

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
“БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ”**

**КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ**

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторным работам**

**по автоматизации производственных процессов**

**для студентов технических специальностей**

**дневной и заочной форм обучения**

Часть 1

Брест 2015

УДК 621.0; 681.5

Методические указания к лабораторным работам по автоматизации производственных процессов для студентов технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Издается в 2-х частях. Часть 1.

Содержится описание четырех лабораторных работ по измерительным преобразователям и реле. Приведены краткие теоретические сведения по исследуемым техническим устройствам, порядок выполнения работ, требования к оформлению отчета и контрольные вопросы. Содержание изложенного материала соответствует действующим образовательным программам и предназначено для использования студентами (очной и заочной форм обучения) при подготовке к лабораторным работам и их выполнении.

Составители: Прокопеня О.Н., доцент, к.т.н.  
Иванов В.В., старший преподаватель  
Устинов Д.Б., ассистент  
Олех А.Г., ассистент

Рецензент: главный инженер ОАО «Автометрия» А.В. Шацкий

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	4
Лабораторная работа №1. Исследование потенциометрического измерительного преобразователя	5
Лабораторная работа №2. Исследование индуктивного и трансформаторного измерительных преобразователей	11
Лабораторная работа №3. Исследование электромагнитных реле	16
Лабораторная работа №4. Исследование программируемых реле времени	21
Список литературы	26

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Измерительные преобразователи и релейно-контактные устройства находят весьма широкое применение в системах автоматизации. Знание данных устройств необходимо каждому специалисту, имеющему дело с техническими системами. Понимание принципов функционирования данных устройств необходимо для того, чтобы разобраться в особенностях работы автоматизированного оборудования, которое в настоящее время эксплуатируется в различных отраслях.

Практическая работа с данными элементами автоматики, экспериментальное исследование их характеристик и свойств позволяет более глубоко разобраться в особенностях их применения в конкретных производственных условиях для решения технических задач, более эффективно использовать данные устройства. Поэтому в ходе выполнения работ необходимо ответственно относиться к изучению материала, самостоятельно выполнять задания, предусмотренные содержанием каждой работы. Вопросы к зачету, которые приводятся в конце каждой работы, дают возможность проконтролировать качество усвоения материала.

Отчет по лабораторной работе должен содержать схемы, по которым выполнялись экспериментальные исследования, построенные с использованием чертежных инструментов и соблюдением стандартов. Каждая работа обязательно должна содержать выводы, отражающие полученные результаты. В них необходимо подчеркнуть выявленные свойства и особенности характеристик исследованных устройств, которые важны с точки зрения их практического применения.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

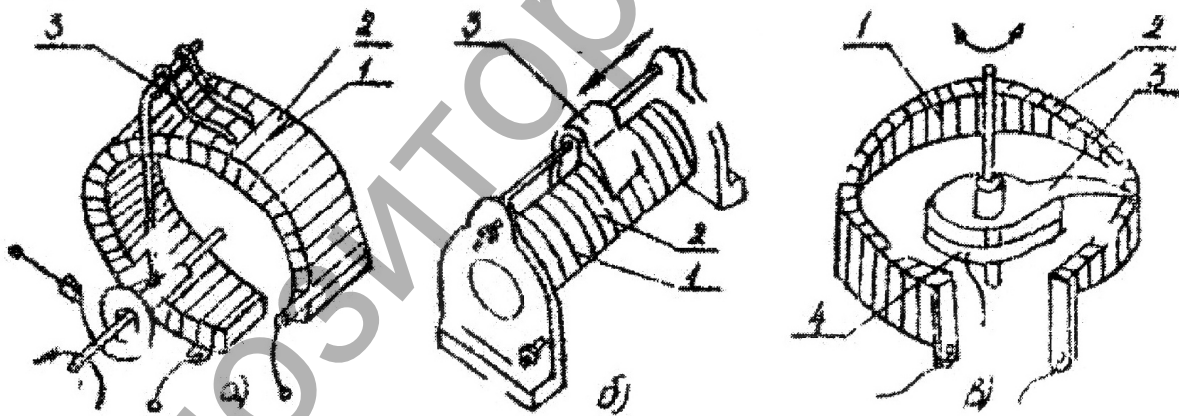
### Цель работы:

1. Изучение конструкции и принципа действия потенциометрических измерительных преобразователей.
2. Экспериментальное исследование статических характеристик потенциометрического измерительного преобразователя угловых перемещений при различных сопротивлениях нагрузки.

### Общие сведения

Потенциометрический измерительный преобразователь (реостатный датчик) содержит каркас определённой формы, на котором располагается обмотка из провода, и движок, имеющий с обмоткой скользящий контакт. При перемещении движка изменяется сопротивление между точкой контакта и крайним выводом обмотки. В качестве материала провода используют нихром, константан, манганин, платину или сплав серебра с палладием и платины с иридием.

В зависимости от конфигурации каркаса реостаты разделяются на линейные (стержневые), кольцевые и многооборотные (рис. 1.1). Сопротивление реостата может изменяться линейно или по некоторому закону в функции перемещения движка. В последнем случае выполняется профильный каркас элемента сопротивления (рис. 1.1 в).



а, в – углового перемещения; б – линейного перемещения;  
1 – обмотка; 2 – каркас; 3 – движок; 4 – токосъёмное кольцо

**Рисунок 1.1 – Варианты конструктивного выполнения потенциометрических измерительных преобразователей**

Стержневые потенциометрические преобразователи используют для измерения линейных, а кольцевые и многооборотные – для измерения угловых перемещений. Они могут работать как на постоянном, так и на переменном токе.

Схема включения потенциометрического измерительного преобразователя приведена на рис. 1.2.

Зависимость выходного напряжения  $U_x$  от положения движка ( $x$  – при линейном перемещении,  $\alpha_x$  – при угловом перемещении) называют статической характеристикой. Удобнее положение движка выражать в относительных единицах

а) при линейном перемещении

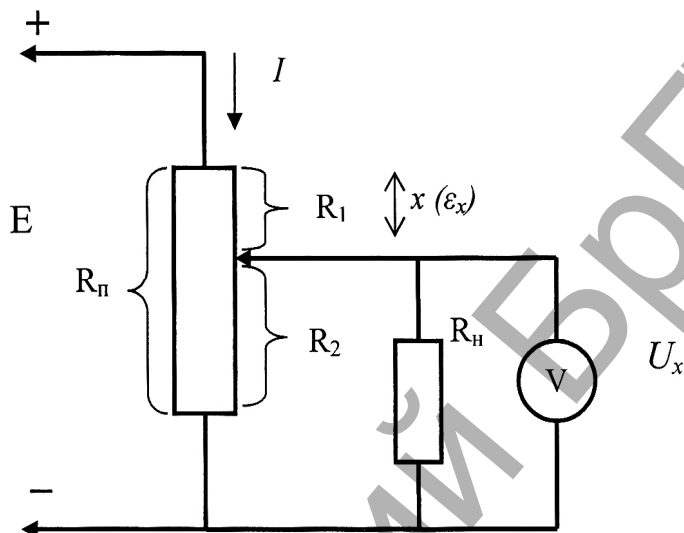
$$\varepsilon = \frac{x}{l},$$

где  $x$  и  $l$  – текущее и максимально возможное линейное перемещение движка;

б) при угловом перемещении

$$\varepsilon = \frac{\alpha_x}{\alpha_0},$$

где  $\alpha_x$  и  $\alpha_0$  – текущее и максимально возможное угловое перемещение движка.



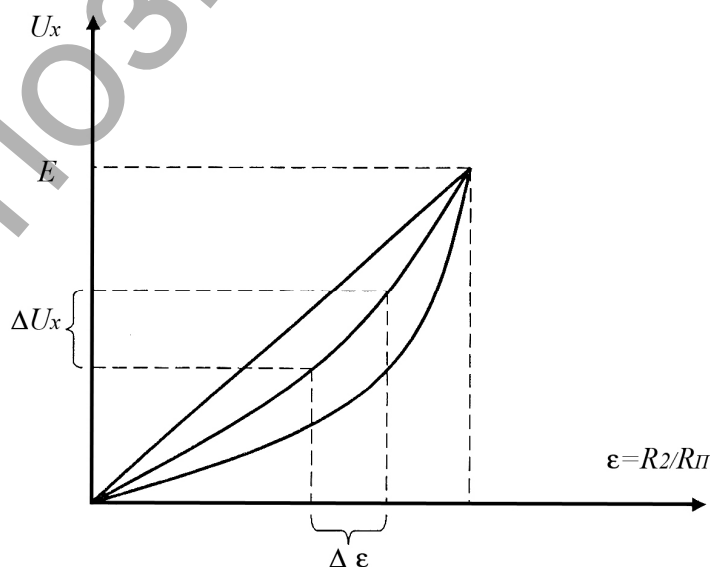
**Рисунок 1.2 – Электрическая схема включения потенциометра с нагрузочным сопротивлением**

Для потенциометров с равномерной намоткой относительное перемещение  $\varepsilon$  совпадает с коэффициентом деления

$$\varepsilon = \frac{R_2}{R_{\Pi}},$$

где  $R_2$  и  $R_{\Pi}$  – сопротивление нижней части и полное сопротивление потенциометра.

