

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.В. Букарев, Н.К. Екатериничева, Т.Е. Симакина

ПРАКТИКУМ
по курсу «Метрология, стандартизация и
сертификация»
ЭЛЕКТРОИЗМЕРЕНИЯ В
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРАХ

Санкт-Петербург
РГГМУ
2019

УДК 551.508

ББК 22.33

Б 90

А.В. Букарев, Н.К. Екатериничева, Т.Е. Симакина

Практикум по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация». Электроизмерения в метеорологических приборах. — СПб.: РГГМУ, 2019. — 120 с.

Лабораторный практикум знакомит с основными закономерностями измерений электрических величин, устройством электромеханических средств измерений, методикой поверки аппаратуры, способами оценки точности измерений. В практикум включено 9 лабораторных работ, выполнение которых даст возможность практическими действиями закрепить знания, полученные на теоретических занятиях по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

Практикум предназначен для студентов, обучающихся в РГГМУ по программе подготовки бакалавра прикладной гидрометеорологии.

ISBN 978-5-86813-482-1

© Букарев А.В., Екатериничева Н.К., Симакина Т.Е., 2019

© Российский государственный гидрометеорологический университет, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Электроизмерительные приборы	6
2. Поверка электромеханических систем	21
3. Основная и дополнительная погрешности средств измерений	40
4. Расширение пределов измерения вольтметра и амперметра	49
5. Электронные измерительные устройства	56
6. Косвенное измерение мощности в цепях постоянного тока	68
7. Косвенное измерение ёмкости конденсатора в цепи переменного тока	80
8. Измерение сопротивления на постоянном токе	90
9. Измерение параметров реактивных двухполюсников	103
Содержание отчета	119
Литература	120

ВВЕДЕНИЕ

*Наука начинается там, где
начинаются измерения.*

Д.И. Менделеев

В России каждый день выполняется более миллиона измерений, проводимых с помощью специальных измерительных приборов, устройств, систем. Метеорологические измерения занимают среди них важное место. Высокое качество измерений, прежде всего их точность и достоверность, лежат в основе высокой оправдываемости прогнозов погоды и достоверности оценок будущих климатических изменений, а следовательно, принятий решений в сфере мониторинга окружающей среды и экологии. Возрастающие требования науки и промышленности к качеству измерений обуславливают поиск новых принципов при создании средств измерений. В последнее время произошел переход к новому поколению измерительных технологий - интеллектуальным датчикам-сенсорам и компьютерным измерительным комплексам, представляющим собой многофункциональные системы,

способные выбирать оптимальный алгоритм измерения в зависимости от условий задачи.

Для современной научной и практической деятельности требуются специалисты, способные подготовить и провести эксперимент, знающие точность используемых приборов, умеющие находить пути возможного уменьшения ошибок, правильно оценить влияющие факторы, диапазон применения средства измерений, точность полученных значений.

Лабораторный практикум содержит краткие сведения из теории измерений, методические указания и рекомендации к выполнению лабораторных работ, вопросы для самопроверки. Это позволяет использовать практикум в качестве дополнительного учебного пособия для самостоятельного изучения дисциплины «Метрология, стандартизация и сертификация».

Практикум предназначен для студентов РГГМУ, обучающихся по направлению «Прикладная гидрометеорология».

1. ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Цель работы: измерить чувствительности приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем.

Приборы и оборудование:

1. Вольтметр магнитоэлектрической системы типа М-106 с пределами измерений 3, 7,5, 15, 30, 75, 150, 300, 600 В.
2. Вольтметр электромагнитной системы типа АМВ с пределами измерений 7,5, 15, 30, 60 В.
3. Источник питания Б5-50.
4. Соединительные провода.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ








Большинство современных метеорологических датчиков преобразуют метеорологическую величину (температуру, влажность, атмосферное давление и др.) в электрический сигнал. Например, емкостной датчик давления или влажности, термопара и термобатарея в актинометрических приборах, индукционный анемометр и др. Для измерения тока, напряжения, мощности,

сопротивления и других электрических величин в цепях постоянного и переменного тока низкой частоты применяют электромеханические приборы. Электромеханический измерительный прибор (вольтметр, амперметр и др.) состоит из электроизмерительной цепи и измерительного механизма.

Измерительная цепь преобразует измеряемую электрическую величину (напряжение, мощность, частоту и т. д.) в пропорциональную ей величину, воздействующую на измерительный механизм.

Измерительный механизм преобразует подводимую к нему электрическую энергию в механическую энергию перемещения подвижной части и связанного с ней указателя (например, стрелки).

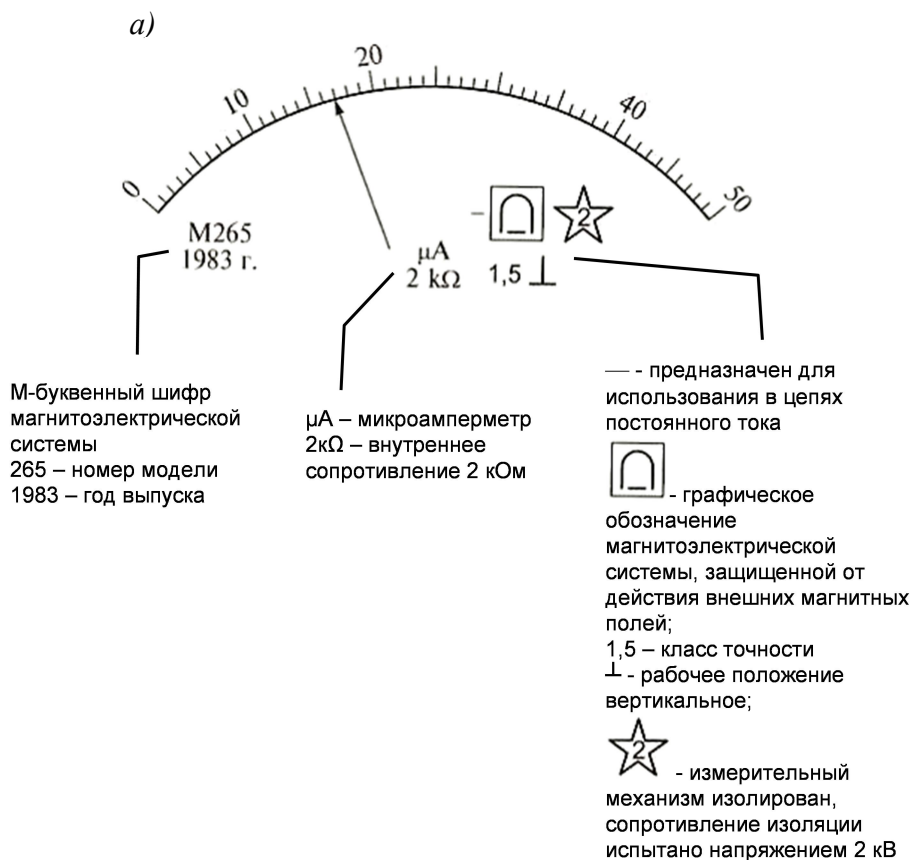
В зависимости от того, какое физическое явление положено в основу действия электроизмерительного прибора, их разделяют на следующие типы: магнитоэлектрический, электромагнитный, электродинамический, электростатический и т.д. Типы измерительных механизмов обозначаются следующими символами:

Тип прибора	Обозначения систем приборов
Магнитоэлектрический прибор с подвижной рамкой	
Магнитоэлектрический прибор с подвижным магнитом	
Электромагнитный прибор	
Электродинамический прибор	
Ферродинамический прибор	
Индукционный прибор	
Электростатический прибор	

Обозначение типа измерительного механизма приводится на лицевой панели прибора - рис. 1.1.

Схема *магнитоэлектрического измерительного механизма* изображена на рис. 1.2. Измеряемый ток подается в обмотку подвижной катушки 4, которая крепится в радиальном магнитном поле, создаваемом постоянным магнитом 1 с полюсными наконечниками 2 и неподвижным цилиндром 3. В результате взаимодействия магнитного поля и тока обмотки создается вращающий момент, пропорциональный току. Этот вращающий момент уравнивается противодействующим моментом, который создают спиральные пружины 5,

препятствующие вращению катушки. Поэтому угол отклонения катушки в магнитном поле постоянного магнита α зависит от вращающего момента катушки, следовательно, от силы входного тока I . На оси подвижной катушки укреплена стрелка, конец которой перемещается по шкале прибора.



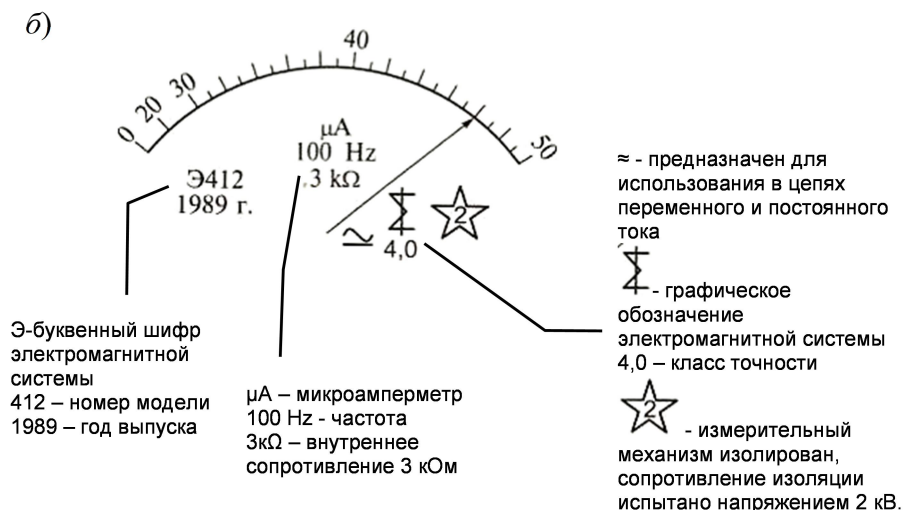


Рис. 1.1 Изображения шкал микроамперметров магнитоэлектрической (а) и электромагнитной систем (б)

Уравнение шкалы прибора имеет вид:

$$\alpha = S \cdot I$$

где S - чувствительность прибора.

Входное сопротивление в магнитоэлектрической системе обусловлено сопротивлением провода подвижной (измерительной) катушки.

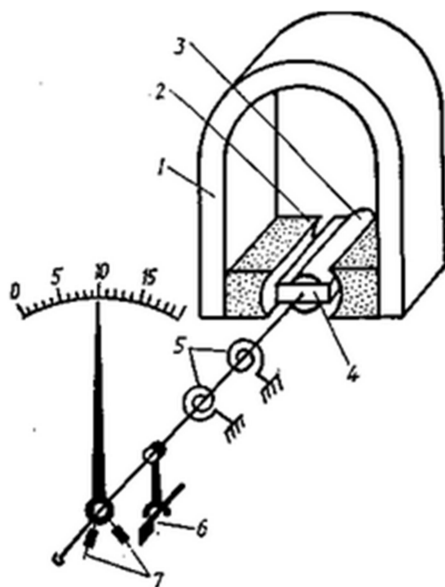


Рис. 1.2 Прибор магнитоэлектрической системы: 1 — постоянный магнит; 2 — полюсные наконечники; 3 — сердечник цилиндрической формы; 4 — подвижная рамка; 5 — спиральные пружины; 6 — корректор для начальной установки стрелки на нуль; 7 — противовесы для балансирования подвижной части измерительного механизма

Магнитоэлектрические приборы по принципу работы измерительного механизма являются амперметрами. С помощью добавочных резисторов, включаемых последовательно с измерительным механизмом, из амперметров образуют

магнитоэлектрические вольтметры – рис. 1.3.

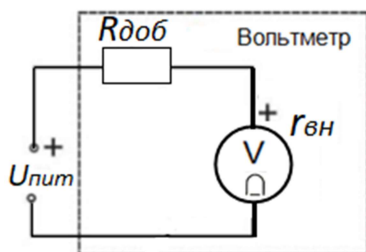


Рис. 1.3 Структура магнитоэлектрического вольтметра

Магнитоэлектрические приборы работают только на постоянном токе.

Магнитоэлектрические механизмы весьма чувствительны, так как их основное магнитное поле возбуждается постоянным магнитом, а не измеряемым током. По этой причине именно эти механизмы применяют в высокочувствительных нулевых приборах (гальванометрах).

Из-за большой чувствительности магнитоэлектрический механизм отличается малым собственным потреблением энергии.

Внешние магнитные поля практически не влияют на показания этих приборов в результате собственного

сильного магнитного поля и экранирующего действия магнитопровода из магнитомягкой стали.

При соединении магнитоэлектрического механизма и полупроводникового выпрямителя получают выпрямительный (детекторный) прибор; а если этот же механизм соединить с термопарами, образуется термоэлектрический прибор.

Прибор *электромагнитной системы* – рис. 1.4 - состоит из неподвижной катушки 1 и укрепленной на оси подвижной пластинки из ферромагнитного материала 2.

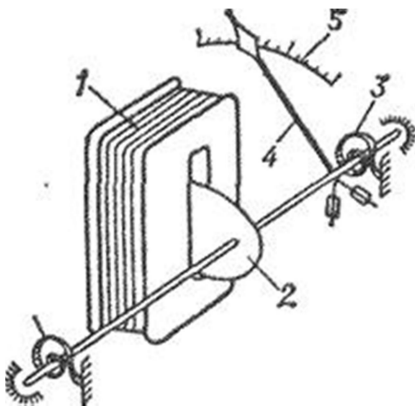


Рис. 1.4. Устройство электромагнитного измерительного механизма с плоской катушкой: 1 — катушка; 2 — ферромагнитный сердечник; 3 — пружины, создающие противодействующий механический момент; 4 — стрелка; 5 — шкала

Измеряемый ток в катушке создает магнитное поле, которое намагничивает ферромагнитную пластинку, и она втягивается внутрь катушки. Возникающий при этом вращающий момент пропорционален квадрату тока. Часто квадратичную шкалу выравнивают, подбирая соответствующую форму ферромагнитной пластинки.

Электромагнитные приборы пригодны для измерений в цепях как постоянного, так и переменного токов. Они отличаются простотой и надежностью конструкции, устойчивы к перегрузкам. Собственное потребление энергии невелико, но больше, чем у приборов магнитоэлектрической системы.

К числу недостатков приборов электромагнитной системы следует отнести относительно низкую точность (класс точности не выше 1,0 – 2,5), непригодность для измерения малых токов и низких напряжений, неравномерность шкалы.

