле контактные и бесконтактные. Контактные реле воздействуют на управляемую цепь путем замыкания или размыкания ее своими контактами. Бесконтактные реле осуществляют управление путем скачкообразного (релейного) изменения параметров своего исполнительного элемента, включенного в управляемую цепь.

В зависимости от области применения (то есть по функциональному признаку) реле делятся на реле защиты, управления, автоматики и связи.

Рассмотрим принцип работы реле с замыкающим контактом (рисунок 3а). При отсутствии входного сигнала контакты исполнительного элемента реле разомкнуты и ток в управляемой цепи равен нулю. Значение входной величины, при которой происходит срабатывание реле, называется значением величины срабатывания -  $x_{ср}$ . До тех пор, пока  $x < x_{ср}$  выходная величина  $y=0$  (или  $y=y_{min}$  для бесконтактных реле). При  $x = x_{ср}$  выходная величина скачком изменяется от 0 до  $y_{max}$  (рисунок 3в), происходит срабатывание реле (контакт замыкается). Если входную величину  $x$  уменьшить, то при достижении  $x < x_{отп}$  произойдет отпускание реле (выходная величина примет нулевое значение - контакты реле разомкнутся).

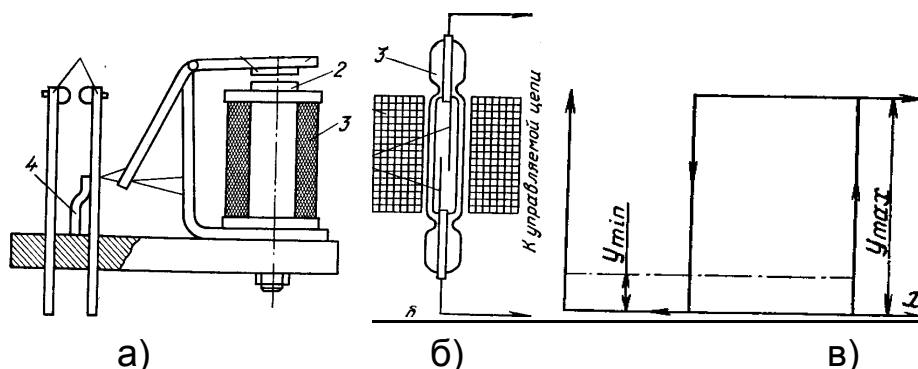


Рис. 3. Реле: а - электромагнитное; б - герконовое; в - статическая характеристика электромагнитного реле; 1 - подвижный якорь; 5 - неподвижный сердечник; 3 - обмотка электромагнита; 4 - пружина противодействующая; 5 - контакты

Значение входной величины, при которой происходит скачкообразное уменьшение выходной величины от  $y_{max}$  до 0, называется значением величины отпускания.

Заданное значение величины срабатывания или отпускания, на которое отрегулировано реле, называется уставкой по воздействующей величине.

Время с момента подачи сигнала на срабатывание до момента скачкообразного изменения выходной величины называется временем срабатывания. Это время зависит от конструкции реле и значения входного параметра (обычно  $t_{cp} = 0,001 - 0,25$  с). Чем больше значение входного параметра по сравнению с  $x_{cp}$ , тем быстрее и надежнее работает реле. Отношение рабочего значения входного параметра к величине срабатывания называется коэффициентом запаса срабатывания

$$k_{з.ср} = \frac{x_n}{x_{ср}}. \quad (18)$$

где  $x_n$  – номинальная величина срабатывания.

Отношение рабочего значения входного параметра к величине отпускания называется коэффициентом запаса отпускания.

$$k_{з.ом} = \frac{x_n}{x_{ом}} \quad (19)$$

Отношение величины отпускания к величине срабатывания называется коэффициентом возврата

$$k_в = \frac{x_{ом}}{x_{ср}}. \quad (20)$$

Время с момента подачи сигнала на отключение до момента прекращения воздействия исполнительного элемента на управляемую цепь называется временем отключения или временем отпускания.

Весьма важным параметром, характеризующим усилительные свойства реле, является коэффициент передачи по мощности – отношение мощности управления  $P_y$  к минимальной мощности входного сигнала  $P_{ср}$ , при котором происходит срабатывание реле:

$$k_p = \frac{P_y}{P_{cp}}. \quad (21)$$

К реле управления в автоматике предъявляются повышенные требования в отношении коммутационной и механической износостойкости. Наиболее слабый элемент контактных реле - контактная система. Исходя из требований надежности для реле устанавливаются допустимая частота срабатывания в единицу времени в срок службы (или наработка).

Наиболее широкое распространение получили электромагнитные реле, принцип действия которых основан на взаимодействии магнитного поля катушки, обтекаемой током, с ферромагнитным якорем.

Воспринимающим органом электромагнитных реле является обмотка, а коммутирующим - контакты. По роду входного тока различают реле постоянного и переменного тока. В свою очередь, реле постоянного тока подразделяют на нейтральные электромагнитные и поляризованные реле, работа которых зависит от полярности сигнала.

*Герконы.* Широко начали применяться реле с герметизированными контактами (герконы). При прохождении тока по обмотке реле 2 (рисунок 3б) возникает магнитное поле, намагничивающее контакты 1, расположенные внутри стеклянного баллона 3, заполненного инертным газом. При этом контакты 1 замыкают электрическую цепь управления.

Реле на герконах выпускаются с памятью, то есть сохраняющие положение контактов и после прекращения действия управляющего сигнала, и без наличия памяти, обеспечивающие возврат контактов в разомкнутое (исходное) состояние после снятия управляющего сигнала.

*Поляризованное* реле в отличие от нейтрального электромагнитного реле постоянного тока имеет дополнительный постоянный магнит, вследствие чего направление перемещения якоря реле зависит от направления тока, протекающего по его обмотке.

## 2. Исследование параметров реле

Цель работы:

- изучение устройства и принципа действия электромагнитных реле, реле времени;
- приобретение навыков испытания реле и исследования их характеристик.

## 3. Порядок выполнения работы:

1. Изучить устройство, принцип действия и характерные особенности электромагнитных реле, реле времени, их условные обозначения на принципиальных схемах.
2. Собрать лабораторную установку согласно рисунку 4.

