

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания

к лабораторным работам

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и
электротехника Профиль подготовки «Электроэнергетические
системы и сети»,
Квалификация выпускника бакалавр

Ставрополь
2026

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы выполняются студентами в соответствии с графиком, составленным ведущим преподавателем с учётом учебного процесса. Каждая группа разбивается на ряд бригад. Выполнение лабораторной работы одним студентом не допускается.

Перед началом лабораторных занятий преподаватель, ведущий занятия, проводит инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности, после чего каждый студент расписывается в соответствующем журнале.

При подготовке к лабораторной работе студент должен ответить на все вопросы раздела "Подготовка к работе". Результаты подготовки должны быть отражены в рабочей тетради, которую студент предъявляет преподавателю перед началом работы. Кроме того, в рабочей тетради должна быть подготовлена рабочая часть отчёта по лабораторной работе, включающая необходимые электрические схемы и таблицы для записи измеряемых и расчётных величин.

Перед началом лабораторной работы студент обязан представить оформленный отчёт по предыдущей работе и получить допуск к очередной работе, назначение которого сводится к проверке его домашней подготовки. Приступать к работе студенты могут только после получения разрешения преподавателя.

Студенты, неудовлетворительно подготовившиеся к работе, к выполнению лабораторной работы не допускаются. Отработка пропущенных лабораторных работ проводится в часы, назначенные кафедрой, после получения допуска на выполнение работы.

Студенты собирают схемы исследуемых цепей. При этом указатели лабораторных автотрансформаторов (РНО) устанавливаются на нуль, а движки регулируемых резисторов – на максимальное сопротивление. Собранный экспериментальный стенд должен быть проверен преподавателем или лаборантом.

Воспрещается включать схему под напряжение без разрешения преподавателя!

После выполнения работы студенты должны предъявить результаты измерений преподавателю, разобрать схему, привести рабочее место и стенд в порядок и сдать их лаборанту.

Работа считается выполненной только после подписи преподавателем результатов испытаний.

Отчёт по лабораторной работе составляется каждым студентом по форме, указанной руководителем.

Защита лабораторных работ проводится в специально отведённые часы, указанные в графике выполнения лабораторных работ.

Лабораторная работа № 1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ

Цель работы

1. Ознакомление с методикой оценки погрешностей измерений.
2. Ознакомление с методикой проверки показывающих приборов прямого преобразования.

Описание лабораторной установки

Ознакомление с методикой оценки погрешностей измерений электрических величин различными методами осуществляется по схеме рис.

1.1 с использованием многопредельного вольтметра типа Э-59, цифрового вольтметра, регулятора напряжения.

В качестве источника электрической энергии используется однофазная сеть переменного тока.

Подготовка к работе

1. Начертить эскизы измерительных механизмов приборов магнитоэлектрической, электромагнитной и электродинамической систем. Указать, с помощью каких элементов в приборах создаются вращающий и противодействующий моменты, а также момент успокоения.

2. Написать формулы для определения значений абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения вольтметром.

3. Написать формулы для определения сопротивлений шунта амперметра и добавочного резистора вольтметра при расширении пределов измерения в n раз.

Рабочее задание

1. Ознакомиться с лицевой панелью вольтметра V и записать его основные технические данные.

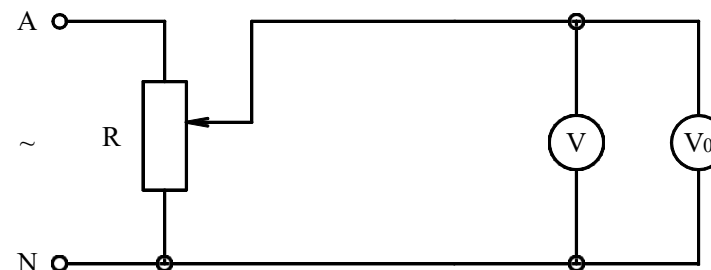


Рис. 1.1.

2. Установить регулятором напряжение, чтобы показания вольтметра

V оказались в средней части шкалы. Зная класс точности вольтметра V , рассчитать величину относительной погрешности измерения напряжения по формуле:

$$\delta = \pm K \frac{X_N}{X}$$

Приняв показание вольтметра V_0 за действительное значение измеряемой величины, определить экспериментальные значения абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения. Сравнить расчётное и экспериментальное значения относительной погрешности измерения. Сделать вывод.

