

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛОГОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра автоматики и вычислительной техники

МЕТРОЛОГИЯ СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ № 3,4*

Факультет электроэнергетический

Специальности:

- 140604 - электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов;
- 140610 – электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений;
- 220201 – информатика и управление в технических системах;
- 230101 – вычислительные машины, комплексы, системы и сети;
- 230105 – программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем.

Направления:

- 140400.62 –электроэнергетика и электротехника;
- 220400.62 – управление в технических системах;
- 230100.62 – информатика и вычислительная техника;
- 231000.62 – программная инженерия

Вологда
2011

Метрология стандартизация и сертификация: методические указания к выполнению лабораторных работ №3, 4. - Вологда: ВоГТУ, 2011 – 24 с.

В методических указаниях изложена методика проведения двух лабораторных работ, дающих представление о работе с электромеханическими и электронными измерительными приборами. Для каждой работы указана ее цель, приведены основные теоретические положения, дано описание лабораторного стенда, порядок ее выполнения, содержание отчета, контрольные вопросы. Прилагаются также инструкции по работе с некоторыми измерительными приборами

Утверждено редакционно-издательским советом ВоГТУ

Составитель А.П. Сергушичева, канд. техн. наук, доцент

Рецензент А.Н. Швецов, д-р техн. наук, профессор

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Измерение параметров электрических цепей

1. Цель работы

Целью работы является освоение методов и средств измерения сопротивления резисторов, емкости и тангенса угла потерь конденсаторов, индуктивности и добротности катушек индуктивности.

2. Основные теоретические положения

2.1. Измерение электрических сопротивлений

Электрическое сопротивление постоянному переменному току является основным параметром резисторов. Оно также служит важным показателем исправности и качества работы многих других элементов электрических цепей - соединительных проводов, коммутируемых устройств, катушек, обмоток и т.д. Диапазон значений сопротивлений, подлежащих измерению, чаще всего, находится в пределах 10^{-6} - 10^6 Ом. Поэтому важно знать не только конкретные средства измерения, но и возможные методы измерений, позволяющие производить измерения в соответствии с имеющимся оборудованием.

Основными методами измерения сопротивления являются:

- методы прямых измерений (непосредственной оценки с применением омметров и мегомметров);
- методы косвенных измерений (с применением измерителей напряжения и тока);
- методы непосредственного сравнения с мерой (например, мостовой метод).

2.1.1. Методы прямых измерений

Методы прямых измерений основаны на применении специальных измерительных приборов непосредственной оценки – омметров постоянного тока. Схемы омметров которых разделяются на две основные группы: последовательные, применяемые для измерения сопротивлений средних и больших значений (от 1 Ом и выше), параллельные, используемые при измерении малых сопротивлений.

На практике обычно применяют многопредельные омметры или универсальные измерительные приборы – ампервольтметры. Широкое применение находят электронные и цифровые омметры, являющиеся составной частью комбинированных приборов (типа В7-26).

2.1.2. Методы косвенных измерений

При косвенных измерениях измеряемая величина функционально связана с другими величинами x, y , например: $Z = F(x, y)$, где x, y – результаты прямых измерений. Из методов косвенных измерений на практике применяются (при отсутствии приборов непосредственной оценки или измерения сопротивлений при определенном режиме их работы) а) **метод вольтметра-амперметра** б) **метод поочередного включения** (вольтметра или миллиамперметра).

а) **Метод вольтметра-амперметра** основан на раздельном измерении тока I в цепи измеряемого сопротивления R_X и падении напряжения V на его зажимах с последующим вычислением R_X на основе закона Ома:

$$R_X = V/I.$$

На рис. 3.1 изображены схемы для измерения малых (а) и больших (б) сопротивлений методом вольтметра-амперметра. Недостатком метода являются сравнительно невысокая точность результата измерения, которая ограничена классом точности приборов и методической погрешностью. Последняя обусловлена влиянием мощности, потребляемой приборами в процессе измерения, другими словами – конечным значением собственных сопротивлений вольтметра R_V и амперметра R_A . Поэтому точное значение будет определяться формулами:

- для измерения малых R_X (схема а) $R_X' = V/(I - V/R_V),$
- для измерения больших R_X (схема б) $R_X'' = (V - IR_A)/I,$

где R_V – входное сопротивление вольтметра;

R_A – входное сопротивление амперметра.

V, I – показания вольтметра и амперметра;

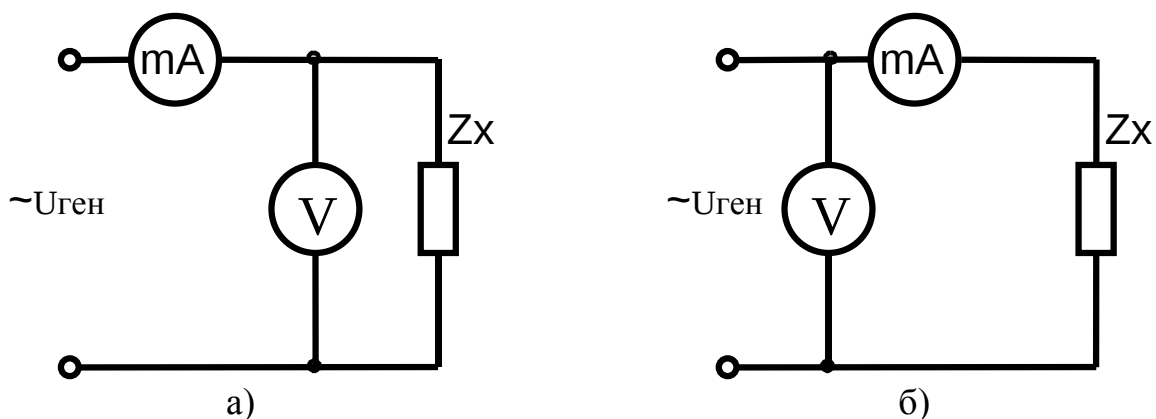


Рис. 3.1

Погрешность измерения данным методом в основном определяется суммой погрешностей обоих приборов и вычисляется по формуле:

$$\delta_{RX} = K_V(V_H/V_X) + K_A(I_H/I_X),$$

где δ_{RX} – относительная погрешность измерения, %;

K_V , K_A – класс точности вольтметра и амперметра;

V_H , I_H – пределы измерения вольтметра и амперметра;

V_X , I_X – показания приборов.

Относительная методическая погрешность при определении сопротивления R_X определяется по формуле:

$$\delta_M = -R_X/(R_X + R_V) \quad (\text{для схемы рис.3.1а}),$$

$$\delta_M = -R_A/R_X \quad (\text{для схемы рис.3.1б}),$$

Одинаковая погрешность обеих схем будет в случае выполнения условия $R_X \approx \sqrt{RaRv}$. При $R_X < \sqrt{RaRv}$ меньшая погрешность будет у схемы рис.1а), если $R_X > \sqrt{RaRv}$ – у схемы рис.1б).