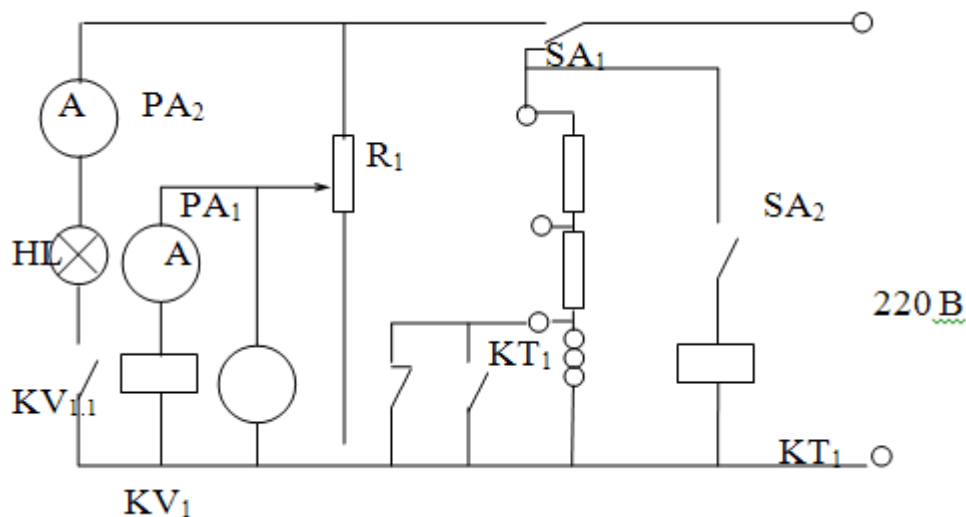


Рис. 4. Схема лабораторной установки для исследования параметров реле

3. Включите переключатель SA<sub>1</sub> в верхнее (по схеме) положение.
4. Плавно изменяя напряжение на катушке электромагнитного реле с помощью реостата R<sub>1</sub> определите напряжение и ток срабатывания ( $U_{ср}$ ,  $I_{ср}$ ), ток в конце срабатывания  $I_{ср1}$  и напряжение и ток отпускания ( $U_{от}$ ,  $I_{от}$ ), ток в конце отпускания  $I_{от1}$ . Регистрация срабатывания и отпускания производится по загоранию и погасанию лампы HL. Определите номинальный ток реле  $I_n$ , установив на нем номинальное напряжение  $U_n=220$  В.

5. Повторите измерения не менее 3-х раз. Занесите измеренные данные в таблицу 9.

6. Для  $U_{ср}$ ,  $I_{ср}$ ,  $U_{от}$ ,  $I_{от}$  рассчитайте среднеквадратичные отклонения  $\sigma$  по формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2}{n-1}} \quad (22)$$

где  $n$  - число опытов;

$$\varepsilon_i = \frac{A_{ср} - A_i}{A_{ср}} - \text{относительная погрешность в } i\text{-том опыте,}$$

$A_{ср}$ ,  $A_i$  - среднее значение величины и ее значение в  $i$ -том опыте.

Таблица 9 – Параметры реле \_\_\_\_\_

<b><math>U, B</math></b>																				
Ток катушки реле, $I, mA$																				
<b><math>U, B</math></b>																				
Ток катушки реле, $I, mA$																				

7. Рассчитайте для реле коэффициенты:

$$\text{возврата } k_{\text{в}} = \frac{I_{\text{omn}}}{I_{\text{ср}}};$$

$$\text{запаса срабатывания } k_{\text{з.ср.}} = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{ср}}};$$

$$\text{запаса отпущения } k_{\text{з.омн}} = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{омн}}};$$

$$\text{усиления } k_{\text{у}} = \frac{I_{\text{нагр}}}{I_{\text{н}}}.$$

8. Пользуясь полученными данными постройте статическую характеристику реле для заданной мощности сигнальной лампы.
9. Постройте зависимость тока через катушку реле от напряжения на ней. Объясните скачки тока при срабатывании и отпуске реле.
10. Переключите выключатель  $SA_1$  в нижнее (по схеме) положение.
11. Исследуйте точность срабатывания реле времени. Для этого измерьте не менее 3-х раз действительное время срабатывания  $t_i$  измеряемое по секундомеру и вычислите среднее значение  $t_{cp}$ .
12. Рассчитайте относительную погрешность  $\varepsilon_i$  срабатывания реле в каждой точке и среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  по формуле 22.
13. Повторите измерения и расчеты при другой уставке реле.
14. Измеренные и рассчитанные данные занесите в таблицу 10.

Таблица 10 – Результаты испытания реле времени

Установленное время срабатывания, $t_{уст}, с$	Измеренное время срабатывания $t_{изм}, с$	Среднее время срабатывания $t_{cp}, с$	Относительная погрешность измерения времени срабатывания, $\varepsilon_i$	Среднеквадратичное отклонение $\sigma$
$t_{уст1} =$	$t_{11} =$	$t_{cp1} =$	$\varepsilon_{11} =$	$\sigma_1 =$
	$t_{12} =$		$\varepsilon_{12} =$	
	$t_{13} =$		$\varepsilon_{13} =$	
$t_{уст2} =$	$t_{21} =$	$t_{cp2} =$	$\varepsilon_{21} =$	$\sigma_2 =$
	$t_{22} =$		$\varepsilon_{22} =$	
	$t_{23} =$		$\varepsilon_{23} =$	

#### 4. Контрольные вопросы

1. Перечислите типы реле и их отличительные признаки.
2. Как изображаются элементы реле на принципиальных электрических схемах?
3. Является ли реле РП-2-У3 нейтральным или поляризованным?
4. К какому классу устройств автоматики относятся реле?

5. Какой вид имеет статическая характеристика реле?
6. Укажите область применения реле РП-2-УЗ?
7. Чем конструктивно отличаются реле постоянного и переменного тока? Чем объясняются их особенности?
8. В каких единицах измеряется коэффициент передачи реле времени?

### ***5. Литература***

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. - М.: Агропромиздат, 1985.
2. Баховец В.А., Ткачук Я.В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в гидромелиоративном производстве. - Львов: Выща школа, 1989.
3. Бородин И.Ф. Автоматика и автоматизация сельскохозяйственного производства. - М.: Агропромиздат, 1992.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. Технические средства автоматики и телемеханики. - М.: Агропромиздат, 1992.

