

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТРОЛОГИЯ, МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ**  
**ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ.**  
РАЗДЕЛ «ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация  
технологических процессов и производств (легкая промышленность)»

## ВИТЕБСК

2012

УДК 389.681.2

Метрология, методы и приборы технических измерений. Раздел «Технические измерения»: методические указания к лабораторным работам для студентов специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)».

Витебск: Министерство образования Республики Беларусь, УО «ВГТУ», 2011.

Составители: доц., к.т.н. Смелков Д.В.,  
ст. пр. Леонов В.В

В методических указаниях приводится информация для выполнения 9 лабораторных работ. Структура каждой работы содержит цель, общие положения, порядок выполнения и контрольные вопросы.

Методические указания составлены в соответствии с программой курса «Метрология, методы и приборы технических измерений», изучаемого студентами специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)».

Одобрено кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств» УО «ВГТУ» 26.10.2011 г., протокол № 3.

Рецензент: ст. пр. Куксевич В.Ф.  
Редактор: ст. пр. Ринейский К.Н.

Рекомендовано к опубликованию редакционно-издательским советом УО «ВГТУ» 30.11.2011 г., протокол № 8.

Ответственный за выпуск: Букин Ю.А.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»

Подписано в печать \_\_\_\_\_ . Формат \_\_\_\_\_ . Уч.-изд. лист. \_\_\_\_\_ .  
Печать ризографическая. Тираж \_\_\_\_\_ экз. Заказ № \_\_\_\_\_ . Цена \_\_\_\_\_ руб.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

Лицензия № 02330/0494384 от 16 марта 2009 г.  
210035, г. Витебск, Московский пр-т, 72.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ .....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ГРАДУИРОВКА МОСТА-ЧАСТОТОМЕРА ....	7
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. ГРАДУИРОВКА КОНДЕНСАТОРНОГО ЧАСТОТОМЕРА.....	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	10
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. ГРАДУИРОВКА ФАЗОМЕТРА.....	13
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОЗОНДА.....	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОВОЛНОВОГО ДАТЧИКА .....	17
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ЕМКОСТНЫЙ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ.....	20
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ .....	22
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	25

## ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания являются первичным источником информации, необходимой студентам для самостоятельного (под контролем преподавателя) выполнения лабораторных работ по дисциплине «Метрология, методы и приборы технических измерений», относящихся к разделу «Измерение технических величин», и их защиты. Они разработаны на основании образовательного стандарта и учебной программы настоящего курса специальности 1-53 01 01-05 «Автоматизация технологических процессов и производств (легкая промышленность)» и содержат информацию для выполнения 9 лабораторных работ. Каждая рассчитана на 2 академических часа вместе с защитой.

Структура всех лабораторных работ следующая: цель работы, общие положения, порядок выполнения работы и контрольные вопросы.

Согласно учебному плану лабораторные работы выполняются в течение 5-го и 6-го семестров на 3-м курсе дневной и на 4-м курсе заочной формы обучения, и их выполнение является обязательным для допуска к экзамену по данной дисциплине.

Лабораторные работы являются одним из *наиболее наглядных* и легко воспринимаемых способов получения специальных знаний студентами. В процессе их выполнения прививаются навыки применения этих знаний к решению конкретных инженерных проблем, подготавливая тем самым студентов к текущей самостоятельной творческой работе на производстве.

**Основная цель** лабораторных работ – развить у студентов способности к самостоятельному и групповому решению конкретной практической задачи, связанной с измерительным оборудованием.

**Основные задачи** лабораторных работ – научить студентов:

- пользоваться необходимым оборудованием, инструментами, контрольно-измерительными приборами и т. п.;
- технически грамотно составлять отчеты о проделанной работе;
- грамотно пользоваться технической терминологией;
- умению работать в команде;
- правилам техники безопасности.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ТРАНСФОРМАТОРНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ

Цели работы: а) измерение комплексных сопротивлений, расчет угла потерь  $tg\delta$  и добротности  $Q$ ;

б) измерение диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ .

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Одно из преимуществ трансформаторных измерительных мостов переменного тока – простота задания точного отношения напряжений посредством трансформатора. В отличие от делителей напряжения, построенных из резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности, трансформаторы в течение длительного времени сохраняют постоянным установленное отношение напряжений и редко требуют повторной калибровки. К недостаткам трансформаторного измерительного моста можно отнести то, что отношение, задаваемое трансформатором, в какой-то степени зависит от частоты сигнала. Это приводит к необходимости проектировать трансформаторные измерительные мосты лишь для ограниченных частотных диапазонов, в которых гарантируется паспортная точность.

Измерительные мосты необходимо тщательно заземлять и экранировать, чтобы паразитные емкости между разными частями схемы моста не вносили ошибку уравнивания.

В измерительных мостах переменного тока чаще всего применяются нуль-детекторы двух типов. Первый тип представляет собой резонансный усилитель с аналоговым выходным прибором, показывающим уровень сигнала. Вторым типом – это фазочувствительный детектор, который разделяет сигнал разбаланса на активную и реактивную составляющие и пригоден в тех случаях, когда требуется точно уравнивать только одну из неизвестных составляющих (скажем, индуктивность  $L$ , но не сопротивление  $R$  катушки индуктивности).

Процесс уравнивания мостов современных моделей автоматизирован, и результат измерений представляется в виде числа на отсчётном устройстве. Такие приборы называют цифровыми мостами.

На рисунке 1 представлена схема трансформаторного измерительного моста с двумя вторичными обмотками с числом витков  $n_1$  и  $n_2$  и вольтметром с мостовым выпрямителем. Мост предназначен для измерения сопротивления, емкости, индуктивности, добротности и тангенса угла потерь.

Измерение  $tg\delta$  используют для оценки состояния изоляции независимо от массогабаритных характеристик последней. Чем больше  $tg\delta$ , тем больше диэлектрические потери, тем хуже состояние изоляции. На практике  $tg\delta$  измеряют в процентах. Значение  $tg\delta$  нормируется для электрооборудования и зависит от температуры и величины прикладываемого напряжения. Измерение  $tg\delta$  следует

производить при температуре не ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ . Для приведения измеренных значений  $\text{tg}\delta$  к необходимой температуре (например, температуре при измерениях на заводе) используют поправочные коэффициенты. Измерение  $\text{tg}\delta$  производится обычно мостами Р5026, МД-16 и Р595 на высоком (3 – 10 кВ) и низком напряжении.

Для тангенса угла диэлектрических потерь справедливо отношение:

$$\text{tg}\delta = \omega C_x R_x$$

Добротность  $Q$  конденсатора можно выразить через отношение его последовательного реактивного сопротивления к активному, хотя конденсаторы, обычно, характеризуются фактором  $D$  или рассеянием, который является величиной, обратной  $Q$ .