Тогда статическую характеристику можно представить в виде  $U_x = f(\varepsilon)$  (рис. 1.3).



**Рисунок 1.3 – Статическая характеристика потенциметрического измерительного преобразователя**

Потенциометрические измерительные преобразователи характеризуются чувствительностью  $S$ .

Под чувствительностью понимают отношение приращения выходной величины к соответствующему приращению входной величины.

$$S = \frac{\Delta U_x}{\Delta x} \left[ \frac{B}{\text{мм}} \right] \text{ – при линейном перемещении}$$

$$S = \frac{\Delta U_x}{\Delta \alpha_x} \left[ \frac{B}{\text{град}} \right] \text{ – при угловом перемещении}$$

Статическая характеристика потенциометра  $U_x = f(\varepsilon)$ , может быть определена экспериментально или расчётным путём. Ток в выходной цепи потенциометра (рис. 1.2) равен

$$I = \frac{E}{(R_{\Pi} - R_2) + \frac{R_2 \cdot R_{\Pi}}{R_2 + R_{\Pi}}}, \quad (1.1)$$

а выходное напряжение

$$U_x = E - I \cdot (R_{\Pi} - R_2) = \frac{E \cdot R_2 \cdot R_{\Pi}}{(R_{\Pi} - R_2) \cdot (R_{\Pi} + R_2) + R_{\Pi} \cdot R_2}. \quad (1.2)$$

Если обозначить коэффициент нагрузки  $\alpha_n = R_n / R_{\Pi}$ , то, подставив (1.1) в (1.2), получим

$$U_x^I = \frac{E \cdot \alpha_n \cdot \varepsilon}{\alpha_n + \varepsilon - \varepsilon^2} = \frac{E \cdot \varepsilon}{1 + \frac{\varepsilon \cdot (1 - \varepsilon)}{\alpha_n}}. \quad (1.3)$$

По выражению (1.3) может быть построена расчётная статическая характеристика потенциометрического измерительного преобразователя  $U_x = f(\varepsilon)$ . При этом величины  $E$  и  $\alpha_n$  обычно заданы или известны по паспортным данным лабораторной установки.

На линейность статической характеристики существенное влияние оказывает величина сопротивления нагрузки. Зависимость  $U_x = f(\varepsilon)$  можно считать линейной при условии  $R_n \gg R_{\Pi}$  (рис. 1.3).

Погрешность  $\delta_n$ , обусловленная влиянием сопротивления нагрузки, равна разности действительного передаточного коэффициента потенциометра и коэффициента деления, определяемого положением движка, т.е.

$$\delta_n = \frac{U_x^I}{E} - \varepsilon. \quad (1.4)$$

Подставив (1.3) в (1.4), после преобразования, получим

$$\delta_n = \frac{\varepsilon^2 \cdot (1 - \varepsilon)}{\alpha_n + \varepsilon \cdot (1 - \varepsilon)} \cdot 100\%. \quad (1.5)$$

Приравняв производную  $\delta_n$  к нулю, можно определить, что наибольшая погрешность имеет место при перемещении движка на 2/3 от максимального значения. Подставив  $\varepsilon = 2/3$  в (1.5), получим формулу для расчета максимальной погрешности:

$$\delta_{n.\max} = \frac{4}{27\alpha_n + 6}, \quad (1.6)$$

Как следует из (1.6), с увеличением сопротивления нагрузки погрешность уменьшается. Поэтому коэффициент нагрузки следует выбирать как можно больше. На практике его принимают в пределах 10...100.

Зависимость погрешности  $\delta_n$  от положения движка  $x$  при различных коэффициентах нагрузки  $\alpha_n$  потенциометра приведена на рис. 1.4.

Эта погрешность равна нулю в крайних положениях движка потенциометра и имеет максимум в районе двух третей диапазона. Требуемая погрешность измерения в заданном диапазоне перемещения движка может быть обеспечена соответствующим выбором величины коэффициента нагрузки.

При автоматизации различных технологических процессов потенциометрический измерительный преобразователь выполняет функции преобразования механического перемещения в пропорциональный электрический сигнал и может быть использован в качестве датчика линейных и угловых перемещений. Простота преобразования различных физических величин в перемещение позволяет использовать потенциометрические измерительные преобразователи в приборах для измерения уровня, расхода, давления, силы, веса и т.п., а также в системах для непосредственной передачи угла поворота, в следящих системах, регуляторах, устройствах обработки данных и отображения.

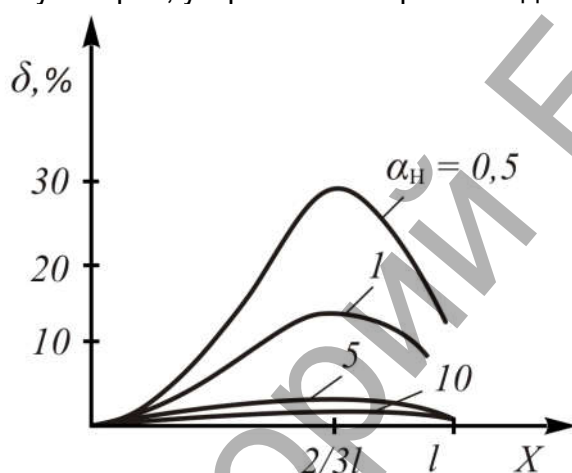


Рисунок 1.4 – Погрешность потенциометрического преобразователя

Достоинствами потенциометрического измерительного преобразователя являются: простота, возможность получения заданного закона изменения выходной величины от перемещения движка за счёт профилирования каркаса, возможность получения на выходе электрического сигнала, который легко преобразуется и передаётся на расстояние.

К недостаткам можно отнести наличие скользящего контакта, что снижает надёжность работы, приводит к износу элементов преобразователя и изменению его характеристик с течением времени.

#### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы потенциометрического измерительного преобразователя угловых перемещений.

2. Собрать схему лабораторной установки согласно рис. 1.5.

3. Снять зависимость  $U_x = f(\varepsilon)$  при сопротивлениях нагрузки  $R_n = \infty$ ;  $R_n = 10 R_{\Pi}$ ;  $R_n = 2 R_{\Pi}$ ;  $R_n = R_{\Pi}$ , где  $R_{\Pi} = 3000 \text{ Ом}$ .

4. Вычислить расчётные значения чувствительности  $S$ , погрешности  $\delta_n$ , а также величины выходного напряжения  $U'_x$  при угловом перемещении движка потенциометрического измерительного преобразователя для значений сопротивления нагрузки  $R_n$ , заданных преподавателем.

Результаты измерений и вычислений свести в таблицу 1.1.

