

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Физические основы измерений

Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических
процессов и производств (легкая промышленность)»

Витебск
2017

УДК 681.5 (075.8)

Составитель:

В.В. Мурычева

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом
УО «ВГТУ» протокол № 6 от 27.09.2017.

Физические основы измерений : методические указания по выполнению лабораторных работ / сост. В. В. Мурычева. – Витебск : УО «ВГТУ», 2017. – 29 с.

Методические указания являются руководством по выполнению лабораторных работ по курсу «Физические основы измерений», определяют общие требования, предъявляемые к лабораторной работе, освещают последовательность ее подготовки, требования к структуре, содержанию и оформлению как самой работы, так и ее защиты.

УДК 681.5 (075.8)

© УО «ВГТУ», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1. Исследование радиоволнового датчика...	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2. Исследование емкостного бесконтактного выключателя.....	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3. Исследование индуктивного бесконтактного выключателя.....	11
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4. Исследование пьезоэлектрического преобразователя.....	14
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5. Изучение и градуировка детекторных вольтметров.....	19
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6. Изучение электромагнитного измерительного прибора.....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7. Градуировка омметра.....	25
Литература.....	28

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОВОЛНОВОГО ДАТЧИКА

Цель работы: изучить принцип действия радиоволнового датчика.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Радиоволновое измерительное устройство состоит из следующих частей:

- СВЧ-генератора (генератор Ганна), являющегося источником электромагнитных колебаний;
- передающего и приемного трактов вместе с передающей и приемочной антеннами;
- вторичного преобразователя (СВЧ-диод или детектор для выпрямления переменных электрических сигналов) для обработки СВЧ-сигнала и его измерения [1].

Радиоволна при встрече с объектом измерения может частично или полностью отразиться и пройти через него, при этом изменить свои параметры. А по степени их изменения и судят о свойствах объекта.

Информативными параметрами являются: амплитуда, фаза, время распространения, длина волны и их сравнительные характеристики (частотный сдвиг, доплеровский сдвиг частоты, положение узла или пучности, напряженность поля стоячей волны и др.).

Линии передачи электромагнитной энергии бывают *двухпроводниковые, коаксиальные, волноводные, полосковые*. Их электрические свойства характеризуются параметрами: L , C , R , Q на единицу длины. По ним определяют полное сопротивление линии. На практике линии характеризуются *волновым сопротивлением*

$$P = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1.1)$$

и *коэффициентом распространения*

$$\gamma = \sqrt{ZY}. \quad (1.2)$$

Режим работы линии с некоторой нагрузкой характеризуется: коэффициент отражения – K_θ , коэффициент стоячей волны – K_c , коэффициент бегущей волны – K_g .

Коэффициент отражения характеризуется *мерой рассогласования цепи*

$$K_\theta = \left(\frac{U_o}{U_n} \right) e^{i\theta}, \quad (1.3)$$

где θ – фазовый сдвиг между отраженной и падающей волнами, град; U_o , U_n – амплитуды отраженной и падающей волн, В.

Степень рассогласования можно определить лишь по отношению величины U_{max} и U_{min} , измеренных значений в измерительной линии [2]. Тогда:

$$K_c = \frac{U_{max}}{U_{min}}, \quad (1.4)$$

$$K_B = \frac{1}{K_c}, \quad (1.5)$$

$$K_o = \frac{K_c - 1}{K_c + 1} = \frac{1 - K_B}{1 + K_B}. \quad (1.6)$$

Структурная схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.1

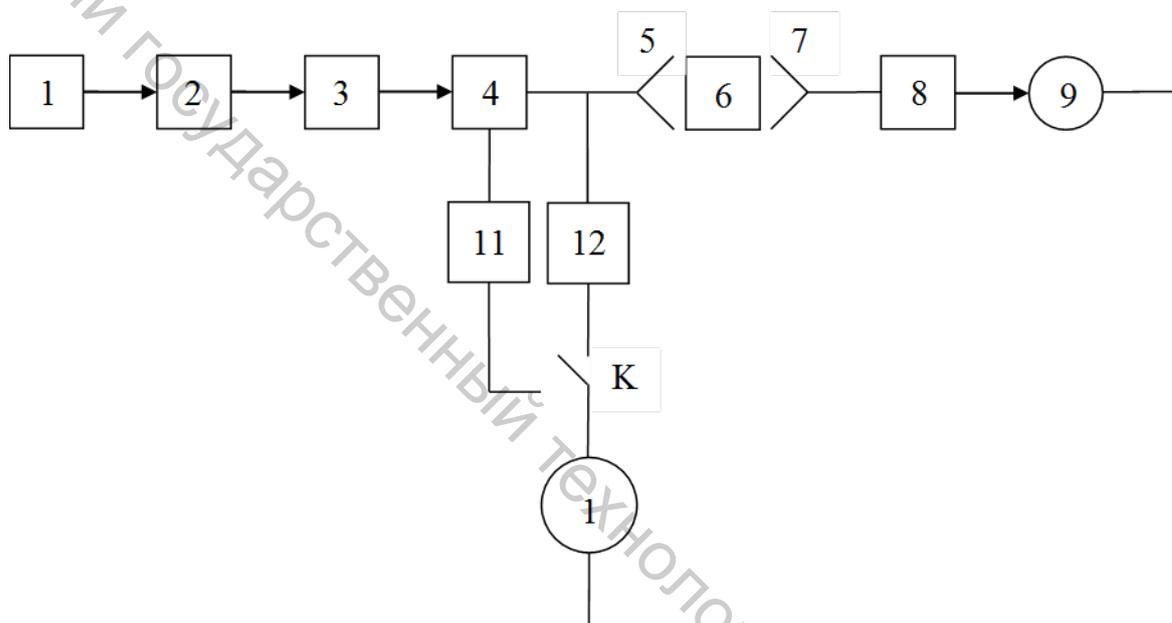


Рисунок 1.1 – Структурная схема лабораторной установки

1 – источник постоянного напряжения; 2 – генератор СВЧ-колебаний (генератор Ганна); 3 – аттенюатор, регулятор уровня затухания волн; 4 – измерительная линия; 5, 7 – передающая и приемочная антенны, соответственно; 6 – объект измерения; 8, 11, 12 – детекторные диоды; 9, 13 – милливольтметры

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить лабораторную установку.
2. Перевести ручку аттенюатора влево.
3. Убрать объект измерения **6** из межантенного пространства, если он там есть.
4. Включить провод из блока питания **1** в сеть. СВЧ-генератор включится, и волна пройдет весь тракт, и приборы **9** и **13** (милливольтметры) покажут значения амплитуды, падающей и отраженной волн.

5. Градуировка аттенюатора.

Аттенюатор выведен влево на «0». Показание левого прибора **9** характеризует выходную мощность. Принимаем её значение за U_{max} .

а) переводя ручку аттенюатора на некоторый угол вправо с определенным шагом (например, 5°), записать минимум 5-10 показаний: по шкале «ДБ» значение этого угла и значение напряжения на приборе 9.