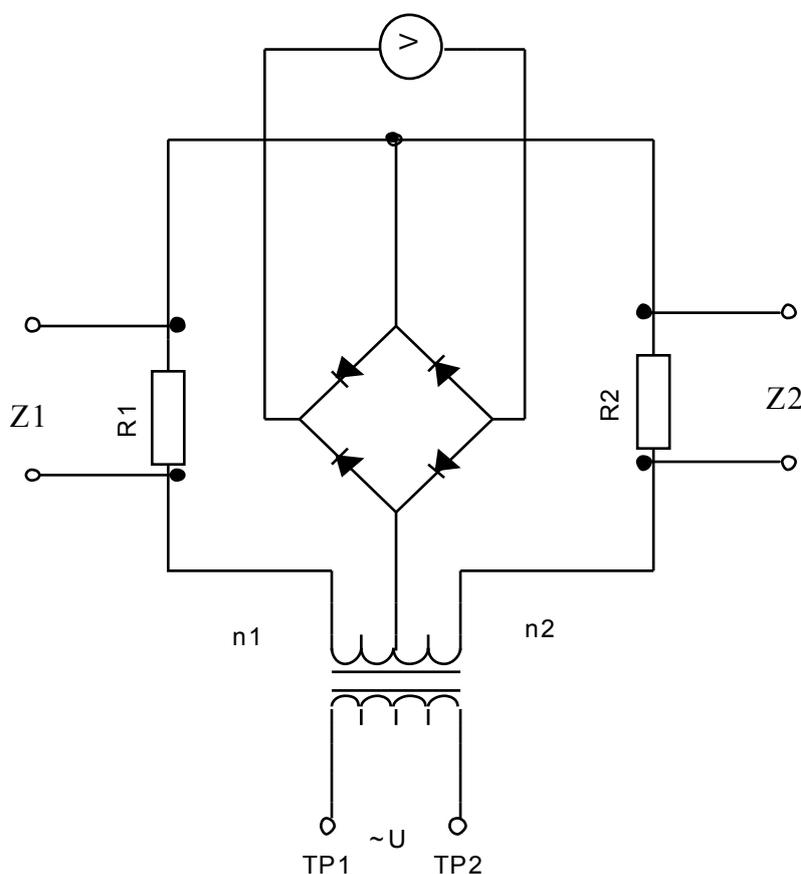


Рисунок 1 – Трансформаторный измерительный мост

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А. Измерение полного сопротивления .

К гнездам «Z1» включить неизвестное комплексное сопротивление, состоящее из  $R$  и  $C$ . К гнездам «Z2» включить калиброванные значения  $R$  и  $C$  (магазины).

К гнездам «~U» включить генератор. Установить  $f = 50$  Гц,  $U = 8$  В. Регулируя значениями  $R$  и  $C$  (магазины), установить наименьшее значение показаний вольтметра, т. е. сбалансировать мост. Тогда условия баланса выполнены:

$$Z_1 / Z_2 = n_1 / n_2.$$

Это означает, что  $C = C_x$ ,  $R = R_x$ ,  $Z_1 = Z_2$ . По этим значениям рассчитать:  $tg \delta$ ,  $Q$ .

Б. Измерение диэлектрической проницаемости.

К гнездам «Z1» включить емкость  $C_x$ , состоящую из двух пластин площадью  $s = 100 \text{ см}^2$ ,  $d = 1 \text{ см}$ .

К гнездам «Z2» включить магазин емкостей  $C$  эталонное.

По пункту 1 сбалансировать мост. При этом  $C_x = C_s$ .

Между пластинами емкости  $C_x$  разместить диэлектрик с неизвестным  $\epsilon$  и измерить новое значение  $C_x$ . Зная размеры диэлектрика, рассчитать значение  $\epsilon$ .

Все результаты занести в таблицы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое комплексное сопротивление? От каких параметров оно зависит?
2. Какими методами измеряют эти параметры?
3. Что такое тангенс угла потерь?
4. Что такое добротность катушки и конденсатора?
5. Что такое диэлектрическая проницаемость?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ГРАДУИРОВКА МОСТА-ЧАСТОТОМЕРА

Цель работы: изучить работу моста-частотомера.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Частота – число полных циклов (периодов) изменения сигнала в единицу времени.

Период – наименьший интервал времени, удовлетворяющий уравнению:  $U(t) = U(t + T)$ .

Мгновенная угловая частота  $\omega(t) = d\varphi/dt$ , где  $\varphi$  – фаза напряжения сигнала. Так как фаза у гармонического сигнала растет во времени по линейному закону, то частота  $f$  – постоянная величина, т. е.  $f = 1/(2\pi) (d\varphi/dt) = \omega/2\pi$ .

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

К гнездам « $\sim U$ » подключить  $\sim U$  от генератора 1-3 В. К гнездам « $R_1$ » и « $C_1$ » включить магазины сопротивлений и емкости (рисунок 2).  $C_3 = 6$  мкФ.

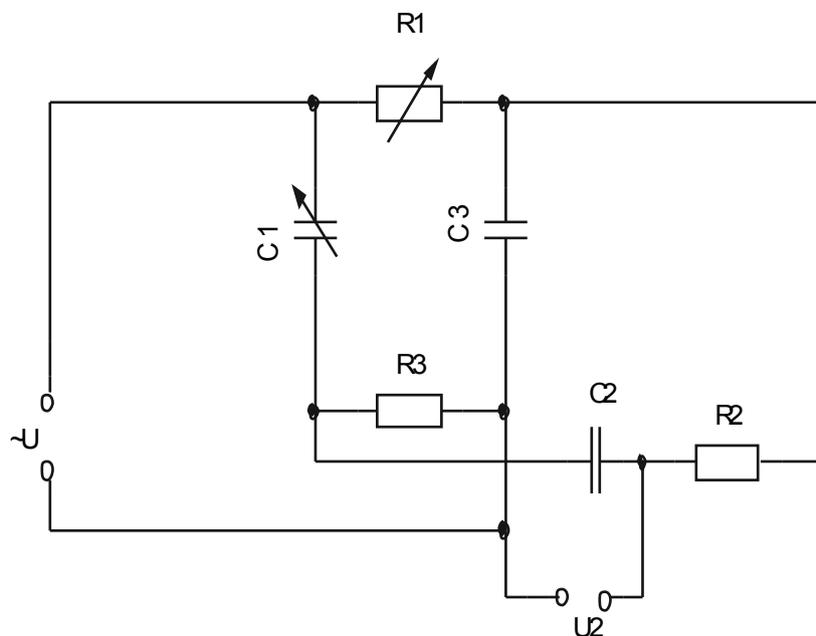


Рисунок 2 – Схема моста-частотомера

По нескольким значениям  $C_1$  и  $R_1$ , выбранных в пределах магазинов, рассчитать  $\omega_0$ , порядка 10 значений. Поочередно устанавливая на магазинах эти значения и рассчитанную по  $R_1$ ,  $C_1$  частоту на генераторе, замерить показания  $U_2$ . Если оно не равно нулю, то частоту генератора настроить на ноль. Отметить новую частоту генератора, определить  $\Delta f = f_0 - f_1$  и рассчитать погрешность для всех точек.