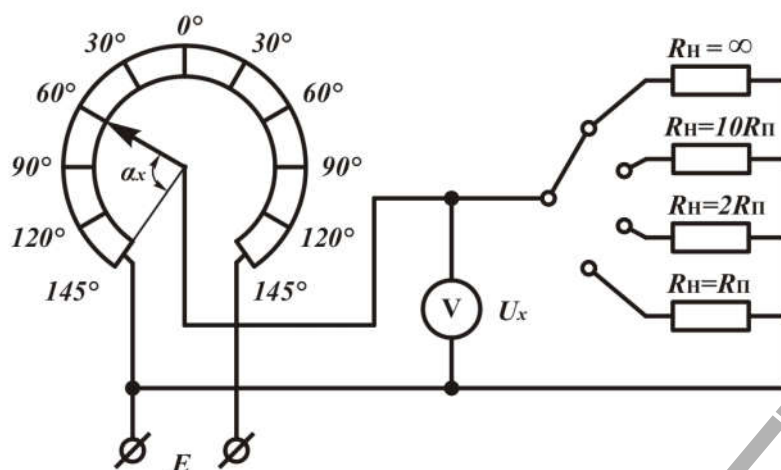


Рисунок 1.5 – Схема исследования потенциметрического преобразователя

Таблица 1.1 – Результаты исследования

Сопротивление нагрузки $R_H$	Выходное напряжение $U_x$ при угловом перемещении движка $\alpha_x$ , В											Примечание			
	-145°	-120°	-90°	-60°	-30°	0	30°	60°	90°	120°	145°	Измерено	Вычислено		
$R_H = \infty$															
$R_H = 10 R_{\Pi}$															
$R_H = 2 R_{\Pi}$															
$R_H = R_{\Pi}$															
Величина заданного сопротивления нагрузки $R_H$ $R_H =$												$\varepsilon$			
												$\delta_H$			
												$S$			
												$U'_x$			

### Содержание отчёта

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание принципа работы исследуемого потенциметрического измерительного преобразователя.
3. Схема исследования потенциметрического преобразователя.
4. Применяемые измерительные приборы (тип, паспортные данные).
5. Таблица измеренных и вычисленных величин.
6. Графики экспериментально полученных и расчётных характеристик  $\delta_H = f(\varepsilon)$ ,  $U_x = f(\varepsilon)$ ,  $U'_x = f(\varepsilon)$ .
7. Примеры использования потенциметрических измерительных преобразователей при автоматизации технологических процессов.

### Вопросы к зачёту

1. Принцип работы потенциметрического измерительного преобразователя при измерении различных физических величин.
2. Как осуществляется выбор потенциметрического измерительного преобразователя для измерения требуемой физической величины при заданной погрешности измерения?
3. Какие существуют типы измерительных преобразователей для измерения уровня, давления, деформации, температуры?
4. Как применить потенциметрический измерительный преобразователь для измерения уровня или давления?



## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО И ТРАНСФОРМАТОРНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

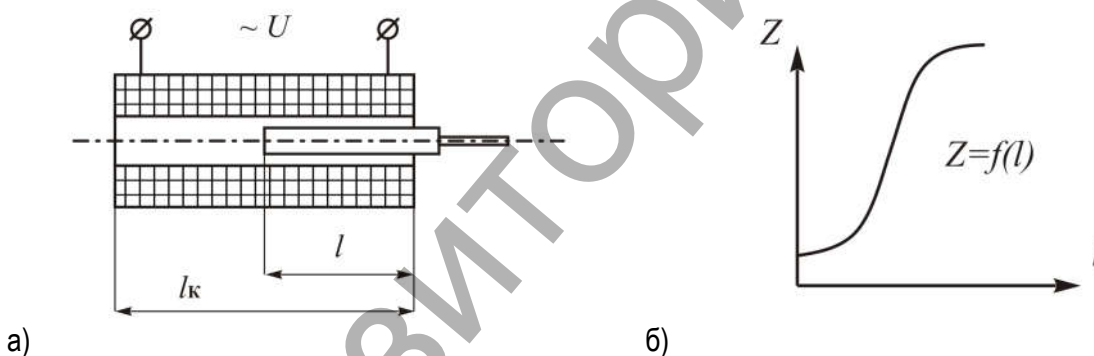
### Цель работы:

1. Изучение конструкции и принципа действия индуктивных и трансформаторных измерительных преобразователей перемещений.
2. Исследование характеристик индуктивного и трансформаторного измерительных преобразователей в основных измерительных схемах.

### Общие сведения

Преобразование перемещения в изменение индуктивности или взаимоиנדуктивности может осуществляться с помощью индуктивных или трансформаторных измерительных преобразователей, конструкции которых весьма разнообразны. Так, при измерении малых перемещений (0,01–1,0 мм) обычно применяются измерительные преобразователи с замкнутым магнитопроводом и переменным воздушным зазором, а при измерении больших перемещений (1,0–10 мм) – измерительные преобразователи с подвижным сердечником.

Простейший индуктивный преобразователь состоит из катушки и подвижного ферромагнитного сердечника, установленного внутри катушки (рис. 2.1а). Катушка включается в цепь переменного тока.



а) конструктивная схема; б) статическая характеристика

**Рисунок 2.1 – Индуктивный измерительный преобразователь**

При перемещении сердечника изменяется индуктивность катушки

$$L = \mu \frac{w^2 S l}{l_k}, \quad (2.1)$$

где  $w$  – число витков катушки;

$l$  – длина вхождения сердечника в катушку;

$l_k$  – длина катушки;

$S$  – поперечное сечение катушки;

$\mu$  – магнитная проницаемость материала сердечника.

Соответственно, меняется её полное сопротивление

$$Z = \sqrt{(2\pi fL)^2 + R^2}, \quad (2.2)$$

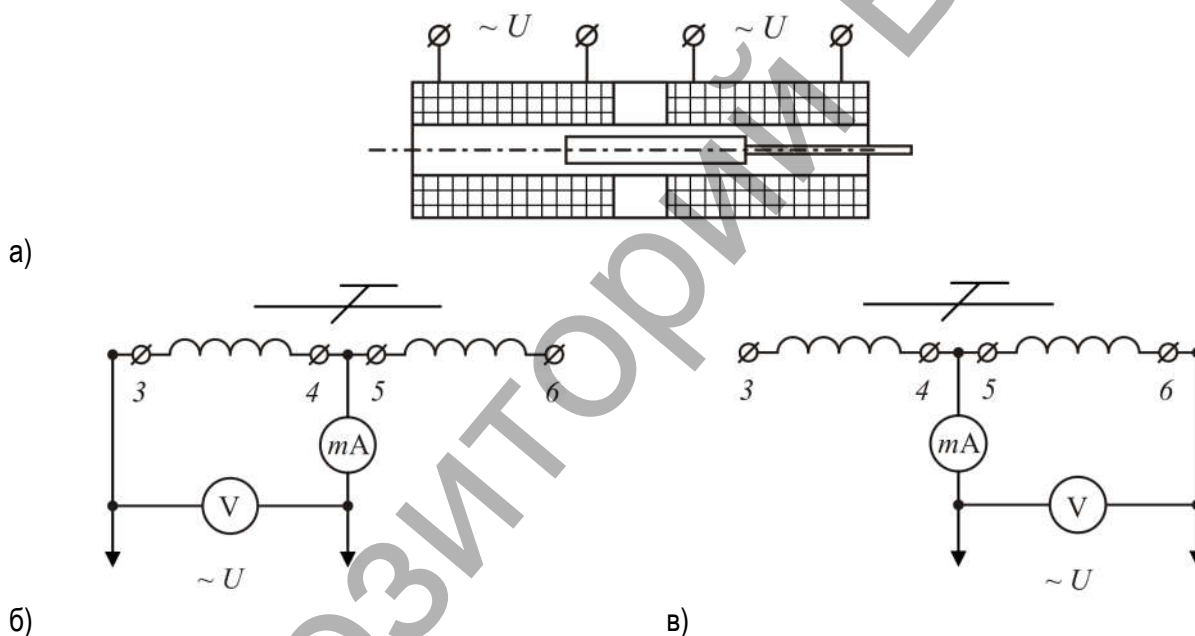
где  $R$  – активное сопротивление катушки;  $f$  – частота тока.

В соответствии с (2.1) индуктивность зависит от перемещения сердечника. Соответственно, согласно (2.2), полное сопротивление катушки также является функцией перемещения.

Зависимость  $Z = f(l)$ , называемая статической характеристикой, приведена на рис. 2.1б. Линейность характеристики нарушается, когда активное сопротивление измерительного преобразователя становится соизмеримым с индуктивным сопротивлением, а также в зоне насыщения сердечника.

Недостатком простейшего измерительного преобразователя является сильное влияние на выходную величину таких факторов, как отклонение величины питающего напряжения и его частоты от номинальных значений, а также изменение температуры окружающей среды. Поэтому на практике такие преобразователи не могут обеспечить требуемую точность и применяются редко.

Для устранения указанных недостатков применяются мостовая и дифференциальная измерительные схемы. Устройство дифференциального преобразователя показано на рис. 2.2а. Он содержит две одинаковые катушки и один сплошной или составной сердечник.



**Рисунок 2.2 – Дифференциальный измерительный преобразователь**

При перемещении сердечника индуктивное  $X_L$  и полное  $Z$  сопротивления одной катушки (в которую входит сердечник) увеличивается на  $\Delta Z$ , а другой – уменьшается на  $\Delta Z$ . Схемы для измерения сопротивления катушек приведены на рис. 2б и 2в.