В *электродинамических измерительных* механизмах вращающий момент возникает в результате взаимодействия магнитных полей неподвижной и подвижной катушек с токами. На рис. 1.5 показано устройство *электродинамического измерительного*

механизма. Неподвижная катушка 1 состоит из двух одинаковых частей, разделенных воздушным зазором. Подвижная катушка 2 выполняется обычно бескаркасной из медного или алюминиевого провода. Ось подвижной части 3 соединена со стрелкой 5, перемещающейся по шкале 6. При протекании токов по неподвижной и подвижной катушкам измерительного механизма в результате их электромагнитного взаимодействия возникает вращающий момент, который по мере поворота подвижной катушки уравнивается моментом, создаваемым упругими элементами 4.

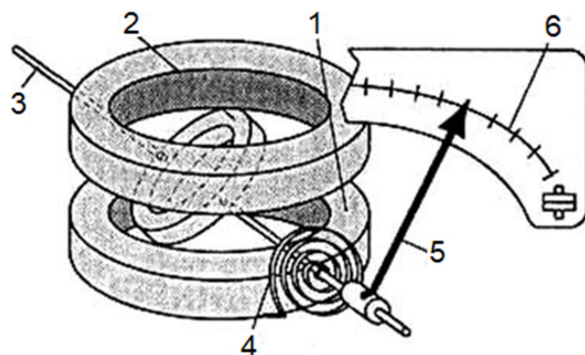


Рис. 1.5. Электродинамический измерительный механизм: 1 — неподвижная катушка; 2 — подвижная катушка; 3 — ось; 4 — пружины, создающие противодействующий момент; 5 — стрелка; 6 — шкала

К достоинствам электродинамических приборов относят высокую точность и возможность применения их в цепях постоянного и переменного токов. К недостаткам относятся зависимость показаний от внешних магнитных полей, чувствительность к перегрузкам, достаточно большая потребляемая мощность и неравномерность шкалы.

Приборы электромагнитной, электродинамической и выпрямительных систем используют для измерения переменных напряжений от единиц до сотен вольт в диапазоне частот до десятков килогерц. В диапазоне частот до десятков мегагерц напряжение измеряют приборами электростатической и термоэлектрической систем, цифровыми вольтметрами. Для измерения постоянных напряжений до нескольких киловольт применяют в основном электростатические вольтметры, реже приборы других систем с делителями напряжения.

Любой электроизмерительный прибор характеризуется пределом измерений, ценой деления и чувствительностью. *Пределом измерения* называется наибольшее значение измеряемой данным прибором величины. *Ценой деления* прибора называется значение измеряемой величины, соответствующее наименьшему

делению шкалы прибора. Цена деления определяется как отношение предела измерения прибора к полному числу делений его шкалы. *Чувствительность прибора* - величина, обратная цене деления. Она характеризуется отношением линейного или углового перемещения указателя к измеряемой величине

$$S_X = \frac{\alpha}{X}$$

где: α – угловое или линейное перемещение указателя;

X – измеряемая величина.

Приборы с равномерной шкалой имеют постоянную чувствительность во всём диапазоне измеряемых величин. При неравномерной шкале одному и тому же изменению измеряемой величины соответствуют различные угловые или линейные перемещения указателя, и чувствительность прибора в различных точках шкалы будет разная. В этом случае под чувствительностью понимают

$$S_X = \left| \lim \frac{\Delta \alpha}{\Delta X} \right| = \frac{d\alpha}{dX}.$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему, приведенную на рис 1.6. На схеме вольтметр магнитоэлектрической системы М-106 и вольтметр электромагнитной системы АМВ.

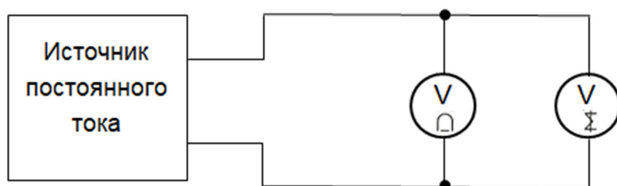


Рис. 1.6 Схема для измерения чувствительности двух вольтметров

2. Определить совпадающие пределы обоих вольтметров. Измерения чувствительности проводить на каждом из совпадающих пределов.
3. Подать с источника питания по восемь напряжений: три в начале шкалы, два в середине, три в конце шкалы. Например, на пределе 30 В это могут быть следующие значения: 1, 3, 5, 10, 20, 25, 28, 30 В. При каждом напряжении произвести измерение угла отклонения α стрелки прибора в делениях, полученные данные занести в табл. 1.1.
4. Вычислить чувствительности по напряжению в восьми точках шкал двух вольтметров $S_V = \Delta\alpha / U$.

Таблица 1.1 Результаты вычисления чувствительности вольтметров

№	U, В	МЭВ		ЭМВ	
		α_{V1} , дел.	S_{V1} , дел /В	α_{V2} , дел.	S_{V2} , дел /В
Предел измерений ... В					
1					
...					
8					
Предел измерений ... В					
1					
...					
8					

В табл. 1.1: U - подаваемое напряжение с блока питания;
 МЭВ - магнитоэлектрический вольтметр;
 ЭМВ - электромагнитный вольтметр;
 α_{V1}, α_{V2} - угол отклонения стрелки в делениях МЭВ и ЭМВ соответственно;
 S_{V1}, S_{V2} - чувствительность МЭВ и ЭМВ соответственно.

- Построить графики зависимости чувствительности от подаваемого напряжения для каждого совпадающего предела $S_{V1} = f(U)$ и $S_{V2} = f(U)$, где: S_{V1} – чувствительность к напряжению магнитоэлектрического вольтметра по шкале $0 \div \dots В$; S_{V2} - чувствительность к напряжению электромагнитного вольтметра по шкалы $0 \div \dots В$.
- Определить цену деления вольтметров на каждом пределе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите метеорологические приборы, в которых используются электромеханические системы.
2. По каким признакам классифицируются электроизмерительные приборы?
3. Какие обозначения наносятся на шкалу прибора?
4. Каким образом в электромеханическом измерительном механизме создается противодействующий момент и для какой цели он необходим?
5. Назовите основные элементы конструкции магнитоэлектрического измерительного механизма. Каков принцип действия приборов магнитоэлектрической системы?
6. Назовите основные элементы конструкции электромагнитного измерительного механизма. Каков принцип действия приборов электромагнитной системы?
7. Сравните достоинства и недостатки измерительных механизмов магнитоэлектрической и электромагнитной систем.
8. Что понимают под чувствительностью электроизмерительного прибора?

2. ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы: выполнить поверку вольтметров магнитоэлектрической и электромагнитной систем на постоянном токе.

Приборы и оборудование:

1. Микроампервольтметр типа М-2004 с пределами измерения напряжения 1,5, 3, 7,5, 30, 75, 150, 300 В.
2. Вольтметр магнитоэлектрической системы типа М-106 с пределами измерений 3, 7,5, 15, 30, 75, 150, 300, 600 В.
3. Вольтметр электромагнитной системы типа АМВ с пределами измерений 7,5, 15, 30, 60 В.
4. Источник питания Б5-50.
5. Соединительные провода.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Качество средств и результатов измерений принято характеризовать указанием их погрешности. Погрешность средства измерения — разность между его показанием и

истинным (действительным) значением измеряемой величины. Погрешность характеризует точность результатов измерений, проводимых данным средством.

По характеру изменения погрешности измерений подразделяются на систематические, случайные и грубые (промахи).

Систематические погрешности – составляющие погрешности измерений, остающиеся постоянными или закономерно изменяющиеся при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях. Такие погрешности могут быть выявлены путем анализа возможных источников и уменьшены применением более точных приборов, калибровкой приборов с помощью рабочих мер и пр. К систематическим погрешностям относят погрешности градуировки шкалы аналоговых приборов; калибровки цифровых приборов; погрешности, обусловленные неточностью подгонки резисторов, температурными изменениями параметров элементов в приборах и т.д.

Случайные погрешности – составляющие погрешности измерений, изменяющиеся случайным образом. В появлении таких погрешностей нет каких-либо

закономерностей, они всегда имеют место в результатах измерений. Случайные погрешности могут возникнуть из-за нестабильности переходного сопротивления в контактах коммутирующих устройств, трения в опорах подвижной части приборов и т. д. К случайным погрешностям относятся также погрешности от гистерезиса - вариации показаний выходного сигнала средства измерения.

Грубые погрешности (промахи) – погрешности, существенно превышающие ожидаемые при данных условиях измерения. Такие погрешности возникают из-за ошибок измерителя или неучтенных внешних воздействий.

Одна и та же погрешность в разных условиях может считаться как случайной, так и систематической. В частности, если осуществляется контроль температуры, при которой проводятся измерения, и имеется поправочная таблица, то температурную погрешность следует рассматривать как систематическую. При отсутствии контроля температур эта же погрешность учитывается как случайная. Разброс сопротивлений резисторов конкретного измерительного моста следует отнести к систематическим погрешностям, в то время как при изготовлении мостов этот же разброс сопротивлений резисторов относят к случайным погрешностям.

По способу выражения различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины и описывается формулой

$$\Delta X = X - X_{\text{д}}, \quad (2.1)$$

где: X - измеренное значение напряжения, тока и т.д.;

$X_{\text{д}}$ - действительное (истинное) значение.

Абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком, называется поправкой

$$\Delta X = -\Delta X$$

Алгебраическая сумма поправки и измеренного значения дает действительное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность — это отношение абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{\text{д}}} 100\% \quad (2.2)$$

Приведенная погрешность — отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению

измеряемой физической величины:

$$\gamma X = \frac{\Delta X}{X_N} 100\% \quad (2.3)$$

где X_N – нормирующее значение измеряемой величины.

Нормирующее значение X_N выбирают в зависимости от вида и характера шкалы прибора – рис. 2.1. Это значение принимают равным:

- конечному значению рабочей части шкалы. $X_N = X_K$, если нулевая отметка – на краю или вне рабочей части шкалы (на рис.2.1а - $X_N = 50$; на рис. 2.1б - $X_N = 55$);

- сумме конечных значений шкалы (без учета знака), если нулевая отметка – внутри шкалы (рис.2.1в - $X_N = 20 + 40 = 60$);

- длине шкалы, если она существенно неравномерна (рис.2.1г).

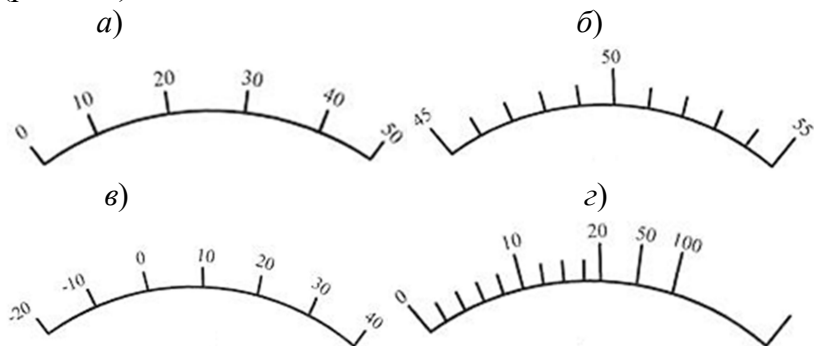


Рис. 2.1 Виды шкал аналоговых средств измерений

Чаще всего относительная погрешность зависит от показания прибора (положения стрелки) с односторонней шкалой так, как показано на графике – рис. 2.2. Поделив шкалу прибора (от нуля до X_N) на четыре части, видно, что относительная погрешность максимальна в части I шкалы прибора и минимальна в части IV. Это позволяет сделать важный практический вывод: для получения наименьшей относительной погрешности измерения необходимо выбирать предел измерения, на котором стрелка отклоняется на вторую половину шкалы.

Сравним два значения напряжения 40 В и 400 В, измеренные вольтметром с нормирующим значением 400 В с одной и той же абсолютной погрешностью 2 В.

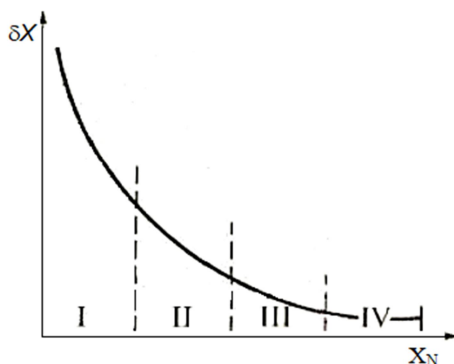


Рис. 2.2. График зависимости относительной погрешности от положения стрелки измерительного прибора с односторонней шкалой

Найдем относительные погрешности измерения по формуле (2.2):

$$\delta U_1 = \frac{\Delta U}{U_1} 100\% = \frac{2B}{40B} 100\% = 5\%$$

$$\delta U_2 = \frac{\Delta U}{U_2} 100\% = \frac{2B}{400B} 100\% = 0,5\%$$

Погрешности двух измерений напряжения одним и тем же вольтметром отличаются в 10 раз. Это объясняется тем, что при измерении $U_1 = 40$ В стрелка вольтметра находилась в первой части шкалы, а при измерении $U_2 = 400$ В – в четвертой.

По зависимости абсолютной погрешности от измеряемой величины различают (рис. 2.3):

- *аддитивные* погрешности, не зависящие от измеряемой величины;
- *мультипликативные*, которые прямо пропорциональны измеряемой величине;
- *нелинейные*, имеющие нелинейную зависимость от измеряемой величины;
- погрешность *гистерезиса*, проявляющуюся в неоднозначной зависимости от измеряемой величины.

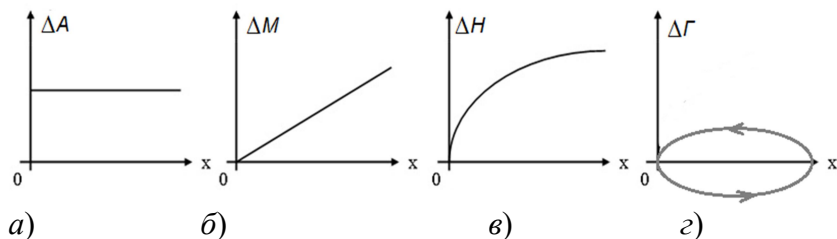


Рис. 2.3. Аддитивная (а), мультипликативная (б), нелинейная (в) погрешности и погрешность гистерезиса (г)

Аддитивная погрешность остается постоянной при любых значениях измеряемой величины. Причиной возникновения систематической аддитивной погрешности может быть неточная установка на нуль стрелки прибора перед измерением, термо-ЭДС в цепях постоянного тока. Случайная аддитивная погрешность возникает при трении в опорах прибора.