Применение данного метода на переменном токе позволяет определить полное сопротивление исследуемого объекта по формуле:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = V/I.$$

б) Другим косвенным методом является измерение сопротивлений **последовательным включением приборов** (вольтметра или миллиамперметра). Принципиальные схемы метода представлены на рис.3.2.

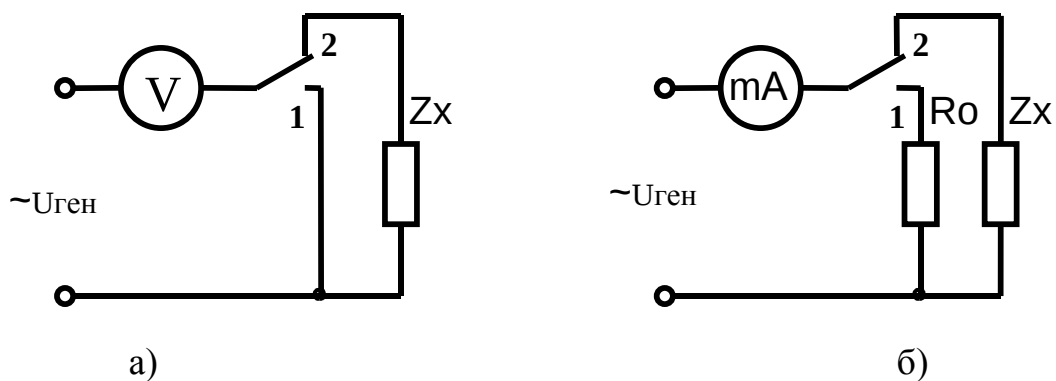


Рис.3.2

Выполнение измерения Z_X для схемы на рис 3.2а) производится в следующем порядке:

- вольтметр подключается к источнику питания $V_{ген}$ – фиксируется результат измерения V_1 ;
- вольтметр подключается последовательно с измеряемым сопротивлением Z_X – фиксируется результат V_2 .

Тогда Z_X определяется по формуле:

$$Z_X = R_V(V_1/V_2 - 1),$$

где R_V – сопротивление вольтметра.

Для выполнения измерений по схеме на рис. 3.2б сначала амперметр подключается к источнику питания $V_{ген}$ последовательно с известным сопротивлением R_0 и фиксируется результат измерения I_1 . Затем амперметр подключается последовательно с измеряемым сопротивлением Z_X – фиксируется результат I_2 . Z_X определяется по формуле:

$$Z_X = I_1/I_2(R_A + R_0) - R_A,$$

где R_A – сопротивление амперметра.

2.1.3. Методы *непосредственного сравнения с мерой* (мостовые методы)

К методам непосредственного сравнения с мерой относятся нулевой (уравновешивания), дифференциальный, совпадения и замещения. В мостовых схемах для измерения сопротивлений наиболее часто реализован нулевой метод. Применение одинарных, двойных и одинарно-двойных мостов постоянного тока обеспечивают высокую точность измерения сопротивлений. Одинарные мосты предназначены для измерения средних значений R_X (от 10 до 10^6 Ом), двойные мосты – малых (от 10^{-6} до 10 Ом). В целях универсальности оба типа мостов часто объединяют в одном корпусе (например, одинарно-двойной мост типа Р329). Для измерения сопротивлений также применяют уравновешенные универсальные мосты переменного тока (типа Е7-4, Е7-11).

2.2. Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности

Основными параметрами, характеризующими конденсаторы, катушки индуктивности, являются их электрическая емкость C и угол потерь $\text{tg} \delta$, индуктивность L и добротность Q . Для измерения этих величин применяются методы вольтметра-амперметра, непосредственного измерения при помощи микрофарадометров, мостовой и резонансный.

Измерение емкостей и индуктивностей методом **вольтметра-амперметра**, применяют при сравнительно больших емкостях и индуктивностях. Питание измерительной схемы производят от источника питания низкой частоты $f_{ген} = 50 - 1000$ Гц, поэтому можно пренебречь активными потерями в конденсаторах, а также влиянием реактивных параметров измерительных приборов и паразитными связями.

Схемы измерений выполняются аналогично схемам, приведенным на рис.1 а) б) для измерения сопротивлений. При этом следует помнить, что при измерении индуктивности схема рис.1а) служит для измерения малых, а схема рис.1б) – средних значений, а при измерении емкости – наоборот, так как

реактивные сопротивления емкости обратно пропорциональны ее величине $X_C = 1/\omega C_X$, тогда как $X_L = \omega L_X$.

По показаниям приборов можно рассчитать полное сопротивление конденсатора или катушки индуктивности:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = V/I,$$

где R и X - активная и реактивная составляющие.

Если потери малы, т.е. $R < X$, то измеряемая емкость определяется формулой $C_X = I/(2\pi f V)$, а индуктивность $C = V/(2\pi f I)$.

Определяя параметры конденсаторов и катушек индуктивностей методами одного прибора, значение C_X , L_X получают из соответствующих формул. При измерении параметров конденсаторов и катушек индуктивностей **мостовым методом** широко применяют уравновешенные мосты переменного тока, из которых на практике часто используют универсальные мосты (типа Е7-4, Е7-11).

3. Описание лабораторного стенда

В состав лабораторного стенда входят следующие элементы и приборы:

- миллиамперметр и вольтметр магнитоэлектрической системы с выпрямительными преобразователями;
- мультиметр В7-38;
- генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112/1;
- измеритель L, C, R универсальный Е7-4 (или Е7-11);
- переключатели П1 - П4 для коммутации элементов в соответствии с исследуемыми принципиальными электрическими схемами.

4. Содержание работы и порядок ее выполнения

4.1. Подготовка к измерительным экспериментам

4.1.1. Изучить теоретический материал (разделы 2.1, 2.2).

4.1.2. Ознакомиться с аппаратурой, необходимой для выполнения работы, и записать ее характеристики в таблицу по форме 1.

Форма 3.1

Наименование прибора	Характеристики прибора					
	Пределы измерения	Диапазон показаний	Цена деления	Чувствительность	Класс точности	Погрешность измерений приведенная

4.2. Эксперимент 1. Измерение параметров электрических цепей с помощью универсального моста Е7-11 (Е7-4) и омметра

4.2.1. Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации моста Е7-11. Прогреть его согласно инструкции.

4.2.2. Измерить с помощью универсального моста Е7-11 сопротивление вольтметра, миллиамперметра.

4.2.3. Произвести измерение всех заданных величин R_{xi}, C_{xi}, L_{xi} универсальным мостом Е7-11. Кроме того, требуется также определить тангенс угла потерь $\operatorname{tg}\delta$ для конденсаторов и добротность Q для катушек индуктивности, которые связаны с емкостью и индуктивностью зависимостями:

$$\operatorname{tg}\delta = 2\pi f C_X R_X; \quad Q = (2\pi f L_X) / R_X,$$

где R_X – активные сопротивления, обуславливающие эквивалентные потери.