б) построить градуировочную кривую.

6. Измерение длины волны.

Ключ **К** перевести в левое положение, т. е. прибор **13** включить к детекторной измерительной линии и прибор покажет некоторое значение U , мВ. Эта величина напряжения индуцируется на зонде, помещенном в электромагнитное поле волноводной линии. Ручками перемещать зонд по длине линии и снять зависимость сигнала по длине линии (минимум 5-10 показаний) $U_m = f(L, \text{мм})$. По значениям напряжения в точках максимума и минимума вычислить K_c . Из функции $U = f(L)$ вычислить длину волны.

7. Перевести ключ **К** в правое положение. Правый прибор измеряет отраженную волну от антенны 7. По показаниям отраженного сигнала и прошедшего через тракт можно различить коэффициенты прохождения и отражения.

8. Разместить исследуемый материал (взять у преподавателя) между антеннами и, перемещая с шагом 5 мм, измерить сигналы прямой и отраженной волн (минимум 5-10 показаний). По полученным значениям рассчитать среднее значение коэффициентов отражения, прохождения и поглощения.

9. Пункт 8 выполнить для нескольких (2-3) материалов, сравнить значения и сделать выводы о параметрах материалов.

10. Результаты измерений занести в таблицы, построить графики зависимости. Выключить провод блока питания из сети.

Таблица 1.1 – Материал: винипласт

Наименование показателя	Значение показателя					
	2	3	4	5	6	7
1						
$L, \text{мм}$						
$U_n, \text{мВ}$						
$U_o, \text{мВ}$						

Таблица 1.2 – Материал: гетинакс

Наименование показателя	Значение показателя					
	2	3	4	5	6	7
1						
$L, \text{мм}$						
$U_n, \text{мВ}$						
$U_o, \text{мВ}$						

Таблица 1.3 – Материал: текстолит фольгированный

Наименование показателя	Значение показателя						
	1	2	3	4	5	6	7
$L, мм$							
$U_n, мВ$							
$U_o, мВ$							

Таблица 1.4 – Материал: железо

Наименование показателя	Значение показателя						
	1	2	3	4	5	6	7
$L, мм$							
$U_n, мВ$							
$U_o, мВ$							

11. Проанализировать полученные результаты. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ЕМКОСТНОГО БЕСКОНТАКТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Цель работы: изучение принципа действия и экспериментальное определение расстояния срабатывания на различные материалы емкостного бесконтактного выключателя.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Емкостным датчиком называют преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение емкостного сопротивления [3].

Обычно емкостный датчик представляет собой плоский или цилиндрический конденсатор, одна из обкладок которого испытывает подвергаемое контролю перемещение, вызывая изменение емкости. Пренебрегая краевыми эффектами, можно выразить емкость для плоского конденсатора следующим образом:

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}, \quad (2.1)$$

где ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заключенной между обкладками; S и d – площадь поверхности рассматриваемых обкладок и расстояние между ними соответственно, мм² и мм.

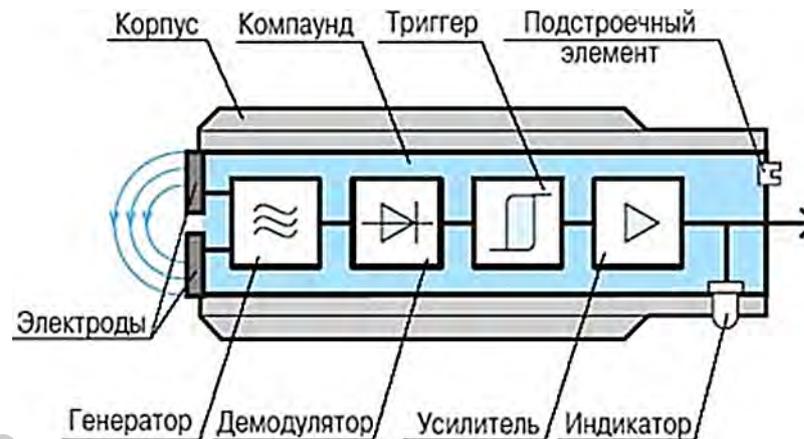


Рисунок 2.1 – Конструкция емкостного датчика

1. Генератор обеспечивает электрическое поле взаимодействия с объектом.
2. Демодулятор преобразует изменение амплитуды высокочастотных колебаний генератора в изменение постоянного напряжения.
3. Триггер обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.
4. Усилитель увеличивает выходной сигнал до необходимого значения.
5. Светодиодный индикатор показывает состояние выключателя, обеспечивает работоспособность, оперативность настройки.
6. Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды.
7. Корпус обеспечивает монтаж выключателя, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями [4].

Таблица 2.1 – Характеристики емкостного датчика

Наименование параметра	Значение
1	2
Расстояние срабатывания	10,0 мм
Гарантированный интервал срабатывания	0 - 7,2 мм
Напряжение питания	10-30 В
Максимальный ток нагрузки	не более 1,5 В
Потребляемый ток	не более 15,0 мА
Частота срабатывания максимальная	100 Гц
Степень защиты	IP65

Принцип работы емкостного датчика: приближение объекта воздействия из металла или диэлектрика к чувствительной поверхности увеличивает емкость между электродами конденсатора и вызывает увеличение амплитуды колебаний генератора. При достижении амплитудой генератора порогового значения, схемой управления формируется выходной сигнал электронного ключа датчика, который используется для коммутации электрических цепей и сигнализации.

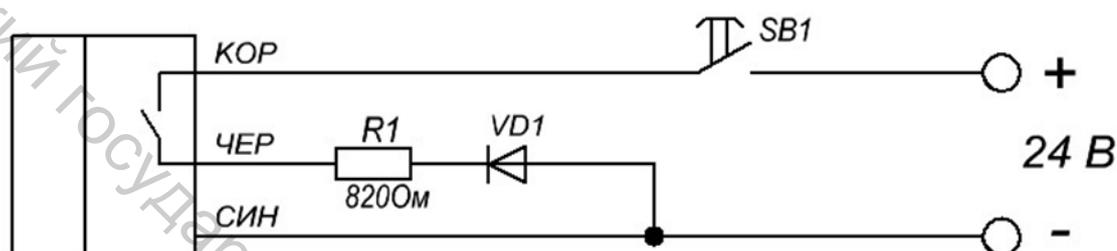


Рисунок 2.2 – Схема подключения емкостного датчика

Емкостные датчики применяются для контроля заполнения резервуаров жидким, порошкообразным или зернистым веществом, как конечные выключатели на автоматизированных линиях, конвейерах, роботах, обрабатывающих центрах, станках, в системах сигнализации, для позиционирования различных механизмов и т. д.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить блок питания, выставить рабочее напряжение 24 В. При не правильном подключении напряжения с блока питания загорается красная лампочка на блоке индикации.
2. Включить емкостной датчик, нажав кнопку на блоке индикации, при этом загорится подсветка выключателя.
3. Закрепить образец материала в зажиме.
4. Отвести исследуемый образец на максимальное расстояние от датчика.
5. Перемещать образец в исходное положение, пока датчик не сработает.
6. Записать расстояние срабатывания датчика в мм в таблицу 2.2, учитывая, что 1 оборот рукоятки соответствует шагу в 0,5 мм.
7. Затем отводить образец, пока датчик не выключится.
8. Записать расстояние срабатывания датчика в мм в таблицу 2.2.
9. Повторить 10 раз пункты 4 – 8.