Мультипликативная погрешность зависит от чувствительности средства измерений и изменяется пропорционально текущему значению входной величины. Причинами возникновения мультипликативных погрешностей могут быть изменение коэффициента усиления усилителя, изменение жесткости мембраны датчика манометра или пружины прибора, изменение опорного напряжения в цифровом вольтметре, изменение

сопротивления медного терморезистора вследствие окисления.

Гистерезис - разность между показаниями средства измерений при возрастании и при убывании измеряемой величины в данной точке диапазона измерений и неизменных внешних условиях. Погрешность гистерезиса возникает за счёт трения в опорах указателя значения измеряемой величины, люфта в механических узлах, гистерезиса в ферромагнитных материалах, явления поляризации в электрохимических процессах и т. д. Количественной оценкой погрешности гистерезиса является вариация W , определяемая по формуле

$$W = \frac{X_{\text{пр}} - X_{\text{обр}}}{X_{\text{в}} - X_{\text{н}}} \quad (2.4)$$







где $X_{\text{пр}}$ и $X_{\text{обр}}$ – показания прибора при прямом и обратном ходах;

$X_{\text{в}} - X_{\text{н}}$ – диапазон измерений.

Основной характеристикой электроизмерительного прибора является класс точности. Он обозначается числом на шкале прибора (см. рис. 1.1) и представляет собой предельную погрешность измерений, выраженную в абсолютной, относительной или приведенной форме –

табл. 2.1. Для электроизмерительных приборов установлено восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0. Приборы класса точности 0,05 - наиболее точны.

Таблица 2.1 Классы точности средств измерений

Обозначение класса точности	Пример	Формула предельной основной погрешности	Средства измерения, обозначаемые таким способом
		Относительная $\delta = \pm 100 \frac{\Delta}{x}$	Мосты, счетчики, измерительные трансформаторы
c/d		Относительная $\delta = \pm \left(c + d \left(\left \frac{x_N}{x} \right - 1 \right) \right)$	Цифровые средства измерений
K		Приведенная $\gamma = \pm 100 \frac{\Delta}{x_N}$	Аналоговые средства измерений
		Приведенная $\gamma = \pm 100 \frac{\Delta}{I}$	Омметры

Инструментальная погрешность обусловлена устройством прибора, качеством изготовления и состоянием. Эту погрешность образуют, в частности, следующие факторы:

- неточная градуировка и установка шкалы у электроизмерительных приборов;

- трение подвижных частей в стрелочных электроизмерительных приборах;
- остаточные деформации в различных узлах и в чувствительных элементах датчиков;
- изменение электрических и магнитных свойств материалов, «старение» магнитов, изменение проводимости катушек, шунтов и добавочных сопротивлений, окисление контактов;
- собственное потребление энергии электроизмерительными приборами.

Класс точности прибора не является непосредственным показателем точности измерений. Рассмотрим два миллиамперметра: первый - класса точности 1% с верхним пределом 20 мА, и второй - класса точности 2,5% с верхним пределом 5 мА. Каким прибором можно измерить ток, например 4 мА, с большей точностью?

Поскольку стрелка второго миллиамперметра (более низкого класса точности) при измерении будет находиться в четвёртой части шкалы, а стрелка первого миллиамперметра - в первой, точность измерения 4 мА вторым миллиамперметром выше. Убедимся в этом,

вычислив относительные погрешности измерения по формулам (2.2-2.3):

$$\delta I_1 = \frac{\gamma_1 \cdot I_{N1}}{I} = \frac{1\% \cdot 20\text{мА}}{4\text{мА}} = 5,0\%$$

$$\delta I_2 = \frac{\gamma_2 \cdot I_{N2}}{I} = \frac{2,5\% \cdot 5\text{мА}}{4\text{мА}} = 3,125\%$$

Следовательно, второй миллиамперметр (более низкого класса точности, но с меньшим пределом измерения) позволяет измерить ток с меньшей погрешностью.

Для обеспечения гарантированной точности измерений проводится периодическая поверка измерительной аппаратуры. *Поверкой* называется определение соответствия действительных характеристик измерительного средства техническим условиям или государственным стандартам. При осуществлении поверки применяются измерительные средства повышенной точности по сравнению с поверяемыми.

Для поверки приборов постоянного тока в качестве образцовых принимаются магнитоэлектрические приборы, а для поверки приборов переменного тока - электродинамические.

Верхний предел измерений образцового прибора должен быть таким же, как и поверяемого, или не превышать его более чем на 25%. Допустимая погрешность образцового прибора должна быть в 3-5 раз ниже погрешности поверяемого прибора.

Многопредельные приборы поверяют на одном, двух основных пределах, а на других - в некоторых точках.

Проверку соответствия поверяемого прибора указанному классу точности рассмотрим на примере. Вольтметр класса точности 1,0 с пределом измерения 300 В, имеющий максимальное число делений 150, поверен на отметках 30, 60, 100, 120 и 150 делений, при этом абсолютные погрешности в этих точках составили 1,8; 0,7; 2,5; 1,2 и 0,8 В. Вычислим наибольшую абсолютную погрешность такого вольтметра

$$\Delta U = \frac{\gamma \cdot U_N}{100\%} = \frac{1\% \cdot 300В}{100\%} = 3В$$

Так как значение абсолютной погрешности на всех поверяемых отметках менее 3 В, то прибор соответствует классу точности 1,0.

Рассмотрим пример назначения класса точности

прибору путем определения приведенной погрешности измерения. В результате калибровки вольтметра магнитоэлектрической системы со шкалой 0...50 В и шагом шкалы 10 В получены следующие показания образцового U_0 и поверяемого U_x вольтметров:

$U_0, В$	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0
$U_x, В$	0,2	10,2	19,9	30,3	39,5	50,9

Максимальная абсолютная погрешность измерения $\Delta U_{max} = 50,9 - 50 = 0,9 В$, тогда

$$\gamma = \pm 100 \frac{0,9 В}{50 В} = 1,8 \%$$

Полученное значение не попадает в существующие классы точности прибора, поэтому присваиваем данному вольтметру ближайший больший класс точности - 2,5%.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. На постоянном токе поверить вольтметры магнитоэлектрической системы типа М-106 на пределе измерения 75 В и электромагнитной системы типа АМВ на

пределе 60 В.

2. В качестве образцового вольтметра использовать вольтметр типа М-2004 класса точности 0,2 на пределе измерения напряжения 75 В.

3. Определить цену деления вольтметров. Собрать схему, приведенную на рис. 2.3. Собранную схему представить для проверки преподавателю или инженеру лаборатории.

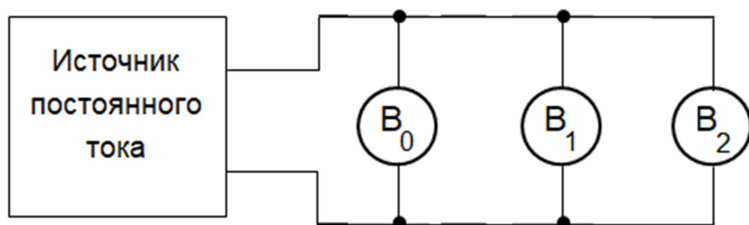


Рис. 2.3 Схема для проведения поверки двух вольтметров
Источник постоянного тока - источник питания Б5-50

V_0 - образцовый вольтметр М-2004;

V_1 - исследуемый вольтметр магнитоэлектрической системы М-106;

V_2 - исследуемый вольтметр электромагнитной системы АМВ.

4. Перед проведением измерений, не включая источника питания, провести коррекцию положения стрелок приборов механическим корректором, поставив их на ноль.

5. Поверку производить во всех оцифрованных точках

шкалы прибора до значения 60 В. Измерения выполнять дважды: при увеличении и при уменьшении напряжения. Результат измерений по каждому поверяемому вольтметру занести в таблицы. Пример таблицы для записи результатов поверки – табл. 2.2.

6. По результатам измерений определить абсолютную погрешность измерительного прибора и наибольшие поправки измерений для всех оцифрованных делений шкалы. За истинное значение напряжения принять показания образцового прибора.

Таблица 2.2 Результаты поверки вольтметра

Поверяемый вольтметр Предел изм. 0 - ... В
Класс точности Цена деления

№	U_0 , В	При увеличении напряжения				При уменьшении напряжения				Попра вки	Гистере- зис
		U_x , В	ΔU , В	δU , %	γU , %	U_x , В	ΔU , В	δU , %	γU , %	$-\Delta U_{\max}$ В	$\Delta U_{\Gamma} = U_{\text{пр}} - U_{\text{обр}}$, В
1	10										
...	...										
6	60										

В табл. 2.2 U_0 – показания эталонного вольтметра,
 U_x – показания поверяемого вольтметра.

7. Построить график зависимости абсолютной

погрешности от измеряемого напряжения $\Delta U = f(U_0)$. При построении графика по горизонтальной оси отложить значения измеряемой величины (показания U_0), по вертикальной оси - значение ΔU с учетом знака. Построить «коридор» погрешностей, соединив прямыми линиями точки с наибольшим отклонением.

8. Убедиться в отсутствии или наличии гистерезисной составляющей инструментальной погрешности. Для этого определить разницу в показаниях приборов при подходе к фиксированному значению напряжения сверху и снизу. Вычислить вариацию W по формуле (2.4) как отношение максимальной разности в показаниях при прямом и обратном направлении изменения напряжения к пределу измерений.

9. Определить относительную и приведенную погрешности исследуемых вольтметров. Построить на одном графике зависимости относительной и приведенной погрешностей от измеряемого напряжения для двух исследуемых вольтметров.

10. Сделать вывод, соответствуют ли поверяемые вольтметры своим классам точности. Дать заключение о результатах поверки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое класс точности измерительного прибора?
2. Назовите виды погрешностей измерительного прибора.
3. Что понимается под поверкой средств измерений?
4. Каким должно быть соотношение классов точности образцового и поверяемого вольтметров?
5. Определить для вольтметра с пределом измерения 30 В класса точности 0,5 относительную погрешность для точек 5, 10, 15, 20, 25 и 30 В и наибольшую абсолютную погрешность прибора.
6. Имеются два вольтметра. Класс точности первого $\textcircled{2}$, шкала от 0 до 100 В, класс точности второго 1.0, шкала от -50 до 100 В. Какой из двух вольтметров следует использовать, чтобы получить минимальную абсолютную погрешность, если предполагаемое значение напряжения около 40 В?
7. Имеются два прибора, предназначенные для измерения величины X . Шкалы приборов одинаковы:

0... X_k . Класс точности одного из них $\textcircled{1}$, другого 0,5/0,25. При каком значении X абсолютные погрешности обоих приборов окажутся равными?

8. Класс точности вольтметра 1. При измерении напряжения в розетке предел диапазона измерения вольтметра выбран 1000 В. Чему равна абсолютная погрешность измерения?

9. При измерении напряжения двумя параллельно включенными вольтметрами их показания были: $U_1 = 29,2$ В, $U_2 = 30$ В. Показания какого прибора точнее, если класс точности $K_{V1} = 2,5$, $K_{V2} = 1,0$, а пределы измерения соответственно равны $U_{N1} = 30$ В; $U_{N2} = 150$ В.

3. ОСНОВНАЯ И ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: оценить дополнительную погрешность вольтметра электромагнитной системы, обусловленную влиянием частоты измеряемого напряжения.

Приборы и оборудование:

1. Вольтметр электромагнитной системы типа АМВ.
2. Электронный вольтметр универсальный типа В7-17.
3. Генератор ГЗ-18.
4. Соединительные провода.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для каждого средства измерения в нормативно-технических документах оговариваются условия эксплуатации — совокупность влияющих величин (температура окружающей среды, влажность, давление, напряжение и частота питающей сети и др.), при которых нормируется его погрешность. Как правило, нормальными

условиями эксплуатации являются: температура $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха $65 \pm 15\%$ при 20°C , напряжение в сети питания $220 \text{ В} \pm 10\%$ с частотой $50 \text{ Гц} \pm 1\%$, атмосферное давление от 974 до 1040 гПа, отсутствие электрических и магнитных полей. Погрешность средства измерения, возникающая при нормальных условиях эксплуатации, называется *основной*. Основная инструментальная погрешность находится по классу точности.

При работе прибора не в нормальных, а в рабочих условиях, когда одна или несколько влияющих величин выходят за пределы области нормальных значений, возникает *дополнительная* инструментальная погрешность.

Дополнительную погрешность нормируют в виде коэффициента, указывающего «на сколько» или «во сколько» изменяется погрешность при отклонении фактического значения от нормального. Например, указание, что температурная погрешность вольтметра составляет $\pm 1\%$ на 10°C , означает, что при изменении температуры среды на каждые 10°C добавляется дополнительная погрешность 1%.

На электродинамические и электромагнитные вольтметры существенное влияние оказывает частота измеряемого напряжения. Расхождения показаний вольтметра на постоянном и переменном токе определяют частотную погрешность δU_f , которая рассчитывается следующим образом:

$$\delta U_f = \frac{U_- - U_{\sim}}{U_-} \cdot 100\% = 1 - \sqrt{\frac{\omega^2 L^2 + r_a^2}{r^2}} \cdot 100\%$$

где U_- , U_{\sim} – показания вольтметра на постоянном и переменном токе соответственно;

r – сопротивление вольтметра на постоянном токе;

r_a – активное сопротивление цепи вольтметра на переменном токе;

ωL - индуктивное сопротивление, наличие которого является главной причиной появления частотной погрешности при переходе от постоянного тока к переменному.

Полную погрешность измерения находят путём статистического суммирования предельных значений составляющих Δ_i , которыми могут быть:

- основная погрешность Δ_0 ;
- дополнительные погрешности Δ_d ;
- погрешность отсчитывания $\Delta_{\text{отсч}}$;
- погрешность взаимодействия $\Delta_{\text{вз}}$.

$$\Delta_{\text{полн}} = \pm K \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2} \quad (3.1)$$

Значение K зависит от законов распределения случайных величин Δ_i и от задаваемого значения доверительной вероятности P . Если законы распределения неизвестны, рекомендуется принять, для всех составляющих закон равномерной плотности, тогда значения K при разных значениях P соответствуют приведённым в таблице:

P	0,9	0,95	0,99
K	0,95	1,1	1,4

Если окажется, что погрешность одноразового измерения превышает допустимую по условиям эксперимента, то применяют более точные средства измерения, или выполняют измерения с многократными наблюдениями.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с лицевой панелью и органами управления генератора звуковой частоты на биениях ГЗ-18, являющегося источником напряжения разных частот. Установить ручку "Сопротивление нагрузки" в положение "600", "Шкалу прибора"- 30 В, "Пределы шкал" - в положение 30 В.
2. Установить пределы измерения напряжения вольтметров В7-17 и АМВ на 30 В.
3. Собрать схему, приведенную на рис. 3.1. Собранную схему представить для проверки преподавателю.