Результаты измерений свести в таблицу по форме 3.2.

Форма 3.2

Прибор	Измеряемые параметры												
	R_a	R_v	R_{x1}	R_{x2}	R_{x3}	L_{x1}	Q_{x1}	L_{x2}	Q_{x2}	C_{x1}	$\operatorname{tg}\delta_{x1}$	C_{x2}	$\operatorname{tg}\delta_{x2}$
Е7-11													
В7-38													

4.3. Эксперимент 2. Измерение параметров электрических цепей методом вольтметра-амперметра

4.3.1. Произвести измерение R_{xi}, C_{xi}, L_{xi} методом вольтметра-амперметра в соответствии с вариантами, изображенными на рис.3.1.а) и 3.1б). Для этого с помощью переключателей П1 – П4, указанных на принципиальной электрической схеме рис.3), произвести нужные переключения. Определить относительные погрешности измерений, обусловленные параметрами приборов R_v, R_a .

Питание схемы осуществлять от генератора синусоидальных колебаний с частотой 100 Гц и напряжением, обеспечивающим показания приборов близкие к номинальным. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу по форме 3.3. Для результатов измерений, выполненных по схеме рис.1б), вместо Z_X' записать значение Z_X'' .

4.3.2. Исходя из найденных значений R_v и R_a , определить величину сопротивления R_X , при котором относительная погрешность измерения будет одинакова для обеих схем. Установить это сопротивление на стенде (R) с по-

мощью прибора Е7-11 и произвести проверку выполненного расчета по схемам (рис.3.1, а,б).

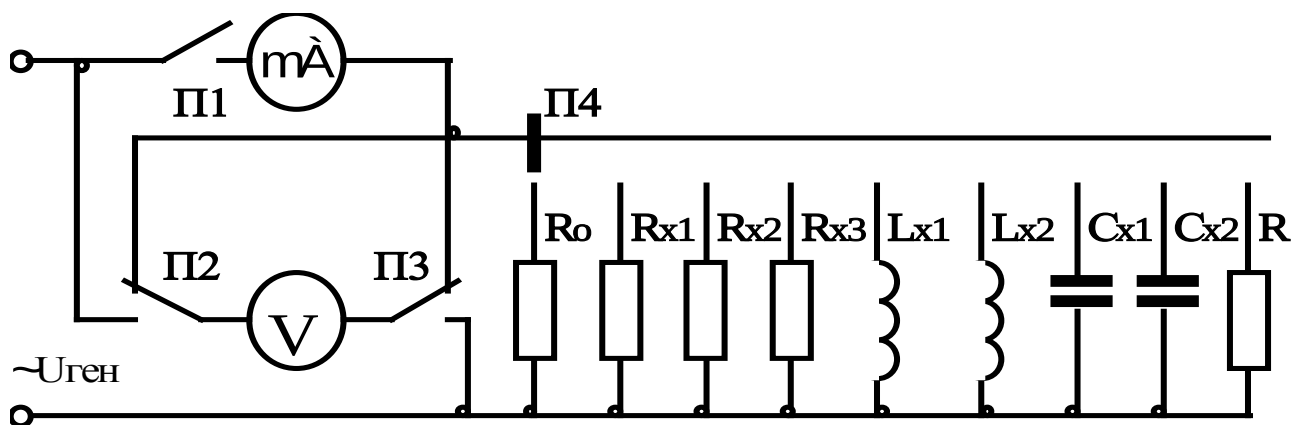


Рис.3.3

Форма 3.3

Измеряемая величина	V, В	I, А	Z_X , Ом	Z_X' , Ом, (3.1a)	Z_X'' , Ом (3.1б)	ΔZ_X , Ом	δZ_X , %
R_{x1} схема а							
R_{x1} схема б							
R_{x2} схема а							
R_{x2} схема б							
R_{x3} схема а							
R_{x3} схема б							
L_{x1} схема а							
L_{x1} схема б							
L_{x2} схема а							
L_{x2} схема б							
C_{x1} схема а							
C_{x1} схема б							
C_{x2} схема а							
C_{x2} схема б							

4.4. Эксперимент 3. Измерение параметров электрических цепей методом поочередного включения вольтметра и миллиамперметра

Измерить величины Z_X методом поочередного включения вольтметра и миллиамперметра в соответствии со схемами (рис.3.2, а,б), которые выбираются положениями соответствующих переключателей схемы П1 - П4. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу по форме 3.3.

4.5. Обработка результатов измерений

Вычислить абсолютные и относительные погрешности измерений, получающиеся при разных методах измерений, взяв за действительные значения параметров результаты, показанные универсальным мостом. Результаты измерений и вычислений пунктов 4.2.-4.4. занести в таблицу по форме 3.4, предварительно преобразовав значения емкостей и индуктивностей в соответствующие единицы измерения.

Форма 3.4

Изме- ряемая величина	Метод измерения										
	E7-11	B7-38		Вольтметра- амперметра схема а)		Вольтметра- амперметра схема б)		Вольтметра		Ампер- метра	
	Z _i	Z _i	δ Z _i , %	Z _i	δ Z _i , %	Z _i	δ Z _i , %	Z _i	δ Z _i , %	Z _i	δ Z _i , %

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Перечень приборов и оборудования, их паспортные данные.
- 5.3. Схемы экспериментов.
- 5.4. Расчетные формулы и примеры расчета.
- 5.5. Таблицы результатов измерений и вычислений.
- 5.6. Выводы по результатам экспериментов и вычислений.

6. Контрольные вопросы

1. Какие вы знаете методы измерения сопротивлений?
2. В чем заключаются преимущества и недостатки метода вольтметра-амперметра?
3. Как можно записать условие равновесия одинарного моста переменного тока?
4. Какие требования предъявляются к порядку включения элементов плеч в мостах переменного тока?
5. Какие величины сопротивлений можно измерять одинарными и двойными мостами переменного тока?
6. Что характеризует тангенс угла потерь в конденсаторах?
7. От чего зависит точность измерения параметров цепей при использовании метода вольтметра-амперметра?
8. Как измерить индуктивность с помощью моста?
9. Чем обусловлена погрешность измерений при использовании косвенных методов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

Измерение мощности и коэффициента мощности прямыми и косвенными методами

1. Цель работы

Цель работы: ознакомление с методами измерения мощности, частоты в однофазных цепях переменного тока с помощью электромеханических приборов: амперметра, вольтметра, ваттметра, фазометра, частотомера.

2. Основные теоретические положения

В практике электрических измерений возникает необходимость определения мощности, потребляемой тем или иным приемником (нагрузкой). Электрическая мощность – величина, характеризующая скорость передачи или преобразования электрической энергии.

В электрических цепях постоянного тока мощность

$$P=U \cdot I ,$$

где U , I – напряжение и ток в цепи.