Если катушки дифференциального индуктивного преобразователя включить в два соседних плеча мостовой схемы, как показано на рис. 2.3, то чувствительность преобразователя к перемещению сердечника увеличится в два раза, а изменение температуры окружающей среды и частоты питающего напряжения практически не будет влиять на величину выходного сигнала. При необходимости получения выходного сигнала в виде постоянного тока или напряжения, на выходе измерительной схемы включают выпрямитель.

При изменении направления перемещения сердечника от среднего положения, фаза выходного сигнала будет изменяться на  $180^\circ$ . Если установить в схеме фазочувствительный выпрямитель, как показано на рис. 2.4а, то выходной сигнал будет менять по-

лярность в зависимости от направления перемещения сердечника. Статическая характеристика данного преобразователя приведена на рис. 2.4б. Это позволяет измерять как величину, так и направление перемещения сердечника.

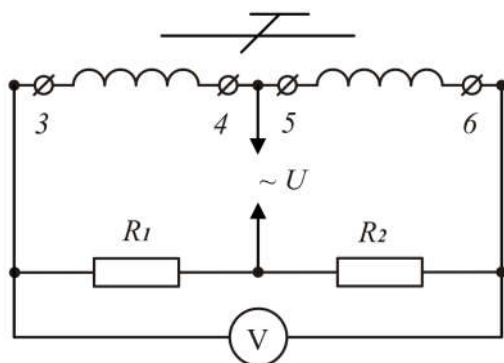
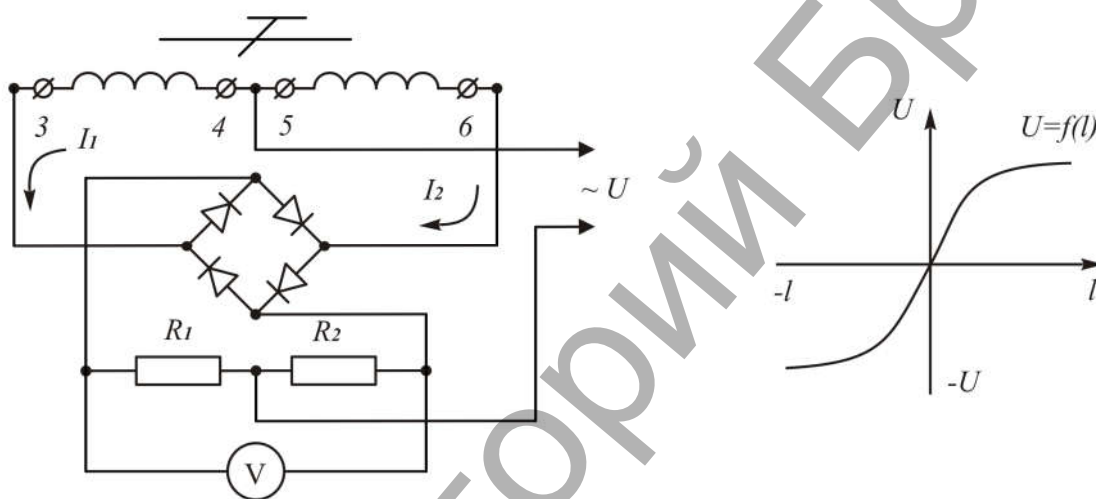


Рисунок 2.3 – Мостовая измерительная схема



а)

б)

Рисунок 2.4 – Мостовая измерительная схема с фазочувствительным выпрямителем

Выпрямленные контурные токи  $I_1$  и  $I_2$  создают на сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$  противоположно направленные падения напряжения  $I_1 R_1$  и  $I_2 R_2$ . При условии, что  $R_1 = R_2 = R$ , выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = R(I_1 - I_2)$  будет иметь направление большего тока.

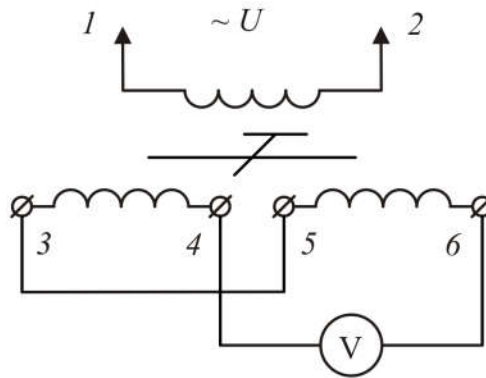
Трансформаторный измерительный преобразователь, кроме двух вторичных обмоток, расположенных аналогично обмоткам дифференциального измерительного преобразователя (рис. 2.2а), имеет ещё одну равномерно расположенную обмотку, которая подключается к источнику питания переменного тока. Вторичные обмотки обычно включаются по дифференциальной схеме, как показано на рис. 2.5.

Вторичные обмотки измерительного преобразователя включены между собой встречно, и в каждой из них, при среднем положении сердечника, наводятся одинаковые ЭДС, при этом выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = E_{56} - E_{34} = 0.$$

Если сердечник сместить вправо от среднего положения, то в катушке 5-6 ЭДС увеличится на  $\Delta E$ , а в катушке 3-4 уменьшится на  $\Delta E$ , при этом выходное напряжение

$$U_{\text{вых}} = E_{56} + \Delta E - (E_{34} - \Delta E) = 2\Delta E.$$



**Рисунок 2.5 – Трансформаторный измерительный преобразователь**

При изменении направления перемещения сердечника изменится фаза выходного напряжения на  $180^\circ$ . Используя фазочувствительный выпрямитель, можно зафиксировать направление перемещения сердечника.

Трансформаторным измерительным преобразователям в ряде случаев отдают предпочтение, вследствие отсутствия непосредственной связи между цепями питающего напряжения и выходным сигналом.

Индуктивные и трансформаторные измерительные преобразователи просты по устройству, надёжны, не имеют скользящих контактов, обладают относительно большой величиной отдаваемой электрической мощности и могут работать от сети переменного тока частотой 50 Гц.

Недостатком индуктивных и трансформаторных измерительных преобразователей является значительная зависимость результатов от частоты тока питающей сети. Они работают на частотах до 3000 - 5000 Гц. При более высоких частотах растут потери в стали.

Индуктивные и трансформаторные преобразователи получили широкое применение при автоматизации технологических процессов, связанных с изменением и регулированием давления и расхода различных жидкостей и газов, в контрольно-измерительных приборах в сочетании с первичными измерительными преобразователями, работающими по принципу механических перемещений (электрические манометры, динамометры, тензометры и др.), как бесконтактные конечные выключатели различных устройств автоматизации.

### **Описание лабораторной установки**

На стенде смонтированы трансформаторный дифференциальный измерительный преобразователь соленоидного типа с подвижным сердечником, двухполупериодный фазочувствительный выпрямитель и два резистора  $R_1$  и  $R_2$ . Схемы выполненных соединений приведены на панели стенда. Питание измерительного преобразователя производится от источника переменного тока частотой 50 Гц.

### **Порядок выполнения работы**

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы индуктивного и трансформаторного измерительных преобразователей.
2. Собрать измерительную схему исследования индуктивного измерительного преобразователя по рис. 2.2б и рис. 2.2в. Снять статическую характеристику  $Z = f(I)$ .

3. Снять статические характеристики:

а) при включении дифференциального индуктивного измерительного преобразователя в мостовую измерительную схему с выходным сигналом в виде переменного напряжения (рис. 2.3);

б) при включении дифференциального индуктивного измерительного преобразователя в мостовую измерительную схему с фазочувствительным выпрямителем (рис. 2.4а);

в) при включении трансформаторного измерительного преобразователя в дифференциальную схему (рис. 2.5).

Результаты измерений и вычислений свести в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты измерений и вычислений

	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	Примечание	
$I_{34}, \text{мА}$										Измерен.	Схема с одной катушкой
$I_{56}, \text{мА}$											
$Z_{34}, \text{Ом}$										Вычисл.	
$Z_{56}, \text{Ом}$											
$\sim U, \text{В}$										Мостовая измерительная схема	
$- U, \text{В}$											
$U_{35}, \text{В}$										Дифференциальная измерительная схема	
$U_{46}, \text{В}$											
$U_{\text{Вых}}, \text{В}$											

### Содержание отчёта

1. Наименование и цель работы.
2. Краткое описание принципа работы исследуемых измерительных преобразователей.
3. Схемы исследования измерительных преобразователей и таблица измеренных и вычисленных величин.
4. Статические характеристики исследованных измерительных преобразователей.
5. Применение индуктивных и трансформаторных измерительных преобразователей при автоматизации технологических процессов (пример применения пояснить рисунком).