Так как цель работы, это градуировка моста-частотомера, то необходимо построить градуировочные прямые в виде зависимостей частоты  $f$  от значения  $R$  и  $C$  магазинов.

Для определения неизвестной частоты следует настроить на ноль индикатор магазинами  $R$  и  $C$  и по их значению определить  $f$ .

Примечание: целесообразней построить зависимость частоты только от  $R$  или только от  $C$ . Это возможно в некотором диапазоне частот.

Из расчетов или эксперимента выявить хотя бы один такой участок зависимости  $f(R)$  при  $C = \text{const}$  или  $f(C)$  при  $R = \text{const}$ .

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Частота электрических колебаний, чем она задается, длина волны, скорость распространения.
2. Методы измерения частоты.
3. Резонансные, собственные частоты элементов электрической цепи.
4. Мостовые измерительные схемы, настройка, чувствительность.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ГРАДУИРОВКА КОНДЕНСАТОРНОГО ЧАСТОТОМЕРА

Цель: изучить принцип действия частотомера.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Схема содержит электронный коммутатор и измеритель тока разряда емкости (рисунок 3).  $C_2 = 0,5$  мкФ;  $C_3 = 1$  мкФ;  $C_4 = 1,5$  мкФ;  $C_5 = 2$  мкФ.

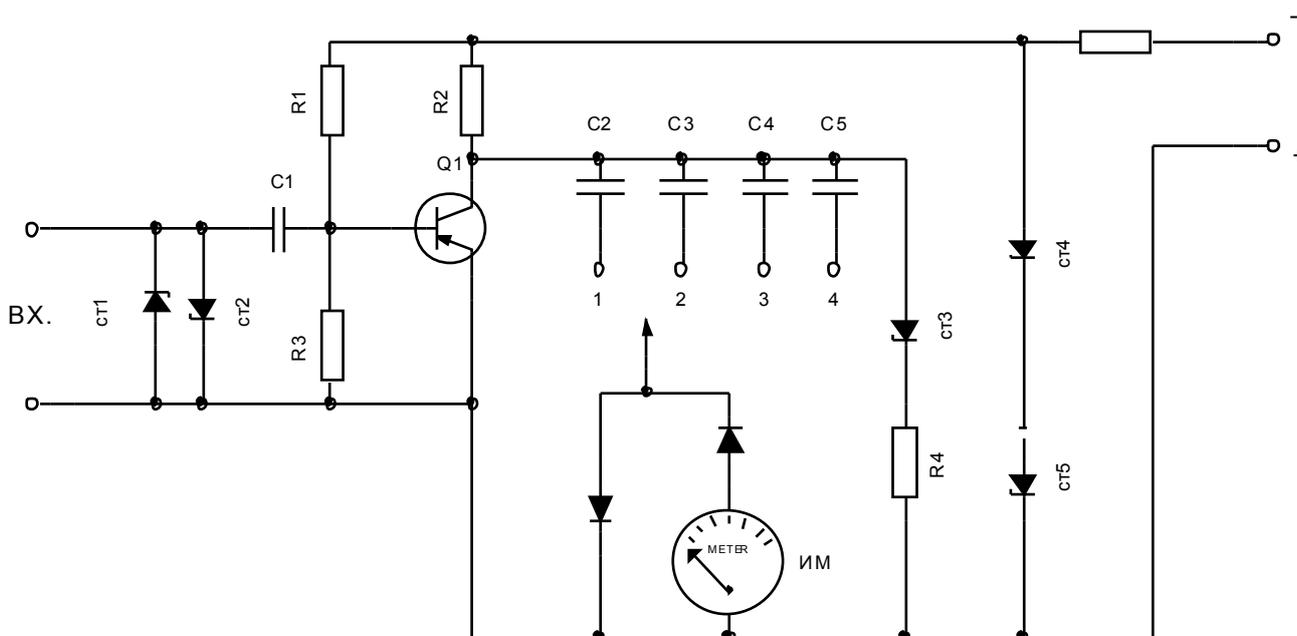


Рисунок 3 – Схема конденсаторного частотомера

На вход усилителя поступает напряжение измеряемой частоты, которое после ограничения стабилитронами  $CT_1$  и  $CT_2$  принимает форму меандра. Это напряжение управляет счетной схемой. Прямоугольное напряжение поступает на вход транзистора – открывает и закрывает его, благодаря чему происходит перезарядка одного из конденсаторов  $C_2 - C_5$ . Ток разряда измеряется измерительным механизмом ИМ и определяется частотой входного напряжения. Величина  $C_2 - C_5$  задает диапазон частот.  $CT_3$  стабилизирует величину импульса заряда.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

По значению напряжения стабилизации  $U_{ст3}$  и одной из емкостей  $C_2 - C_5$ , по заданию преподавателя, рассчитать ток минимальной и максимальной частоты входного напряжения. Данные занести в таблицу 1.

Включить напряжение питания схемы от стороннего источника постоянного тока. Установить напряжение источника  $U = 10$  В.

Установить переключатель «П» в положение, соответствующее заданной  $C_2 - C_5$ .

Включить на вход генератор переменного напряжения. Установить на генераторе напряжение, большее на 1 – 2 В напряжения стабилизации  $U_{ст1}$ ,  $U_{ст2}$  ( $U_{ст1} = U_{ст2} = 2$  В). Схема готова к работе.

Задать частоту входного напряжения в пределах рассчитанных частот и измерить ток на нескольких частотах (5 – 10 точек) во всем диапазоне.

Построить зависимости тока  $I$  от частоты  $f$ , экспериментальную и рассчитанную, на одном графике. Определить погрешность измерения. За истинное значение принять частоту генератора.

Таблица 1

$C$ , мкФ	$U_{ист}$ , В	$U_{вх}$ , В	Расчетные данные		Измеренные данные		$U_{ст3}$ , В
			$f$ , Гц	$I$ , мА	$f$ , Гц	$I$ , мА	

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Рассказать принцип работы схемы.
2. Ток заряда, разряда емкости.
3. Стабилитрон.
4. Назначение всех элементов схемы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель: определить амплитудную магнитную проницаемость материала.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Динамические характеристики магнитных материалов зависят от свойств материала, от электромагнитных процессов в нем, характер которых определяет-

ся частотой намагничивающего тока, формой кривой индукции и напряженности магнитного поля, размерами образца.

Для измерения магнитной индукции используется индукционный преобразователь в виде измерительной катушки. По индуцируемой в катушке ЭДС рассчитывается значение магнитной индукции, а напряженность намагничивающего поля рассчитывается по значению тока в намагничивающей обмотке.