При переменном токе произведение мгновенных значений тока i и напряжения u представляет собой мгновенную мощность, которая является величиной переменной:

$$p=u \cdot i .$$

Среднее за период T значение p_i называется активной мощностью

$$P=1/T \int_0^T p_i(t)dt.$$

Активная электрическая мощность характеризует скорость необратимого превращения электрической энергии в другие виды энергии (тепловую, световую и т.п.).

В цепях однофазного синусоидального тока активная мощность

$$P=U \cdot I \cdot \cos \varphi ,$$

где U , I – действующие значения напряжения и тока;

φ – угол сдвига фаз между ними.

Электрическая мощность, характеризующая скорость передачи энергии от источника тока к приемнику и обратно называется реактивной мощностью

$$Q=U \cdot I \cdot \sin \varphi .$$

Величина, равная произведению действующих значений периодического электрического тока и напряжения в цепи ($S=U \cdot I$) называется полной мощностью, и связана с активной и реактивной мощностью соотношением:

$$S^2 = P^2 + Q^2.$$

Для цепей несинусоидального тока электрическая мощность равна сумме соответствующих средних мощностей отдельных гармоник

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} P_k; \quad Q = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k; \quad S = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} U_k^2 \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2}.$$

Для трехфазных цепей электрическая мощность определяется как сумма мощностей отдельных фаз. При симметричной нагрузке

$$P = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi_{\text{ф}}; \quad Q = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi_{\text{ф}}; \quad S = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}},$$

где $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ – линейные напряжение и ток;

$\varphi_{\text{ф}}$ – угол сдвига фаз между фазным напряжением и током.

Для измерения мощности можно воспользоваться косвенными и прямыми методами. При прямых методах применяют специальные приборы – ваттметры электродинамической или ферродинамической системы. Электродинамические ваттметры обладают высокими метрологическими характеристиками, выпускаются в виде переносных приборов высоких классов точности (0,2–0,5). Их используют для точных измерений мощности постоянного и переменного тока, на промышленной и повышенной частотах (до 5 кГц). Ферродинамические ваттметры чаще всего бывают низкого класса точности (1,5–2,5) и их применяют обычно на переменном токе промышленной частоты.

Косвенные способы применяют при отсутствии ваттметров. При этом в общем случае, необходимы три прибора: амперметр, вольтметр, фазометр.

При измерениях в том и другом случае нужно помнить о том, что сами приборы потребляют какую-то мощность. Это нужно учитывать, особенно при малых значениях мощности в нагрузке. Следует также иметь в виду тот факт, что некоторые приборы рассчитаны на номинальные напряжения и токи, (указываются на шкале или у клемм прибора), отличные от существующих в действительной цепи. Это требует применения измерительных трансформаторов тока ТТ и напряжения ТН. Для измерения угла сдвига фаз между током и напряжением, а также коэффициента мощности в цепи переменного тока применяют специальные приборы – фазометры. Из электромеханических фазометров наибольшее распространение получили приборы электродинамической, ферродинамической и электромагнитной системы. Их включение в сеть обычно осуществляется через трансформаторы тока и напряжения.

При отсутствии фазометров коэффициент мощности можно определить косвенным путем по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметра. Следует помнить, что этот метод при значительном потреблении мощности приборами по сравнению с нагрузкой может давать большие методические погрешности.

С другой стороны, если мощность, потребляемая нагрузкой, например, на два-три порядка больше собственной потребляемой мощности прибора, то можно определить не только коэффициент мощности $\cos\varphi$, но и параметры нагрузки. Полное, общее активное и общее реактивное сопротивления схемы определяются соотношениями:

$$Z = \frac{U}{I}; \quad R_{об} = \frac{P}{I^2}; \quad X_{об} = \sqrt{Z^2 - R_{об}^2}.$$

Активное и реактивное сопротивления нагрузки при известных сопротивлениях амперметра R_a и X_a , а также ваттметра R_w и X_w находятся так:

$$R_n = R_{об} - R_a - R_w; \quad X_n = X_{об} - X_a - X_w.$$

Если измеренное сопротивление Z_n (R_n , X_n) представляет собой сопротивление катушки, то ее индуктивность $L = X_n / \omega$, а если измеренное сопротивление – конденсатор, то его емкость $C = 1 / \omega X_n$.

3. Описание лабораторного стенда

Лабораторный стенд включает следующие элементы и измерительные приборы:

- лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) для регулирования напряжения питания схем;
- амперметр переменного тока;
- миллиамперметр переменного тока;
- вольтметр переменного тока;
- ваттметр переменного тока;
- фазометр;
- герцметр;
- мультиметр В7-38;
- элементы нагрузки;
- трансформатор тока (ТТ) типа И-54;
- тумблер включения “сеть”; коммутационные гнезда; реостат.

4. Содержание работы и порядок ее выполнения

4.1. Подготовка к измерительным экспериментам

4.1.1. Изучить теоретический материал.

4.1.2. Ознакомиться с аппаратурой, необходимой для выполнения работы. Занести в таблицу по форме 3.1 ее основные метрологические характеристики.

4.2. Эксперимент 1. **Определение мощности потребляемой токовыми обмотками** приборов при номинальных значениях тока, указанных на приборах.

4.2.1. Собрать схему (рис. 4.1), предварительно подобрав приборы в группы с одинаковыми номинальными значениями тока или напряжения (милливольтметр подключается по очереди к каждому из приборов).

4.2.2. Установив номинальные значения тока I_n , измерить милливольтметром падение напряжения на токовых обмотках ваттметра, фазометра и амперметра, подключая их параллельно к соответствующим зажимам.

4.2.3. Определить внутреннее сопротивление амперметра, токовых обмоток ваттметра, фазометра. (Токовые обмотки обозначаются *I; 5A). Выполнение данного пункта необходимо для определения тех поправок, на величину которых можно откорректировать показания приборов для получения более точных результатов измерения. На схеме R_n – активная нагрузка (реостат) – служит для регулирования тока в цепи в соответствии с номинальными значениями тока используемых приборов.