### Вопросы к зачёту

1. Устройство и принцип действия индуктивного преобразователя с одной катушкой.
2. Устройство и принцип действия дифференциального индуктивного измерительного преобразователя.
3. Назначение фазочувствительного выпрямителя в измерительных схемах.
4. Устройство и принцип действия трансформаторного измерительного преобразователя.
5. В чём состоит преимущество дифференциального и трансформаторного индуктивных измерительных преобразователей?
6. Примеры применения индуктивных и трансформаторных измерительных преобразователей при автоматизации технологических процессов.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ РЕЛЕ

### Цель работы:

1. Изучение конструкции и принципа действия электромагнитных реле, ознакомление с методикой измерения их параметров.
2. Экспериментальное исследование статических характеристик электромагнитных реле.

### Общие сведения

Электромагнитные реле относятся к одному из наиболее распространённых видов устройств автоматики и применяются в качестве элементов управления и защиты, промежуточных преобразователей, усилителей дискретных сигналов. Реле могут выполнять логические операции и используются для построения систем логического управления. По своей конструкции и принципу действия они чрезвычайно разнообразны. Различают нейтральные и поляризованные электромагнитные реле. Нейтральные реле делятся на реле постоянного тока и реле переменного тока.

В нейтральных электромагнитных реле при отсутствии тока в обмотке магнитный поток в магнитной системе также отсутствует (т.е. реле не имеет предварительного намагничивания).

#### *Нейтральные реле постоянного тока.*

Устройство реле показано на рис. 3.1. Сердечник с установленной на нем катушкой образуют электромагнит, который управляет положением подвижного якоря с возвратной пружиной, создающей противодействующее усилие. Якорь осуществляет переключение контактов, которые могут быть нормально-замкнутыми, нормально-разомкнутыми и переключающими.



**Рисунок 3.1 – Устройство электромагнитного реле постоянного тока**

При протекании тока по катушке якорь намагничивается и притягивается к сердечнику. При этом он оказывает механическое воздействие на контактную группу, переключая контакты (нормально-разомкнутые контакты замыкаются, нормально-замкнутые – размыкаются). При отключении катушки от источника якорь и контакты под действием пружины

жины возвращаются в исходное положение. Тяговое усилие якоря  $P_{\text{я}}$ , создаваемое магнитным потоком катушки, пропорционально квадрату тока и количеству витков и не меняет своего направления при изменении направления тока.

#### Нейтральное реле переменного тока.

По принципу действия оно аналогично реле постоянного тока, но имеет ряд конструктивных особенностей. Если к электромагнитному реле, изображённому на рисунке 3.1, подвести переменный ток, якорь будет дребезжать, а контакты, находящиеся под нагрузкой, искрить. Это явление объясняется тем, что при изменении магнитного потока по синусоиде тяговое усилие якоря  $P_{\text{я}}$  в течение одного периода изменения тока дважды принимает нулевое значение и в течение некоторого времени оказывается меньше усилия возвратной пружины  $P_{\text{пр}}$ , что приводит к возврату якоря в исходное положение (при  $P_{\text{я}} > P_{\text{пр}}$  реле включено, при  $P_{\text{я}} < P_{\text{пр}}$  реле выключено).

Для устранения дребезжания (вибрации) якоря в конструкцию магнитопровода реле переменного тока добавляют короткозамкнутый виток 1, как показано на рис. 3.2. Часть основного магнитного потока  $\Phi$ , проходя через сечение магнитопровода, охваченное короткозамкнутым витком, наводит в нём э.д.с. Это приводит к появлению тока в короткозамкнутом витке и созданию магнитного потока  $\Phi_3$ , сдвинутого по фазе на угол  $60^\circ$ , вследствие чего результирующий магнитный поток не обращается в нуль и тяговое усилие электромагнита всегда превышает силу пружины.

С целью уменьшения токов Фуко магнитопровод реле переменного тока набирают из отдельных пластин электротехнической стали, а якорь выполняется более массивным, чем у реле постоянного тока.

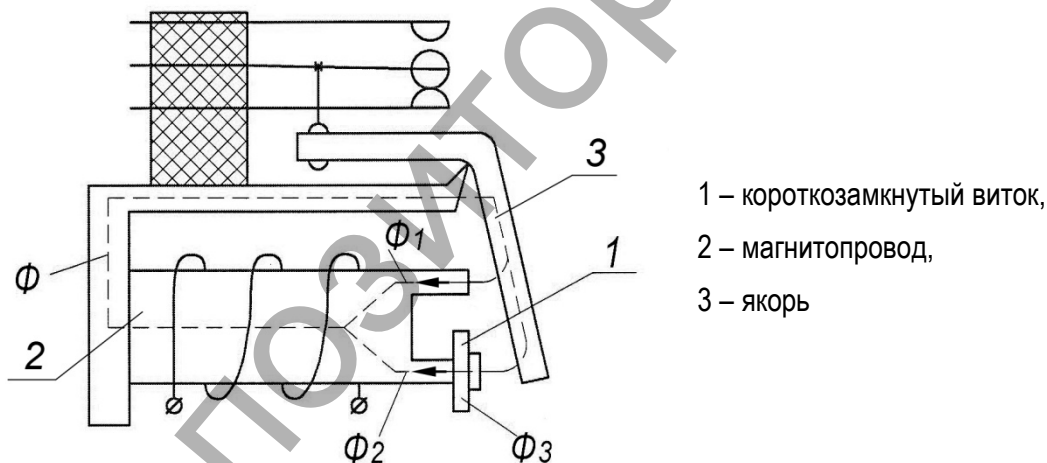


Рисунок 3.2 – Устройство реле переменного тока

#### Реле поляризованное.

Поляризованное электромагнитное реле отличается от нейтрального наличием постоянного магнита (рис. 3.3). В магнитопроводе действуют два независимых друг от друга магнитных потока: поляризующий магнитный поток  $\Phi_0$ , создаваемый постоянным магнитом, и рабочий магнитный поток  $\Phi_p$ , создаваемый рабочим током катушек. Магнитный поток  $\Phi_0$  разветвляется на два потока  $\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi_0/2$ .

При принятых на рис. 3.3 направлениях магнитных потоков в левой половине сердечника происходит их сложение ( $\Phi_p + \Phi_1$ ), а в правой – вычитание ( $\Phi_p - \Phi_2$ ). Вследст-

вие этого якорь притягивается влево и замыкает контакты 5, 7. При изменении тока в катушке изменяется направление магнитного потока  $\Phi_p$  и результирующий поток становится больше в правой половине сердечника. Якорь перемещается вправо и замыкает контакты 6, 7. После отключения от источника реле сохраняет свое состояние (якорь удерживается постоянным магнитом), поэтому управляющий сигнал можно подавать кратковременно (на время, достаточное для переключения). Таким образом, управлять поляризованным реле можно импульсами напряжения положительной и отрицательной полярности. Его можно также использовать в качестве элемента памяти.

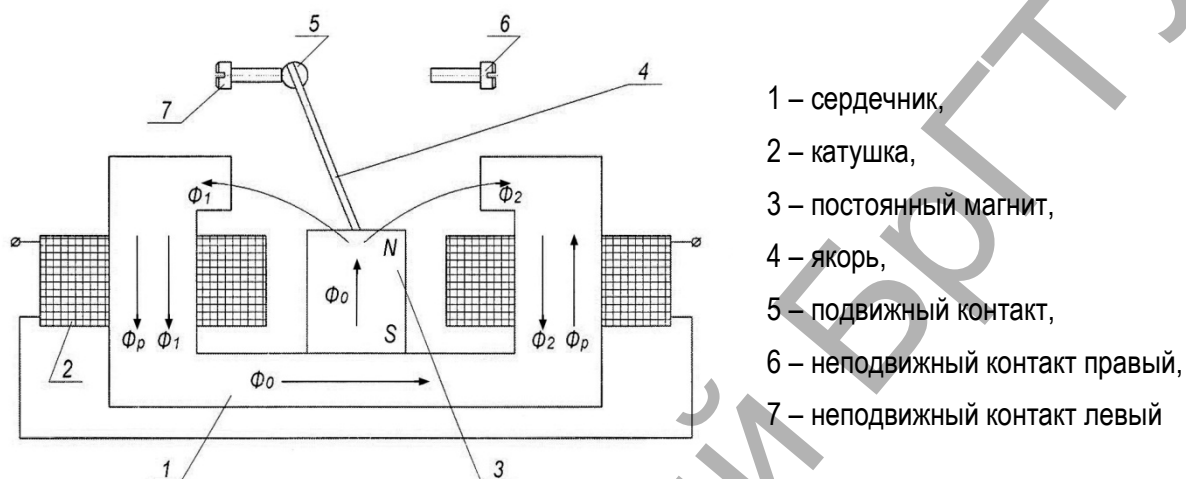


Рисунок 3.3 – Устройство поляризованного реле

Поляризованное реле по сравнению с нейтральным обладает большей чувствительностью, меньшим временем срабатывания, меньшим энергопотреблением.