Если используемый образец имеет конструкцию замкнутого магнитного контура, то обе катушки можно выполнить как первичную и вторичную трансформатора. Тогда принципиальная электрическая схема имеет вид (рисунок 4):

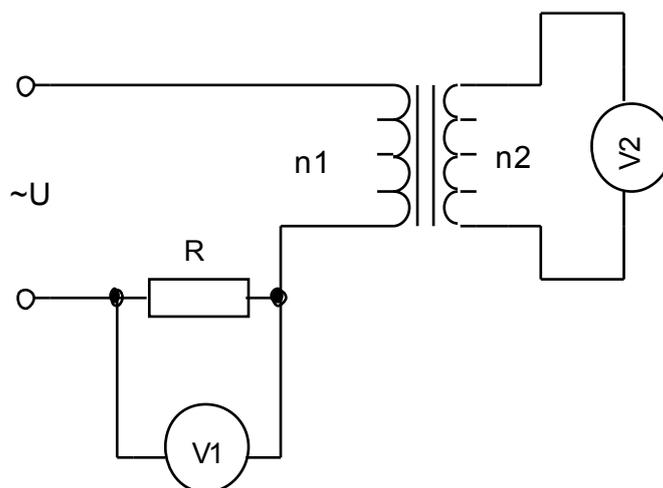


Рисунок 4 – Эквивалентная схема для измерения магнитной проницаемости материалов

С помощью этой схемы можно определить кривую намагничивания – зависимость амплитуды магнитной индукции от амплитуды напряженности магнитного поля –  $B_m = f(H_m)$ .

В режиме синусоидальной индукции для определения амплитуды напряженности намагничивающего поля используют образцовый резистор  $R$  и пиковый вольтметр  $V1$  (или вольтметр действующих значений с перечислением на пиковое значение). Тогда  $H_m = \frac{U_{m1} * n1}{R * l_{cp}}$ ,

где  $U_{m1}$  – амплитудное значение падения напряжения на резисторе, В;

$n1$  – число витков первичной обмотки, шт;

$l_{cp}$  – средняя длина образца, м.

Индукция в материале определяется по ЭДС, индуцируемой в измерительной обмотке  $n2$ , с помощью вольтметра средних значений (или пересчета на среднее значение).

$$B_m = \frac{E_{2cp}}{4 f n \nu S_{обр}} \approx \frac{U_{2cp}}{4 f n \nu S_{обр}},$$

где  $U_{2cp}$  – среднее значение напряжения в обмотке  $U_2$ ;

$S_{обр}$  – площадь сечения образца.

По полученным значениям  $B_m$  и  $H_m$  можно построить зависимость  $B_m = f(H_m)$  и рассчитать амплитудную магнитную проницаемость:

$$\mu_m = \frac{B_m}{\mu_0 H_m}.$$

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Схема имеет три пары клемм для подключения выносных вольтметров и  $U_{вх}$ , переключатель, который может подключать любой из пяти различных испытуемых образцов. Номера образцов задаются преподавателем.

К клеммам « $U_{вх}$ » включить источник переменного напряжения (BC-24 или генератор НЧ) и вывести их значение напряжения на «0». Включить вольтметры (или одним измерять поочередно  $U_1, U_2$ ).

Переключателем включить номер испытуемого образца и включить ключ «К».

Включить источник напряжения и увеличивая напряжение от 0 до 15 В, снять 5 – 7 показаний значений  $U_1, U_2$ . Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2

$U_{вх}, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$B_m$	$H_m,$ $A/m$	$\mu_m$	$f, Гц$

По результатам измерений рассчитать  $B_m, H_m, \mu$ , занести в таблицу и построить зависимость  $\mu_m = f(B_m)$ . Если работу выполнить при нескольких значениях частоты, то необходимо построить зависимость  $\mu$  от частоты при одном значении  $B_m$ .

По работе сделать выводы.

Параметры используемых образцов:

1. Трансформатор:  $S_{обр} = 10^{-4} \text{ м}^2$ ,  $l_{cp} = 0,17 \text{ м}$ ,  $N = 110$ ,  $N_{в} = 756$  вит.
2. Трансформатор:  $S_{обр} = 1,5^{-4} \text{ м}^2$ ,  $l_{cp} = 0,125 \text{ м}$ ,  $N = 110$ ,  $N_{в} = 700$  вит.
3. Соленоид:  $S_{обр} = 0,5^{-4} \text{ м}^2$ ,  $l_{cp} = 0,17 \text{ м}$ ,  $N = 844$ ,  $N_{в} = 95$  вит.

4. Трансформатор:  $S_{обр} = 0,25^{-4} \text{ м}^2$ ,  $l_{cp} = 0,1 \text{ м}$ ,  $N = 80$ ,  $N_{в} = 60$  вит.
5. Трансформатор:  $S_{обр} = 2^{-4} \text{ м}^2$ ,  $l_{cp} = 0,15 \text{ м}$ ,  $N = 110$ ,  $N_{в} = 75$  вит.

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Магнитные величины, характеризующие материал и их связь.
2. Что характеризует магнитная проницаемость?
3. Что характеризует петля гистерезиса?
4. Закон полных токов.
5. Индуктивность катушки. Взаимоиндуктивность, магнитное сопротивление магнитной цепи.
6. Магнитные и немагнитные материалы.
7. Измерение амплитудных, средних, действующих значений напряжений.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

#### ГРАДУИРОВКА ФАЗОМЕТРА

Цель: изучить работу фазометра.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Фазометр предназначен для измерения угла сдвига по фазе одного напряжения относительно другого с равной частотой.

Фазометр состоит из двух источников напряжения равной частоты, но сдвинутых по фазе на  $180^\circ$ . Оба источника подключены к двум электродам равных размеров, между которыми расположен третий электрод. Потенциал его равен сумме индуцируемых потенциалов с противоположной фазой. Если напряжения на крайних электродах равны, то суммарный потенциал равен нулю. Но одно из напряжений может управляться по фазе фазовращателем. Следовательно, разностный сигнал со среднего электрода будет являться функцией фазы. Этот принцип и реализован в схеме (рисунок 5).

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В клеммы «U» включить источник переменного напряжения (латр). Ключ «K» установить в положение «б». В клеммы «Вых.» включить электронный вольтметр. Подать напряжение (2 – 25В). Вольтметр покажет некоторое значение. Регулируя потенциометром «R1», установить минимальное значение на вольтметре (в лучшем случае 0). Ключ «K» перевести в положение «а» и, регулируя **R4**, начиная с крайнего положения, получить 10 различных значений показаний вольтметра, соответствующие различным положениям **R4** и, соответственно,

различным значениям угла  $\varphi$ . Угол  $\varphi$  рассчитать из исходных данных:  $C = 0,1$  мкФ,  $R4 = 47$  кОм,  $R2 = R3$ .

Результаты измерений и расчета занести в таблицу 3 и построить график  $U_{вых} = f(\varphi)$ .

Значение “U” задается преподавателем в пределах 1 – 10 В.