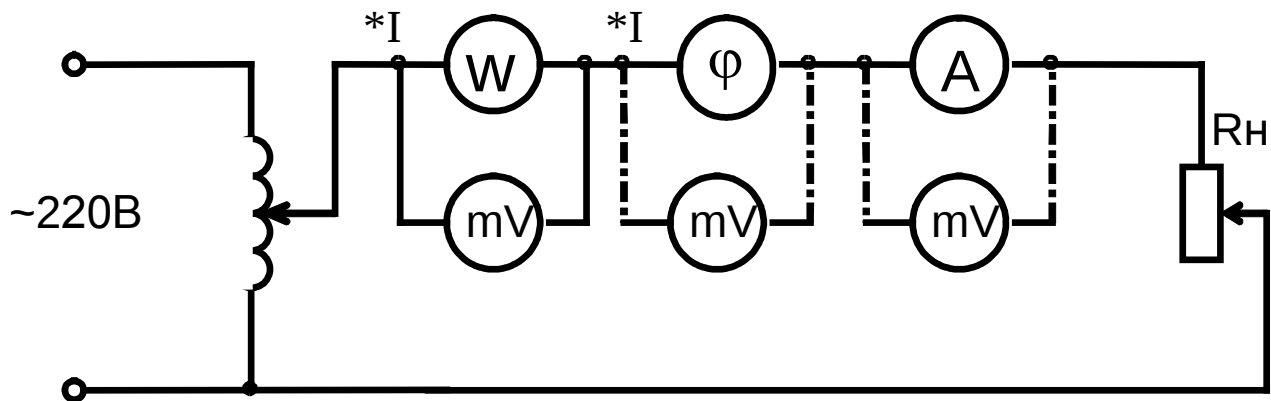


Рис.4.1

4.2.3. Собственное потребление мощности токовыми обмотками определяется как

$$P_U = I_n^2 \cdot R_I,$$

где R_I - внутреннее сопротивление токовых обмоток, вычисленное по формуле: $R_I = U_T / (I_n - U_T / R_{mv}) \approx U_T / I_n$;

U_T - измеренное падение напряжения на токовой обмотке;

R_{mv} -внутреннее (входное) сопротивление милливольтметра.

4.2.4. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу по форме 4.1.

Форма 4.1

Прибор	I_n , А	U_T , мВ	R_I , Ом	P_U , Вт
Ваттметр				
Фазометр				
Амперметр				

4.3. Эксперимент 2. **Определение мощности используемой обмотками напряжения** приборов при номинальных значениях напряжения, указанных на приборах.

4.3.1. На рис. 4.2 показана схема включения приборов для определения потребления мощности обмотками напряжения ваттметра W, фазометра ϕ , вольтметра V, и частотомера Hz. Обмотки напряжения обозначаются: *V, 150В; *V, 100, 127, 220В. Для измерения тока миллиамперметр следует поочередно включать последовательно с обмотками напряжения исследуемых приборов - вольтметра, герцметра, ваттметра и фазометра.

Внимание! Не перепутайте обмотки! Токовые обмотки по такой схеме включать **нельзя!**

4.3.2. Определите сопротивление и потребление мощности обмотками напряжения.

Сопротивление обмоток напряжения $R_H = U_H / I_{mA} - R_{mA}$,
 где U_H – номинальное напряжение на параллельной обмотке прибора;
 I_{mA} – ток, измеренный миллиамперметром;
 R_{mA} – внутреннее сопротивление миллиамперметра.

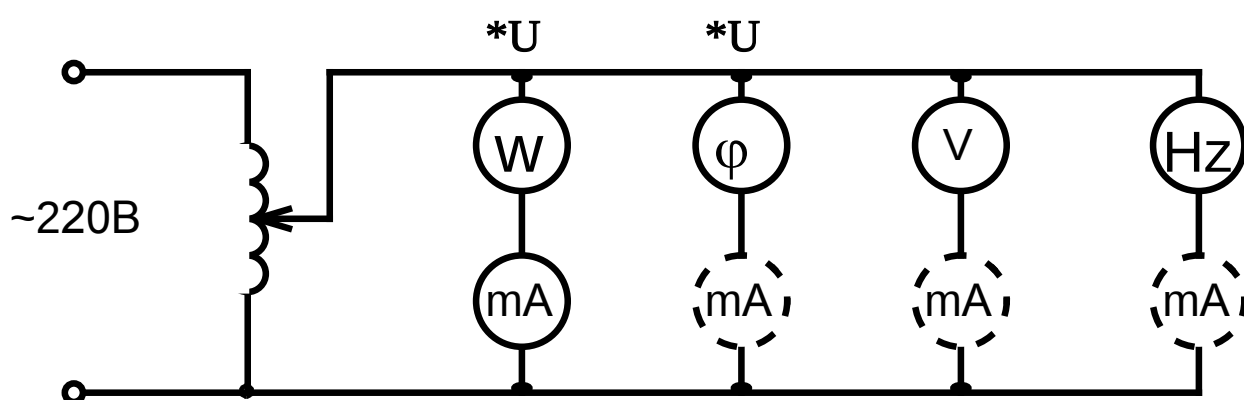


Рис.4.2

Собственное потребление мощности обмотками напряжения определяется по формуле:

$$P_U = I^2 * R_H.$$

4.3.3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу по форме 4.2.

Форма 4.2

Прибор	I_{mA} , mA	U_H , В	R_H , Ом	P_U , Вт
Ваттметр				
Фазометр				
Амперметр				

4.4. Эксперимент 3. Проверка влияния питающего напряжения на показания частотомера

Подключить частотомер к выходным зажимам ЛАТРа и, изменяя напряжение снять зависимость $f_{Hz} = F(U_{Hz})$, где f_{Hz} – показания герцметра, U_{Hz} – напряжение на его зажимах. Результаты измерений привести в табличном и графическом виде.

4.5. Эксперимент 4. Определение энергетических характеристик однофазной цепи переменного тока

4.5.1. В этой части работы следует усвоить методы измерений мощности и коэффициента мощности при различных характерах нагрузки, а также ознакомиться с принципом действия и конструкцией измерительных трансформаторов тока ТТ и напряжения ТН, которые применяются для изменения пределов измерения приборов по току и напряжению в соответствии с номинальными значениями, указанными на приборах. Трансформаторы тока применяются в том случае, когда сила тока в цепи значительно превышает предел измерения используемых приборов (амперметров, токовых обмоток ваттметров и фазометров). Однако, возможны варианты, когда сила тока в цепи меньше, чем пределы измерения приборов. В этом случае также могут применяться измерительные ТТ, у которых номинальный ток вторичной цепи соответствует току данного прибора. В лабораторной работе предусмотрен именно этот вариант, т.к. электросеть лаборатории не рассчитана на большие токи.

При работе с ТТ необходимо следить за тем, чтобы его вторичная обмотка была замкнута на измерительные приборы или накоротко. Кроме того, нужно иметь в виду, что ТТ обладает заданными метрологическими характеристиками только при определенном значении внешнего сопротивления, подключаемого к его вторичной обмотке. Поэтому перед сборкой той или иной схемы следует убедиться в возможности использования ТТ с нагрузкой, представляющей последовательное включение токовых обмоток ваттметра, фазометра и амперметра. Для этого нужно сопоставить данные, полученные при расчете внутренних сопротивлений используемых приборов с параметрами ТТ.

Определить постоянные приборов, исходя из номинальных значений токов и напряжений, учитывая включение их через ТТ.

4.5.2. Измерить **активную мощность прямым методом** с помощью ваттметра, **реактивную и полную мощность и коэффициент мощности косвенным** способом - с помощью ваттметра, амперметра и вольтметра, для чего собрать схему изображенную на рис.4.3, соблюдая порядок включения генераторных зажимов.