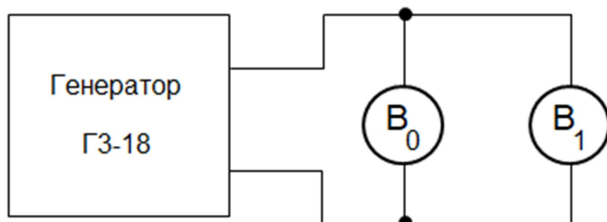


Рис. 3.1 Схема для исследования дополнительной погрешности вольтметра АМВ

V_0 - электронный вольтметр универсальный В7-17;

V_1 - вольтметр электромагнитной системы АМВ.

Универсальный электронный вольтметр В7-17 рассчитан на работу в значительно более широком диапазоне частот, чем измерительный механизм

электромеханической системы вольтметра АМВ, поэтому в диапазоне частот от 50 Гц до 5000 Гц его частотной погрешностью пренебрегаем. С помощью вольтметра В7-17 будем поддерживать постоянство выходного напряжения генератора ГЗ-18.

4. Установить частоту генератора 50 Гц и с помощью регулятора выходного напряжения установить стрелку испытываемого вольтметра АМВ на отметку $U_x = 25 \text{ В}$. Записать показание электронного вольтметра В7-17 U_0 . В дальнейшем регулятором выходного напряжения генератора поддерживать постоянство значения U_0 при измерениях на других частотах.

5. Измерения напряжения вольтметром АМВ производить на частотах генератора 50, 200, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 3000, 4000 и 5000 Гц. Результаты измерений занести в табл. 3.1.

6. По результатам измерений определить дополнительную абсолютную и дополнительную приведенную погрешности прибора, обусловленные частотными свойствами исследуемого электромагнитного измерительного механизма:

- дополнительная абсолютная погрешность:

$$\Delta U_{\text{доп.}} = U_x(f) - U_x(f=50 \text{ Гц});$$

- дополнительная приведенная погрешность:

$$\gamma U_{\text{доп.}} = \pm \frac{\Delta U_{\text{доп.}}}{U_N} 100\%$$

где $U_x(f=50 \text{ Гц})$ - измеренное исследуемым прибором напряжение на частоте 50 Гц;

$U_x(f)$ - измеренное исследуемым прибором напряжение на частоте отсчета f , превышающей $f=50 \text{ Гц}$;

U_N - нормирующее значение рабочей части шкалы прибора.

Таблица 3.1 Измерение напряжения вольтметром АМВ на разных частотах

Тип испытуемого прибора №..... $U_N = \dots\dots$

Цена деления

№	Частота, Гц	U_0 (В7-17), В	$U_x(f)$ (АМВ), В	$\Delta U_{x \text{ доп.}}$, В	$\gamma U_{\text{доп.}}$, %
1	50				
2	200				
3	400				
4	600				
5	1000				
6	1500				
7	2000				
8	3000				
9	4000				

№	Частота, Гц	U_0 (B7-17), В	$U_x(f)$ (АМВ), В	$\Delta U_{x \text{ доп.}}$, В	$\gamma U_{\text{доп.}}$, %
10	5000				

Результаты вычислений также занести в табл. 3.1.

7. Построить график зависимости дополнительной приведённой погрешности вольтметра АМВ от частоты измеряемого напряжения $\gamma U_{\text{доп}} = F(f)$. По оси частот целесообразно выбрать логарифмический масштаб.

8. Сравнив основную и дополнительные инструментальные погрешности, определить частоту напряжения, при котором дополнительная погрешность превышает основную.

9. Записать результат измерения вольтметром АМВ напряжения 30 В с частотой 300 Гц в стандартной форме: $U = U_{\text{изм}} \pm \Delta U_{\text{полн}}$. Полную погрешность $\Delta U_{\text{полн}}$, состоящую из основной и дополнительной погрешностей, вычислить по формуле (3.1) для доверительной вероятности 0,95.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие погрешности измерительных приборов вы знаете?

2. Что такое дополнительные погрешности?
3. Записать результат измерения напряжения магнитоэлектрическим вольтметром класса точности 0,2 с пределом шкалы 250 В, если показание прибора 210 В, температура окружающего воздуха $+35^{\circ}\text{C}$, отклонение положения прибора от обозначенного на шкале 10° .

Температурный коэффициент в паспорте на прибор определен таким образом: «...дополнительная погрешность на каждые 10°C отличия от номинальной температуры $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ равна основной погрешности в пределах изменения температуры окружающей среды от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$ ».

Дополнительная погрешность от наклона прибора на каждые 5° не должна превышать граничную основную погрешность.

4. РАСШИРЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ ВОЛЬТМЕТРА И АМПЕРМЕТРА

Цель работы: измерить напряжение до 75 В прибором электромагнитной системы, рассчитанным на 30 В, с использованием добавочного резистора.

Приборы и оборудование:

1. Исследуемый прибор электромагнитной системы - вольтметр типа АМВ.
2. Вольтметр класса точности 0.2 с пределами измерения напряжения от 1 В до 250 В типа М-2042 или М-2004.
3. Источник питания Б5-50.
4. Магазин сопротивлений.
5. Соединительные провода.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Постоянные токи порядка $10^{-3} - 10^{-2}$ А измеряют, как правило, приборами непосредственной оценки – миллиамперметрами и амперметрами магнитоэлектрической, электромагнитной и

электродинамической систем, а также электронными аналоговыми и цифровыми приборами.

Для измерения больших постоянных токов (свыше 100 А) обычно применяют амперметры магнитоэлектрической системы с использованием шунтов, подключаемых параллельно измерительному механизму - рис. 4.1а. Шунты изготавливаются из манганина. Сопротивление шунта можно рассчитать по формуле:

$$R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1} = \frac{R_A}{I/I_A - 1}$$

где R_A — внутреннее сопротивление амперметра, Ом;

n — коэффициент шунтирования, показывающий, во сколько раз увеличивается предел измерения амперметра с включенным шунтом;

I — измеряемый ток, А;

I_A — ток, проходящий через амперметр, А.

На токи до 30-50 А применяют внутренние шунты, помещаемые в корпусе прибора. На большие токи шунты делают наружными, чтобы не допустить нагрев прибора мощностью, выделяемой в шунте.

Для расширения пределов измерения вольтметра на

постоянном токе применяются добавочные сопротивления. Добавочный резистор включают последовательно с вольтметром – рис. 4.1б, его сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R_{\text{доб}} = R_{\text{В}} (n - 1), \quad (4.1)$$

где $R_{\text{доб}}$ – добавочное сопротивление, Ом;

$R_{\text{В}}$ — сопротивление вольтметра, Ом;

n — коэффициент расширения предела измерения, т.е. число, показывающее, во сколько раз необходимо увеличить предел измерения вольтметра.

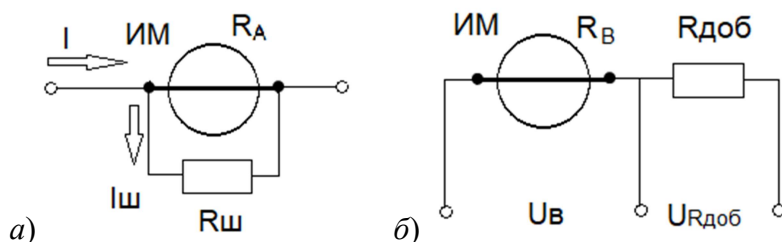


Рис. 4.1 Подключение шунтирующего резистора к амперметру (а) и добавочного резистора к вольтметру (б)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Установить предел измерения контрольного прибора U_N^k на 75 В, а испытуемого вольтметра U_N^x на 30 В.

2. Вычислить коэффициент расширения предела измерения $n = U_N^k / U_N^x$) и рассчитать величину добавочного сопротивления по формуле (4.1). Значение внутреннего сопротивления испытуемого вольтметра найти на его лицевой панели.
3. На магазине сопротивлений выставить рассчитанное добавочное сопротивление.
4. Собрать схему, приведенную на рис. 4.2. Собранную схему представить для проверки преподавателю.

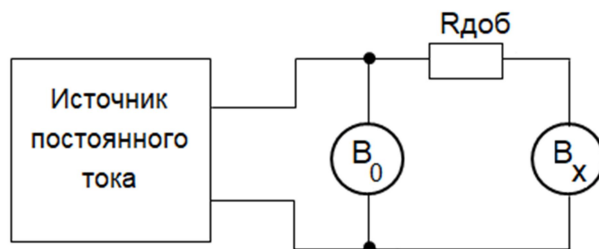


Рис. 4.2 Схема для расширения пределов вольтметра
 B_0 - контрольный вольтметр М-2004;
 B_x - испытуемый вольтметр АМВ;
 $R_{доб}$ - добавочное сопротивление.

5. Последовательно устанавливая на блоке питания напряжения с 75 В до 0 В, проводить измерения во всех оцифрованных точках шкалы испытываемого прибора. Результат измерений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1 Результаты измерений напряжения
вольтметром АМВ

№ п/п	Напряжение с блока питания U_0 , В	Показания вольтметра М- 2004		Показания вольтметра АМВ	
		$U_{М-2004}$, дел	$U_{М-2004}$, В	$U_{АМВ}$, дел	$U_{АМВ}$, В
1	75				
2	70				
3	60				
...	...				
9	0				

6. Вычислить абсолютную погрешность показаний
расширенного вольтметра АМВ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как обеспечивается расширение предела измерения в n раз у амперметров?
2. Как обеспечивается расширение предела измерения в n раз у вольтметров?
3. Для получения высокой точности и чувствительности магнитоэлектрических приборов их подвижные легкие обмотки выполняют из тонкой изолированной проволоки, сопротивлением около 5 Ом. Такие обмотки допускают

незначительные по величине токи, не превышающие 30 мА. Какое максимальное напряжение можно измерить магнитоэлектрическим прибором?

4. Определите сопротивление шунта для измерительного механизма с током полного отклонения стрелки 5 мА и сопротивлением $R = 3 \text{ Ом}$, если нужно измерить ток 150 мА.

5. Какой ток можно измерить прибором, имеющим внутреннее сопротивление 10 Ом и рассчитанным на 10 мА, если его включить с шунтом, сопротивление которого 0,01 Ом?

6. Каким должно быть сопротивление добавочного резистора к магнитоэлектрическому измерительному механизму с сопротивлением рамки 1 Ом и падением напряжения на ней 10 мВ, для получения вольтметра с пределом $U_N = 10 \text{ В}$?

7. До какого значения напряжения будет расширен предел измерения магнитоэлектрического вольтметра с сопротивлением рамки 1 Ом и падением напряжения на ней 10 мВ при включении добавочного резистора $R_{доб} = 1000 \text{ Ом}$?

8. Необходимо измерить ток потребителя в пределах 20

— 25 А. Имеется микроамперметр с пределом измерения 200 мкА, внутренним сопротивлением 300 Ом и максимальным числом делений 100. Определите сопротивление шунта для расширения предела измерения до 30 А и относительную погрешность измерения на отметке 85 делений, если класс точности прибора 1,0.

5. ЭЛЕКТРОННЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Цель работы: выполнить поверку электронных вольтметров на постоянном и переменном токе.

Приборы и оборудование:

1. Универсальный электронный вольтметр с пиковым преобразователем (ВК7-9).
2. Электронный вольтметр с линейным преобразователем (ВЗ-57).
3. Вольтметр магнитоэлектрической системы (М-2004, М-2042 класса 0,2 или аналогичные, класса 0,2 – 0,5);
4. Измерительный генератор НЧ и ВЧ (ГЗ-56/1).
5. Источник питания (Б5-43).

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Электронные измерительные приборы, используемые при эксплуатации и ремонте метеорологической аппаратуры, содержат различные электронные устройства, которые подразделяются на

аналоговые и цифровые. В аналоговых электронных приборах производятся измерения непрерывной величины обычно с помощью магнитоэлектрического прибора. В цифровых измерительных приборах измеряемый сигнал преобразуется в электрический код и отображается затем в цифровой форме.

Электронный вольтметр постоянного тока, структурная схема которого приведена на рис. 5.1, состоит из входного устройства, усилителя постоянного тока и магнитоэлектрического измерительного механизма. В качестве входного устройства применяют высокоомный резистивный делитель, с которого сигнал поступает на вход усилителя постоянного тока, предназначенного для увеличения чувствительности прибора. Магнитоэлектрический прибор, обладающий равномерной шкалой и высокой точностью, служит для считывания результата.



Рис. 5.1 Структурная схема электронного вольтметра постоянного тока

Электронный вольтметр переменного тока содержит дополнительный элемент — преобразователь переменного напряжения в постоянное, поскольку магнитоэлектрический измерительный механизм работает только в цепи постоянного тока. В зависимости от вида преобразования показание вольтметра может быть пропорционально амплитудному (пиковому), средневывпрямленному или среднеквадратическому значению измеряемого напряжения.

Достоинства электронных измерительных приборов:

1. высокая чувствительность обусловленная применением усилителей;
2. малое потребление энергии из цепи, в которой производят измерение, что определяется высоким входным сопротивлением приборов (более 1 МОм);
3. широкий диапазон частот (от 20 Гц до 1000 МГц), в котором чувствительность неизменна.

Недостатки:

1. необходимость в источниках питания электронных устройств, входящих в прибор;
2. сложность и сравнительно невысокая надежность,

обусловленные большим числом элементов.

Электронные вольтметры, имеющие в своем составе усилители постоянного тока (ВК7-9, В7-15, В7-17), обычно требуют "установки нуля". Это осуществляется на самой чувствительной шкале при замкнутых входных клеммах, соответствующих этой шкале. Причем для универсальных электронных вольтметров сначала устанавливается нуль шкалы постоянного тока, затем - нуль шкалы переменного тока.

В некоторых электронных вольтметрах, имеющих усилитель переменного тока, производится калибровка (градуировка) этих усилителей. Для этого предусмотрен специальный режим, при котором в схеме прибора происходит включение источника известного калибровочного напряжения. В этом режиме стрелка прибора устанавливается соответствующей регулировкой на калиброванную отметку шкалы.

Большинство современных стрелочных электронных вольтметров имеют две шкалы - одна - с пределом кратным 10, другая - с пределом, кратным 3. Универсальные вольтметры, например ВК7-9, В7-15, В7-17, кроме того, могут иметь отдельную шкалу переменного тока 1 В.