Таблица 3

$R, \text{кОм}$									
$U, \text{В}$									
$\varphi, ^\circ$									

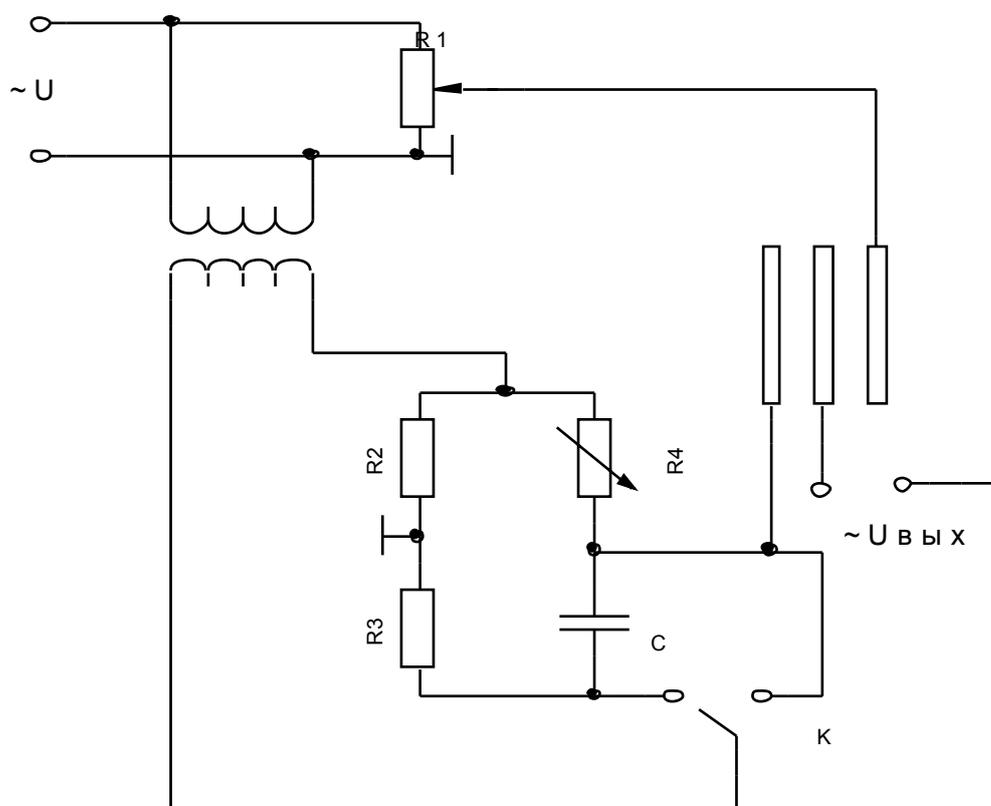


Рисунок 5 – Электрическая схема фазометра

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Параметры переменного тока и методы их измерения.
2. Процессы, происходящие в проводниках и диэлектриках, находящихся в постоянных и переменных магнитных и электрических полях.
3. Наложение постоянных или переменных электрических и магнитных полей.
4. Индукция, самоиндукция, индуктивность.
5. Электрический сигнал, его характеристики.
6. Методы сложения, вычитания, умножения электрических сигналов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕРРОЗОНДА

Цель работы: исследовать характеристики феррозонда и определить оптимальный режим работы.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дифференциальный феррозонд (рисунок 6) состоит из двух ферромагнитных сердечников 1, 2, на каждом из которых имеется модулирующая обмотка с числом витков  $n1$ . Обмотки питаются от источника переменного тока и включены последовательно – встречно. Так что переменные магнитные потоки сдвинуты на  $180^\circ$ . Оба сердечника с обмотками охватывает измерительная обмотка с числом витков  $n2$ . При идентичности сердечников и обмоток в измерительной обмотке не будет индуцироваться ЭДС. Напряженность переменного магнитного потока  $H1m = (3 - 5)$  Н. Магнитная проницаемость обоих сердечников изменяется одинаково и два раза за период возрастает до определенного значения.

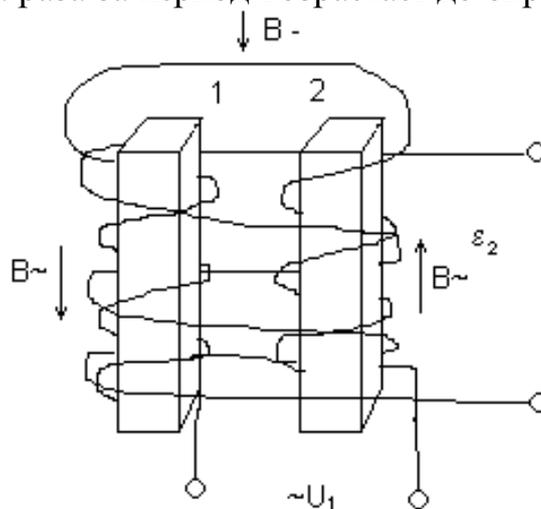


Рисунок 6 – Дифференциальный феррозонд

Если феррозонд поместить в постоянное магнитное поле с индукцией  $Bx$ , то можно считать, что поле дважды за период изменяет магнитную проницаемость, и возникающие импульсы индукции наводят ЭДС в измерительной обмотке, которая пропорциональна  $Bx$ . Получим измеритель магнитной индукции.

В лабораторной работе используется феррозонд как измеритель магнитного поля и источник магнитного поля. Феррозонд выполнен по рисунку 6, а принципиальная и конструктивная схема представлена на рисунке 7. Магнитный поток создается электромагнитом, у которого на подковообразный сердечник намотана обмотка с числом витков  $n3$ . На переднюю панель вынесены гнезда для подключения указанных напряжений.

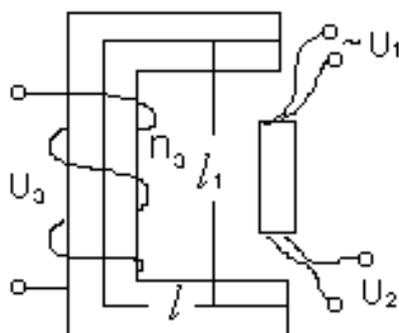


Рисунок 7 – Конструктивная схема феррозонда

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подключить к «п3» источник постоянного напряжения  $U3$  (BC-24), к гнездам «U1» – генератор, к гнездам «U2» – электронный вольтметр. Включить все приборы.

2. Подать напряжение  $U1 = 4$  В. Измерить  $U2$ . Подать напряжение  $U3$  и, изменяя его от 0 до 12 В через 2 В, измерять  $U2$ .  $f_{u3} = 0.5, 1, 2, 3$  кГц. Увеличить напряжение  $\sim U1$  до 10 В, подать  $U3$  от 0 до 12 В и т. д., изменяя  $U3$  через 2 В. Частота напряжения  $U3$  задается преподавателем.

3. По известным размерам электромагнита и  $n_3$  рассчитать  $B$  в зазоре. Ток  $I$  измеряется по прибору BC.

Все результаты занести в таблицу 4.

Таблица 4

$-U3$	$U3$	2	4	6	8	10	12
	$B$						
$U1$	$B3$						
$2B$	$U2$						
$4B$	$U2$						
$6B$	$U2$						
$8B$	$U2$						
$10B$	$U2$						

По результатам измерений построить зависимости  $U2 = f(B)$  для всех значений  $\sim U1$  на одном рисунке. Сделать выводы о чувствительности, режиме работы, области применения.

4. Выполнить пункты 2, 3 при условии, что  $U3$  переменное или пульсирующее с частотой  $f = 100$  Гц, а  $U1$  с частотой порядка 400 – 1000 Гц, и сделать соответствующие выводы.