!При не правильном подключении напряжения с блока питания загорается красная лампочка на блоке индикации.

Таблица 2.2 – Запись результатов измерений

Материал							
1		2		3		4	
Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.
...

Расчетная часть

1. Рассчитать *среднее арифметическое значение*

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (2.2)$$

где X_i – расстояние срабатывания, мм;
 n – количество измерений.

2. Вычислить *среднеквадратическое отклонение*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (2.3)$$

3. Записать *доверительный интервал*

$$\Delta = \sigma t = 2.23\sigma, \quad (2.4)$$

где $t = 2,23$ – критерий Стьюдента для 10 измерений, при точности 0,95.

4. Записать полученные результаты в виде

$$L_{cp} = \bar{X} \pm \Delta. \quad (2.5)$$

5. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКТИВНОГО БЕСКОНТАКТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Цель работы: изучение принципа действия и экспериментальное определение расстояния срабатывания на различные материалы индуктивного бесконтактного выключателя.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Индуктивный датчик – это устройство, предназначенное для контроля положения объектов из металла. Индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, который создает магнитное поле и реагирует при внесении управляющего объекта.

По схеме построения индуктивные датчики можно разделить на **одинарные и дифференциальные**. **Одинарный** индуктивный датчик содержит одну измерительную ветвь, **дифференциальный** – две. В дифференциальном индуктивном датчике при изменении измеряемого параметра одновременно изменяются индуктивности двух одинаковых катушек, причем изменение происходит на одну и ту же величину, но с обратным знаком [5].

Индуктивность одинарного индуктивного датчика

$$L = \frac{W\Phi}{I}, \quad (3.1)$$

где W – число витков; Φ – пронизывающий магнитный поток, Вб; I – проходящий по катушке ток, А.

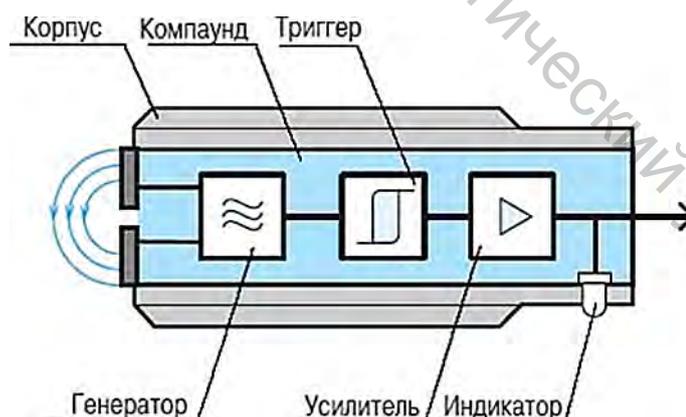


Рисунок 3.1 – Конструкция индуктивного датчика

1. Генератор обеспечивает зону чувствительности индуктивного датчика.
2. Триггер обеспечивает необходимую крутизну фронта сигнала переключения и значение гистерезиса.

3. Усилитель увеличивает амплитуду выходного сигнала до необходимого значения.

4. Светодиодный индикатор показывает включенное/выключенное состояние индуктивного датчика, обеспечивает контроль работоспособности, оперативность настройки и ремонта оборудования.

5. Компаунд обеспечивает необходимую степень защиты от проникновения твердых частиц и воды.

6. Корпус обеспечивает монтаж индуктивного датчика, защищает от механических воздействий. Выполняется из латуни или полиамида, комплектуется метизными изделиями.

Достоинства индуктивных датчиков:

1) нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов;

2) высокая частота переключений до 3000 Hz;

3) устойчив к механическим воздействиям.

Недостатки индуктивных датчиков:

1) сравнительно малая чувствительность;

2) зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения;

3) значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику).

Принцип работы индуктивного датчика: Принцип действия основан на изменении амплитуды колебаний генератора при внесении в активную зону датчика металлического, магнитного, ферро-магнитного или аморфного материала определенных размеров. При подаче питания на конечный выключатель в области его чувствительной поверхности образуется изменяющееся магнитное поле, наводящее во внесенном в зону материале вихревые токи, которые приводят к изменению амплитуды колебаний генератора. В результате вырабатывается аналоговый выходной сигнал, величина которого изменяется от расстояния между датчиком и контролируемым предметом [6].

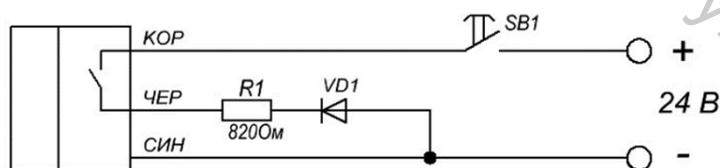


Рисунок 3.2 – Схема подключения индуктивного датчика

Индуктивные датчики предназначены для контроля положения металлических объектов. В промышленном оборудовании используются в качестве бесконтактных конечных и путевых выключателей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить блок питания, выставить рабочее напряжение 24 В. При не правильном подключении напряжения с блока питания загорается красная лампочка на блоке индикации.
2. Включить емкостной датчик, нажав кнопку на блоке индикации, при этом загорится подсветка выключателя.
3. Закрепить образец материала в зажиме.
4. Отвести исследуемый образец на максимальное расстояние от датчика.
5. Перемещать образец в исходное положение, пока датчик не сработает.
6. Записать расстояние срабатывания датчика в мм в таблицу 3.1.
7. Затем отводить образец, пока датчик не выключится.
8. Записать расстояние срабатывания датчика в мм в таблицу 3.1.
9. Повторить 10 раз пункты 4 – 8.

!При не правильном подключении напряжения с блока питания загорается красная лампочка на блоке индикации.

Таблица 3.1 – Запись результатов измерений

Материал							
1		2		3		4	
Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.	Вкл.	Выкл.
...

Расчетная часть

1. Рассчитать *среднее арифметическое значение*

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3.2)$$

где X_i – расстояние срабатывания, мм; n – количество измерений.

2. Вычислить *среднеквадратическое отклонение*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (3.3)$$

3. Записать *доверительный интервал*

$$\Delta = \sigma t = 2.23\sigma, \quad (3.4)$$

где $t = 2,23$ – критерий Стьюдента для 10 измерений, при точности 0,95.