3. В качестве поверяемого вольтметра используется электромеханический вольтметр V , в качестве поверяющего вольтметр V_0 .

Изменением напряжения указатель испытуемого прибора установить последовательно на всех числовых отметках шкалы: сначала при возрастании измеряемой величины от нуля до наибольшего значения по шкале и затем по тем же отметкам при убывании от наибольшего значения по шкале до нуля. При этом необходимо следить за тем, чтобы указатель подходил к числовой отметке только с одной стороны. По образцовому прибору (вольтметр V_0) определить действительное значение измеряемой величины на этих отметках.

Результаты наблюдений и вычислений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1

Показания поверяемого прибора $X_{П}$, В	Показания образцового прибора X		Абсолютные погрешности Δ		Приведённая погрешность γ , %	Вариация показаний $\gamma_{\text{вар}}$, %
	При увеличении напряжения, В	При уменьшении напряжения, В	При увеличении напряжения, В	При уменьшении напряжения, В		

Вычислить абсолютные и приведённые погрешности и поправки, выбирая для этого большее значение для каждой пары абсолютных погрешностей, полученных для данной точки. Вычислить вариацию показаний. Вычисления производить по формулам:

$$\Delta = X_{П} - X; \quad \gamma = (\Delta / X_N) \cdot 100 \% ; \quad -\Delta = X - X_{П}$$

$$\gamma_{\text{вар}} = \frac{X_{П \text{ восх.}} - X_{П \text{ нисх.}}}{X_N} \cdot 100 \%$$

где Δ – абсолютная погрешность; $X_{П}$ – показание поверяемого прибора; X – показание образцового прибора; γ – приведенная погрешность в процентах; X_N – нормирующее значение поверяемого прибора; $-\Delta$ – поправка; $\gamma_{\text{вар}}$ – вариация показаний в процентах.

По данным таблицы 1.1 построить кривую поправок $-\Delta = f(X_{П})$. По максимальному значению приведённой погрешности определить класс точности прибора и проверить, не превосходит ли вариация показаний допустимых для данного класса точности значений.

Вопросы к защите работы

1. Принцип работы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и ферродинамической систем. Способы создания в приборах вращающего и противодействующего моментов, момента успокоения.
2. Особенность и область применения логометров.
3. Применение приборов магнитоэлектрической системы в цепях переменного тока.
4. Способы и приборы, применяющиеся для расширения пределов измерения амперметров и вольтметров различных систем.
5. Класс точности прибора, что он характеризует и как определяется?
6. Причина, по которой класс точности показывающих приборов определяется по приведённой, а не по относительной погрешности.
7. Влияние магнитных полей на показания приборов различных систем.
8. Имеются два вольтметра: с пределом измерения 300 В класса точности 0,5 и с пределом измерения 30 В класса точности 1,5. Какой вольтметр и почему следует использовать для измерения напряжения величиной 15 В?
9. Вариация показаний прибора. Что характеризует, способы определения.
10. Чувствительность, цена деления, диапазон измерений и диапазон показаний измерительного прибора.

Лабораторная работа № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ КОСВЕННЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы

1. Изучение принципа и сравнительный анализ косвенных методов измерений.
2. Ознакомление с методикой оценки погрешностей величин, определённых при косвенных измерениях.

Описание лабораторной установки

Ознакомление с методикой оценки погрешностей измерений электрических сопротивлений различными косвенными методами осуществляется по схеме рис. 2.1 с использованием измерительного комплекса К-50, регулируемого однофазного источника напряжения и переменного резистора R .

Подготовка к работе

Написать выражения для определения погрешности результата измерения активного сопротивления методами амперметра и вольтметра, амперметра и ваттметра, вольтметра и ваттметра.

Рабочее задание

1. Включить автоматический выключатель QF . Выбрать пределы измерения приборов, входящих в комплекс К-50, и установить значения сопротивления и напряжения такими, чтобы показания приборов были в левой части шкалы.

Для полученных значений токов, напряжений и мощностей рассчитать относительные погрешности их измерения в левой части шкалы.

Результаты наблюдений и вычислений занести в таблицу 2.1.