Данные для расчетов:

$$n_3 = 500 \text{ вит, } \mu = 500; l_1 = 6 \text{ см; } l = 2 \text{ см.}$$

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Ферромагнитные материалы.
2. Методы измерения магнитных полей.
3. Расчет  $H$ ,  $B$ ,  $\varphi$  магнитного поля.
4. Петля гистерезиса.
5. Магнитная проницаемость.
6. Наложение магнитных полей.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### 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.

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:  $P = \sqrt{Z/Y} = \sqrt{L/C}$  и коэффициентом распространения:  $\gamma = \sqrt{ZY}$ . Режим работы линии с некоторой нагрузкой характеризуется: коэффициентом отражения –  $K_o$ , коэффициентом стоячей волны –  $K_c$ , коэффициент бегущей волны –  $K_o$ .

Коэффициент отражения характеризуется мерой рассогласования цепи:

$$K_i = \left| \frac{U_o}{U_i} \right| E^{j\theta},$$

где  $\theta$  – фазовый сдвиг между отраженной и падающей волнами;

$U_o$ ,  $U_n$  – амплитуды отраженной и падающей волн.

Степень рассогласования можно определить лишь по отношению величины  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$ , измеренных значений в измерительной линии. Тогда:  $K_c = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}$ ;

$$K_o = \frac{1}{K_c}; K_o = \frac{K_c - 1}{K_c + 1} = \frac{1 - K_o}{1 + K_o}.$$

Структурная схема лабораторной установки представлена на рисунке 8.

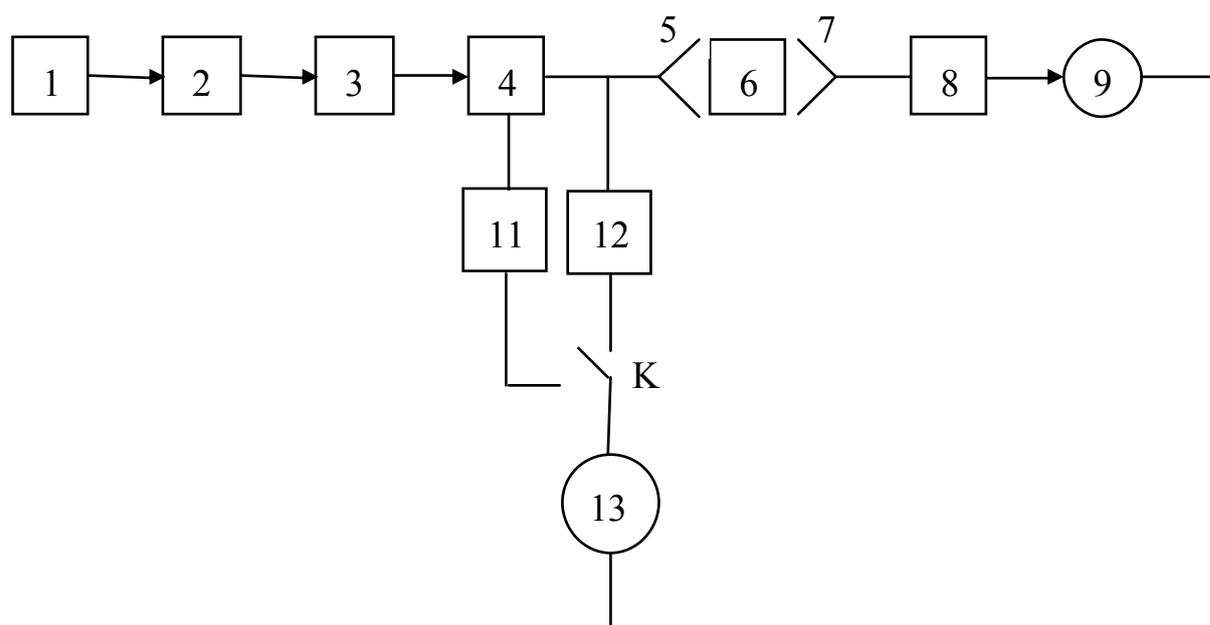


Рисунок 8 – Структурная схема лабораторной установки:

1 – источник постоянного напряжения; 2 – генератор СВЧ колебаний (генератор Ганна); 3 – аттенюатор, регулятор уровня затухания волны; 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, 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,  $5^\circ$ ), записать минимум 5 – 10 показаний: по шкале «ДБ» значение этого угла и значение напряжение 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. Выключить провод блока питания из сети.

Таблица 5

$U$ , мВ						
ДБ, °						

Таблица 6

$U$ , мВ						
$L$ , мм						

Таблица 7

$L$ , мм						
$U_n$ , мВ						
$U_o$ , мВ						

## Контрольные вопросы

1. Электромагнитная волна и её параметры.
2. Взаимодействие волн с объектами.
3. Параметры линий передачи.
4. Принцип действия всех элементов установки.
5. Применение радиоволн на практике.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### ЕМКОСТНЫЙ ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Цель работы: изучить принцип действия первичного преобразователя и датчика измерения диэлектрической проницаемости среды, влажности, толщины диэлектрических или проводящих материалов.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Измерительная схема состоит из трансформаторного емкостного моста (рисунок 9).

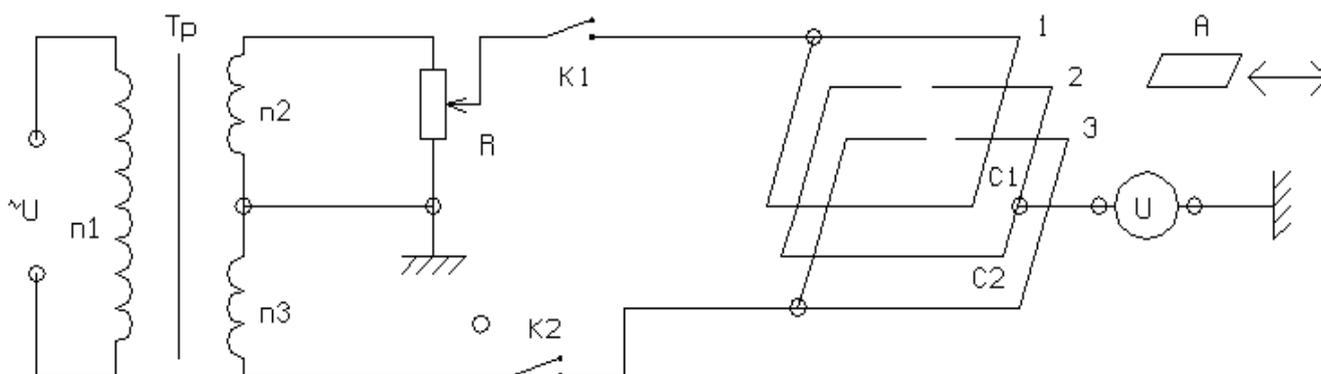


Рисунок 9 – Измерительная схема

Схема содержит три электрода одинаковых размеров и расположенных на одинаковых расстояниях. Электроды 1, 3 подключены ко вторичным обмоткам трансформатора **Тр** в противофазе. При равных значениях  $n_1 = n_2$  равные значения потенциалов с электродов 1,3 индуцируют равные потенциалы на электроде 2, но в противофазе.