## **Лабораторная работа №4**

### ***Логические элементы***

#### ***1. Общие сведения***

Логические элементы являются основой построения сложных схем для решения логических задач в системах сигнализации, управления, защиты, блокировки и т.д. Каждый логический элемент предназначен для выполнения одной или нескольких логических операций.

Под логической операцией понимается связь между сигналами, которые могут иметь только два дискретных значения – 0 (нуль) и 1 (единица). Источником таких сигналов может быть любая физическая система, имеющая два устойчивых состояния. Такие системы называются логическими, они выполняют логические операции.



Для реализации логических операций до недавнего времени в сельскохозяйственной автоматике применяли лишь релейно-контактные устройства. На смену им пришли логические элементы транзисторной серии (Логика-Т), с применением интегральной технологии (Логика-И), пневматические логические элементы, логические (цифровые) интегральные микросхемы. Все эти устройства являются бесконтактными, что позволяет существенно повысить надежность логических схем. Кроме того логические элементы обладают значительно большим быстродействием, малыми габаритами и высокой экономичностью по сравнению с контактными логическими элементами.

В основе логических операций положена математическая логика, алгебра логики. Алгебра логики определяет логические операции с логическими переменными, основные из которых:

отрицание –  $y = \bar{x}$ ;

конъюнкция –  $y = x_1 \wedge x_2$  или  $y = x_1 \cdot x_2$ ;

дизъюнкция –  $y = x_1 \vee x_2$  или  $y = x_1 + x_2$ .

Основные законы логики:

Сочетательный  $(x_1 \cdot x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot (x_2 \cdot x_3)$ ;

$$(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3)$$

переместительный  $x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 = x_2 \cdot x_3 \cdot x_1$

$$x_1 + x_2 + x_3 = x_2 + x_3 + x_1;$$

распределительный  $(x_1 + x_2) \cdot x_3 = x_1 \cdot x_3 + x_2 \cdot x_3$ ;

закон инверсии (закон отрицания, правило де Моргана)

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2; \quad \overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2,$$

$$\overline{\bar{x}_1 \cdot \bar{x}_2} = x_1 + x_2; \quad \overline{\bar{x}_1 + \bar{x}_2} = x_1 \cdot x_2.$$

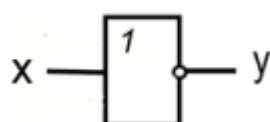
Законы алгебры логики распространяются на любое число переменных.

Следствия законов логики:

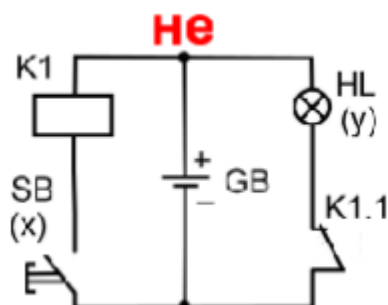
$$\begin{aligned}
 x \cdot 0 &= 0; & x + 0 &= x; \\
 x \cdot 1 &= x; & x + 1 &= 1; \\
 x \cdot x &= x; & x + x &= x; \\
 x \cdot \bar{x} &= 0; & x + \bar{x} &= 1.
 \end{aligned}$$

В логических элементах под переменными, значениями функций понимают входные и выходные сигналы.

Элемент, выполняющий операцию отрицания, называется элементом **НЕ**. Его условное обозначение имеет вид:

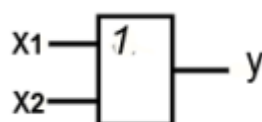


Электрический аналог элемента **НЕ** собран из кнопки **GB**, лампочки **HL**, батареи **GB** и реле **K1** с нормально замкнутыми контактами **K1.1**. Когда кнопка не нажата (на входе логического элемента **НЕ** нет сигнала) через контакты реле питание подается на лампочку и она загорается. Нажимая на кнопку (на вход подается 1) запитываем обмотку реле, которая размыкает контакты и разрывает цепь питания лампочки. Она гаснет, символизируя появление 0 на выходе.



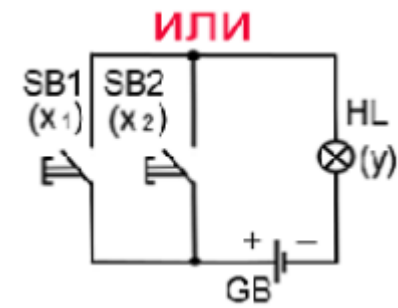
Сигнал на выходе элемента противоположен входному.

Элемент, выполняющий операцию дизъюнкции называется элементом **ИЛИ**. Его условное обозначение:

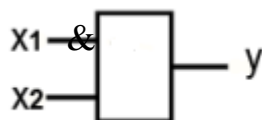


На выходе элемента появляется сигнал **0** тогда и только тогда, когда на всех его входах **0**.

Электрический аналог **ИЛИ** тоже состоит из гальванического элемента GB и лампочки HL, только, в отличие от схемы элемента **И**, кнопки SB1 и SB2 соединены параллельно. И поэтому лампа HL будет загораться всякий раз когда нажимаются кнопки или SB1, или SB2, или одновременно обе кнопки



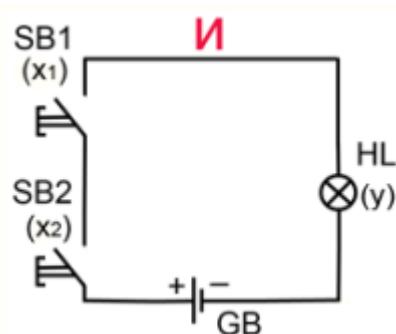
Элемент, выполняющий операцию конъюнкции называется элементом **И**. Его условное обозначение:



На выходе элемента появляется **1** тогда и только тогда, когда на всех его входах **1**.

Электрический аналог состоит из последовательно соединенных двух кнопок SB1 и SB2, которые имитируют сигналы на вход элемента **И**, и лампы HL показывающей появление сигнала на выходе. Схема питается от гальванического элемента GB. Лампочка загорится только тогда, когда контакты обеих кнопок будут замкнуты, и потухнет - если любой из контактов будет разомкнут.

Все возможные состояния логических элементов определяют их таблицы истинности, в которых указываются возможные комбинации входных сигналов и соответствующие выходные сигналы.



Таблицы истинности логических элементов.

<b>НЕ</b>	
X	y
1	0
0	1

<b>И</b>		
x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

<b>ИЛИ</b>		
x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

Набор логических элементов, который позволяет выполнить сколь угодно сложную логическую функцию называется функционально полной системой логических элементов. Таким функционально полным является набор элементов, выполняющих простейшие логические операции: **И**, **ИЛИ**, **НЕ**.