Измерения и расчеты произвести для всех видов нагрузки - активной, активно-индуктивной (последовательное соединение R_n , L_n), активно-емкостной (параллельное соединение R_n и C_n), индуктивной, емкостной. Выбор типа нагрузки осуществляется соответствующим соединением элементов нагрузки. Результаты измерений занести в таблицу по форме 4.

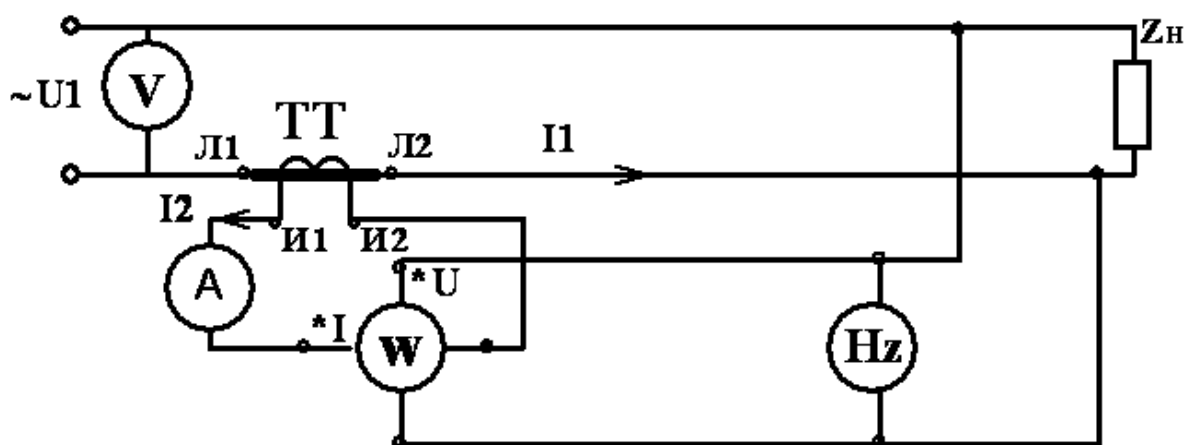


Рис. 4.3

Форма 4.3

Нагрузка	I_1, A	I_2, A	K_{In}	U_1, B	$P_w, Вт$	$P, Вт$	$S, ВА$	$\cos \varphi$	$Q, вар$
Активная									
Активно-индуктивная									
Активно-емкостная									
Индуктивная									
Емкостная									

Для определения мощности, показываемой ваттметром P_w , нужно вычислить постоянную прибора (цену деления)

$$C = U_n * I_n / N,$$

где N - число делений ваттметра;

U_n, I_n - номинальные значения напряжения и тока, указанные на приборе.

Коэффициент трансформации по току устанавливать в пределах, обеспечивающих ток I_2 близкий к номинальному (5A). В случае отсутствия трансформатора напряжения установить U_n ЛАТРоМ; обмотки напряжения ваттметра, фазометра и вольтметра подключить к первичной цепи.

При этом:

$$\text{активная мощность } P = K_{In} * K_{Un} * P_w;$$

$$\text{реактивная мощность } Q = U_1 * I_1 * \sin \varphi ;$$

$$\text{полная (кажущаяся) мощность } S = U_1 * I_1;$$

$$\text{коэффициент мощности } \cos \varphi = P / (U_1 * I_1),$$

где $K_{In} = I_{1n} / I_{2n}$ - номинальный коэффициент трансформации ТТ;

$K_{Un} = U_{1n} / U_{2n}$ - номинальный коэффициент трансформации ТН;

P_w - мощность измеренная ваттметром;

$U_1 = K_{Un} * U_2$ - действующее напряжение в первичной цепи;

$I_1 = K_{In} * I_2$ - действующее значение тока в первичной цепи.

4.6. Эксперимент 5. Определение энергетических характеристик однофазной цепи переменного тока

Измерить активную, реактивную и полную мощность косвенным способом с помощью амперметра, вольтметра и фазометра, коэффициент мощности - прямым способом - фазометром. Для этого собрать схему, изображенную на рис. 4.4.

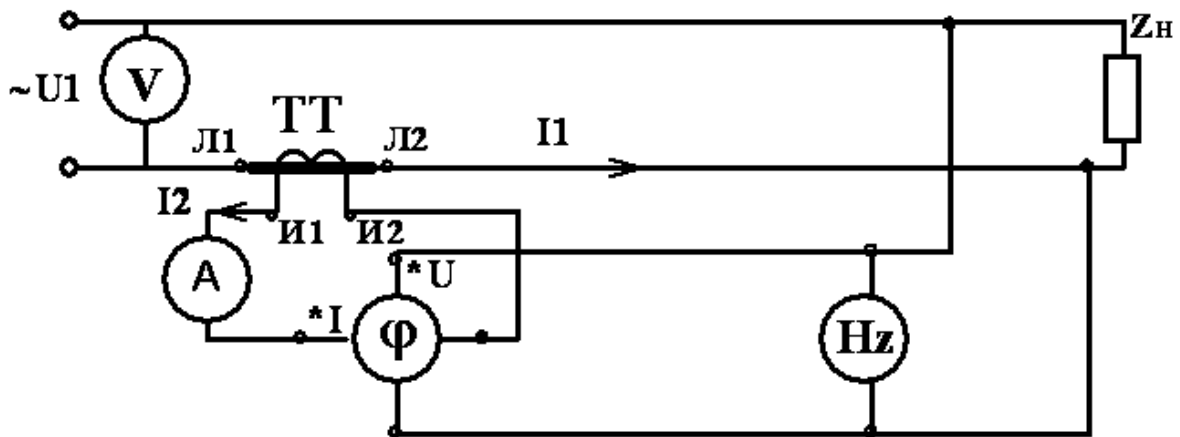


Рис.4.4

По показаниям приборов и ранее приведенным формулам определить необходимые параметры и занести в таблицу по форме 4, исключив столбец P_w . Определить абсолютную и относительную погрешности измерения активной мощности и коэффициента мощности, найденных прямым и косвенным методами для каждого вида нагрузки.

4.7. Определить предельную относительную погрешность косвенного метода измерения активной и реактивной мощности (вид нагрузки указывается преподавателем)

$$\delta_{P,Q} = \pm(\delta_I + \delta_U + \delta_\varphi + \delta_T),$$

где $\delta_I = \Delta I_{\max} / I_n$; $\delta_U = \Delta U_{\max} / U_n$; $\delta_\varphi = \Delta \cos \varphi_{\max} / \cos \varphi_n$; δ_T - относительные предельные погрешности измерения тока, напряжения, $\cos(\varphi)$, трансформатора тока;

$\Delta I_{\max}$, $\Delta U_{\max}$, $\Delta \cos \varphi_{\max}$ - максимальные абсолютные погрешности определяемые классом точности соответствующих приборов.