Ток в цепи  $I = kU / z_1 - kU / z_2 = 0$ , где  $k$  – коэффициент трансформации.

Мост сбалансирован, т. е.:  $n_2 C_2 = n_3 C_1$ .

При размещении в межэлектродном пространстве электродов 1 – 2, или 2 – 3 некоторых материалов изменяются емкости  $C_1$  и  $C_2$ . Баланс моста нарушается, и по величине напряжения разбаланса можно определить новые значения  $C_1$  и  $C_2$  и параметры материалов.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исходные данные:

1. Размер электродов 1, 2, 3 равен  $10 \times 10$  см
2. Расстояние между электродами 1 – 2, 2 – 3 равно 1 см.
3.  $R = 10$  кОм
4.  $n_1 = 400$  витков.

Подключить к клеммам «U» генератор переменного тока с выходным напряжением  $U = 10$  В;

Подключить к клеммам «V» электронный вольтметр переменного тока. Включить «K1», «K2».

Включить приборы. Установить на генераторе  $U = 10$  В,  $f = 100$  кГц. Если мост разбалансирован, то вольтметр покажет некоторое значение напряжения.

Выключить «K1», тогда вольтметр покажет напряжение на  $C_2$ , т. е. равное напряжению на  $n_3 - U_3$ .

Выключить «K2» и включить «K1», тогда вольтметр покажет напряжение на  $C_1$  или на  $n_2$ . Резистором «R» установить напряжение максимальной величины –  $U_2$ .

По значениям  $n_1$ ,  $U$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  рассчитать значения  $n_2$ ,  $n_3$ , а по исходным данным рассчитать  $C_1$  и  $C_2$ .

Включить ключи «K1», «K2» и резистором «R» сбалансировать мост до минимального значения показания вольтметра.

Разместить в межэлектродном пространстве объект  $A$  (пластины выдаются лаборантом) и, перемещая его в направлении  $X$ , снять зависимость показания вольтметра от перемещения.

Если  $R_{вх}$  вольтметра равно, то мост работает в холостом режиме. Составить уравнение для расчета  $U_{вых}$  при холостом ходе и из него рассчитать изменение  $C$ .

Все результаты измерений и расчетов занести в таблицы 8 и 9.

Таблица 8

$U$ , В	$f$ , Гц	$U_2$ , В	$U_3$ , В	$n_2$	$n_3$	$C_1$ , Ф	$C_2$ , Ф

Таблица 9

Материал и его параметры								
$X$ , мм								
$U_{вых}$ , В								
$C$ , Ф								

По результатам работы построить зависимость  $C = F(x)$  для каждого материала. Объяснить эти зависимости.

### **Примечание**

Исследуемые материалы и рабочие частоты определяются преподавателем для каждой подгруппы.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Токи проводимости и смещения.
2. Электрическая и магнитная индукции.
3. Диэлектрическая проницаемость среды.
4. Поляризация среды.
5. Диполи в электрическом поле.
6. Время релаксации.
7. Сложение емкостей.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### ИССЛЕДОВАНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ МАЛЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Цель работы: изучить различные бесконтактные методы измерения малых перемещений и сравнить их.

#### ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Процесс измерения в основе своей связан с преобразованием измеряемой величины в другую величину. Основными параметрами преобразователей и датчиков являются: 1) входная измеряемая величина – величина, воспринимаемая и преобразуемая датчиком; 2) выходной сигнал датчика – определённое изменение несущей величины ( $I, U, P$ ).

Статической характеристикой датчика называется функциональная зависимость  $y = f(x)$  между изменениями входной  $x$  и выходной  $y$  величин. Наиболее применяемой для большинства случаев является линейная характеристика  $y = Sx + x_0$ , где  $S = \Delta y / \Delta x$  – чувствительность датчика. Если датчик представляет

собой совокупность нескольких измерительных преобразователей, то чувствительность его определяется по схеме соединения ПП.

1. Индуктивный преобразователь (ИП) (рис. 10) выполнен в виде ферромагнитного сердечника, на который нанесены две обмотки. К первичной обмотке 1 подводится переменное напряжение от источника питания. Во вторичной обмотке 2 величина ЭДС зависит от величины воздушного зазора или магнитных свойств материала, находящегося в зазоре.

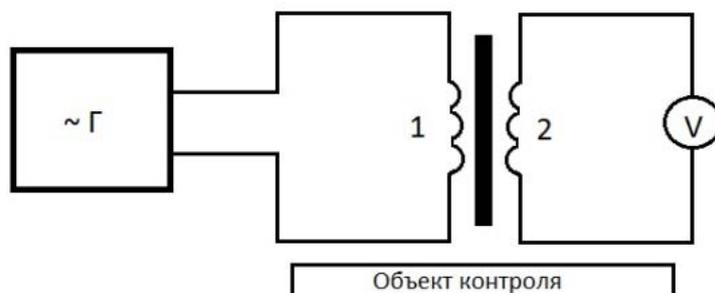


Рисунок 10 – Индуктивный преобразователь

2. Вихретоковый преобразователь (ВП) (рис. 11) состоит из возбуждающей катушки 1, подключённой к генератору переменного тока и измерительной катушки 2, подключённой к блоку измерения. Возбуждающая катушка ВП создаёт электромагнитное поле, которое возбуждает вихревые токи в электропроводящем объекте контроля. Электромагнитное поле этих токов воздействует на катушку 2, наводя на ней ЭДС. Эта ЭДС несёт информацию о свойствах контролируемого объекта или о положении ИП относительно него. Для увеличения чувствительности преобразователь дополнен металлическим электродом, размещённым в центре катушки. На электроде индуцируется сигнал. Сигналы с измерительной катушки и электрода суммируются, что приводит к росту чувствительности ВП.