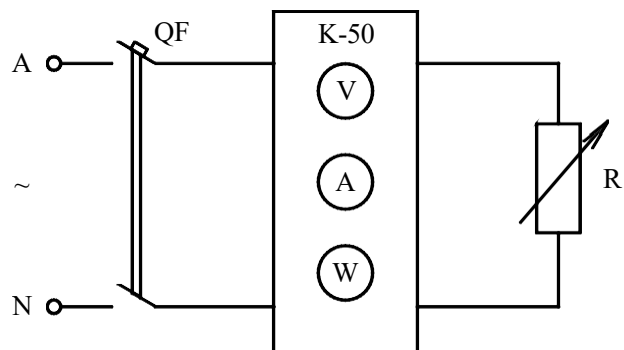


Рис. 2.1

Таблица 2.1

Измеряемый параметр	Левая часть шкалы			Правая часть шкалы		
	Значение	Предел шкалы	δ , %	Значение	Предел шкалы	δ , %
I , А						
U , В						
P , Вт						

2. Измерить значение активного сопротивления, установив пределы измерения приборов и напряжение такими, чтобы показания оказались в правой части шкал амперметра, вольтметра и ваттметра.

Для измеренных значений токов, напряжений и мощностей рассчитать относительные погрешности их измерения.

Результаты наблюдений и вычислений занести в таблицу 2.1.

3. По полученным данным п. 1 и п. 2 рассчитать значения активного сопротивления и относительные погрешности его измерения в левой и правой частях шкалы методами амперметра и вольтметра, амперметра и ваттметра, вольтметра и ваттметра.

Результаты вычислений занести в таблицу 2.2. Сделать вывод о методе измерения для получения минимальной относительной погрешности измерения.

Таблица 2.2

Метод	Левая часть шкалы		Правая часть шкалы	
	R , Ом	δ_R , %	R , Ом	δ_R , %
Амперметра и вольтметра				
Амперметра и ваттметра				
Вольтметра и ваттметра				

4. По полученным данным п. 1 и п. 2 рассчитать значения потребляемой активной мощности и относительные погрешности её измерения в левой и правой частях шкалы методом непосредственной оценки и методом амперметра и вольтметра.

Результаты вычислений занести в таблицу 2.3. Сделать вывод о методе измерения для получения минимальной относительной погрешности.

Таблица 2.3

Метод	Левая часть шкалы		Правая часть шкалы	
	P , Ом	δ_P , %	P , Ом	δ_P , %
Амперметра и вольтметра				
Непосредственной оценки				

Вопросы к защите работы

1. Классификация измерений физических величин по способу получения результата. Привести примеры.
2. Классификация измерений физических величин по зависимости измеряемой величины от времени и по способу выражения результата. Привести примеры.
3. Понятие физической величины. Математическая модель, параметры модели и функционал физической величины.
4. Три группы физических величин.
5. Уравнение шкалы физической величины. Способы задания шкал.
6. Основное уравнение измерения. Размер и значение физической величины.
7. Основные и производные единицы. Выбор количества и вида основных величин. Понятие системы величин.
8. Международная система физических величин (СИ). Преимущества СИ.
9. Основные характеристики измерений (принцип, метод, погрешность, точность, достоверность, правильность)
10. Метод непосредственной оценки и разновидности метода сравнения с мерой.

Лабораторная работа № 3 ПОВЕРКА ОДНОФАЗНОГО ИНДУКЦИОННОГО СЧЁТЧИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы

1. Изучение принципа действия, устройства и основных характеристик однофазного индукционного счётчика электрической энергии.
2. Ознакомление с методикой поверки однофазного индукционного счётчика.

Описание лабораторной установки

Для выполнения настоящей работы на лабораторном стенде установлены однофазный индукционный счётчик электрической энергии типа СО-505, однофазный регулятор напряжения, регулируемый резистор R , используемый в качестве сопротивления нагрузки, цифровые амперметр A и вольтметр V переменного тока, электродинамический ваттметр W .

Кроме того, в комплект лабораторной установки входит цифровой секундомер. В качестве источника электрической энергии используется однофазная сеть переменного тока.