Функционально полные наборы элементов могут состоять из набора элементов, выполняющих более сложные операции, например из элементов **ИЛИ-НЕ** (функция Пирса) и **И-НЕ** (функция Шеффера), которые образуются последовательным соединением элементов **ИЛИ** и **НЕ**, **И** и **НЕ** соответственно.

Отличительной особенностью микросхем ТТЛ логики (серии К155, К555 и др.) является использование многоэмиттерных транзисторов, что позволяет обходиться при их изготовлении без диодов.

Напряжение питания микросхем –  $+5\text{В} \pm 5\%$ .

За нуль принимается напряжение  $U < 0,4 \text{ В}$ , за единицу  $U > 2,4 \text{ В}$ .

В ТТЛ логике если вход микросхемы не подключен в цепь, это равносильно подаче на него сигнала **1**.

Эти серии отличаются высоким быстродействием.

Пониженным энергопотреблением и относительной простотой производства отличаются микросхемы серий К176 (рМОП логика), К561, К564 (КМОП логика).

В маркировке микросхем с логическими элементами две последние буквы означают:

ЛИ – схема **И**;

ЛЛ – схема **ИЛИ**;

ЛН – схема **НЕ**;

ЛА, ЛБ – схема **И-НЕ**, **НЕ-ИЛИ**;

ЛС – схема **И-ИЛИ**;

ЛР – схема **И-ИЛИ-НЕ**.

Например, обозначение К155ЛА4 говорит о том, что эта микросхема серии К155 предназначена для выполнения операции И-НЕ, имеет 4 входа.

## 2. Исследование логических элементов

Цель работы:

- изучение принципов действия логических элементов;
- приобретение навыков исследования схем, реализующих логические операции;
- изучение и исследование основных характеристик логических элементов серии К155.

## 3. Порядок выполнения работы

1. Изучите лабораторную установку, литературу по теме лабораторной работы.
2. Подключите выход логического элемента **ИЛИ** к индикатору выходного сигнала «f». Поочередно подавая на входы логического элемента возможные комбинации сигналов с источников сигналов, обозначенных «1» и «0», определите сигналы на выходе.

**Внимание!** В ТТЛ логике (серия К155), если вход элемента не подключен - это равносильно подаче на него «1».

3. Повторите исследования для элементов **И**, **НЕ**, **И-НЕ**, **ИЛИ-НЕ**. Элементы **И-НЕ**, **ИЛИ-НЕ** образуются по следующим схемам:



Рис. 6. Реализация функций **И-НЕ**, **ИЛИ-НЕ**.

4. Результаты исследований оформите в виде таблиц истинности.

5. Соберите логическую схему (рис. 7, по указанию преподавателя) и определите для нее выходные сигналы при различных комбинациях входных.

Приведите в отчете исследуемую схему и ее таблицу истинности.

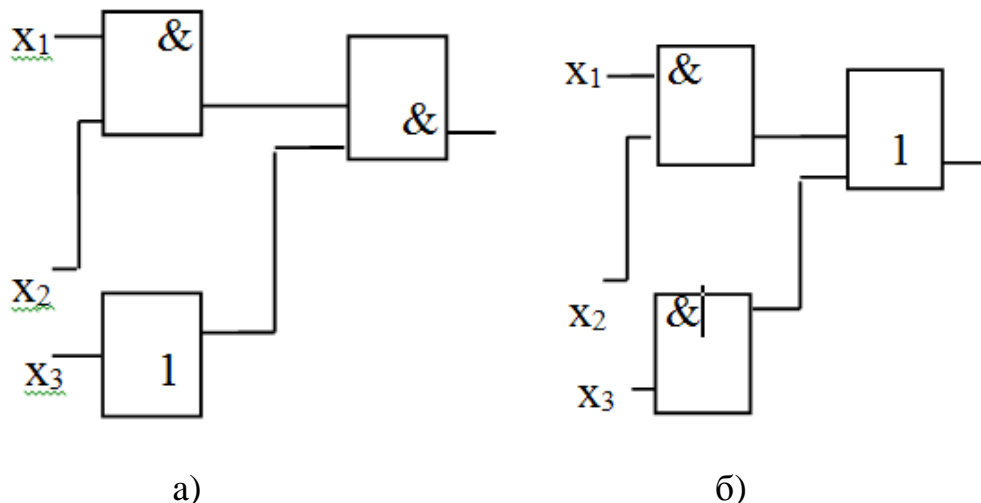


Рис. 7. Логические схемы.

6. Соберите схему для снятия статической характеристики логического элемента **НЕ**. Для этого вход элемента подключите к источнику 0...3 В, к выходу подключите вольтметр PV2 согласно рисунку 8.

7. Изменяя входное напряжение резистором R<sub>1</sub> от 0 до 3 В измеряйте выходное напряжение по вольтметру PV2.

8. Измеренные данные занесите в таблицу 12.

9. Постройте статическую характеристику логического элемента **НЕ**  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ .

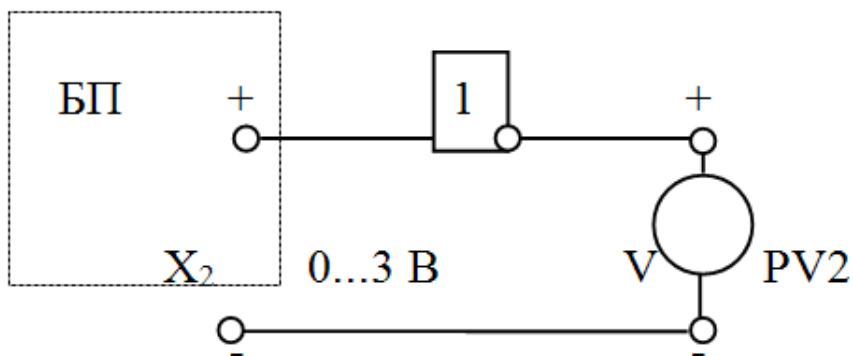


Рис. 8. Схема для снятия статической характеристики элемента **НЕ**

Таблица 12 – Статическая характеристика логического элемента

$U_{\text{ВХ}}, \text{В}$	0,7	1,1	1,3	1,4	1,5	1,7	2,1
$U_{\text{ВЫХ}}, \text{В}$							

13. Из статической характеристики определите напряжение переключения элемента, действительные напряжения нуля и единицы.