4. Записать полученные результаты в виде

$$L_{\text{ср}} = \bar{X} \pm \Delta. \quad (3.5)$$

5. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы: изучить принцип работы пьезоэлектрического преобразователя и его характеристики.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Пьезоэлектрические преобразователи – это устройства, использующие пьезоэлектрический эффект в кристаллах, керамике или плёнках и преобразующие механическую энергию в электрическую и наоборот.

Прямой пьезоэлектрический эффект (пьезоэффект) состоит в том, что при механической деформации некоторых кристаллов в определённых направлениях на их гранях появляются электрические заряды противоположных знаков, а *обратный пьезоэлектрический эффект* заключается в изменении линейных размеров некоторых кристаллов под действием электрического поля [7].

Такими свойствами обладают такие минералы, как турмалин, кварц, сегнетовая соль и др.

В пьезоэлектрических преобразователях, главным образом, применяется кварц, обладающий сравнительно высокой механической прочностью, хорошими изоляционными свойствами и независимым от температуры пьезоэлектрическим эффектом.

В общем случае пьезоэлектрический преобразователь представляет собой пластинку из пьезоэлектрического материала, на противоположных гранях которой имеются два электрода. На рисунке 4.1 а схематично показано устройство преобразователя давления и его электрическая эквивалентная схема (рис. 4.1 б).

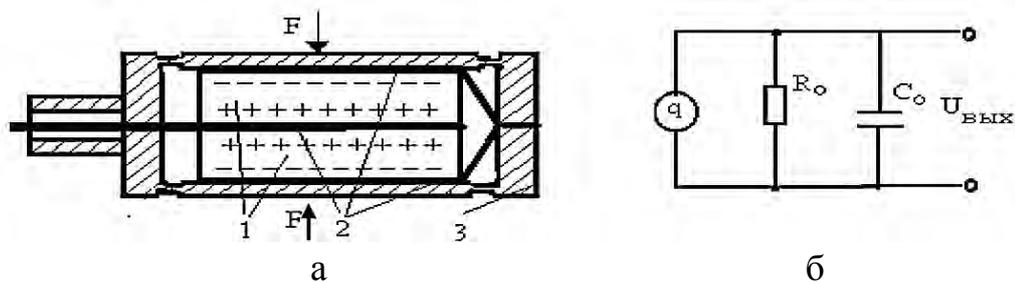


Рисунок 4.1 – Пьезоэлектрический преобразователь давления:

а – устройство преобразователя, б – электрическая эквивалентная схема преобразователя

Преобразователь состоит из двух пьезоэлектрических пластин 1 , соединенных параллельно. Заряд q , возникающий на гранях пластин 1 , пропорционален приложенной силе F . Сигнал с пластин снимается при помощи электродов 2 , выполненных из фольги. Пластины помещаются в корпус 3 .

На эквивалентной схеме C_0 – это электрическая емкость преобразователя (емкость между гранями пьезоэлектрика), R_0 – сопротивление преобразователя (сопротивление утечки) [8].

Исходя из физического принципа действия, все пьезоэлектрические преобразователи делятся на три группы:

1. *Преобразователи, использующие прямой пьезоэффект* и применяемые в приборах для измерения параметров механических процессов, в том числе: силы, акустического и быстропеременного давления, линейных и угловых ускорений, а также вибрации, ударов. Преобразователи, основанные на использовании прямого пьезоэффекта, называют **преобразователями-генераторами**; они имеют механический вход и электрический выход. Прямой эффект используется, например, в микрофонах, звукоснимателях, датчиках механических сил, перемещений и ускорений, бытовых зажигалках для газа и др.

2. *Преобразователи, использующие обратный пьезоэффект* и применяемые в качестве излучателей ультразвука в гидроакустике и дефектоскопии, преобразователях напряжения в перемещение (пьезодвигатели и пьезореле) для юстировки зеркал оптических приборов и исполнительных элементов систем автоматики. Преобразователи, основанные на использовании обратного пьезоэффекта, называют **преобразователями-двигателями**; они имеют электрический вход и механические выходы. Обратный эффект послужил основой для создания телефонов, громкоговорителей, ультразвуковых излучателей, реле, двигателей и т. п.

3. *Преобразователи параметрического типа*, использующие одновременно прямой и обратный пьезоэффекты, – **пьезоэлектрические резонаторы**, наиболее эффективно излучающие и принимающие энергию на фиксированной резонансной частоте. Пьезорезонаторы применяются в полосовых фильтрах, линиях задержки, преобразователях перемещения или присоединенной массы в частоту для датчиков уровня, плотности и др. [9].

В пьезокристаллах разноименно заряженные зоны расположены так, что заряды компенсируют друг друга (рис. 4.2). При действии силы кристаллическая решетка деформируется, расстояние между ионами изменяется и кристалл электризуется. На его гранях появляется заряд.

Величина заряда

$$q = d_{11}Fx, \tag{4.1}$$

где Fx – сила в направлении оси X , Н; d_{11} – пьезоэлектрический модуль, индекс показывает ориентацию заряда на гранях кристалла.

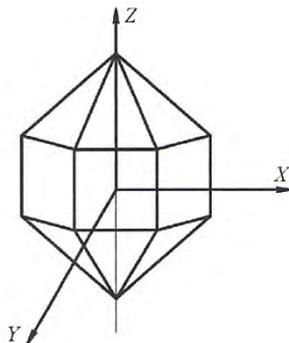


Рисунок 4.2 – Пьезоэлемент

При продольном пьезоэффекте заряд не зависит от размеров пьезоэлемента. Так, при сжатии по оси X заряд равен

$$q = \sigma S_1 = S_1 d_{11} \left(\frac{F_1}{S_1} \right) = d_{11} F_1, \tag{4.2}$$

где q – заряд, Кл; σ – плотность заряда на поверхности, Кл/м²; S – площадь поверхности, м²; F – сила, Н.

Выходной величиной ПП является напряжение на электродах

$$U=q/C, \tag{4.3}$$

где q – заряд, Кл; C – емкость, образованная электродами на гранях и диэлектрической проницаемостью кристалла, Ф.

Пьезокристалл имеет большое выходное сопротивление, и для измерения напряжения может быть использован вольтметр с большим входным сопротивлением.

Основными составляющими погрешности являются:

1. Погрешность, обусловленная нестабильностью параметров измерительной цепи.
2. Температурная погрешность, обусловленная изменением чувствительности.

3. Погрешность, вызванная чувствительностью к силам, действующим перпендикулярно измерительной оси преобразователя.

4. Частотная погрешность.

5. Погрешность, обусловленная неправильной установкой пластин.

6. Погрешность градуировки.

7. Погрешность, обусловленная гистерезисом и нелинейностью характеристики материала чувствительного элемента.

Чувствительность по заряду Sq пьезоэлектрического преобразователя силы определяется как

$$Sq = q/F, \quad (4.4)$$

где q – заряд кристалла, Кл; F – сила воздействия на кристалл, Н.