Подготовка к работе

1. Привести эскиз измерительного механизма однофазного индукционного счётчика электрической энергии. Указать элементы, с помощью которых в счётчике создаются вращающий момент, момент торможения и компенсирующий момент.
2. Начертить векторную диаграмму токов и напряжений для однофазного счётчика и указать порядок её построения.
3. Изучить метод поверки однофазного счётчика, основанный на использовании ваттметра и секундомера, указать цель проводимой поверки и требования, предъявляемые к исправному счётчику.
4. Привести выражения, по которым могут быть рассчитаны номинальная и действительная постоянные счётчика, указать физический смысл постоянных.
5. Привести выражение для определения относительной погрешности счётчика и указать назначение каждого из членов данного выражения.
6. Дать определение самохода счётчика, указать требования, предъявляемые к исправному счётчику по величине самохода, и способы его устранения.
7. Привести схемы включения однофазного счётчика непосредственно в измеряемую цепь и через измерительные трансформаторы тока и напряжения.
8. Показать конструктивные особенности и схемы включения трёхфазных двух- и трёхэлементных индукционных счётчиков электрической энергии.

Рабочее задание

Счётчики электрической энергии подлежат поверке одним из следующих методов:

- 1) с использованием ваттметра и секундомера, при котором определяется

действительное значение электрической энергии, вызвавшей вращение диска счётчика на заданное число оборотов;

2) с использованием образцового счётчика, при котором показания поверяемого счётчика сравниваются с показаниями образцового.

Независимо от метода проверки применяемые образцовые средства измерений должны обеспечивать определение действительного значения энергии с погрешностью, не превышающей 1/4 допустимой погрешности поверяемого счётчика.

Проверка счётчика должна производиться в нормальных условиях. Для счётчиков классов 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 нормальными считаются условия, при которых отклонение счётчика от вертикального положения не превышает 1°, отклонение температуры окружающего воздуха не более чем $\pm 3^\circ\text{C}$ от 20°C , отклонение напряжения питания счётчика не более чем на $\pm 1\%$ номинального значения напряжения питания и т.д.

В данной работе производится частичная проверка однофазного счётчика активной энергии методом, предусматривающим применение ваттметра и секундомера, и позволяющая проверить счётчик на отсутствие самохода, определить порог чувствительности и погрешность при различных по величине токах нагрузки и коэффициенте мощности $\cos\varphi = 1$.

1. Ознакомиться с приборами, входящими в комплект лабораторной установки и записать их технические характеристики.

2. Для проверки счётчика на отсутствие самохода в данной схеме используется цифровой вольтметр V переменного тока.

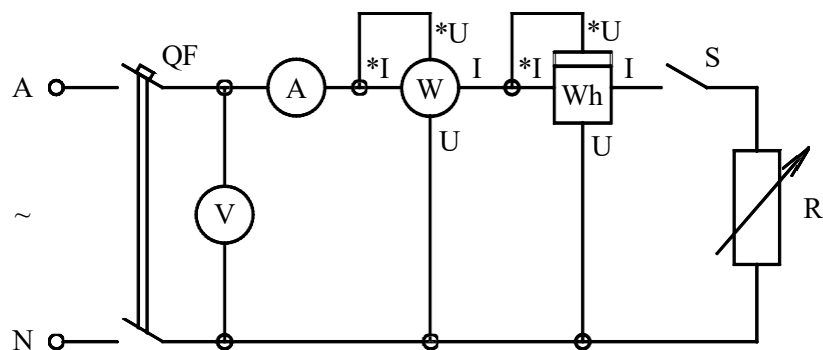


Рис. 3.1

При отсутствии тока нагрузки (токовая обмотка счётчика отключена – выключатель S разомкнут) с помощью регулятора напряжения установить напряжение питания счётчика, равное $110\% U_{\text{ном}}$. Если при этом диск счётчика не совершает более одного полного оборота, то самоход счётчика отсутствует.

3. Для определения порога чувствительности счётчика в схеме используется

цифровой амперметр A и цифровой вольтметр V переменного тока. Установить максимальное значение сопротивления регулируемого резистора R и номинальное напряжение $U_{\text{ном}}$. При этом диск счётчика должен быть неподвижен. Далее путём плавного уменьшения сопротивления добиться начала движения и непрерывного, без толчков, вращения диска. Соответствующее началу непрерывного движения диска значение тока нагрузки $I_{\text{порог}}$ внести в отчёт.