#### **4. Описание лабораторной установки**

Питание установки осуществляется от источника переменного напряжения 36 В через блок питания, который состоит из понижающего трансформатора – TV, выпрямителя – VD<sub>1</sub>-VD<sub>4</sub>, сглаживающего С-фильтра – С<sub>1</sub>. Стабилизация напряжения на уровне 5 В осуществляется компенсационным интегральным стабилизатором DA.

С клемм X<sub>2</sub> «0÷3 В» может сниматься регулируемое напряжение в диапазоне 0...3 В. Регулировка осуществляется резистором R<sub>1</sub>, контроль по вольтметру PV<sub>1</sub>.

Вольтметр PV<sub>2</sub> предназначен для подключения к цепям установки для измерения напряжений.

Логические элементы запитываются от блока питания. Они находятся внутри установки. Их символические обозначения и клеммы связанные с выходными и входными цепями выведены на лицевую панель.

Источники логических сигналов **1** и **0** обозначены «1» и «0» соответственно. Символом «f» обозначен индикатор выходного сигнала, сигнализирующий о наличии на его входе логических сигналов загоранием соответствующих светодиодов «1» или «0».

Предлагаемые в лабораторной работе схемы образуются внешними соединениями между клеммами. Отрицательный вывод источника питания является общим провод установки (включая вольтметры), поэтому соединения между элементами и приборами можно выполнять только одним положительным проводом.

### ***5. Контрольные вопросы***

1. Каким образом образуются сложные логические элементы из простейших?  
Объясните на примере.
2. Какие системы автоматики называются логическими?
3. Какие логические операции вы знаете?
4. Перечислите основные логические элементы?
5. Объясните каким образом из набора, состоящего из элементов **И-НЕ** и **ИЛИ-НЕ** составить элементы, выполняющие основные логические операции.
6. Приведите таблицы истинности основных логических элементов.
7. Какие сигналы в ТТЛ логике приняты за «0» и «1»?

### ***6. Литература***

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. - М.: Агропромиздат, 1985.
2. Баховец В.А., Ткачук Я.В. Основы автоматики и автоматизация производственных процессов в гидромелиоративном производстве. - Львов: Выща школа, 1989.
3. Бородин И.Ф. Автоматика и автоматизация сельскохозяйственного производства. - М.: Агропромиздат, 1992.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. Технические средства автоматики и телемеханики. - М.: Агропромиздат, 1992.

## **Лабораторная работа №5**

### ***Магнитные усилители***

#### ***1. Общие сведения***

Магнитным усилителем (МУ) называется электромагнитный аппарат, предназначенный для управления относительно большой мощностью



переменного тока посредством малой мощности постоянного тока. Управляющий элемент магнитного усилителя - катушка индуктивности с ферромагнитным сердечником. Принцип действия магнитного усилителя основан на зависимости магнитной проницаемости ферромагнитных материалов катушки с сердечником при питании переменным током от подмагничивающего действия постоянного поля. Схема магнитного усилителя показана на рисунке 9.

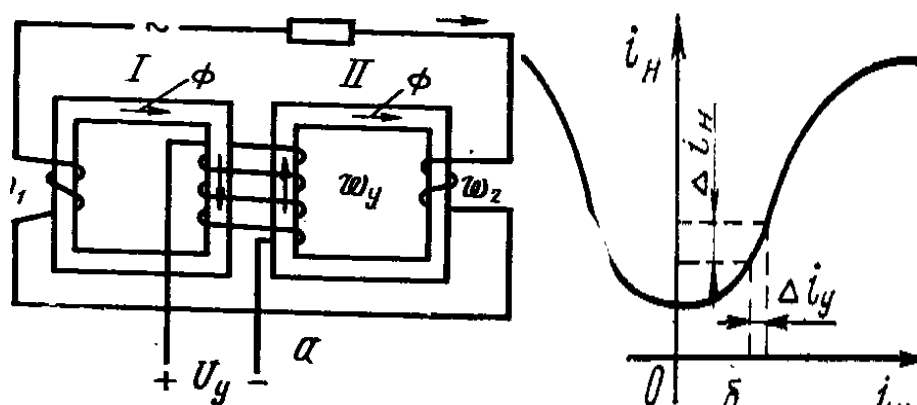


Рис. 9. Магнитный усилитель: а - схема; б - статическая характеристика

Магнитный усилитель состоит из двух рабочих катушек  $w_1$  и  $w_2$ , намотанных на двух сердечниках I и II из ферромагнитного материала, и катушки управления  $w_y$ , намотанной на стержнях обоих сердечников магнитопровода.

Рабочие катушки соединены таким образом, чтобы их переменные магнитные потоки  $\Phi$  во внутренних стержнях магнитопровода были направлены навстречу, вследствие чего электродвижущие силы, индуцируемые переменными магнитными потоками  $\Phi$  в обмотке управления  $w_y$ , будут взаимно компенсироваться.

Входная величина МУ - напряжение  $U_y$  или ток  $I_y$  в обмотке управления. Выходная величина МУ - переменный ток в сопротивлении нагрузки  $R_H$ . Значение этого тока

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad (23)$$

где  $R=R_n+ R_w$  - сумма активного сопротивления нагрузки и рабочих катушек МУ;  $\omega L = \omega(L_1 + L_2)$  - сумма реактивных сопротивлений рабочих катушек  $\omega_1$  и  $\omega_2$  МУ.

Индуктивность рабочих обмоток МУ.

$$L_1 = L_2 = \mu \frac{\omega^2 S}{l}, \quad (24)$$

где  $\omega$  - число витков катушки;

$S$  - площадь сечения сердечника;

$l$  - длина средней линии сердечника;

$\mu$  - коэффициент магнитной проницаемости сердечника.