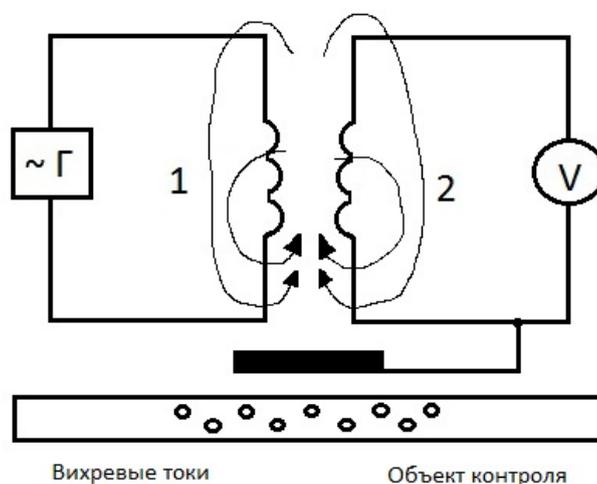


Рисунок 11 – Вихретоковый преобразователь

3. Электроиндукционный преобразователь (ЭИП) (рис. 12) состоит из электрода 1, создающего электрическое поле поляризованных или индуцированных зарядов (измерительные электроды). Потенциальный электрод подключают к генератору напряжения, к электростатическому генератору или используют в качестве него вибрирующий электрод. Измерительные электроды экранированы от потенциального электродом 3 и подключены к измерительному устройству. Если принять электрод 1 за точечный, то напряжённость электрического поля в выбранной точке пространства обратно пропорциональна квадрату расстояния. На поверхности объекта, находящегося в данной точке, наводятся заряды противоположного знака, которые создают собственное поле. В точке расположения измерительного электрода суперпозиция двух полей создаёт усреднённое поле. При постоянстве потенциала электрода 1 величина напряжённости поля в точке измерительного электрода будет определяться свойствами объекта измерения или расстояния до него. При наличии нескольких измерительных электродов, разнесённых в пространстве, по результатам измерения их потенциалов можно определить координаты объекта измерения. Если электроды закрыты электропроводящей резиной, преобразователь выполняет функции тактильного датчика.

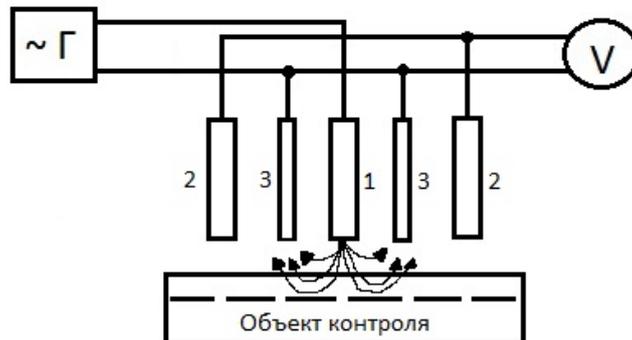


Рисунок 12 – Электроиндукционный преобразователь

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Экспериментальный стенд содержит три преобразователя: ЭИП, ИП, ВГП, генератор ГЗ-102 и милливольтметр ВЗ-7. Объект измерения (ферромагнитный, проводящий или диэлектрический) размещается на держателе, который микрометрическим винтом может перемещаться относительно преобразователей.

#### 1. Исследование индуктивного преобразователя:

- а) генератор и вольтметр включаются в гнезда Г, В (индуктивный);
- б) в держатель помещается один объект измерения;
- в) генератор и вольтметр включаются в сеть;
- г) перемещая винтом объект относительно ИП, снимаются показания с приборов.

Напряжение выбирается в пределах 6 – 10 В, а частота 1 – 10 кГц.

д) Выполняются измерения по п. 1(г) для других объектов измерения.

2. Исследование вихретокового преобразователя:

Включаются генератор и вольтметр к гнездам ВТП и выполняются измерения в соответствии с п. 1(б), 1(в), 1(г), 1(д).

3. Исследование электроиндукционного преобразователя:

Включаются генератор и вольтметр к гнездам «ЭИП» и выполняются измерения в соответствии с п. 1(б), 1(в), 1(г).

**Примечание:** в разделе 3 напряжение на вольтметре генератора умножить на 20, т. к. в схеме имеется повышающий трансформатор. Если преобразователь на объекты не реагирует, измерения не проводить, а отметить в отчёте и объяснить.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Индуктивный преобразователь (принцип действия, конструкция).
2. Вихретоковый преобразователь (принцип действия, конструкция).
3. Электроиндукционный преобразователь (принцип действия, конструкция).
4. Другие бесконтактные методы измерения малых перемещений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ким, К. К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника : учебное пособие / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов, В. Ю. Барбарович. – Санкт-Петербург : Питер, 2006. – 367 с.
2. Джексон, Р. Г. Новейшие датчики : пер. с англ. / Р. Г. Джексон; под ред. В. В. Лучинина. – Москва : Техносфера, 2007. – 384 с.
3. Котюк, А. Ф. Датчики в современных измерениях / А. Ф. Котюк. – Москва : Радио и связь, 2006. – 96 с.
4. Фрайден, Дж. Современные датчики : справочник : пер. с англ. / Дж. Фрайден; под ред. Е. Л. Свинцова. – Москва : Техносфера, 2005. – 592 с.
5. Справочник инженера по контрольно-измерительным приборам и автоматике : учебно-практическое пособие / Н. В. Уваров, В. В. Дойников, под ред. А. В. Калининченка. – Москва : Инфра-Инженерия, 2008. – 576 с.
6. Датчики (перспективные направления развития) : учеб. пособие / А. Ф. Алейников [и др.] ; под ред. проф. М. П. Цапенко. — Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2001. – 176 с.
7. Методы и средства измерений : учебное пособие / С. В. Бирюков, А. И. Чередов. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2001. – 88 с.
8. Атамалян, Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э. Г. Атамалян. – Москва : Дрофа, 2005.
9. Панфилов, В. А. Электрические измерения / В. А. Панфилов. – Москва : Академия, 2006. – 285 с.

10. Болтон, У. Карманный справочник инженера-метролога / У. Болтон. – Москва : Издательский дом «Додэка-XXI», 2002. – 384 с.
11. Измерения в промышленности : справочник: в 3-х книгах : пер. с нем. / под ред. П. Профоса – Москва : Металлургия, 1990. – 492, 384, 344 с.
12. Электрические измерения. Средства и методы измерений (общий курс) : учеб. пособие для вузов / под ред. Е. Г. Шрамкова. – Москва : Высшая школа, 1972. – 520 с.
13. Айзенберг, П. Г. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы / Л. Г. Айзенберг, А. В. Кипнис, Ю. И. Стороженко. – Москва : Легпромиздат, 1990. – 355 с.
14. Измерение электрических и неэлектрических величин : учеб. пособие для вузов / Я. А. Купершмидт [и др.] ; под ред. Н. Н. Евтихеева. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
15. Основы метрологии и электрические измерения : учеб. для вузов / Б. Я. Авдеев [и др.] ; под ред. Е. М. Душина. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1987. – 480 с.
16. Левшина, Е. С. Электрические измерения физических величин: Измерительные преобразователи : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Информационно-измерительная техника» / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.
17. Электрические измерения : учеб. для студ. электроэнергетических и электротехнических спец. вузов / Л. И. Бойда [и др.] ; под ред. А. В. Фремке, Е. М. Душина. – 5-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергия, 1980. – 392 с.
18. Спектор, С. А. Электрические измерения электрических величин: Методы измерений : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. «Информационно-измерительная техника» / С. А. Спектор. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1987. – 320 с.
19. Цербс, М. Контрольно-измерительная техника / М. Цербс. – Москва : Энергоатомиздат, 1989. – 320 с.
20. Бензарь, В. К. Техника СВЧ-влажнометрии / В. К. Бензарь. – Москва : Высшая школа, 1974 – 368 с.
21. Назаров, А. В. Современная телеметрия в теории и на практике / А. В. Назаров [и др.]. – Санкт-Петербург : Наука и техника, 2007. – 672 с.