4. Для определения относительной погрешности счётчика установить напряжение равное номинальному $U_{\text{ном}}$ и при ток нагрузки $I = I_{\text{ном}} = 5\text{ А}$. Установку значения тока I осуществить путём изменения величины сопротивления регулируемого резистора R .

5. После прогрева схемы с помощью секундомера измерить время вращения диска счётчика при совершении им N целых оборотов. Число N выбрать таким, чтобы время t было не менее 50 – 60 с. Определение интервала времени провести 3 раза и за измеренное значение t_n принять среднее арифметическое значение из трёх измерений.

6. Рассчитать значение учтённой счётчиком энергии $W_{\text{сч}}$ по формуле:

$$W_{\text{сч}} = C_{\text{ном}} \cdot N,$$

где $C_{\text{ном}}$ – номинальная постоянная счётчика; N – целое число оборотов диска счётчика, совершенное за время t_n . Значение $C_{\text{ном}}$ определить по выражению:

$$C_{\text{ном}} = (3600 \cdot 1000) / N_0,$$

где N_0 – передаточное число счётчика, указанное на его лицевой панели.

7. Рассчитать действительное значение энергии W , израсходованной счётчиком за время t_n , используя выражение:

$$W = P_w \cdot t_n,$$

где P_w – значение мощности, определённое по образцовому ваттметру:

$$P_w = C_w \cdot a,$$

где C_w – номинальная постоянная (цена деления) ваттметра, a – отсчёт по шкале ваттметра в делениях.

8. Определить значение относительной погрешности счётчика в процентах, используя формулу:

$$\delta = \frac{W_{\text{сч}} - W}{W} \cdot 100\%.$$

Результаты измерений и расчётов занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1

№ п/п	I А	N Об.	t с	t_n с	P_w Вт	$W_{\text{сч}}$ Дж	W Дж	δ %
1								
2								
3								
4								
5								

9. П.п. 4, 5, 6, 7, 8 повторить при токах нагрузки I , равных 1, 2, 3, 4 А.

10. Сделать заключение о допустимости определённых выше параметров счётчика с учётом обозначенного на лицевой панели поверяемого счётчика класса точности.

Вопросы к защите работы

1. Способы создания в индукционных счётчиках электрической энергии вращающего момента и момента торможения.
2. Цель и способы создания в индукционных счётчиках электрической энергии компенсирующего момента.
3. Понятие самохода индукционного счётчика и способы его устранения.
4. Номинальная и действительная постоянные счётчика, что характеризуют и от чего зависят?
5. Отличие трёхфазных индукционных счётчиков электрической энергии от однофазных.
6. Погрешность, определяющая класс точности счётчиков.
7. Отличие трёхфазных счётчиков реактивной энергии от трёхэлементных трёхфазных счётчиков активной энергии.
8. Особенности схем включения трёхфазных двух- и трёхэлементных счётчиков активной энергии.
9. Особенности поверки счётчиков электрической энергии методом ваттметра и секундомера.
10. Особенности поверки счётчиков электрической энергии с использованием образцового счётчика.

Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы

1. Изучение вероятностных характеристик случайной погрешности.
2. Изучение методов математической статистики, используемых для расчёта вероятностных характеристик случайной погрешности измерений.
3. Проверка гипотезы о нормальном законе распределения случайной погрешности.

Подготовка к работе

1. Записать название и цель работы, начертить схему установки, подготовить таблицу, записать расчётные формулы.
2. Изучить порядок выполнения работы.
3. Изучить основные законы распределения случайной погрешности и методы оценки их параметров.

Описание лабораторной установки

В данной лабораторной работе осуществляется оценка случайной погрешности измерения напряжения.

Измерение напряжения осуществляется приборами прямого действия методом непосредственной оценки. Измерение напряжения осуществляется по схеме рис. 4.1 с использованием многопредельного электромеханического вольтметра V и цифрового вольтметра V_0 . В качестве источника электрической энергии используется однофазная сеть переменного тока.