Чувствительность зависит от материала и ориентации пьезоэлектрических пластин [10].

Пьезокристалл имеет большое выходное сопротивление, и для измерения напряжения может быть использован вольтметр с большим входным сопротивлением (рис. 4.3).

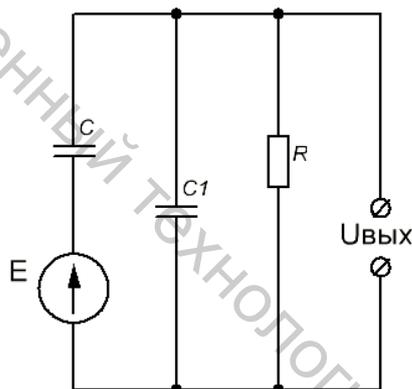


Рисунок 4.3 – Эквивалентная схема вольтметра с большим входным сопротивлением:

E – э.д.с. кристалла; C – емкость кристалла; C_1 – суммарная емкость вольтметра; R – входное сопротивление усилителя

Структурная схема лабораторной установки приведена на рисунке 4.4.

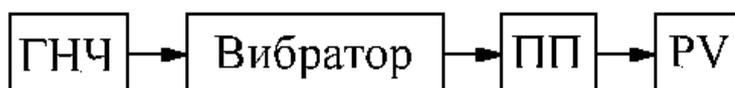


Рисунок 4.4 – Структурная схема лабораторной установки

где **ГНЧ** – генератор низкой частоты; **Вибратор** – вибратор, преобразователь электрической энергии в механическую; **ПП** – первичный преобразователь – пьезокристалл; **PV** – вольтметр.

Вибратор и ПП расположены в стенде, а ГНЧ и вольтметр подключаются к соответствующим клеммам.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить к входу генератор низких частот, а к выходу подключить вольтметр по рисунку 4.3.

2. Снять зависимость выходного напряжения от частоты. Входное напряжение задается преподавателем и в диапазоне частот равных 50Гц-15кГц, произвольно выберем 10 точек и записываем результаты измерений в таблицу 4.1.

3. Снять зависимость выходного напряжения от силы f , т. е. от напряжения генератора на одной частоте, а частоту выбрать в диапазоне наибольшей чувствительности по пункту 2 и занести данные в таблицу 4.2, при диапазоне напряжений от 0 до 20 В.

4. По результатам измерений построить графики зависимостей $U_{\text{вых}} = f(f \text{ частоты})$, $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{генератора}})$.

Таблица 4.1 – Запись результатов измерений

f, кГц									
U _{вх} = 1 В									
U _{вых} , В									

f, кГц									
U _{вх} = 2 В									
U _{вых} , В									

f, кГц									
U _{вх} = 3 В									
U _{вых} , В									

Таблица 4.2 – Запись результатов измерений

U _{генератора} , В		
f =		
U _{вых} , В		

5. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ИЗУЧЕНИЕ И ГРАДУИРОВКА ДЕТЕКТОРНЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Цель работы: изучить схемы вольтметров переменного напряжения и произвести экспериментальную градуировку схем однополупериодного, двухполупериодного выпрямителей, схемы с удвоением напряжения и схему амплитудного детектора.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Детекторные приборы — это совокупность выпрямителя, называемого детектором, и магнитоэлектрического измерителя. Такое сочетание вызвано необходимостью измерений малых токов и напряжений переменного тока различных частот. Приборами наиболее высокой чувствительности и точности являются магнитоэлектрические приборы, но они непригодны для переменных токов, поэтому измеряемый переменный ток или напряжение выпрямляются с помощью специального выпрямителя, а затем измеряются магнитоэлектрическим прибором [11].

Возможные схемы измерителей совместно с детекторами приведены на рисунке 5.1. Схему с однополупериодным выпрямлением (рис. 5.1 а) применяют только для вольтметров, так как последовательное включение детектора с нагрузкой значительно изменяет сопротивление цепи и проводит ток только в одну сторону.

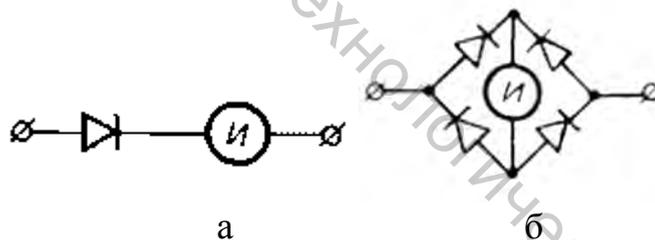


Рисунок 5.1 – Схемы измерителей совместно с детекторами:
а – схема с однополупериодным выпрямлением, б – мостовая схема с двухполупериодным выпрямителем

Наибольшее распространение получила мостовая схема с двухполупериодным выпрямителем (рис. 5.1 б). Если подобрать здесь все четыре детектора одинаковыми, то сопротивления переменному току по обоим направлениям будут также одинаковыми. Через прибор проходит ток в обе половины периода в одном направлении, вдвое увеличивая значение вращающего момента [12].

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. К гнездам $U_{вх}$ подключить ЛАТР (лабораторный автотрансформатор), вывести его на значение 0, а к гнездам $U_{вых}$ подключить вольтметр.

2. Перевести ключ K_1 в положение 2 (замкнутое положение по схеме), остальные ключи – в положение 1 (разомкнутое положение по схеме).

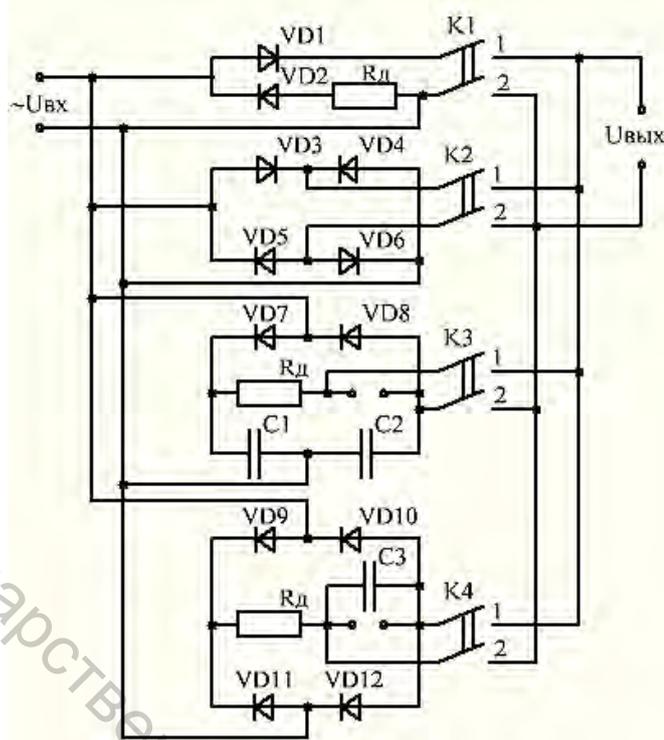


Рисунок 5.2 – Схема для градуировки детекторных вольтметров

3. Включить ЛАТР в сеть и, увеличивая напряжение от 0 до 30 В через каждые 2 В, записывать в таблицу 5.1 показания ИМ (вольтметр 0-30В).