Протекающий по обмотке управления постоянный ток меняет насыщение магнитопровода, изменяя при этом его динамическую магнитную проницаемость. При увеличении тока управления уменьшается реактивное сопротивление рабочих катушек МУ и увеличивается ток, протекающий через сопротивление нагрузки. Статическая характеристика МУ, представляющая собой зависимость тока нагрузки от тока управления, показана на рисунке 9б. Коэффициенты усиления по току и напряжению

$$k_I = \frac{\Delta I_n}{\Delta I_y}, \quad k_U = \frac{\Delta U_n}{\Delta U_y}. \quad (24)$$

Коэффициент усиления МУ по мощности

$$k_p = \frac{\Delta I_n \cdot \Delta U_n}{\Delta I_y \cdot \Delta U_{ny}} = \frac{\Delta P_n}{\Delta P_y} = k_I k_U. \quad (25)$$

Для получения большего коэффициента усиления следует обеспечить работу МУ на наиболее крутом участке рабочей характеристики. Это достигается смещением характеристики дополнительным подмагничиванием магнитопровода с помощью обмотки смещения. Обмотка смещения намотана на том же сердечнике, что и обмотка управления, и питается от источника постоянного напряжения.

Коэффициент усиления МУ зависит от материала магнитопровода и от

частоты переменного тока. Для МУ с магнитопроводом из электротехнической стали коэффициент усиления составляет 50...200 при частоте переменного тока 50 Гц и 100...800 при частоте 500 Гц. Для МУ с магнитопроводом из пермаллоя коэффициент усиления равен 100...1000 при частоте переменного тока 50 Гц и 200...2000 при частоте 500 Гц.

Значительно больший коэффициент усиления может быть достигнут в МУ с положительной обратной связью. Коэффициент усиления по мощности у МУ с положительной связью, выполненных на сердечниках из электротехнической стали, при частоте 50 Гц достигают 1000, а на сердечнике из пермаллоя - 3000...10000.

Если обратная связь получается путем использования в МУ отдельной обмотки, то такая обратная связь называется внешней. Она характеризуется коэффициентом обратной связи, который определяют выражением

$$k_{o.c.} = \frac{\omega_{o.c.}}{\omega_p}, \quad (26)$$

где  $\omega_{o.c.}$  - число витков катушки обратной связи;  $\omega_p$  - число витков рабочей обмотки.

Если обратная связь образуется за счет прохождения постоянной составляющей рабочего тока, то она называется внутренней. Схемы МУ с обратной связью показаны на рисунке 10. Рассмотренные магнитные усилители называются однотактными.

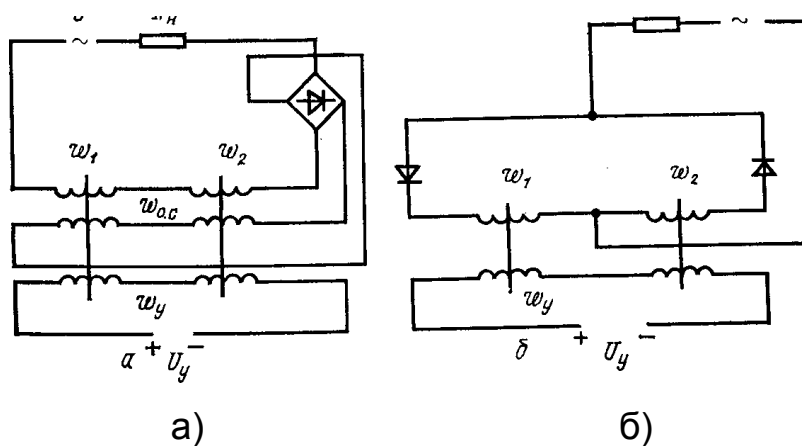


Рис. 10. Схемы МУ с внешней (а) и внутренней (б) обратной связью

Коэффициент усиления МУ с обратной связью

$$k = \frac{k_0}{1 \pm k_{o.c.}}, \quad (27)$$

где  $k_0$  - коэффициент усиления МУ без обратной связи,

$k_{o.c.}$  - коэффициент обратной связи.

Знак минус относится к положительной обратной связи. Когда  $k_{o.c.} \geq 1$ , МУ переходит в релейный режим.

К недостаткам обычных МУ следует отнести их малое быстродействие, которое определяется постоянной времени цепи управления

$$t_y = \frac{1}{4f} \frac{Rw_y^2}{R_y w_p^2}, \quad (28)$$

где  $f$  - частота переменного тока;

$R, w_p$  - активное сопротивление и число витков рабочих обмоток;

$R_y, w_y$  - активное сопротивление и число витков обмотки управления.

Передаточная функция МУ имеет вид

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}. \quad (29)$$

## ***2. Исследование магнитного усилителя***

Цель работы:

- ознакомиться с устройством и принципом действия магнитных усилителей;
- получить практические навыки исследования характеристик усилителей на примере магнитного усилителя;
- изучить виды обратных связей в усилителях, способы их реализации и характер влияния на характеристики.

## ***3. Порядок выполнения***

1. Изучите лабораторную установку, устройство, принцип работы, способы включения магнитных усилителей, реализацию обратных связей в них.
2. Измерьте статическую характеристику усилителя без обратной связи. Для этого переключите выключатель  $SA_2$  в положение «ОС

выкл». Изменяя реостатом  $R_2$  ток через обмотку управления  $I_y$ , измеряйте напряжение на ней  $U_y$ , ток и напряжение в нагрузке  $I_n$ ,  $U_n$ .

Необходимо произвести измерения в точке, соответствующей  $I_y=0$ , при максимальном токе  $I_y$  и двух промежуточных значениях как положительной, так и отрицательной полярности.

Отрицательные значения  $I_y$ ,  $U_y$  получаются в положении переключателя  $SA_1$  «-», положительные – «+».

3. Измеренные данные занесите в таблицу 13.

Таблица 13 – Статическая характеристика усилителя без ОС.

$I_y, A$	$U_y, B$	$P_y, BT$	$I_n, A$	$U_n, B$	$P_n, BT$	$k_I$	$k_U$	$k_P$

4. Рассчитайте мощность управления  $P_y$ , мощность в нагрузке  $P_n$ , коэффициенты усиления: по току  $k_I$ , по напряжению  $k_U$ , по мощности  $k_P$ . Рассчитанные данные занесите в таблицу 13.

5. Постройте статическую характеристику усилителя без обратной связи  $P_n = f(P_y)$  и зависимость  $k_p = f(I_y)$ .

6. Измерьте статическую характеристику усилителя с обратной связью. Для этого переключите выключатель  $SA_3$  в положение «ОС вкл». Изменяя реостатом  $R_1$  ток обмотки управления, измеряйте  $I_y$ ,  $I_n$ ,  $U_n$ . Измерения проводите в точках, указанных в п.2.