Предельная относительная токовая погрешность трансформатора тока определяется его классом точности и зависит от измеряемого тока I_1 . Так для ТТ класса 0.2 предельное значение погрешности δ_T для разных I_1 может быть найдено путем интерполяции следующих данных: при $I_1 / I_{1n} = 1.2 \div 1.0$ $\delta_T = \pm 0.2\%$; при $I_1 / I_{1n} = 0.2$ $\delta_T = \pm 0.35\%$; при $I_1 / I_{1n} = 0.1$ $\delta_T = 0.5\%$;

Результаты расчета предельных погрешностей следует свести в таблицу по форме 5.

Ток в первичной цепи, I_1 , А	Погрешности величин, характеризующих цепь							
	ΔI_m , А	δI , %	ΔU_m , В	δU , %	$\Delta \cos \varphi_m$	$\delta \varphi$, %	δT , %	$\delta P, Q$, %

4.8. Эксперимент 5. **Определение параметров нагрузки R_n , L_n , C_n .**

4.8.1. С помощью измерителя универсального Е7 - 11 измерить параметры нагрузки R_n , L_n , C_n .

4.8.2. Произвести расчет активных и реактивных составляющих нагрузки по соответствующим формулам и сравнить с результатами измерений с помощью измерителя универсального Е7 - 11.

5. Содержание отчета

- 5.1. Цель работы.
- 5.2. Перечень приборов и оборудования, их паспортные данные.
- 5.3. Схемы экспериментов.
- 5.4. Расчетные формулы и примеры расчета.
- 5.5. Таблицы результатов измерений и вычислений.
- 5.6. Выводы по результатам экспериментов и вычислений.

6. Контрольные вопросы

1. Какие существуют способы измерения мощности и коэффициента мощности в однофазных цепях переменного тока?
2. Как необходимо включить обмотки ваттметра и фазометра в цепь?
3. Как следует поступить, если стрелка ваттметра при измерении мощности отклонилась влево до нуля?
4. Как обозначаются линейные и измерительные зажимы трансформаторов тока и напряжения?
5. Как определить цену деления шкал приборов, включенных через ТТ и ТН?
6. Влияет ли внутреннее сопротивление приборов на погрешность измерения?
7. Какие параметры цепи можно определить косвенным способом измерения мощности?
8. Показания каких приборов зависят от изменения частоты сети питающего напряжения?
9. Почему нельзя разрывать вторичную обмотку ТТ, если по первичной протекает ток?
10. С какой целью применяют измерительные ТТ и ТН?

Библиографический список

1. Сергушичева А.П. Метрология, стандартизация, сертификация: учебное пособие. Часть1 / А.П. Сергушичева – Вологда: ВоГТУ, 2004. – 188 с.
2. Сергушичева А.П. Основы метрологии: учебное пособие. Часть2 ./ А.П. Сергушичева – Вологда: ВоГТУ, 2005. – 112 с.:ил.
3. Дворяшин, Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения: учебное пособие для вузов.- М.: Радио и связь, 1993. - 320 с.
4. Клаассен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
5. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов – М.:Высш.шк. ,2001.-
6. Сергеев, А.Г. Метрология: учеб.пособие для вузов / А.Г. Сергеев. – М.: Логос, 2000.-407с.

ИЗМЕРИТЕЛЬ L, C, R УНИВЕРСАЛЬНЫЙ Е7-11

1. Назначение

Измеритель L, C, R универсальный предназначен для измерения индуктивности, емкости, сопротивления, тангенса угла потерь и добротности различных деталей и элементов радиоцепей.

Прибор обеспечивает свои технические характеристики после времени установления рабочего режима, равного 15 мин.

Питание измерителя осуществляется от сети переменного тока напряжением $220 \pm 22\text{В}$, частотой $50 \pm 0,5\text{Гц}$ или напряжением $220 \pm 11\text{В}$, частотой $400 \pm 12\text{Гц}$ и содержанием гармоник до 5%.

Мощность, потребляемая измерителем от сети при номинальном напряжении, не превышает 10ВА.

Прибор допускает непрерывную работу в рабочих условиях в течение 8ч.

2. Проведение измерений

2.1. Общие указания

Процесс измерения заключается в уравнивании мостовой измерительной схемы с целью достижения ею баланса, определяемого по индикатору баланса (п.п.2.2-2.6).

При измерении сопротивлений индикатор баланса представляет из себя фазовый детектор. Состоянию баланса моста соответствует нулевое показание стрелочного прибора фазового детектора.

При измерении емкостей и индуктивностей индикатором баланса является амплитудный детектор. При балансе моста стрелка индикатора не всегда совпадает с нулевой риской шкалы. В этом случае, уравнивая мост очередным вращением ручек шкал реактивности и потерь, нужно получить минимум показаний индикатора при постепенном увеличении чувствительности до величины, обеспечивающей индикацию изменения отсчета измеряемой величины не менее чем на половину основной погрешности измерения.

Отсчет результата измерения емкости, индуктивности и сопротивления производится по общему отсчетному устройству "МНОЖИТЕЛЬ", имеющему две шкалы. Показания одной шкалы меняются ступеньками, другой - плавно. Показания обеих шкал образуют единый строчечный цифровой отсчет. Если показание на плавной шкале больше или равно 10, то единица должна быть добавлена в предыдущий разряд отсчета. Таким образом отсчеты, изображенные на рис. А.1 следует прочесть как 0,275; 0,305 и 1,005 соответственно.

ПРИМЕЧАНИЕ: Запрещается проводить измерение величин сопротивлений, обладающих большой индуктивностью (более 10 мкГ) на постоянном токе, например, обмоток трансформаторов, во избежание выхода прибора из строя.

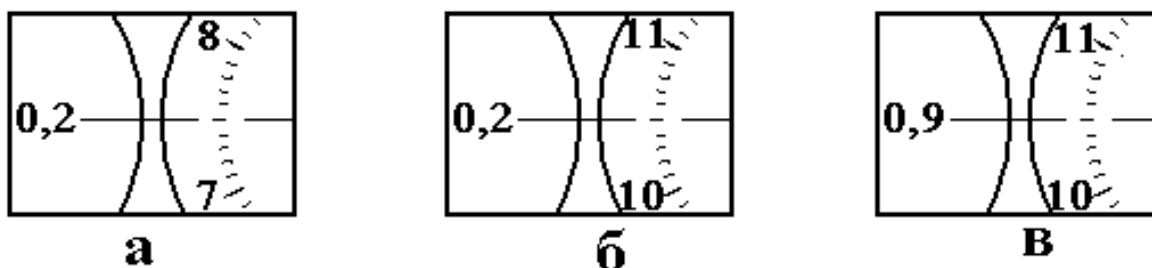


Рис.А.1

2.2. Измерение сопротивлений.

Для измерения сопротивления на переменном токе объект подсоединяют к зажимам соединительного кабеля L, C, R. Переключатели следует установить в следующие положения: "L,C,R~,R=" - "R~"; "ЧАСТОТА" - в положение, соответствующее частоте, на которой предполагается проводить измерения (при установке переключателя в положение "100" загорается сигнальная лампочка "C,L*10"); "ПРЕДЕЛЫ" - в крайнее левое (первый предел); "ЧУВСТВИТ." - в крайнее правое.