4. Вывести ЛАТР в нулевое положение.

5. Перевести ключ K_2 в положение 2, остальные ключи в положение 1.

6. Выполнить пункты 3 и 4.

7. Перевести ключ K_3 в положение 2, остальные ключи в положение 1.

8. Выполнить пункты 3 и 4.

9. Перевести ключ K_4 в положение 2, остальные ключи в положение 1.

10. Выполнить пункты 3 и 4.

11. По полученным результатам построить градуировочные кривые, определить их отличия друг от друга и дать им объяснения.

Таблица 5.1 – Результаты измерений

Схема	$U_{им}, В$	$U_{вх}, В.$										
		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	
1	$U_{им}, В$											
2	$U_{им}, В$											
3	$U_{им}, В$											
4	$U_{им}, В$											

12. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Цель работы: изучить принцип действия электромагнитного измерительного прибора.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Электромагнитный прибор – это прибор для измерения электрического напряжения и силы тока (промышленной частоты), основанный на взаимодействии магнитного поля измеряемого тока в неподвижном проводнике с полем одного или нескольких подвижных постоянных магнитов [13].

Различают два типа электромагнитных приборов: **электромагнитный прибор с плоской катушкой** и **электромагнитный прибор с круглой катушкой** (рис. 6.1 а, б).

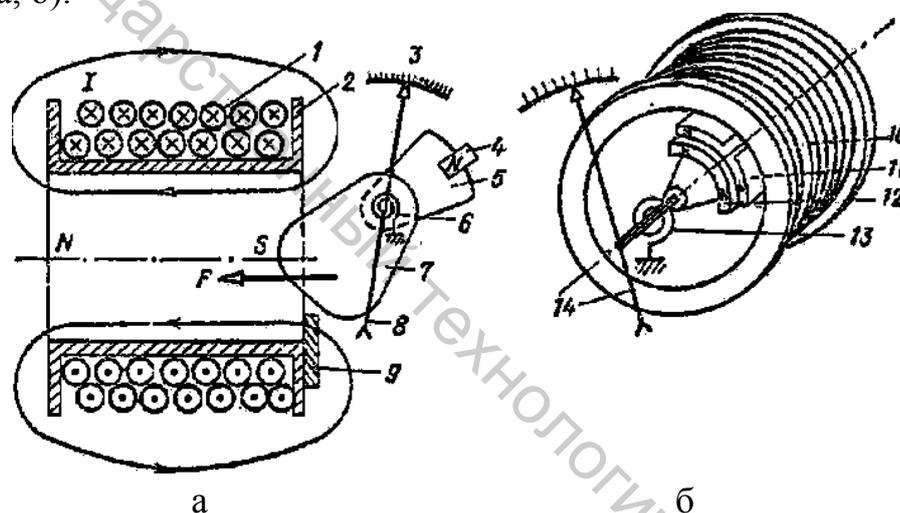


Рисунок 6.1 – Электромагнитный измерительный прибор
а – электромагнитный прибор с плоской катушкой, б – электромагнитный прибор с круглой катушкой

Конструкции электромагнитных измерительных приборов:

1. С плоской катушкой. Плоскую неподвижную катушку **1** наматывают из толстой проволоки на неферромагнитный каркас **2** так, что внутри неё образуется воздушный зазор. Рядом с зазором располагают ферромагнитную пластинку **7**, ось пластинки расположена асимметрично, на оси крепят стрелку **8** прибора, перемещающуюся вдоль шкалы **3** прибора. На оси укреплены противодействующая пружина **6** и алюминиевый сектор **5**, который может поворачиваться в поле постоянного магнита **4**.

2. С круглой катушкой. Электромагнитный прибор с круглой катушкой устроен следующим образом. Из толстой проволоки намотана круглая катушка **10** с воздушным центральным зазором. Внутри зазора неподвижно расположена

ферромагнитная пластина *11*, а на оси закреплена вторая, но уже подвижная ферромагнитная пластина *12*. На оси пластины *12* закреплены противодействующая пружинка *13* и стрелка *14* прибора. Для создания противодействующего момента закрепляют на оси алюминиевый сектор и устанавливают постоянный магнит. Принцип действия приборов этой системы основан на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки *1* (рис. 6.2), по которой протекает измеряемый ток *I*, и подвижного железного сердечника *2*.

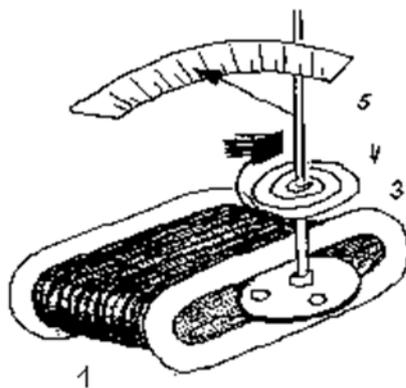


Рисунок 6.2—Принцип действия приборов, основанный на взаимодействии магнитного поля неподвижной катушки и подвижного железного сердечника

Плоский ферромагнитный сердечник эксцентрично закреплен на оси *3* вместе с противодействующей пружиной *4* и стрелкой *5*. При пропускании тока *I* по катушке сердечник втягивается внутрь, при этом закручивается пружина и поворачивается стрелка прибора на угол ϕ , и угол поворота стрелки будет зависеть от *величины измеряемого тока*, которую можно выразить следующей формулой:

$$\alpha = k \cdot I^2, \quad (6.1)$$

где *k* — некоторый коэффициент; *I* — величина тока, А.

Втягивающий момент пропорционален квадрату силы тока

$$M = k_1 \cdot I^2, \quad (6.2)$$

где *M* — втягивающий момент; *k*, *k*₁, *k*₂ — это постоянный коэффициент.

При равновесии втягивающий момент уравновешивается моментом, создаваемым закрученной пружиной

$$k_1 \cdot I^2 = k_2 \cdot \phi \rightarrow \phi = k \cdot I^2. \quad (6.3)$$

С изменением направления тока меняются направление магнитного поля и полярность намагничивающегося сердечника. Поэтому приборы электромаг-

нитной системы применяются для измерений как постоянных, так и переменных токов [14].

Чувствительность электромагнитного прибора зависит от значения измеряемого тока. При измерениях малых токов она мала настолько, что начало шкалы (10 –15 % шкалы) даже не градуируют. Чувствительностью S электроизмерительного прибора называется отношение линейного или углового перемещения указателя Δn к измеряемой величине ΔA , вызывающей это перемещение

$$S = \Delta n / \Delta A. \quad (6.4)$$

Преимущества:

1. Применяются как на постоянном, так и на переменном токе.
2. Непосредственное измерение тока возможно примерно до 100А.
3. Способность выдерживать большие перегрузки (нет токопроводов к подвижным частям).
4. Простота конструкции.
5. Возможность градуировки приборов.