7. Измеренные данные занесите в таблицу 14.

8. Рассчитайте  $P_y$ ,  $P_n$ ,  $k_I$ ,  $k_U$ ,  $k_P$  и занесите рассчитанные данные в таблицу 14.

Таблица 14 – Статическая характеристика усилителя с ОС

$I_y, A$	$U_y, B$	$P_y, Bт$	$I_n, A$	$U_n, B$	$P_n, Bт$	$k_I$	$k_U$	$k_P$

9. Постройте статическую характеристику усилителя с обратной связью  $P_n = f(P_y)$  и зависимость  $k_p = f(I_y)$ .

#### **4. Описание лабораторной установки**

Основная часть лабораторной установки смонтирована внутри стенда. На лицевую панель выведены: реостат  $R_1$ , для регулировки тока управления; измерительные приборы; тумблер  $SA_1$  для изменения полярности подаваемого на управляющую обмотку напряжения; тумблер  $SA_2$  для включения и выключения обратной связи. Принципиальная схема установки изображена на стенде. Обозначения элементов управления совпадают с обозначениями на схеме.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Объясните принцип работы магнитного усилителя.
2. Каким образом и для чего необходимо смещать рабочую точку магнитного усилителя?
3. Как осуществляется обратная связь в магнитных усилителях?
4. Каким образом обратная связь влияет на коэффициент усиления?
5. Объясните причину несимметричности статической характеристики усилителя с обратной связью.
6. Обратная связь какого типа реализована в лабораторной установке?
7. Почему рабочая обмотка магнитного усилителя состоит из двух секций?
8. Каким типом динамического звена описывается магнитный усилитель в системах автоматики?

## ***6. Литература***

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. - М.: Агропромиздат, 1985.
2. Баховец В.А., Ткачук Я.В. Основы автоматике и автоматизация производственных процессов в гидромелиоративном производстве. - Львов: Выща школа, 1989.
3. Бородин И.Ф. Автоматика и автоматизация сельскохозяйственного производства. - М.: Агропромиздат, 1992.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. Технические средства автоматике и телемеханики. - М.: Агропромиздат, 1992.

### **Лабораторная работа №6**

#### ***Исследование одноконтурной системы автоматического управления электрокалориферной установки***

Цель работы:

- изучение функциональной схемы системы автоматического управления установки СФОА-40/0,4;
- исследование характеристик системы автоматического управления.

Электрические калориферные установки широко применяются в сельскохозяйственном производстве для сушки различных материалов, сена, нагрева воздуха для технологических целей и обогрева технологических помещений. Нагревательные элементы калориферных установок, в зависимости от конструктивного исполнения, могут быть открытыми, выполненными в виде проволочной спирали из высокоомных материалов, и закрытыми в виде трубчатых электронагревательных элементов (ТЭНов). В качестве материала для нагревателей во всех случаях применяются сплавы с большим удельным сопротивлением - нихром, фехраль и т.п.

Электрические калориферные установки марки СФОА различных модификаций предназначены для автоматизированного нагрева воздуха в системах вентиляции и отопления сельскохозяйственных производственных и вспомогательных помещений, в том числе помещений, воздух которых содержит агрессивные примеси, и при повышенной влажности.

В лабораторной работе изучается одноконтурная система автоматического регулирования температуры воздуха в помещении установкой СФОА - 0,4/40 (напряжение питания 0,4 кВ 50 Гц, номинальная мощность 40 кВт).

Упрощенная принципиальная электрическая схема управления калориферной установкой показана на рисунке. Переключатель SA1 в цепи управления установки определяет режим работы установки: РУЧНОЙ (Р) или АВТОМАТИЧЕСКИЙ (А) с нейтральным положением (0). Работа нагревательных (ЕК) секций 1,2 и 3, управляемых магнитными пускателями КМ1, КМ2 и КМ3, возможна только при работающем электродвигателе (МА) вентилятора, т.е. при включенном автоматическом выключателе (QF). Терморегулятор (SK1) дилатометрического типа используется в схеме для автоматического отключения нагревателей ЕК при температуре поверхности ТЕНов выше  $180^{\circ}\text{C}$ .

Терморегулятор SK2 термобиметаллического типа предназначен для автоматического выключения - включения нагревательных секций 1 и 2. Задатчиком входного сигнала определяющим температуру воздуха в контролируемом помещении, является винт, закручивающий (или раскручивающий) биметаллическую пластину, выполненную в виде спирали. При нагреве воздухом помещения выше установленной температуры, пластина деформируется и, изгибаясь, разрывает своим контактом цепь питания пускателей КМ1 и КМ2. Это приводит к отключению секций 1 и 2 нагревателя ЕК и работает только секция 3. При остывании воздуха в помещении, биметаллическая пластина деформируется в обратную сторону и замыкает своим контактом цепь пускателей, включающих секции 1 и 2 нагревателя. Цикл нагрева воздуха в помещении повторяется.



Таким образом, терморегулятор SK2, преобразуя усилие задатчика в деформирующую силу  $F_1$  и сравнивая ее с силой деформации  $F_2$  от действия температуры воздуха, совмещает в себе функции датчика (Д), элемента обратной связи (ОС) и органа сравнения (СО). Пластина терморегулятора управляет состоянием контакта по 2-х позиционному релейному закону, следовательно, терморегулятор SK2 выполняет также функцию вычислителя (В).

Объектом управления является помещение, выходного сигнала САР есть воздух в этом помещении. Управляющее воздействие на объект, формирует исполнитель (И), состоящий из магнитных пускателей КМ1-КМ3, нагревателя ЕК и вентилятора, приводимого в действие электродвигателем МА.