#### Характеристики реле.

Реле включает в себя воспринимающий орган (в данном случае катушку), на который подается управляющее воздействие, и исполнительный орган (контактную группу), состояние которого изменяется скачкообразно при достижении управляющим сигналом определенного значения.

Зависимость выходной переменной  $Y$  от входной  $X$  выражается статической характеристикой (рис. 3.4). Входной переменной является управляющее воздействие, которое может изменяться плавно и непрерывно. Выходной является логическая переменная, описывающая состояние реле (включено, выключено). Для электромагнитных реле входной переменной является напряжение или ток. Используются также реле давления, уровня, температуры и др., для которых входными являются соответствующие физические переменные (давление, уровень, температура).

Характерной особенностью релейной характеристики является то, что возврат реле в исходное состояние происходит при меньшем значении входного сигнала, чем срабатывание, т.е.  $X_{вх1}$  меньше чем  $X_{вх2}$  (рис. 3.4).

Следует отметить, что электромагнитное реле осуществляет функцию усиления дискретных сигналов. Токи, протекающие через контакты реле в управляемой цепи, значительно больше тока управления, протекающего по катушке. Например, реле типа МКУ-48 с катушкой на 220 В переменного тока потребляет  $I_p = 0,012 \dots 0,020$  А, а ток, пропускаемый контактами, составляет 5 А. Отношение величины тока в управляемой цепи к току управления можно рассматривать как коэффициент усиления реле по току.



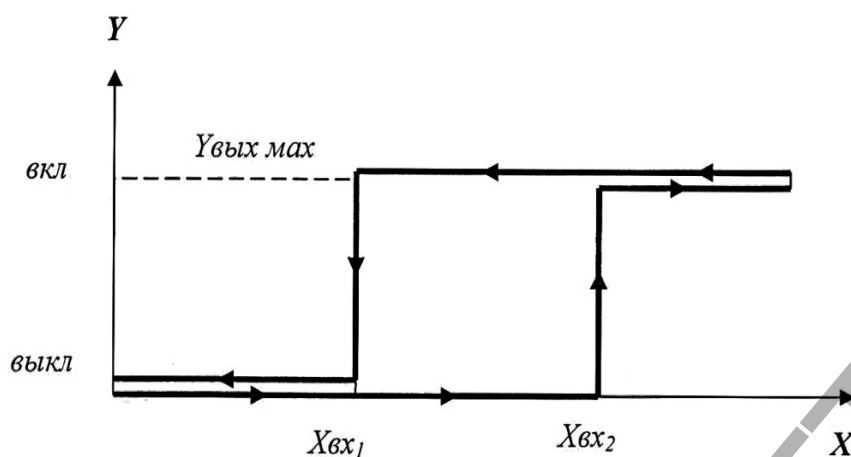


Рисунок 3.4 – Статическая характеристика реле

Реле могут выполнять также функцию распределения сигналов, осуществляя управление несколькими цепями одновременно, поскольку контактная группа обычно содержит несколько контактов.

Состояние контактов, изображенное на принципиальной схеме, соответствует отключенному реле. При срабатывании реле состояние контактов меняется на противоположное.

Буквенно-цифровое обозначение реле содержит одну или две буквы и цифры. Первая буква К для любого реле. Вторая буква указывает физическую величину, которая является входной (на которую реагирует данное реле). Например: KV – реле напряжения, КА – реле тока, КК – тепловое реле и т.д. Если на схеме присутствует несколько реле, они нумеруются (например KV1, KV2 и т.д.). Катушка и контакты, входящие в состав одного реле, имеют одинаковое буквенно-цифровое обозначение. При этом контакты могут отдельно нумероваться через точку (например KV1.1, KV1.2 и т.д.).

Основными параметрами электромагнитных реле являются:

1. Ток или напряжение срабатывания  $I_{ср}$ ,  $U_{ср}$  – минимальные значения, при которых происходит срабатывание реле.

2. Ток или напряжение отпускания  $I_{омн}$ ,  $U_{омн}$  – максимальные значения, при которых происходит возврат реле в исходное состояние.

3. Рабочий ток и напряжение  $I_p$ ,  $U_p$  – величины, обеспечивающие надёжное срабатывание реле.

4. Коэффициент возврата  $K_B = I_{омн} / I_{ср} \approx (0,2...0,95)$ .

### Порядок выполнения работы

1. Изучить конструкцию и принцип действия исследуемых электромагнитных реле.

2. Исследовать нейтральные электромагнитные реле по схеме (рис. 3.5). Источник тока (переменный, постоянный) выбирать в соответствии с типом исследуемого реле.

Определить  $I_{ср}$  и  $I_{омн}$  реле. Величина тока срабатывания определяется в момент зажигания сигнальной лампы HL1 при плавном перемещении движка реостата, обеспечивающем увеличение тока в катушке реле. Ток отпускания определяется при плавном уменьшении тока в цепи катушки в момент погасания сигнальной лампы.

3. Исследовать поляризованное реле, собрав схему по рис. 3.6. Питание к катушке поляризованного реле KP1 подаётся с диагонали DC моста ABCD через микроамперметр  $\mu A$ , имеющий шкалу с нулевой отметкой посередине.

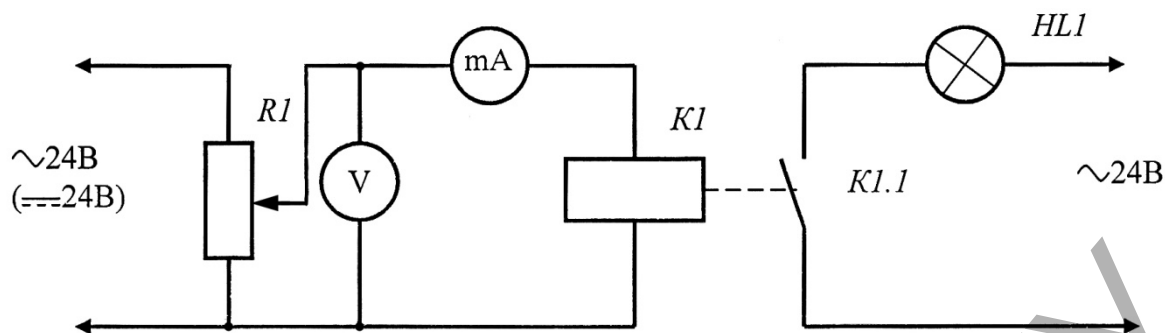


Рисунок 3.5 – Схемы исследования электромагнитных реле

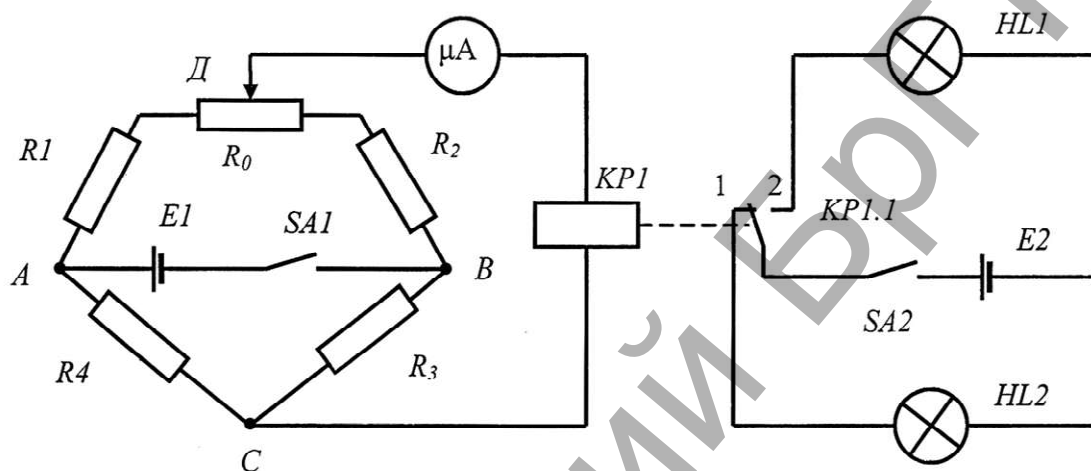


Рисунок 3.6 – Схема исследования поляризованного реле

Перемещением движка потенциометра  $R_0$  от СРЕДНЕГО положения, при котором напряжение в диагонали  $ДС$  моста равно нулю, достигается изменение величины и направления токов катушки реле  $KP1$ . Определить ток переключения реле из одного состояния в другое. Изменение состояния контактов следует определять по сигнальным лампам.