Недостатки:

1. Нелинейный характер измерительной шкалы.
2. Сравнительно большое энергопотребление (при 5А потребление составляет 2,5 Вт).
3. Невозможность достижения высокой точности.
4. Малая чувствительность.
5. Большое собственное потребление энергии.
6. Сильное влияние магнитных полей.

Погрешности электромагнитных приборов обусловлены следующими причинами:

- трением в опорах;
- гистерезисом материала сердечника (зависит от материала сердечников и проявляется при работе на постоянном токе);
- изменением температуры окружающей среды и определяется изменением сопротивления цепи катушки и упругости пружин (или растяжек);
- погрешность от нагрева рабочей катушки проходящим по ней током [15].

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. К гнездам « $U_{вх}$ » подключить генератор, а к гнездам «РА» – мультиметр (рис. 6.3).
2. Установить на генераторе частоту 25 Гц, а напряжение установить на ноль. Установить ключ «К» в положение «0».

3. Включить генератор и, увеличивая напряжение, установить ток так, чтобы шкала прибора находилась во второй половине шкалы мультиметра и полученное значение напряжения принять за истинное.

4. Установить истинное напряжение и частоту 20Гц.

5. Изменить частоту до 5кГц при постоянном напряжении и записать результаты измерений в таблицу 6.1.

6. Выполнить пункты 3, 4 и 5 для всех положений ключа и записать результаты измерений в таблицу 6.1.

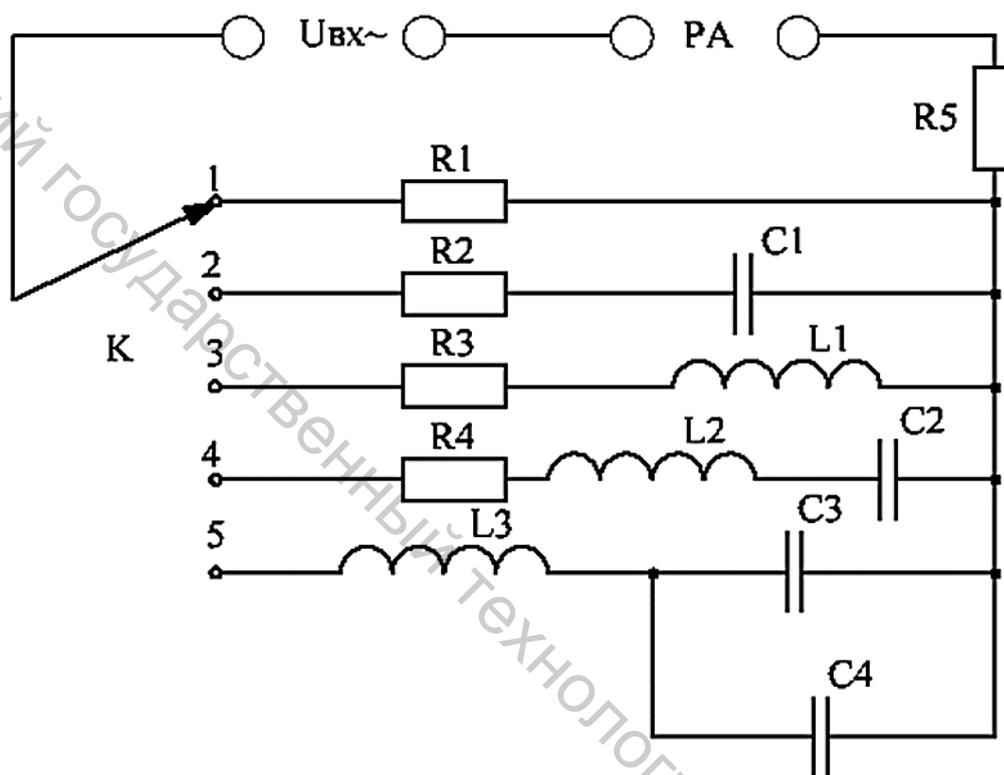


Рисунок 6.3 – Схема для проведения измерений

Таблица 6.1 – Результаты измерений

Нагрузка		Частота, кГц						
		20	40	60	100	1000	2000	5000
R	$I, \text{мА}$							
R,C	$I, \text{мА}$							
R,L	$I, \text{мА}$							
R,L,C	$I, \text{мА}$							
L,C	$I, \text{мА}$							

$R1 \div R5 = 82 \text{ Ом}, C1 \div C4 = 200 \text{ мкФ}.$

7. Построить зависимости $I=f(f)$ для всех нагрузок.

8. По результатам измерений рассчитать индуктивность L прибора, задавая любым значением частот.

9. Сделать вывод.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 ГРАДУИРОВКА ОММЕТРА

Цель работы: изучить методы измерения активных сопротивлений и произвести градуировку однорамочных омметров.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Омметр — это измерительный прибор специализированного назначения, предназначенный для определения сопротивления электрического тока. Так как сопротивление выражается в Омах (Ом), то и прибор, его измеряющий, получил название омметра.

Омметр — это прибор непосредственного отсчета. Его основная функция – определение активных сопротивлений электрического тока. Как правило, омметр преобразует переменный ток в постоянный и производит измерения. Однако некоторые модели могут измерять сопротивление непосредственно переменного тока без его преобразования [16].

Все омметры подразделяются по диапазону проводимых измерений и делятся на:

- микроомметры для определения очень малых сопротивлений, меньше 1 миллиома;
- миллиомметры – единица измерения миллиом $\times 100$;
- мегаомметры – единица измерения сотни мегаом;
- гигаомметры – более 1 ГОм;
- терраомметры – для измерения сотен терраом.

Омметр включается в электрическую цепь последовательным способом. Иными словами — в цепи измеритель и измеряемое сопротивление включены последовательно. Диапазон измерений таких приборов – от сотен Ом до миллионов Ом.

По типу отображения информации омметры подразделяются на:

– **Аналоговые омметры.** Принцип работы таких приборов основан на преобразовании сопротивления в напряжение, прямо ему пропорциональное. Преобразование происходит при помощи специального усилителя операционного типа. В результате, на линейной шкале прибора показывается измеряемая величина сопротивления.

– **Цифровые омметры.** Приборы этого типа являются своеобразным измерительным мостом, с автоматически управляемым уравниванием. Несмотря на сложное определение, сам принцип работы довольно прост. В зависимости от измеряемого сопротивления происходит автоматический подбор (уравнивание) резисторов, после чего информация отображается на цифровом дисплее.

Градуировка средств измерений — метрологическая операция, при помощи которой средство измерений (меру или измерительный прибор) снабжают шкалой или градуировочной таблицей (кривой). Отметки шкалы должны с

требуемой точностью соответствовать значениям измеряемой величины, а таблица (кривая) с требуемой точностью отражать связь эффекта на выходе прибора с величиной, подводимой ко входу (например, зависимость ЭДС термопары пирометра от температуры её рабочего спая).