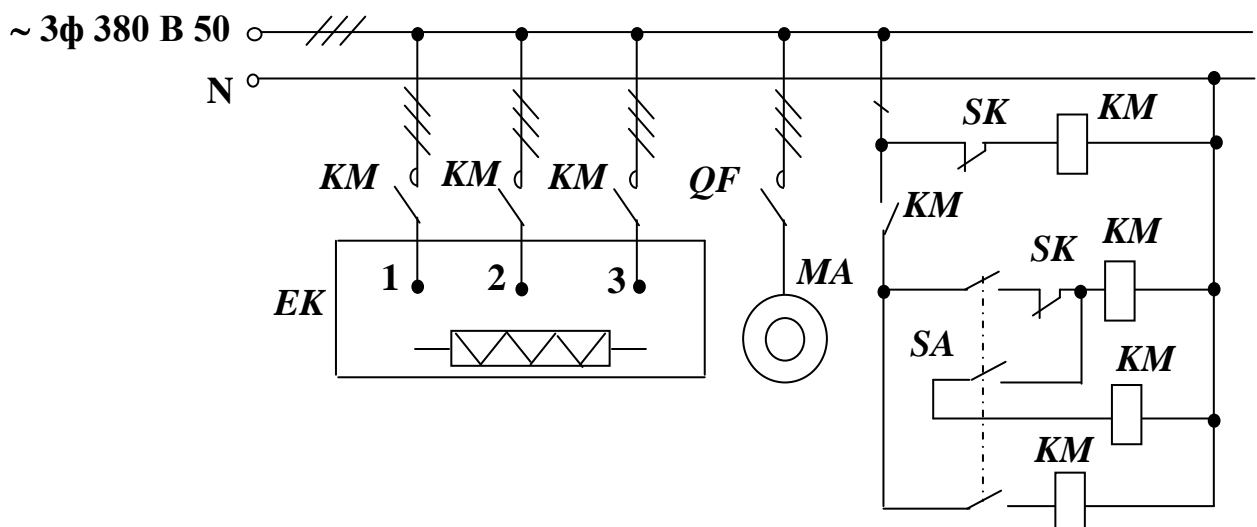


Рис. 11. Упрощенная принципиальная электрическая схема управления калориферной электроустановкой СФОА-4-/0,4

### ***Задание на выполнение работы***

1. Изучить принципиальную электрическую схему управления установки СФОА 0,4/40.
2. Ознакомится с конструкцией и принципом работы терморегуляторов SK1 и SK2.
3. Промоделировать работу установки СФОА-0,4/40 в автоматическом режиме.
4. Разработать функциональную схему САР СФОА - 0,4/40.
5. Провести идентификацию функциональных узлов схемы и сигналов САР.
6. Определить алгоритм управления и принцип построения САР.

### *Контрольные вопросы*

1. Перечислите алгоритмы управления САР.
2. Дайте характеристику принципам построения САР.
3. К какому типу преобразователей относится биметаллический датчик ДКТБ.
4. Какой закон управления реализуется в САР установки СФОА - 0,4/40.
5. Чем отличается релейный закон управления от непрерывного.

## Определение постоянной времени

Постоянные времени различных переходных процессов можно определить различными методами, в том числе и экспериментальными.

Рассмотрим их на примере объекта описываемого аperiodическим звеном первого порядка, для которого переходная характеристика

$$y = y_{уст} (1 - e^{-t/\tau}). \quad (30)$$

Метод нормированного значения. Если в уравнении принять  $t = \tau$ , то

$$y = y_{уст} (1 - e^{-\tau/\tau}) = 0,632 y_{уст} \quad (31)$$

Следовательно, если на оси  $y$  отложить значение  $0,632 y_{уст}$ , то этому значению соответствует время  $t = \tau$ , которое находят по оси  $t$ .

Когда выходная величина  $y$  достигнет установившегося значения  $y_{уст}$  (практически перестанет изменяться), то период времени от начала подачи входного воздействия до этого момента составит примерно  $4\tau$ , что также позволяет приблизительно определить постоянную времени  $\tau$  (рисунок 12).

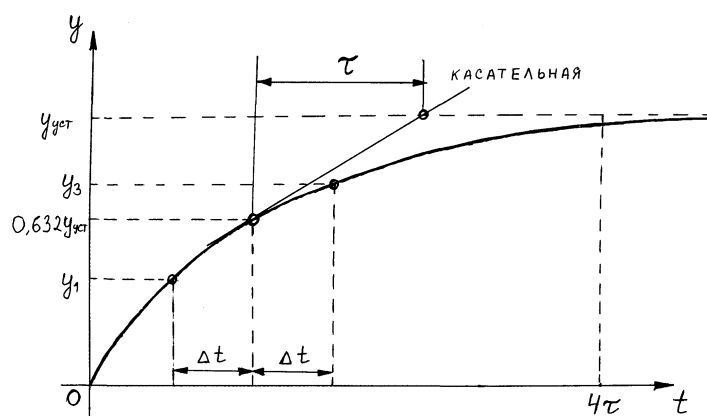


Рис. 12. Определение постоянной времени

Метод касательной. Постоянную времени определяют и графическим путем. Для этого проводят касательную к переходной характеристике примерно в ее средней части. Отрезок, включенный между точкой пересечения

касательной с линией установившегося значения выходной величины  $y_{уст}$  и вертикалью, восстановленной из точки касания, равен в масштабе оси времени  $t$  постоянной  $\tau$ . Для более точного определения  $\tau$  иногда проводят три касательные к точкам  $y=(0; 0,5; 0,8) y_{уст}$  и берут среднее значение полученных постоянных.

Метод трех значений. При использовании этого метода необязательно знать  $y_{уст}$ . Достаточно иметь участок переходной характеристики и выбрать на нем через равные интервалы времени  $\Delta t$  (три точки -  $y_1, y_2, y_3$ ). Постоянная времени

$$\tau = \frac{\Delta t}{\ln\left(\frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_2}\right)}.$$

## Литература

1. Мартыненко И.И. Автоматика и автоматизация производственных процессов. М.: Агропромиздат, 1985.
2. Баховец В.А., Ткачук Я.В. Основы автоматике и автоматизация производственных процессов в гидромелиоративном производстве. Львов: Выща школа, 1989.
3. Бородин И.Ф. Автоматика и автоматизация сельскохозяйственного производства. М.: Агропромиздат, 1992.
4. Бохан Н.И., Бородин И.Ф. Технические средства автоматике и телемеханики. М.: Агропромиздат, 1992.

Учебное издание

Алексей Анатольевич Воронин  
Елена Анатольевна Ракул

## **АВТОМАТИКА**

*Методические указания по выполнению лабораторных работ  
для бакалавров очной и заочной формы обучения  
направления подготовки  
35.03.06 Агроинженерия*

*Редактор Осипова Е.Н.*

---

Подписано к печати 16.10.2018 г. Формат 60x84. 1/16.  
Бумага офсетная. Усл. п. 3,13. Тираж 25 экз. Изд. № 6220.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянский ГАУ