4. Для реле, исследованных в п. 2, подсчитать коэффициент возврата  $K_B$ . Повторить опыты несколько раз и вычислить средние значения токов. Результаты измерений и вычислений свести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений и вычислений

Тип реле	$I_{omn}$	$I_{cp}$	$K_B$

### Содержание отчёта

1. Название и цель работы.
2. Эскизы конструктивного выполнения исследуемых реле, их технические данные, схемы исследования.
3. Таблица измеренных и вычисленных величин.
4. Статические характеристики исследуемых реле, построенные по результатам измерений.
5. Краткие выводы о возможности использования исследованных реле при автоматизации технологических процессов.

## Вопросы к зачёту

1. Принцип действия нейтральных реле постоянного и переменного тока, поляризованных реле.
2. Конструктивные особенности электромагнитных реле переменного тока.
3. Условные обозначения реле на принципиальных электрических схемах.
4. Назначение реле. Области применения.

## Лабораторная работа №4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММИРУЕМЫХ РЕЛЕ ВРЕМЕНИ

#### Цель работы:

1. Изучить реле времени типа ВС-43-62УХЛ4, его технические характеристики, возможности по реализации программ управления, способы настройки.
2. Получить навыки разработки программ управления исполнительными механизмами автоматических систем с помощью реле времени.

#### Общие сведения

Реле времени предназначены для двухпозиционного управления (включения – выключения) группой исполнительных устройств (механизмов), работающих по замкнутому циклу. При реализации технологического процесса циклы следуют друг за другом. В пределах цикла последовательность работы механизмов является фиксированной и задается с помощью циклограммы. Примерный вид циклограммы показан на рис. 4.1. Она отображает изменение состояния управляемых устройств на протяжении одного цикла и позволяет определить состояние каждого устройства в любой момент времени.

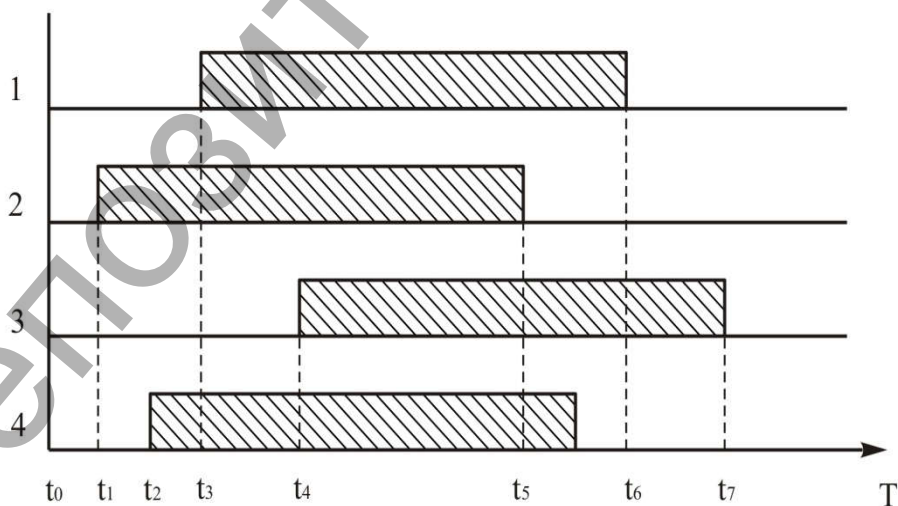


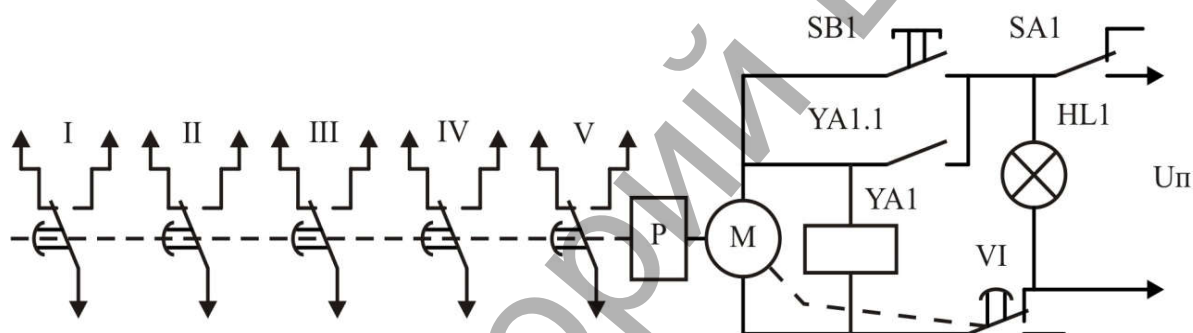
Рисунок 4.1 – Пример циклограммы

Циклограмма реализуется посредством устройства циклового управления, которое формирует команды на изменение состояния исполнительных механизмов в соответствующие моменты времени. Данное устройство осуществляет управление механизмами по заложенной в него временной программе. Управляющее устройство может быть выполнено на программируемом реле времени.

В настоящее время широко применяются реле времени типа ВС-43-62УХЛ4, выполненные как многоканальные электродвигательные реле времени. Эти приборы позволяют осуществлять включение и выключение нескольких исполнительных механизмов по определённой программе. Диапазон настройки длительности цикла реле времени типа ВС-43-62УХЛ4 составляет от 9 сек. до минуты, при этом допустимая погрешность составляет  $\pm 1,5\%$ .

На рис. 4.2 показана принципиальная схема программируемого реле времени типа ВС-43-62УХЛ4, где:

- М – синхронный электродвигатель;
- Р – редуктор;
- YA1 – электромагнит;
- SA1 – переключатель сетевого электропитания;
- SB1 – кнопка запуска работы реле времени;
- I – V – контакты, управляющие работой исполнительных механизмов;
- VI – контакт выключения реле времени (конец цикла работы);
- HL1 – сигнальная лампа контроля сетевого питания.



**Рисунок 4.2 – Принципиальная электрическая схема реле времени**

Принцип его работы заключается в следующем. Синхронный электродвигатель через редуктор приводит в движение распределительный вал с закреплёнными в его пазах барабанами с кулачками. При вращении распределительного вала кулачки осуществляют переключение контактов, управляющих исполнительными устройствами. Момент переключения определяется разворотом барабана с кулачком на определенный угол относительно начального положения. Механизм настройки позволяет устанавливать момент переключения от начала цикла для каждого контакта в отдельности. Дополнительно настраивается длительность цикла.

Подключение реле времени к источнику питания (переменное напряжение значением 220 В, 50 Гц) осуществляется переключателем SA1. Контроль подачи напряжения осуществляется с помощью лампы HL1. Запуск прибора осуществляется нажатием кнопки SB1 (переключатель SA1 должен быть включён), в результате этого замыкается цепь питания катушки электромагнита YA1 и электродвигателя М. Сердечник катушки, втягиваясь, замыкает контакт YA1.1 и тем самым блокирует кнопку SB1. После опускания кнопки SB1 питание электромагнита YA1 и электродвигателя М осуществляется через замыкающий контакт YA1.1. Синхронный электродвигатель М приводит в движение распределительный вал с закрепленным на нем пакетом из шести барабанов с кулачками.

На каждом барабане нанесена шкала, с помощью которой настраивается время переключения соответствующего контакта. Форма кулачка позволяет удерживать переключаемый контакт в одном и том же положении до конца цикла. Отключение электродвигателя осуществляется после завершения полного цикла работы размыканием контакта VI одним из кулачков. После остановки электродвигателя программируемое реле времени готово к очередному включению.

### **Методика настройки реле времени**

Настройка командных приборов, в их число можно отнести и программируемые реле времени, состоит в установке необходимой длительности цикла и моментов переключения отдельных контактов путем установки кулачков на распределительном валу в соответствии с заданной циклограммой.

Пример настройки. Пусть время цикла составляет 5 мин. Первая операция должна произойти через 36 сек., вторая – через 2 мин., считая от начала цикла, т.е. с момента включения прибора.