Пользоваться шкалами необходимо в зависимости от положения переключателя пределов измерения: например, при выборе предела 1 В, 100 мВ и т.д. отсчет производится по шкале "10", а при пределе 3 В, 300 мВ и т.д.- по шкале "3". При использовании шкалы уровней в относительных единицах (дБ) отсчет производится алгебраическим суммированием показаний прибора в дБ и предела шкалы также в дБ. За нулевой уровень в электронных вольтметрах общего применения принят сигнал напряжением 0,775 В.

Вольтметр ВК7-9 представлен на рис. 5.2а. Он имеет основную погрешность при измерении постоянного напряжения $\pm 2,5\%$; при измерении переменного напряжения $\pm 4\%$. Дополнительная погрешность ВК7-9 в интервале температур от -30°C и до $+50^{\circ}\text{C}$ не превышает половины основной погрешности прибора на каждые 10°C изменения температуры. Дополнительная погрешность, вызванная изменением напряжения питания частоты 50 Гц от номинального значения на 110% или напряжения питания частоты 400 Гц от номинального значения на 5% не превышает половины основной погрешности.

Электронный вольтметр с линейным преобразователем ВЗ – 57 представлен на рис. 5.2б. Он предназначен для измерения среднеквадратического

значения напряжений произвольной формы и их линейного преобразования в напряжение постоянного тока. Шкала ВЗ-57 проградуирована в среднеквадратических значениях напряжения и децибелах (0 дБ - 0,775 В). Пределы основной погрешности измерения: ± 1 (30-300 мВ); $\pm 1,5$ (1-10 мВ); $\pm 2,5$ (0,1-0,3 мВ и 1-300 В); ± 4 (0,03 мВ).



Рис. 5.2 Электронный вольтметр ВК7-9 (а); ВЗ – 57 (б)

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

1. Подготовить приборы к работе.

Подготовка электронных вольтметров осуществляется в холодном (выключенном) состоянии.

Калибровка прибора выполняется регулировочным потенциометром, который чаще всего выведен на лицевую

панель и обозначен символом ▼ или надписью «Калибр».

После включения и прогрева прибора при закороченном входе с целью уменьшения систематической погрешности стрелка устанавливается на нуль специальным регулировочным потенциометром, выведенным на лицевую панель прибора и обозначенным символом ► 0 ◄ или надписью «Уст.0».

2. Собрать схему измерений, приведенную на рис. 5.3.

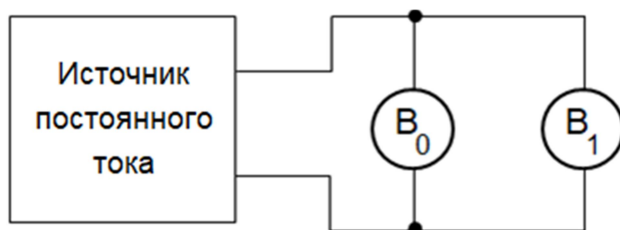


Рис. 5.3 Схема поверки электронного вольтметра на постоянном токе

V_0 - образцовый вольтметр магнитоэлектрической системы М-2004;

V_1 - электронный вольтметр с пиковым преобразователем ВК7 – 9.

3. Поверку универсального электронного вольтметра произвести на шкале с пределом 10 В постоянного напряжения.

Переключатели пределов измерения на электронном

вольтметре ВК7-9 установить в положение 10 В, а на образцовом вольтметре магнитоэлектрической системы М-2004 - в положение 30 В.

Образцовый вольтметр М-2004 подключить к низкочастотным клеммам электронного вольтметра.

Включенный и подготовленный к работе электронный вольтметр типа ВК7-9 низкочастотным входом подключить к источнику питания $0 \div 15$ В. Выносную головку-пробник вставить в гнездо передней панели электронного вольтметра.

4. Произвести поверку шкалы электронного вольтметра во всех оцифрованных точках при увеличении напряжения до 8 В и при уменьшении до 1 В. Результаты измерений занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1 - Результаты поверки электронного вольтметра на постоянном токе

№	U_0 , В	При увеличении напряжения				При уменьшении напряжения			
		U_x , В	ΔU , В	δU , %	γU , %	U_x , В	ΔU , В	δU , %	γU , %
1									
2									
...									
8									

5. По результатам измерений рассчитать абсолютные, относительные и приведенные погрешности испытываемого прибора. Результаты расчетов занести в табл. 5.1.
6. Определить среднее значение поправки (в В) и класс точности прибора. Сделать выводы о необходимости коррекции.
7. Вычислить вариацию показаний прибора W по формуле (2.4).
8. Собрать схему измерений по рис. 5.4. Перед сборкой схемы на генераторе ГЗ-18:
 - произвести установку нуля частоты генератора (по нулевым биениям);
 - установить на передней панели ручки "Сопротивление нагрузки" - в положение "600", "Шкала прибора" и "Пред.шкал" - в положение 30 В;
 - установить переменный резистор "Рег.выхода" на минимум, в крайнее левое положение;
 - установить частоту выходного напряжения генератора 1000 Гц.
9. Включенные и подготовленные к работе исследуемые электронные вольтметры ВК7-9 (или В7-17) и ВЗ-57 подключить к выходу генератора. При этом

используется низкочастотный вход универсального вольтметра, его высокочастотный пробник вставляется до упора в гнездо на передней панели прибора. Переключатели пределов измерений на вольтметрах установить в положение 30 В.

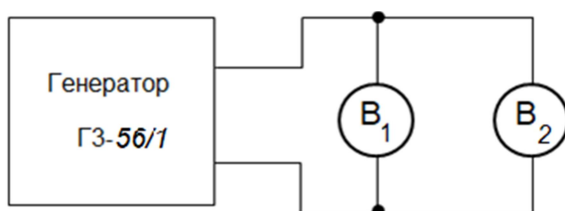


Рис. 5.4 Схема поверки электронных вольтметров на переменном токе

V₁ - электронный вольтметр с пиковым преобразователем ВК7 - 9;

V₂ - электронный вольтметр с линейным преобразователем ВЗ - 57.

10. Произвести измерение трех значений напряжения 10, 20 и 30 В. Выходное напряжение генератора устанавливать по прибору генератора. Установка напряжения в пределах 10-30 В производится регулятором "Рег.выхода" на лицевой панели генератора. Для каждого номинала напряжения выполнить не менее пяти отсчетов. Целесообразно напряжение генератора изменять от минимума до максимума и обратно, останавливаясь на выбранных

значениях и производя отсчеты. Результаты измерений занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2 Результаты поверки электронных вольтметров на переменном токе

№ измерения	Вид преобразователя и тип электронного вольтметра					
	Пиковый, ВК7-9			Линейный, ВЗ-57		
	10 В	20 В	30 В	10 В	20 В	30 В
1						
2						
3						
4						
5						
\bar{U}						
ΔU_{\max}						
γ_{\max}						

11. Определить среднее значение показаний всех приборов для каждого значения измеряемого напряжения и рассчитать для каждого прибора отклонение его показаний от среднего значения:

$$\Delta U = U_x - \bar{U} \quad .$$

Для максимального отклонения определить приведенную погрешность.

Сделать вывод о том, находятся ли значения этих отклонений в пределах допустимых норм, определяемых

техническими данными приборов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего служат вольтметры?
2. Назовите недостатки вольтметров.
3. На какие типы подразделяются электронные вольтметры?
4. Для чего проводят поверку средств измерения?
5. Как определить основную погрешность и вариацию при поверке электронных вольтметров?
6. Ток 159 мА измеряется двумя приборами: электронным цифровым вольтметром с трехразрядным цифровым индикатором и аналоговым амперметром с классом точности 0,5 и пределом шкалы 250 мА. Каким прибором ток будет измерен точнее? Абсолютную погрешность ΔI цифрового прибора примите равной единице младшего разряда числа, высвечиваемого на цифровом индикаторе.

6. КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: изучить методику и технику косвенного измерения мощности в цепях постоянного тока, оценить методическую погрешность измерения мощности.

Приборы и оборудование:

1. Вольтметр магнитоэлектрической системы (М-2004, М-2042 класса 0,2 или аналогичные, класса 0,2 – 0,5);
2. Миллиамперметр электромагнитной системы (АСТ, класса 0,5 с пределами измерений 50, 100 мА);
3. Вольтметр универсальный электронный (В7-15, В7-17 или ВК7-9).
4. Вольтметр электродинамической системы Д5015.
5. Реостат на 2500 Ом.
6. Источник питания Б5-50.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерения могут быть классифицированы по способу получения результата на прямые и косвенные.

При *прямых* измерениях искомая величина определяется непосредственно прибором: ток — амперметром, напряжение — вольтметром и т.д.

При *косвенных* измерениях искомая величина определяется посредством выполнения определенных математических действий с использованием результатов измерений, например измерение частоты осциллографом.

Мощность в электрических цепях измеряют *прямым* и *косвенным* способами. При прямом измерении используют ваттметры, варметры, а при косвенном — амперметры и вольтметры.

Косвенное измерение мощности на активной нагрузке *R* методом амперметра — вольтметра можно выполнить с помощью схемы на рис. 6.1. Оно заключается в перемножении показаний вольтметра U_V и амперметра I_A . Однако, мы получаем не совсем то значение, которое следовало бы, поскольку в этом эксперименте возникает погрешность, определяемая не классами точности приборов, а другими их характеристиками (внутренними сопротивлениями) и методом их использования (схемой включения). Т.е. возникает погрешность, которая является *методической*. Вольтметр в этой схеме реагирует на сумму

падения напряжений на нагрузке R и на внутреннем сопротивлении амперметра R_A - $(U_R + U_A)$. Показания вольтметра U_V , вычисленное P и действительное P_D значения мощности, соответственно, равны:

$$U_V = I_A (R_A + R); \quad P = U_V I_A; \quad P_D = I^2 R.$$

Методические погрешности измерений возникают вследствие следующих причин:

- отличие принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойства, которое определяется путем измерения;

- влияние способа применения средств измерения. Например, при измерении напряжения вольтметром с конечным значением внутреннего сопротивления, вольтметр шунтирует участок цепи, на котором измеряется напряжение, и оно оказывается меньше, чем было до присоединения вольтметра;

- влияние алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений;

- влияние других факторов, не связанных со свойствами используемых средств измерения.

Отличительной особенностью методических

погрешностей является то, что они не могут быть указаны в нормативно-технической документации на используемый прибор, поскольку от него не зависят.

Таким образом, в данном случае (рис. 6.1) причина ошибки в наличии конечного (хоть и малого, но не нулевого) внутреннего сопротивления амперметра R_A . Значение методической погрешности результата измерения мощности можно оценить в абсолютном и относительном видах:

$$\Delta P = P - P_D = I^2 R_A;$$

$$\delta P = (\Delta P / P_D) \cdot 100\%.$$

Зная значение сопротивления амперметра R_A , можно, во-первых, оценить значение методической погрешности для данного случая, а во-вторых, скорректировать (исправить) результат вычисления мощности.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А. Измерение мощности по схеме рис. 6.1.

1. Собрать схему по рис. 6.1.

Для измерения напряжения использовать вольтметр Д5015, на котором установить предел измерения 75 В. Внутреннее сопротивление вольтметра на этом пределе измерений 8840 Ом.

Для измерения тока выбрать миллиамперметр АСТ с пределом измерения тока 50 мА. Внутреннее сопротивление прибора при выбранном пределе измерения тока 50 мА равно 224 Ом.

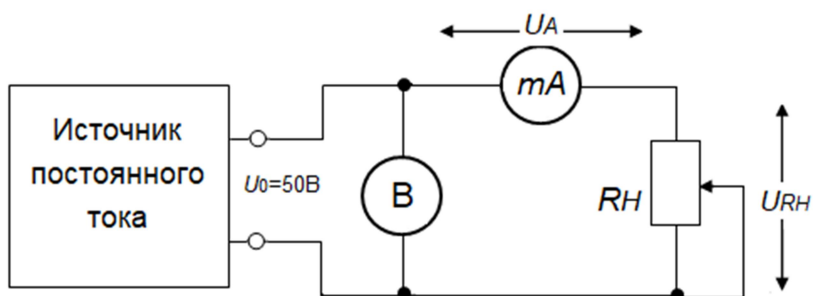


Рис. 6.1 Схема для косвенного измерения мощности методом амперметра-вольтметра

В - вольтметр Д5015

mA - миллиамперметр АСТ

R_H – реостат.

2. Подготовить к работе универсальный электронный вольтметр в режиме измерения сопротивлений.
3. Реостат установить в среднее положение.
4. Включить источник питания и установить на нем

50 В.

5. Изменяя сопротивление нагрузки, установить пять значений тока 20, 30, 40 и 50 мА. При этих токах измерить значения напряжения на нагрузке U_{RH} , напряжения на миллиамперметре U_A и сопротивления нагрузки R_H . Результаты измерений записать в табл. 6.1.

Напряжения на нагрузке U_{RH} и на миллиамперметре U_A измерять образцовым вольтметром М-2004, выставив на нем предел измерения не менее 50 В, касаясь щупами вольтметра поочерёдно клемм реостата и миллиамперметра.

Сопротивление нагрузки R_H измерять при каждом отсчёте омметром универсального электронного или цифрового вольтметра прямо с реостата (при отключённых проводах от реостата).

Таблица 6.1 Результаты измерений по схеме 6.1

$$U_0 = 50 \text{ В.}$$

$I, \text{ мА}$	20	30	40	50
$U_A, \text{ В}$				
$U_{RH}, \text{ В}$				
$R_H, \text{ Ом}$				
$P_u = U_0 I, \text{ Вт}$				
$P_D' = U_{RH} I, \text{ мВт}$				
$P_D'' = I^2 R_H, \text{ мВт}$				
$\delta P_{\text{мет}}, \%$				

6. По результатам измерений рассчитать:

- мощность

$$P_u = U_0 I$$

- действительную мощность сопротивления реостата (двумя способами)

$$P_{д'} = U_{RH} I \quad \text{и} \quad P_{д''} = I^2 R_H,$$

- величину относительной методической погрешности $\delta P_{мет}$.

Мощность, вычисленная по показаниям приборов в соответствии со схемой рис.6.1, будет больше действительной мощности $P_{д}$ на величину мощности, потребляемой миллиамперметром

$$P_A = U_A I,$$

а относительная погрешность при этом будет равна:

$$\delta P_{мет} = \frac{P_u - P_{д}}{P_{д}} \cdot 100\% = \frac{I^2 R_A}{I^2 R_H} \cdot 100\% = \frac{R_A}{R_H} \cdot 100\%$$

Результаты вычислений занести в табл. 6.1.