Выберите нужный предел измерения. Для этого вращением ручки "ПРЕДЕЛЫ" поочередно меняйте установленный предел до тех пор, пока знак напряжения на индикаторе баланса не изменится на противоположный. Это и есть нужный для измерения предел.

Уравновесьте мост вращением ручек "МНОЖИТЕЛЬ", постепенно увеличивая чувствительность до величины, обеспечивающей индикацию разбаланса на 0,5 погрешности измерения для данной величины.

Измеренная величина сопротивления равна произведению отсчета по шкалам "МНОЖИТЕЛЬ" на значение сопротивления соответствующее выбранному пределу и указанное в таблице на передней панели прибора.

Например: Отсчет по шкалам "МНОЖИТЕЛЬ" - 0,127. Предел измерения - 3; по таблице ему соответствует значение 1 кОм. Следовательно, измеренная величина сопротивления будет $R = 0,127 * 1 \text{ кОм} = 127 \text{ Ом}$.

2.3. Измерение емкости и тангенса угла потерь.

Подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля L, C, R. Переключатели установите в следующие положения: "L,C,R~,R=" - "C"; "Q>0,5; Q<0,5; tg $\square$ δ " - "tg δ $\square$ "; "ЧАСТОТА" - в положение, соответствующее частоте, на которой предполагается проводить измерения (при установке переключателя

чателя в положение "100" загорается сигнальная лампочка "C,L*10"); "ПРЕДЕЛЫ" - в крайнее правое (7-ой предел); "ЧУВСТВИТ." - в крайнее правое.

Выберите нужный предел измерения. Для этого на шкале "МНОЖИТЕЛЬ" установите отсчет 1,090. Нажмите кнопку "ВЫБОР ПРЕДЕЛА" и вращением ручки "ПРЕДЕЛЫ" влево поочередно меняйте установленный предел до тех пор, пока знак фазы напряжения на индикаторе разбаланса не изменится на противоположный. На этом пределе и должны производиться измерения.

Отпустив кнопку "ВЫБОР ПРЕДЕЛА", уравновесьте мост, уменьшая показания шкалы переключателя "МНОЖИТЕЛЬ" до получения минимума показаний индикатора баланса. Если вращение плавной шкалы не меняет показаний индикатора, перейдите к уравниванию моста по потерям. Найдя минимум, вновь возвратитесь к уравниванию по емкости. Регулировки повторяются при постепенном увеличении чувствительности до величины, обеспечивающей индикацию изменения отсчета по шкалам не менее 0,5 основной погрешности измерения для данной величины.

Достигнув минимума при такой чувствительности, произведите отсчет результата измерения. Измеренная величина емкости равна произведению отсчета по шкалам "МНОЖИТЕЛЬ" на значение емкости соответствующее выбранному пределу и указанное в таблице на передней панели прибора. Если измерение проводилось на частоте 100 Гц, результат должен быть увеличен в 10 раз.

Измеренная величина тангенса угла потерь отсчитывается непосредственно по шкале " $\operatorname{tg} \delta$ ".

2.4. Измерение емкости и добротности.

Установите органы управления в исходные положения и произведите выбор предела измерения в соответствии с п. 2.3.

Переведя переключатель " $Q > 0,5$; $Q < 0,5$; $\operatorname{tg} \delta$ " в положение " $Q > 0,5$ " или " $Q < 0,5$ " согласно ожидаемой величине добротности, произведите измерение, уравновесив мост поочередным вращением ручек шкал "МНОЖИТЕЛЬ" и " Q ".

Если отсчет по шкале "МНОЖИТЕЛЬ" получился с двумя или тремя нулями впереди, не меняя положение шкалы " Q ", переведите переключатель "ПРЕДЕЛЫ" вправо соответственно на 1 или 2 положения и произведите измерения на этом пределе.

2.5. Измерение индуктивности и добротности.

Подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля L, C, R. Переключатели установите в следующие положения: "L,C,R~,R=" - "L"; " $Q > 0,5$; $Q < 0,5$; $\operatorname{tg} \delta$ " - " $\operatorname{tg} \delta$ "; "ЧАСТОТА" - в положение, соответствующее частоте, на которой предполагается проводить измерения; "ПРЕДЕЛЫ" - в крайнее левое; "ЧУВСТВИТ." - в крайнее правое.

Выберите нужный предел измерения. Для этого на шкале "МНОЖИТЕЛЬ" установите отсчет 1,090. Нажмите кнопку "ВЫБОР ПРЕДЕЛА" и вращением ручки "ПРЕДЕЛЫ" вправо поочередно меняйте установленный предел до тех пор, пока знак фазы напряжения на индикаторе разбаланса не изменится на противоположный.

Отпустив кнопку "ВЫБОР ПРЕДЕЛА" и переведя переключатель " $\text{tg} \square \delta$ " в положение "Q", уравновесьте мост, уменьшая показания шкалы переключателя "МНОЖИТЕЛЬ" до получения минимума показаний индикатора баланса. Если вращение плавной шкалы не меняет показаний индикатора, перейдите к уравниванию моста по потерям. Найдя минимум, вновь возвратитесь к уравниванию по емкости. Регулировки повторяются при постепенном увеличении чувствительности до величины, обеспечивающей индикацию изменения отсчета по шкалам не менее 0,5 основной погрешности измерения для данной величины.

Достигнув минимума при такой чувствительности, произведите отсчет результата измерения. Если отсчет по шкале "МНОЖИТЕЛЬ" получился с двумя или тремя нулями впереди, не меняя отсчета по шкале "Q", переведите переключатель "ПРЕДЕЛЫ" влево соответственно на 1 или 2 положения и произведите измерение на этом пределе.

Измеренная величина индуктивности равна произведению отсчета по шкалам "МНОЖИТЕЛЬ" на значение индуктивности соответствующее выбранному пределу и указанное в таблице на передней панели прибора. Если измерение проводилось на частоте 100 Гц, результат должен быть увеличен в 10 раз. В измеренную величину индуктивности ниже 100 мкГ следует ввести поправку на начальную индуктивность мостовой схемы.

Измеренная величина добротности отсчитывается непосредственно по соответствующей шкале " $Q \square$ ".

2.6. Измерение индуктивности и тангенса угла потерь

Порядок измерения аналогичен изложенному в п.2.5. за исключением того, что переключатель " $Q > 0,5; Q < 0,5; \text{tg} \square \delta$ " должен находиться в положении - " $\text{tg} \square \delta$ " как при выборе предела, так и при измерении. Этот вид измерения может быть рекомендован, если более удобен результат измерения в виде "L" и " $\text{tg} \square \delta$ " или добротность катушки больше 30.

Подписано в печать 4.05.2011. Усл. печ. л. . Тираж .

Печать офсетная. Бумага офисная. Заказ № _____

Отпечатано: РИО ВоГТУ, г. Вологда, ул. Ленина, 15