Градуировка производится с помощью более точных, чем градуируемые, средств измерений, по показаниям которых устанавливают действительные значения измеряемой величины. Точные средства измерений градуируются индивидуально, менее точные снабжаются типовой шкалой, напечатанной заранее, или стандартной таблицей (кривой) градуировки. Применение типовых шкал или стандартных градуированных таблиц требует иногда регулировки средств измерений с целью доведения их погрешностей до установленных нормами [17].

А. При включении ключа K_1 в положение 1, ключа K_2 в положение 2 реализуется схема параллельного включения ИМ и R_x .

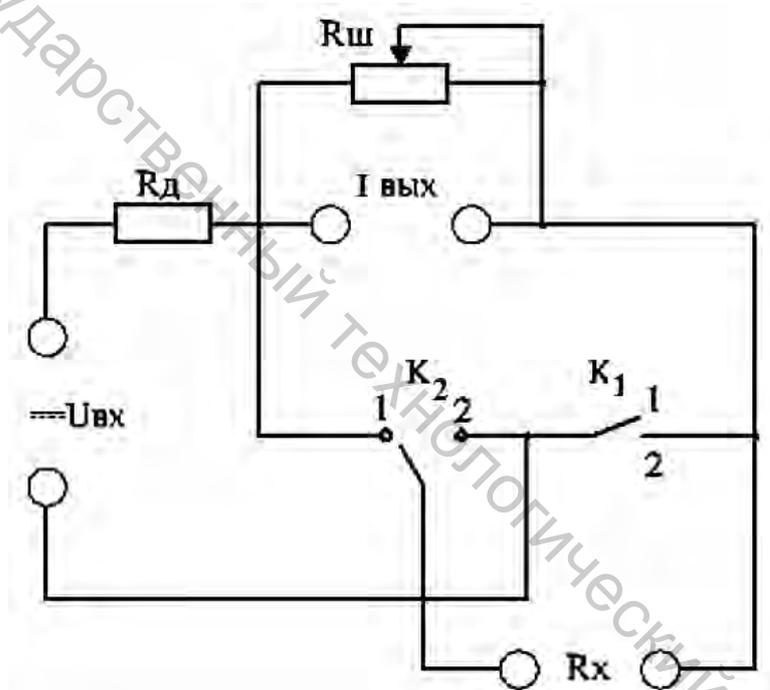


Рисунок 7.1 – Схема для градуировки омметра

Б. При включении ключа K_1 в положение 2, ключа K_2 в положение 1 реализуется схема последовательного включения ИМ и R_x .

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исследование схемы А.

1. К гнездам включить источник напряжения 2 В указанной полярности.
2. Ключ K_1 установить в положение 1, ключ K_2 в положение 2. Ручкой $R_{ш}$ установить схему прибора на максимальное значение, при отключенном R_x .

3. К клеммам R_x подключить магазин сопротивлений и, задавая различные значения R магазина, записать в таблицу 7.1 показания прибора.

4. По полученным данным построить градуировочную кривую.

Исследование схемы Б.

1. Источник напряжения включен.

2. Ключ K_1 установить в положение 2.

3. Ручкой $R_{ш}$ установить стрелку на максимальное значение шкалы, при $R_x = 0$.

4. К клеммам R_x включить магазин сопротивлений, а ключ K_2 перевести в положение 1.

5. Задавая значения R_x магазином сопротивлений, записать в таблицу 7.1 показания прибора.

6. По полученным значениям построить градуировочную кривую. Сравнить с кривой, построенной по схеме А, и пояснить отличия.

Таблица 7.1 – Результаты измерений

Схема подключения							
А	R_x						
	I, mA						
Б	R_x						
	I, mA						

7. Сделать вывод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атамалян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин [Текст]: Учебное пособие для вузов / Э.Г. Атамалян. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.
2. Джексон, Р.Г. Новейшие датчики [Текст]: Учебник-монография: пер. с англ. / Р.Г. Джексон. – М.: Техносфера, 2008. – 397 с.
3. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах [Текст]: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Нефедова и А.С. Сигова. – М.: Высшая школа, 2005. – 598 с.
4. Шишкин, И.Ф. Теоретическая метрология. Ч. 1. Общая теория измерений [Текст]: Учебник для вузов / И.Ф. Шишкин. – СПб.: Питер, 2010. – 190 с.
5. Подмастерьев, К.В. Электрические методы неразрушающего контроля и диагностики [Текст]: Учеб. пособие / К.В. Подмастерьев, С.Ф. Корндорф, Т.И. Ногачева [и др.]; Под ред. К.В. Подмастерьева. – Орел: ОрелГТУ, 2005. – 316 с.
6. Боднер В.А., Алферов А.В. Измерительные приборы: Учебник для вузов: в 2-х т.; т.1: Теория измерительных приборов. Измерительные преобразователи. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 392 с.
7. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин; Измерительные преобразователи: Учеб. Пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
8. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. Пособие для вузов/ Н.Н. Евтихеев, Я.А. Купершмидт, В.Ф. Папуловский, В.Н. Скуратов: под общ. Ред. Н.Н. Евтихеева. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
9. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений: Пер. с англ. – М.:Мир, 1990. – 535с.
10. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин: Методы измерений: Учеб. Пособие для вузов. Л.: Энергомиздат, 1987. – 320 с.
11. Клаасен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.:Постмаркет, 2000. – 325 с.
12. Камке д., Кремер К. Физические основы единиц измерения. – М.: Мир, 1980, - 280 с.
13. Фарзани Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Технологические измерения и приборы: Учеб. Для вузов. – М.: Высш.шк., 1989. – 456 с., ил.
14. Индуктивные, индукционные и емкостные преобразователи контроля [Текст]: Учебное пособие / Под общей редакцией С.Ф. Корндорфа. – Орел: ОрелГТУ, 2000. – 160 с.
15. Электрические измерения неэлектрических величин [Текст] / Под ред. П.В. Новицкого. Изд. 5-е, перераб. и доп. – Л.: «Энергия», 1975. – 607 с.
16. Основы метрологии и электрические измерения [Текст]: Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. – 6-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. – 480 с.
17. Воронцов, Л.Н. Теория, расчёт и проектирование контрольных автоматов [Текст]: Учеб. пособие для вузов / Л.Н. Воронцов, С.Ф. Корндорф, В.А. Трутень, А.В. Федотов. – М.: Высшая школа, 1980. – 560 с.

Учебное издание

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Методические указания по выполнению лабораторных работ

Составитель:

Мурычева Виктория Владимировна

Редактор *Н.В. Медведева*

Корректор *Т.А. Осипова*

Компьютерная верстка *В.В. Мурычева*

Подписано к печати 20.10.17. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. листов 1,81.

Уч.-изд. листов 2.0. Тираж 40 экз. Заказ № 337.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

210035, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.