7. Построить графическую зависимость методической погрешности от сопротивления нагрузки $\delta P_{мет} = f(R_H)$.

Б. Измерение мощности по схеме рис. 6.2.

1. Собрать схему по рис. 6.2.

Для измерения напряжения использовать вольтметр Д5015. На нём установить предел измерения напряжения 75 В. Сопротивление вольтметра на этом пределе составляет 8840 Ом.

Для измерения тока использовать миллиамперметр АСТ с пределом измерения 50 мА.

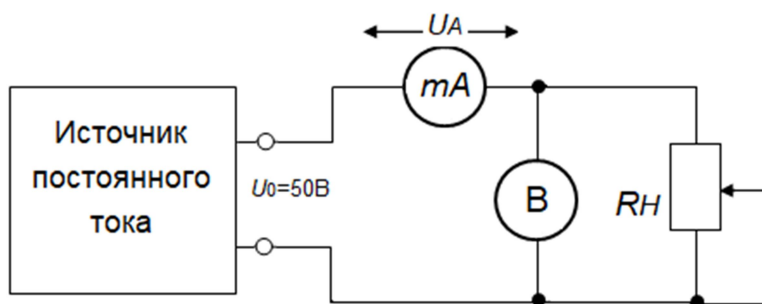


Рис. 6.2 Схема для косвенного измерения мощности методом амперметра-вольтметра

2. Движок реостата установить в среднее положение.
3. Включить источник питания и установить на нём 50 В.
4. Изменяя сопротивление нагрузки, установить пять значений тока $I = 20, 30, 40, 50$ мА. При каждом значении тока измерить напряжение на нагрузке U_{RH}

вольтметром Д5015, включённым в схему. Измерить сопротивление нагрузки R_H при каждом отсчете омметром универсального электронного или цифрового вольтметра прямо с реостата при отключенных от него проводах. Записать в табл. 6.2 значения напряжения на нагрузке при этих токах и сопротивления нагрузки.

Таблица 6.2 Результаты измерений по схеме 6.2
 $U_0 = 50 \text{ В}$.

$I_A, \text{ мА}$	20	30	40	50
$U_{RH}, \text{ В}$				
$R_H, \text{ Ом}$				
$P_u = U_{RH} I, \text{ мВт}$				
$P_D = P - P_B, \text{ мВт}$				
$\delta P_{\text{мет}}, \%$				

5. По результатам измерений рассчитать мощность P_u , действительную мощность P_D и относительную методическую погрешность $\delta P_{\text{мет}}$.

В схеме на рис. 6.2 измеренное значение мощности

$$P_u = U_{RH} I_A = U_{RH} (I_H + I_B)$$

будет больше действительной мощности

$$P_D = U_{RH} I_H$$

на величину мощности, потребляемой вольтметром

$$P_B = \frac{U_{RH}^2}{R_B}.$$

Относительная методическая погрешность в этом случае равна:

$$\delta P_{\text{мет}} = \frac{P_u - P_d}{P_d} \cdot 100\% = \frac{R_H}{R_B} \cdot 100\%$$

6. Построить графическую зависимость методической погрешности от сопротивления нагрузки $\delta P_{\text{мет}} = f(R_H)$.

Сравнив оба построенных графика, сделать вывод, какую схему измерения мощности следует выбирать в случаях большого и малого сопротивления нагрузки.

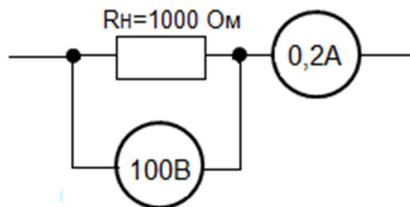
Вычислить относительную инструментальную погрешность косвенного измерения мощности по формуле:

$$\delta P_{\text{и}} = \sqrt{\delta I^2 + \delta U^2} = \sqrt{\left(\frac{I_N k_A}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{U_N k_V}{U_V}\right)^2}$$

где I_N и U_N – пределы измерения амперметра и вольтметра, соответственно, k_A и k_V – классы точности амперметра и вольтметра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какими методами и приборами можно измерять мощность в цепях постоянного и переменного тока?
2. Как рассчитывают мощность в цепи постоянного тока?
3. Каковы недостатки способа измерения мощности методом амперметра и вольтметра?
4. Как включить в цепь амперметр и вольтметр для измерения мощности в цепи с большим сопротивлением нагрузки?
5. Как включить в цепь амперметр и вольтметр для измерения мощности в цепи с малым сопротивлением нагрузки?
6. Какие системы электроизмерительных механизмов используют в ваттметрах?
7. Объясните погрешности, свойственные косвенным методам измерения мощности.
8. Определить методическую погрешность косвенного измерения мощности, потребляемой резистором R_H , при пропускании по нему электрического тока. Схема измерения представлена на рисунке:



Сопротивление резистора $R = 1000 \text{ Ом}$, входное сопротивление вольтметра $R_B = 1000 \text{ Ом}$; показания амперметра $I_A = 0,2 \text{ А}$; показания вольтметра $U_B = 100 \text{ В}$.

9. Каким должно быть минимальное сопротивление вольтметра в предыдущей схеме, чтобы относительная погрешность измерения за счет влияния прибора на ток в цепи не превысила $0,1\%$?

7. КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: измерить мощность, коэффициент мощности и ёмкость в цепи переменного тока косвенным методом.

Приборы и оборудование:

1. Миллиамперметр электромагнитной системы АСТ, класса 0,5 с пределами измерений 50, 100 мА.
2. Вольтметр универсальный электронный В7-15 (или В7-17, ВК7-9).
3. Генератор ГЗ-7А.
4. Реостат на 2500 Ом.
5. Два последовательно соединенных конденсатора по 1 мкФ.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В современной измерительной технике применение конденсаторов весьма широкое. Датчик влажности ХЬЮМИКАП, разработанный финской фирмой Вайсала, представляет собой тонкопленочный конденсатор,

диэлектриком в котором служит влагочувствительный полимер. В качестве чувствительного элемента датчика температуры ТЕРМОКАП той же фирмы Вайсала используется керамический материал толщиной 0,2 мм, диэлектрическая постоянная которого зависит от температуры. В радиолокационных и лазерных устройствах конденсаторы применяются для формирования мощных импульсов.

Существуют различные методы измерения емкости: метод амперметра-вольтметра, мостовой метод, резонансный метод и др.

Одним из наиболее простых является метод амперметра-вольтметра. Конденсатор, включенный в цепь переменного тока, влияет на силу протекающего по цепи тока, т. е. ведет себя как сопротивление. Формула закона Ома для цепи с емкостью имеет вид:

$$I = \frac{U}{X_C}$$

где I и U — действующие значения тока и напряжения; X_C — емкостное сопротивление цепи.

Емкостное сопротивление конденсатора обратно пропорционально емкости и частоте электрического тока:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

где f — частота переменного тока в Гц;

ω — угловая частота переменного тока;

C — емкость конденсатора в фарадах.

Следовательно, для измерения емкости этим методом необходимо знать частоту напряжения, подаваемого от источника питания.

Измерение емкости конденсатора методом вольтметра — амперметра может быть произведено по одной из схем, приведенных на рис. 7.1.

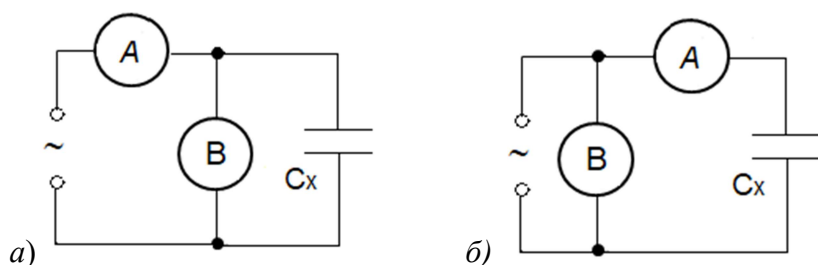


Рис. 7.1 Схемы для косвенного измерения емкости конденсатора методом вольтметра — амперметра

При больших емкостях, то есть малых емкостных сопротивлениях, меньше погрешность измерения при использовании схемы 7.1а; при измерении малых емкостей,

то есть больших емкостных сопротивлений, лучше пользоваться схемой 7.1б.

Рассмотрим, какая минимальная емкость может быть измерена этим методом при использовании напряжения частотой 50 Гц. Пусть, например, напряжение, приложенное к конденсатору – 30 В, а ток - 0,1 мА. Тогда минимальная измеряемая емкость:

$$C = \frac{I}{2\pi \cdot f \cdot U} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{2\pi \cdot 50 \cdot 30} \approx 0.01 \text{ мкФ}$$

Если требуется измерить меньшую емкость, необходимо использовать переменное напряжение более высокой частоты. Так, при частоте 5 кГц и тех же значениях тока и напряжения минимальная измеряемая емкость составляет 100 пФ.

С помощью конденсаторов достигается разделение постоянных токов и токов низкой частоты от токов высокой частоты. Последовательно включенный конденсатор небольшой емкости оказывает большое сопротивление низкочастотному току и в то же время легко пропускает ток высокой частоты. Если же надо преградить путь току высокой частоты, используется конденсатор большой емкости, включаемый параллельно источнику тока. Ток

высокой частоты в этом случае проходит через конденсатор, минуя цепь питания нагрузки.

Свойство конденсаторов оказывать большое сопротивление токам низкой частоты и легко пропускать токи высокой частоты широко используется в схемах аппаратуры связи.

Когда последовательно с емкостью включено активное сопротивление, общее сопротивление цепи определяется следующим образом:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Закон Ома остается справедливым и для этой цепи:

$$I = \frac{U}{Z}$$

При включении конденсатора в цепь переменного тока, в нем не затрачивается мощность. Энергия в течение одной четверти периода — при заряде конденсатора — запасается в электрическом поле конденсатора, а в течение другой четверти — при разряде конденсатора — отдается обратно в цепь. Поэтому емкостное сопротивление, как и индуктивное, является реактивным.

На сколько переменный ток в нагрузке сдвигается по

фазе относительно напряжения на ней показывает коэффициент мощности, который численно равен косинусу этого фазового сдвига. *Коэффициент мощности* определяется отношением активной мощности к полной. Чем больше активное сопротивление цепи, тем меньший сдвиг фаз между током и напряжением. Если в цепи реактивное сопротивление отсутствует, то $\cos\varphi = 1$ и мощность, выделяемая в цепи переменного тока, зависит только от силы тока и напряжения $P=IU$. Если цепь содержит только реактивное сопротивление ($R=0$), то $\cos\varphi = 0$ и средняя мощность равна нулю, какими бы большими ни были ток и напряжение. В технике стремятся сделать $\cos\varphi$ максимальным.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Собрать схему, приведённую на рис. 7.2.
2. Установить на лицевой панели генератора ГЗ-7А ручки «Шкала прибора» в положение 30 В и «Пределы шкал» - в положение 30 В. Регулятор выхода установить на минимум в крайнее левое положение. Установить частоту

200 Гц.

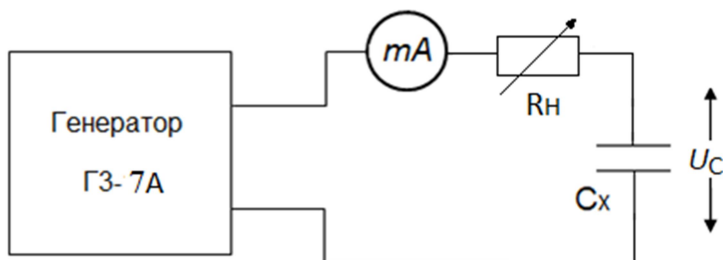


Рис. 7.2 Схема для косвенного измерения емкости конденсатора

3. Для измерения тока использовать прибор типа АСТ с пределами измерения 50 и 100 мА. Переключатель пределов установить в положение 50 мА.
4. Для измерения напряжения использовать электронный вольтметр В7-15 (или В7-17, ВК7-9). Произвести установку нуля вольтметра на переменном токе. Установить предел измерения напряжения 30 В.
5. Установить на лицевой панели генератора ГЗ-7А ручкой «Рег. выхода» выходное напряжение 15 В.
6. Изменяя сопротивление реостата, установить шесть значений тока 20, 25, 30, 35, 40, 45 мА.

Измерить и записать в табл. 7.1. значения напряжения на конденсаторе при этих токах, а также

значения сопротивления реостата. Сопротивление реостата R_H измерить при каждом отсчёте тока омметром универсального электронного вольтметра при отключенных проводах от реостата.

Таблица 7.1 - Результаты косвенного измерения емкости, мощности и коэффициента мощности

$I, \text{мА}$	20	25	30	35	40	45
$U_C, \text{В}$						
$R_H, \text{Ом}$						
$C, \text{Ф}$						
$\cos\varphi$						
$P_a, \text{Вт}$						
$Q, \text{ВАр}$						
$S, \text{ВА}$						

7. Определить значение ёмкости, используя измеренные величины тока, напряжения и частоты

$$X_c = \frac{U_C}{I} = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

откуда

$$C = \frac{1}{\omega \cdot X_c}$$

где $\omega = 2\pi f$.

Определить среднее значение емкости. Сравнить полученное значение ёмкости с номинальным.

8. Определить коэффициент мощности, исходя из того, что:

$$U = \sqrt{U_A^2 + U_C^2} = \frac{U_A}{\cos \varphi} = \frac{U_C}{\sin \varphi};$$

$$U_A = I \cdot R_{RH}; \quad U_C = I \cdot X_C; \quad \cos \varphi = \frac{U_A}{U}.$$

9. Определить значения активной P_a , реактивной Q и полной мощности S :

$$P_a = U I \cos \varphi,$$

$$Q = U I \sin \varphi,$$

$$S = \sqrt{P_a^2 + Q^2}.$$

10. Построить графики зависимости коэффициента мощности и полной мощности от сопротивления нагрузки $\cos \varphi = f(R_H)$, $S = f(R_H)$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое активная мощность?

2. Что такое реактивная мощность, с какими элементами она связана?
3. Что такое полная мощность?
4. Какие методы измерения мощности используют на низкой частоте?
5. Какие методы измерения мощности используют на высокой частоте?
6. Каким образом можно измерять реактивную мощность?
7. Почему необходимо стремиться к повышению коэффициента мощности?
8. Мощность, потребляемая цепью, состоящей из параллельно соединенных конденсатора и резистора, $P = 90$ Вт. Ток в неразветвленной части цепи $I_1 = 5$ А, а в ветви с резистором $I_2 = 4$ А. Определить сопротивления R и X_C элементов цепи.

8. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Цель работы: изучить способы измерения сопротивлений, получить практические навыки в измерении сопротивлений на постоянном токе.

Приборы и оборудование:

1. Набор измеряемых сопротивлений.
2. Датчик температуры радиозонда - рис. 8.1.
3. Мост Е7-11.
4. Мост Р577.
5. Универсальный вольтметр В7-27А.
6. Источник питания постоянного тока Б5-43.
7. Магазин сопротивлений РЗЗ на 5 и 10 кОм.
8. Соединительные провода.

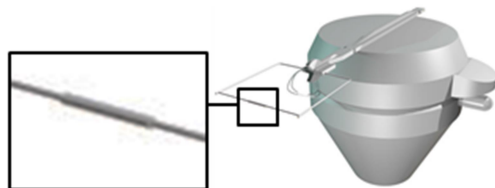


Рис. 8.1 Радиозонд с выносным термистором

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В метеорологических измерениях резисторы используют часто в качестве датчиков. Например, термометр сопротивления содержит терморезистор, преобразующий температуру в зависящее от нее сопротивление и в электрический ток. Измерить величину сопротивления непосредственно нельзя, поэтому измерение сопротивления всегда является косвенным измерением.

Наиболее распространенным и широко используемым прибором для измерения сопротивлений является *омметр*, в котором реализован способ вольтметра-амперметра. Сущность его состоит в том, что к резистору, сопротивление которого нужно определить, подключают источник постоянного тока с известной величиной напряжения, одновременно измеряют величину тока, протекающего через резистор, и сравнивают ее с постоянным напряжением, результат такого сравнения пересчитан в числовые показания шкалы прибора, калиброванной в единицах сопротивления. Омметр не выпускается в виде отдельного прибора, его функции выполняет электронный вольтметр. Напряжение, измеряемое электронным вольтметром, пропорционально сопротивлению определяемого резистора.

Общим недостатком всех омметров является неравномерность шкалы и довольно большая погрешность, возрастающая в области обоих крайних значений, что существенно сужает область применения приборов этого класса.

Омметром запрещается измерять что-либо во включенном аппарате или приборе. При использовании омметра один из выводов измеряемого элемента (резистора, катушки индуктивности) нужно временно отключить от схемы.

При необходимости осуществлять более точные замеры величин сопротивлений используют приборы, построенные по принципу *измерительных мостов*. Их применяют не только для измерения активных сопротивлений, но и для измерения величин емкостей и индуктивностей.

На рис. 8.2 показана схема моста для измерения сопротивления R_x . Схема состоит из трех сопротивлений с известными значениями R_1 , R_2 и R_3 , измеряемого сопротивления R_x , нуль-индикатора НИ и источника постоянного тока. Изменяя одно из известных сопротивлений, например R_3 , добиваются нулевого

показания НИ. Принято говорить, что мост в этом случае сбалансирован. Это может быть только тогда, когда между точками А-Б нет разности потенциалов, или, другими словами, падение напряжения между точками А-В равно падению напряжения между точками В-Б. Как следствие, падения напряжения между точками А-Г и Г-Б также равны между собой. Следовательно:

$$R_x \cdot R_2 = R_1 \cdot R_3.$$

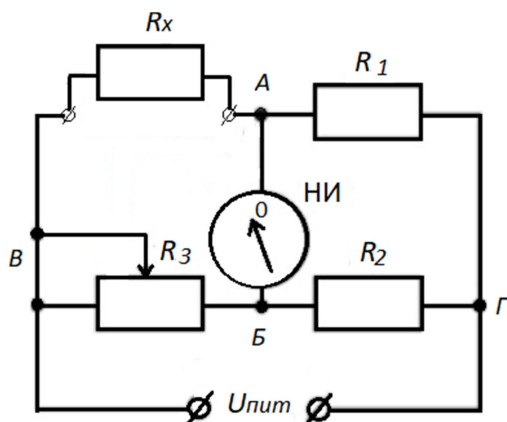


Рис. 8.2. Схема измерительного моста

Показания измерительного прибора могут возникнуть только в случае нарушения баланса моста, т.е. изменения величины любого из плеч моста. Зная известные сопротивления R_1 , R_2 и R_3 сбалансированного моста, можно

определить измеряемое сопротивление R_x .

Косвенное измерение сопротивлений основано на методе вольтметра — амперметра и по существу сводится к использованию закона Ома, по которому измеряемое сопротивление пропорционально падению напряжения на нем и обратно пропорционально току, проходящему через него $R_x = U_x / I_x$.

Одной из разновидностей метода вольтметра-амперметра является метод двух вольтметров. В этом случае используют вспомогательное эталонное сопротивление. Измерив напряжение на резисторе известного номинала, вычисляют силу тока, текущего в цепи. Измерив напряжение на неизвестном резисторе, вычисляют его сопротивление.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А. Измерение сопротивлений омметром универсального электронного вольтметра.

1. Подготовить универсальный электронный вольтметр к работе в режиме измерения сопротивления. Для этого необходимо:

- при выключенном питании установить нуль измерительного механизма механическим корректором;
- включить питание и после прогрева прибора в течение 5-10 мин установить нуль вольтметра постоянного тока (в положении переключателя режима работы +V и -V);
- включить в гнезда прибора " r_x " соединительные провода с щупами;
- Закоротить входные гнезда " r_x " (соединить между собой щупы) и установить нуль омметра регулятором "УСТАНОВКА НУЛЯ ОММЕТРА".

Выбирая наиболее удобную шкалу омметра, измерить сопротивления из предлагаемого набора, а также сопротивление температурного датчика (термометра сопротивления) радиозонда. Результаты измерений занести в табл. 8.1.

Таблица 8.1 Результаты измерений сопротивлений постоянных резисторов и терморезистора

Резисторы	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_t
Номинальное значение, Ом						
Измеренное значение, Ом						
Абсолютная погрешность, Ом						

Резисторы	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_t
Относительная погрешность, %						

Б Измерение сопротивления температурного датчика радиозонда методом вольтметра.

1. Собрать схему по рис. 8.3.

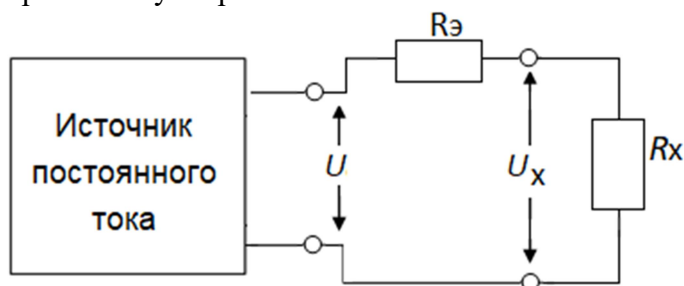


Рис. 8.3 Схема косвенного измерения сопротивления методом вольтметра

R_x – измеряемый терморезистор;

$R_э$ – эталонное сопротивление магазина РЗЗ на 5 или 10 кОм.

В качестве источника напряжения использовать стабилизатор напряжения. Регулятором напряжения стабилизатора установить напряжение 10 - 15 В.

В качестве эталонного сопротивления $R_э$ выбрать магазин сопротивлений РЗЗ, установив на нем значение, близкое к сопротивлению температурного датчика радиозонда, измеренному в пункте А.

2. Напряжения U и U_x измерить универсальным электронным вольтметром.
3. Искомое сопротивление R_x вычислить по формуле:

$$R_x = R_9 \frac{U_x}{U - U_x} = \frac{R_9}{\frac{U}{U_x} - 1}.$$

В. Измерение сопротивлений мостом P577.

1. Подготовить мост P577 – рис. 8.4 - к работе и включить его в режиме измерений сопротивлений на постоянном токе согласно краткой инструкции на левой стенке прибора.
2. Измерить мостом P577 сопротивления из предлагаемого набора и сопротивление температурного датчика радиозонда.



Рис. 8.4 Внешний вид моста P577

3. Результаты измерений занести в таблицу, аналогичную табл. 8.1.
4. Сравнить полученные результаты с измерениями по пункту А и сделать практические выводы.

Г. Измерение сопротивлений мостом Е7-11.

1. Подготовить прибор Е7-11 – рис. 8.5 - к работе в режиме измерения сопротивлений на постоянном токе.
 - переключатель "СЕТЬ" поставьте в положение "ВКЛ." При этом должна загореться индикаторная лампочка. Измеритель готов к работе через 10-15 мин.
 - переведите переключатель "L, C, R~, R=" в положение R ~;
 - ручкой "ЧУВСТВИТ." установите стрелку индикатора в положение, составляющее 2/3 шкалы;
 - сбалансируйте мост вращением ручки плавной шкалы "МНОЖИТЕЛЬ" при замкнутых зажимах соединительного кабеля и при постепенном увеличении чувствительности до максимального значения.



Рис. 8.5 Внешний вид моста Е7-11

Полученное значение сопротивлений соответствует начальному сопротивлению моста и не должно превышать 0,5 Ом (отсчет 0,05 по шкале "МНОЖИТЕЛЬ". Это значение должно вычитаться из результата измерений при измерении малоомных объектов до 10 - 100 Ом).

В процессе балансирования может оказаться, что чувствительность на индикаторе максимальна, отсчет по шкале "МНОЖИТЕЛЬ" уменьшен до нулевого значения, а четкого минимума нет. В этом случае следует считать мост сбалансированным и остаточное сопротивление принять равным нулю.

2. Измерить мостом Е7-11 сопротивления из предлагаемого набора и сопротивление температурного датчика радиозонда.

- подсоедините измеряемый объект к зажимам соединительного кабеля L, C, R.
- переключатель "L, C, R~, R=" установите в положение "R=", переключатель "ЧАСТОТА Hz " - в положение "100" (загорается сигнальная лампочка "C, L x 10").
- переключатель "ПРЕДЕЛЫ" поставьте в крайнее левое положение.
- выберите нужный предел измерения. Для этого вращением ручки "ПРЕДЕЛЫ" поочередно меняйте установленный предел до тех пор, пока знак напряжения разбаланса на индикаторе баланса не изменится на противоположный. Это и будет нужный для измерения предел.
- уравновесьте мост вращением ручек "МНОЖИТЕЛЬ", постепенно увеличивая чувствительность до величины, обеспечивающей индикацию разбаланса на 1/2 погрешности измерения для данной величины. Отсчетное устройство "МНОЖИТЕЛЬ" имеет две шкалы. Если показания на плавной шкале больше или равно 10, то это означает, что единица должна быть перенесена (добавлена) в предыдущий старший разряд отсчета.

Измеренная величина сопротивления равна

произведению отсчета по шкалам "*МНОЖИТЕЛЬ*" на значение сопротивления, соответствующее выбранному пределу и указанное на передней панели прибора.

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

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Нарисовать схему измерений сопротивления методом вольтметра и амперметра и объяснить особенности метода.
2. Нарисовать схему измерений сопротивления методом вольтметра и объяснить особенности метода.
3. Нарисовать схему последовательного омметра и объяснить принцип его действия.
4. Нарисовать принципиальную схему электрического моста и вывести формулу баланса моста.
5. Объяснить способ измерения сопротивлений уравновешенным мостом постоянного тока.

6. При измерении сопротивления методом амперметра - вольтметра показания амперметра и вольтметра были следующие: $U = 4,8 \text{ В}$, $I = 0,15 \text{ А}$. Приборы имеют класс точности 1,0 и пределы измерения $I_N = 250 \text{ мА}$, $U_N = 7,5 \text{ В}$. Определить измеряемое сопротивление, наибольшую абсолютную и относительную погрешности измерения.

9. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТИВНЫХ ДВУХПОЛЮСНИКОВ

Цель работы: получить практические навыки в измерении параметров реактивных двухполюсников (катушек индуктивности и конденсаторов).

Приборы и оборудование:

1. Прибор Е12-1А (Е7-5А).
2. Набор индуктивностей и емкостей для выполнения измерений.
3. Соединительные провода.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Реактивный двухполюсник включает индуктивные и емкостные элементы. *Катушка индуктивности* — винтовая или спиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении. *Индуктивность* катушки зависит от ее формы, размеров и числа витков, а также от свойств сердечника. Индуктивность характеризует количество

энергии магнитного поля, запасаемого катушкой, при протекании по ней электрического тока. Единица измерения индуктивности – генри (Гн).

Конденсатор - пассивное электрическое устройство, способное копить заряд и энергию электрического поля. *Емкость* конденсатора зависит от площади обкладок, расстояния между ними и диэлектрической проницаемости диэлектрика. Единица измерения емкости – фарад (Ф).

На корпусе большинства конденсаторов указаны их номинальная емкость, точность и допустимое рабочее напряжение, встречается и цветовая маркировка. Например, маркировка 0,22/20 250 означает, что конденсатор имеет емкость 0,22 мкФ $\pm 20\%$ и рассчитан на постоянное напряжение 250 В.

Методы измерений отличаются организацией сравнения измеряемой величины с единицей измерения. С этой точки зрения все методы измерений подразделяются на две группы: методы непосредственной оценки и методы сравнения - рис. 9.1.

Методы сравнения в свою очередь включают в себя метод противопоставления, дифференцированный метод, метод замещения, нулевой метод и метод совпадения.



Рис. 9.1 Схема классификации методов измерений

При *методе непосредственной оценки* значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого действия. Сравнение измеряемой величины с единицей измерения осуществляется путём предварительной градуировки измерительного прибора с помощью образцовых мер или образцовых измерительных приборов. На этом методе основаны все показывающие (стрелочные) приборы (вольтметры, амперметры, индикаторы и т.п.).

Точность измерений по методу непосредственной оценки в большинстве случаев невелика и ограничивается точностью применяемых измерительных приборов.

Среди методов *сравнения с мерой* наиболее широко распространены на практике – дифференциальный, нулевой и метод замещения.

Дифференциальный метод – это метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой.

Нулевой метод измерений – это метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Например, измерение электрического сопротивления мостом путем его уравнивания. Нулевой метод позволяет получить высокую точность измерения.

Методом замещения называется метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Это, например, взвешивание поочерёдным помещением массы и гирь на одну и ту же чашку весов. Метод замещения можно рассматривать как разновидность дифференциального и нулевого метода, отличающиеся тем, что сравнение измеряемой величины с мерой производится поочередно.