Для настройки длительности цикла шестой барабан поворачивается на отметку 5 мин. по нанесенной на нем шкале. Для этого левой рукой придерживается вал с барабанами, а правой рукой производится вращение шестого барабан против часовой стрелки. Барабаны можно поворачивать только в одном направлении.

Настройка времени переключения контактов (36 сек. и 2 мин.) осуществляется аналогично соответствующими барабанами.

Если какой-либо из механизмов необходимо выключить в заданный момент до окончания цикла, то для управления этим механизмом используется два контакта, соединенных последовательно (нормально-разомкнутый и нормально-замкнутый). Первый определяет момент включения, второй – момент выключения механизма.

### **Порядок выполнения работы.**

1. Ознакомиться с устройством, принципом работы и конструктивным выполнением отдельных узлов реле времени типа ВС-43 -62УХЛ4.

2. На основании задания преподавателя составить циклограмму. За начало отсчёта принять момент включения реле времени. Включенное состояние механизмов на циклограмме показывается высоким уровнем с произвольной амплитуды, а отключенное – нулевым уровнем.

3. Разработать и собрать электрическую схему, реализующую управление заданными исполнительными механизмами. В качестве исполнительных механизмов в данной лабораторной установке применяются электрические лампочки HL1–HL4 и асинхронный двигатель М со схемой включения (см. рис. 4.3). В автоматическом режиме команда подается контактом КТ, вместо которого в схему включается соответствующий контакт реле времени.

4. Определить цену деления шкалы на установочных барабанах реле времени и установить заданную длительность цикла, а также моменты включения исполнительных устройств.

5. После проверки собранной схемы и соответствующих настроек реле преподавателем, подключить лабораторную установку к источнику питания.

6. Запустить реле времени и произвести проверку выполнения программы, наблюдая за работой прибора в течение одного цикла. Секундомером измерить интервалы времени от начала цикла до момента включения каждого механизма.
7. Результаты наблюдений и вычислений занести в протокол.

### Содержание отчёта

1. Название и цель работы.
2. Краткое описание принципа работы прибора.
3. Индивидуальное задание преподавателя.
4. Разработанная циклограмма работы группы механизмов.
5. Разработанная принципиальная электрическая схема, реализующая циклограмму работы автоматического устройства.
6. Протокол испытания и оценка пригодности прибора для эксплуатации.
7. Выводы.

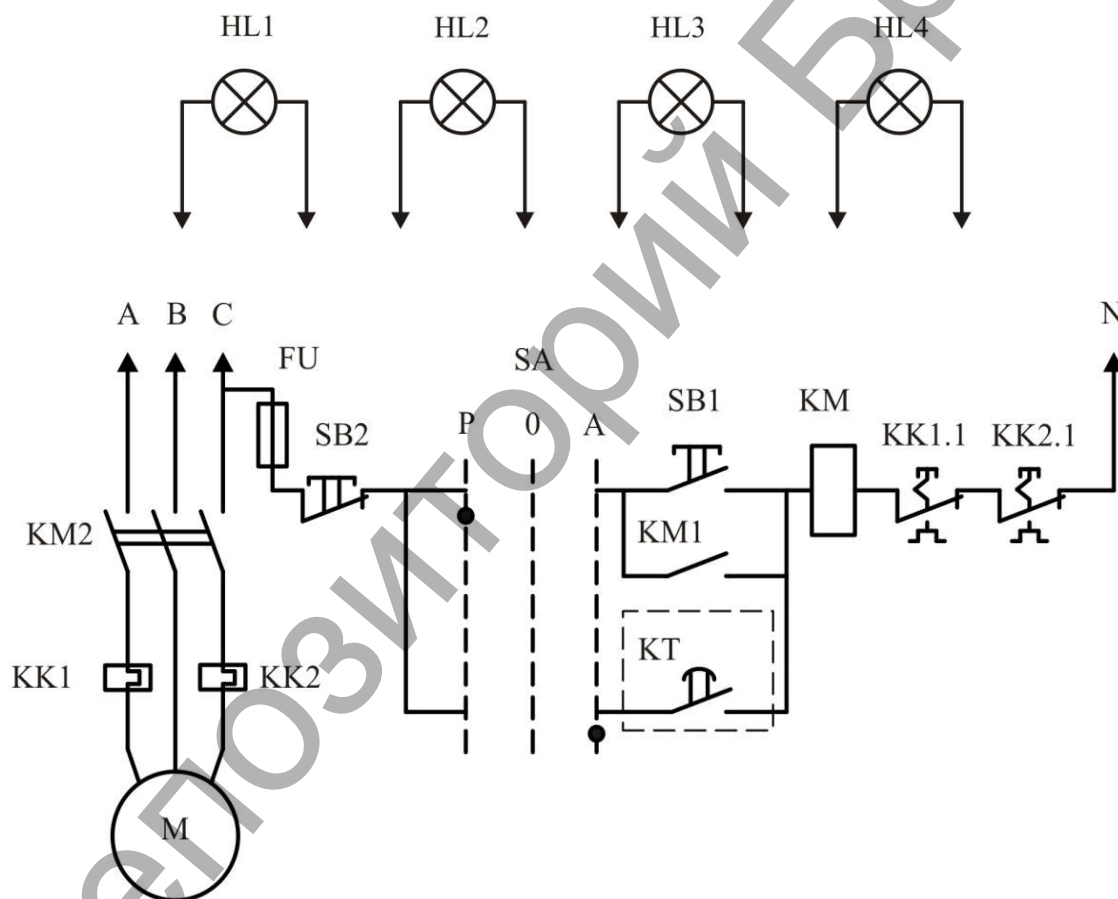


Рисунок 4.3 – Исполнительные устройства

### Протокол измерений

Номера цепей		1	2	3
Момент включения [мин]	Задано			
	Получено			
	Погрешность			
Момент выключения [мин]	Задано			
	Получено			
	Погрешность			

Длительность цикла [мин]	Задано	
	Получено	
	Погрешность абсолютная	
	Погрешность относительная	

### Вопросы к зачёту

1. Назначение программируемых реле времени.
2. Устройство и принцип работы прибора ВС-43-62УХЛ4.
3. Как осуществляются настройка прибора на заданную длительность цикла и время переключения контактов?
4. Как осуществить отключение механизма до окончания цикла?
5. Применение реле времени при автоматизации производства (на примерах изучаемых вами технологических процессов).

### Список литературы

- 1 Абдулин, С.Ф. Системы автоматики предприятий стройиндустрии / С.Ф. Абдулин. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007.
- 2 Елизаров, И.А. Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры. 2-е изд. доп. и перераб. / И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г. Схиртладзе, С.В. Фролов. – М.: Машиностроение, 2004.
- 3 Коновалов, Л.И. Элементы и системы электроавтоматики / Л.И. Коновалов, Д.П. Петелин. – М.: Высшая школа, 1980.
- 4 Келим, Ю.М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики / Ю.М. Келим. – М.: Высшая школа, 1981.
- 5 Мясковский, И.Г. Основы автоматизации производства / И.Г. Мясковский. – М.: Высшая школа, 1986.
- 6 Кабеш, К. Прецизионные потенциометры для автоматизации / К. Кабеш. – М.: Энергия, 1969.
- 7 Борисов, Н.М. Автоматические устройства контроля и управления / Н.М. Борисов. – М.: Энергия, 1976.
- 8 Левшина, Е.С. Электрические измерения физических величин / Е.С. Левшина, П.В. Новицкий. – Л.: «Измерительные преобразователи» Энергоатомиздат, 1983.
- 9 Шишмарев, В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления / В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 304 с.
- 10 Лейтман, М.Б. Нормирующие измерительные преобразователи / М.Б. Лейтман – М.: Энергоатомиздат, 1986.
- 11 Королев, Г.В. Электронные устройства автоматики / Г.В. Королев – М.: Высшая школа, 1991.

Учебное издание

Составители:

Прокопеня Олег Николаевич  
Иванов Владимир Васильевич  
Устинов Дмитрий Борисович  
Олех Анна Григорьевна

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам  
по автоматизации производственных процессов  
для студентов технических специальностей  
дневной и заочной форм обучения

Часть 1

Ответственный за выпуск: Прокопеня О.Н.

Редактор: Боровикова Е.А.

Корректор: Никитчик Е.В.

Компьютерная вёрстка: Кармаш Е.Л.

---

Подписано к печати 28.12.2015 г. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.

Усл. п.л. 1,4. Уч. изд.л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 1340.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.