Метод замещения широко используется для

измерения параметров реактивных двухполюсников. Метод замещения реализуется резонансной схемой, в основе которой лежит использование зависимости между резонансной частотой колебательного контура и параметрами его элементов L и C , связанных формулой:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

В *резонансной схеме* дважды добиваются резонанса на фиксированной частоте: первый раз - с измеряемым элементом, второй - с мерой той же физической природы (калиброванный переменный конденсатор или катушка с изменяемой индуктивностью). Индикацию резонанса отмечают по максимальному показанию вольтметра. За результат измерения принимают значение, равное величине меры при резонансе.

Более высокую точность измерения емкости и индуктивности дает сочетание методов замещения при резонансе и нулевых биений. Явление биений возникает при наложении друг на друга двух близких по частоте синусоидальных сигналов. Чем меньше разность сравниваемых частот, тем меньше частота образуемого низкочастотного сигнала биений. Так, при сравнении частот

100 и 101 кГц частота сигнала биений 1 кГц. Такую частоту можно легко зарегистрировать.

Метод нулевых биений — способ сравнения частот двух источников сигналов с целью подстройки одного источника под частоту другого - рис. 9.2.

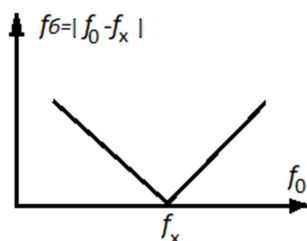


Рис. 9.2. Зависимость частоты биений от настройки регулируемого генератора

В процессе подстройки частоту регулируемого источника изменяют таким образом, чтобы период биений увеличивался до тех пор, пока биения не исчезнут, это будет означать, что частоты совпадают. Как видно из графика на рис. 9.2, при отходе от точки нулевых биений f_x частота биений f_6 возрастает как при увеличении, так и при уменьшении частоты регулируемого генератора f_0 . Индикацию совпадения частот обычно производят по оптическому индикатору либо по звуку в телефонах. При приближении регулируемой частоты к частоте другого

источника, тон в телефонах понижается, а при равенстве частот звук в телефонах пропадает. Таким образом, измерение частоты сводится к определению частоты регулируемого генератора, при которой наступают нулевые биения.

Комбинация методов замещения и резонанса с индикацией по нулевым биениям используется в приборе Е12-1А (Е7-5А), измеряющим емкости конденсаторов и индуктивности катушек с высокой точностью в пределах от 100 нГн до 1 мГн (индуктивность) и от 10 пФ до 10 нФ (емкость) с точностью 1-1,5%. Функциональная схема прибора приведена на рис. 9.3.

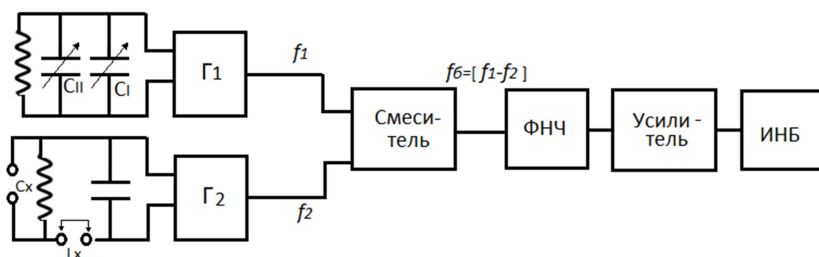


Рис. 9.3 Функциональная схема прибора Е12-1А (Е7-5А)

В приборе имеются два высокочастотных генератора Γ_1 и Γ_2 . В контур первого из них включены образцовые конденсаторы переменной ёмкости C_I , C_{II} . В контур второго

генератора Γ_2 последовательно с катушкой индуктивности, изменяемой дискретно в зависимости от выбранного предела измерения, включают измеряемую катушку L_x . Если же измеряется емкость, то зажимы L_x закорачивают, а измеряемый конденсатор включают параллельно контуру генератора Γ_2 (зажимы C_x).

Колебания высокой частоты f_1 и f_2 двух генераторов через катодные повторители поступают на смеситель. С выхода смесителя колебания разностной частоты $f_1 - f_2$ через фильтр нижних частот (ФНЧ) и усилитель попадают на индикатор нулевых биений (ИНБ).

До включения измеряемых индуктивности и ёмкости оба генератора настраивают на одинаковую частоту по нулевым биениям с помощью смесителя и ФНЧ.

После подключения измеряемого элемента в контур Γ_2 , частота его изменяется, и разностная частота с выхода смесителя не проходит через ФНЧ. Перестраивая частоту первого генератора образцовым конденсатором C_{II} , вновь добиваются равенства частот генераторов. Значение ёмкости образцового конденсатора определяет измеряемые индуктивность или ёмкость.

С помощью прибора Е12-1А (Е7-5А) также можно

косвенно измерить коэффициент взаимной индукции катушек, который зависит от формы, размеров и взаимного расположения катушек, а также от магнитной проницаемости среды. Способ заключается в измерении общей индуктивности последовательно соединенных исследуемых катушек при их согласованном и встречном соединении.

При согласованном включении катушек, т. е. когда э.д.с. взаимоиндукции совпадает по фазе с э.д.с. самоиндукции, общая индуктивность получается максимальной:

$$L_{\text{согл}} = L_1 + L_2 + 2M$$

При встречном соединении катушек, когда э.д.с. взаимоиндукции и самоиндукции находятся в противофазе, общая индуктивность будет минимальной:

$$L_{\text{встр}} = L_1 + L_2 - 2M.$$

Вычитая одно выражение из другого, получим формулу (9.1):

$$M = \frac{L_{\text{согл}} - L_{\text{встр}}}{4}$$

На точность измерения коэффициента взаимной индукции катушек влияют степень связи катушек и частота. При слабой связи разность $L_{\text{согл}} - L_{\text{встр}}$ получается очень

малой, и точность определения M низкая.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А. Измерение емкостей конденсаторов прибором Е7-5А.

1. Выписать номинальные значения емкостей конденсаторов и точность (относительную погрешность), выданных преподавателем, занести в табл. 9.1.



Таблица 9.1 Результаты измерений емкостей конденсаторов

№	Номинальная емкость, Ф	Номинальная точность, %	Измеренная емкость, Ф	Абсолютная погрешность, Ф	Относительная погрешность, %
1					
...					

2. Тумблером "СЕТЬ" включить прибор Е7-5А – рис. 9.4, и прогреть его в течение 10 мин.

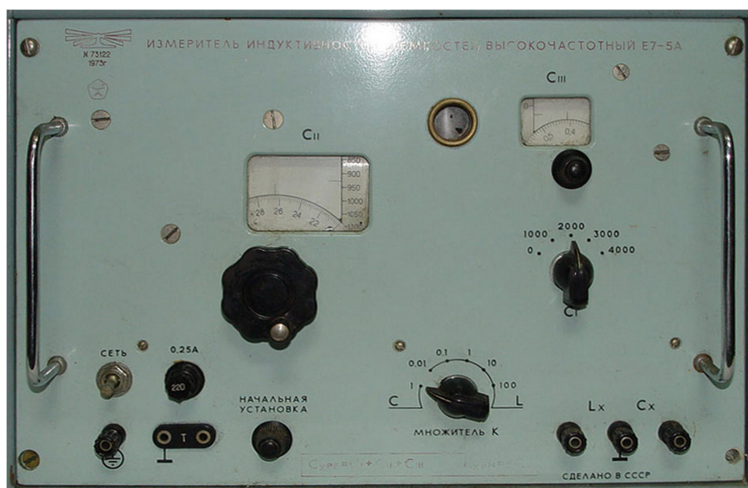


Рис. 9.4 Внешний вид прибора *E7-5A*

- переключатель "МНОЖИТЕЛЬ *K*" установить в положение "С";
- шкалы всех отсчетных конденсаторов и переключатель поставить на "0";

3. Ручкой "НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА" (при разомкнутых клеммах "Lx") настроить прибор на нулевые биения по оптическому индикатору. При точной настройке на нулевые биения световой сектор индикатора минимально узкий и неподвижный, а небольшой поворот ручки вправо и влево вызывает его пульсацию и затем быстрое увеличение.

4. Исследуемый конденсатор подключить к клеммам "Сх" прибора (клеммы "Lx" закоротить перемычкой) и еще раз настроить прибор на нулевые биения, пользуясь переключателем C_I и ручками C_{II} и C_{III} (ручкой C_{III} пользоваться при измерении малых емкостей).

5. Результат измерения емкости определяется по формуле:

$$C_x = C_I + C_{II} + C_{III}, \text{ пФ.}$$

6. Измерить емкости конденсаторов из предлагаемого набора, результаты измерений записать в табл. 9.1.

7. Рассчитать отклонение реальных значений от номинальных.

Б. Измерение индуктивностей катушек прибором Е7-5А.

– тумблером *СЕТЬ* включить прибор и прогреть его в течение 10 мин.;

– переключатель "*МНОЖИТЕЛЬ К*" поставить в положение 10;

– замкнуть клеммы "Lx" и установить на нулевые отметки шкалы всех отсчетных конденсаторов и переключатель C_I :

- ручкой "НАЧАЛЬНАЯ УСТАНОВКА" добиться нулевых биений. При подходе к нулевым биениям наблюдается мигание индикатора, а при точной настройке - вертикальная светлая полоса;
- разомкнуть клеммы "Lx";
- подключить измеряемую катушку к клеммам "Lx" и добиться нулевых биений изменением емкости конденсатора C_{II} . При необходимости использовать переключатель "МНОЖИТЕЛЬ K". Значение индуктивности измеряемой катушки с учетом "МНОЖИТЕЛЯ K" равно:

$$L_x = K \cdot C_{II}.$$

- измерить таким образом индуктивности двух катушек. Записать результат измерения в виде $L = L_{изм} \pm \Delta L$. В качестве абсолютной погрешности измерения индуктивности катушек взять погрешность отсчета, равную половине цены деления шкалы подстроечного конденсатора C_{II} .

В. Измерение коэффициента взаимоиנדукции двух катушек.

Измерение коэффициента взаимоиנדукции M двух индуктивно связанных катушек производится методом

совокупных измерений. Схемы измерений приведены на рис. 9.5.

1. Сначала необходимо включить катушки L_1 и L_2 согласно рис 9.5а и измерить общую индуктивность $L_{\text{согл}}$, а затем включить эти же катушки встречно (не меняя расстояния взаимоиנדукции между ними) – рис. 9.5б и измерить индуктивность $L_{\text{встр.}}$. Коэффициент M вычислить по формуле (9.1).

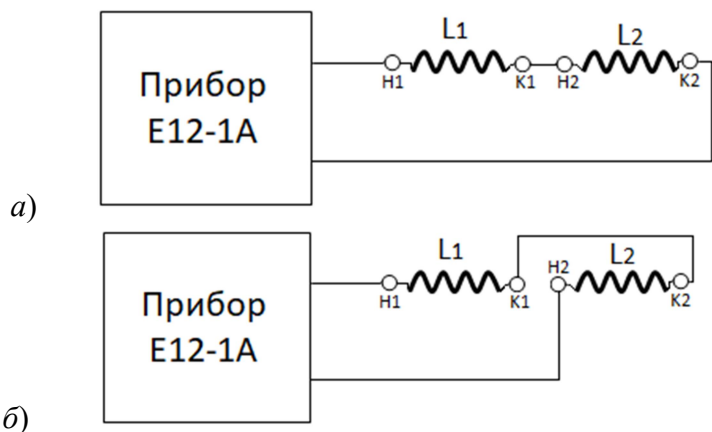


Рис. 9.5 Схема измерения индуктивности при согласованном включении катушек (а) и встречном включении катушек (б)

2. Вычислить абсолютную погрешность коэффициентов взаимоиנדукции M как результата косвенных измерений.

Если результат косвенного измерения величины Y

связан функционально с измеряемыми величинами X_i , то абсолютная погрешность находится по формуле, известной как закон накопления погрешности:

$$\Delta Y = \sqrt{\sum \left(\frac{\partial Y}{\partial X_i} \Delta X_i \right)^2}$$

В данном случае

$$\Delta M = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial L_{\text{согл}}} \Delta L_{\text{согл}} \right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial L_{\text{встр}}} \Delta L_{\text{встр}} \right)^2}$$

3. Для исследования зависимости коэффициента взаимоиנדукции M от степени связи катушек определить коэффициенты взаимоиנדукции (повторить пункт 1) при трех положениях катушек:

- при минимальном удалении катушки L_2 от катушки L_1 ;
- при максимальном удалении катушки L_2 от катушки L_1 ;
- на расстоянии, равном половине максимального расстояния между центрами катушек L_1 и L_2 .

4. Построить график зависимости коэффициента взаимоиנדукции M как функции расстояния между центрами катушек L_1 и L_2 .

5. Вычислить относительные погрешности

коэффициентов взаимной индукции и сделать вывод о влиянии степени связи катушек (расстояния между ними) на точность измерения коэффициента взаимной индукции M .

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое емкость конденсатора и от каких факторов она зависит?
2. Привести примеры применения явления взаимной индукции в метеорологических измерениях.
3. Как следует расположить две круглые плоские катушки, чтобы их взаимная индуктивность была максимальной?
4. У какой из двух катушек будет больше индуктивность, если обе имеют одинаковую длину и площадь поперечного сечения, но у одной более толстый провод, чем у другой.
5. Объясните сущность резонансного метода измерения емкости (индуктивности), используемого в данной работе.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Основные технические характеристики измерительных приборов, используемых в работе: наименование прибора, заводской №, система, класс точности, пределы измерения.
3. Схемы измерений.
4. Таблицы измеренных и вычисленных величин.
5. Расчётные формулы и вычисления по ним.
6. Графики зависимостей.
7. Анализ графиков.
8. Выводы по работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шишмарев В.Ю.* Метрология, стандартизация и технические измерения. (Бакалавриат). Учебник. М.: Кнорус, 2019. — 472 с.
2. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник для ВУЗов / под ред. С.В. Пономарева, Г.В. Шишкина, Г.В. Мозгова. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
3. *Молдабаева М.Н.* Контрольно-измерительные приборы и основы автоматики. Учебное пособие. — М.: Инфра-Инженерия, 2019. — 332 с.
4. *Мельников В.П., Васильева Т.Ю., Шулепов А.В.* Метрология, стандартизация и сертификация. Учебник М.: Кнорус, 2020 г. — 442 с.
5. *Шмакова Н.К.* Метрология, стандартизация и сертификация: сборник описаний практических работ / Н.К. Шмакова, А.Д. Зонова. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 68 с.
6. Модели и концепции физики: механика. Лабораторный практикум. Обработка результатов измерений.— М.: МФТИ, 2011. — 42 с.