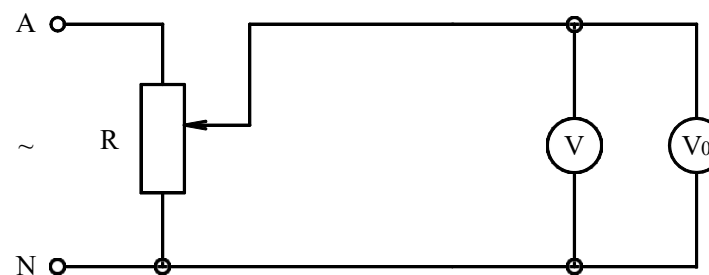


Рис. 4.1. Схема лабораторной установки

Порядок выполнения работы

1. Провести измерение напряжения. Для этого:
 - а) выбрать величину измеряемого напряжения U_1 из диапазона напряжений, позволяемых сетью.
 - б) установить однократным и плавным движением руки с помощью регулятора напряжения значение напряжения в пределах $U_1 \pm 10\%$. Установка

напряжения выполняется по вольтметру V . При этом нельзя “подгонять” значение напряжения под желаемое значение. Это приводит к появлению личных ошибок оператора и к неправильным результатам;

в) записать показания вольтметра V с максимальной точностью в таблицу 4.1;

г) через 2-3 секунды после установки напряжения по вольтметру V снять показания с цифрового прибора V_0 и записать в таблицу 4.1. При этом фиксируется и записывается первое увиденное значение. Нельзя ждать на приборе желаемое значение. Это приводит к появлению личных ошибок оператора и к неправильным результатам.

Опыт повторить 80 раз.

Таблица 4.1

Прибор/ Погр.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Э59, В									
	Щ4313, В									
	Δ , В									
2	Э59, В									
	Щ4313, В									
	Δ , В									
n	Э59, В									
	Щ4313, В									
	Δ , В									
8	Э59, В									
	Щ4313, В									
	Δ , В									

Обработка результатов измерений

1. По результатам каждого измерения рассчитывается абсолютная неисправленная погрешность измерения по формуле

$$\Delta = X' - Q, \quad (4.1)$$

где X' – измеренное значение напряжения, которое определяется по показаниям прибора V ; Q – истинное значение напряжения, которое заменяется действительным значением напряжения, определяемым по показаниям цифрового вольтметра V_0 .

С учетом вышеперечисленного абсолютная неисправленная погрешность измерения рассчитывается по формуле

$$\Delta = V - V_0. \quad (4.2)$$

2. Построить вариационный интервальный ряд. Интервальным вариационным рядом называется таблица, состоящая из двух столбцов. В первом столбце указываются границы интервалов абсолютной погрешности измерений, а во втором количество погрешностей измерения, попавших в каждый интервал.

Частота интервала равна количеству случайных величин, попадающих в данный интервал.

Величина интервала рассчитывается по формуле

$$h = \frac{\Delta_{\max} - \Delta_{\min}}{1 + \ln n}, \quad (4.3)$$

где $\Delta_{\max}$ и $\Delta_{\min}$ – максимальный и минимальный вариант абсолютной погрешности; n – общее число измерений (в данном случае $n = 80$).

Начало первого интервала рассчитывается по формуле

$$a_1 = \Delta_{\min} - h/2. \quad (4.4)$$

Начало второго интервала совпадает с концом первого и равно

$$a_2 = a_1 + h. \quad (4.5)$$

Построение интервалов продолжают до тех пор, пока начало следующего интервала не будет больше $\Delta_{\max}$. Результаты расчётов заносят в таблицу 4.2.

В каждом интервале должно быть от 8 до 15 абсолютных погрешностей измерения напряжения. Если количество наблюдений в отдельных интервалах мало (меньше 5), то необходимо объединить рядом расположенные интервалы.

Таблица 4.2

Интервал	Частота
(a_1, a_2)	m_1
(a_2, a_3)	m_2
$\dots$	$\dots$
(a_L, a_{L+1})	m_L

3. Построить гистограмму вариационного ряда.

Гистограмма служит для графического изображения вариационного интервального ряда. Для её построения в прямоугольной системе координат по оси абсцисс откладывают отрезки, изображающие интервал вариационного ряда и на этих отрезках, как на основании, строят прямоугольники с высотами, равными частотам соответствующего интервала.

4. Проверить гипотезу о нормальном распределении абсолютной погрешности измерений.

Проверка гипотезы заключается в сравнении эмпирического $F'(\Delta)$ и теоретического распределения абсолютной погрешности измерений. Сравнение выполняется с помощью критерия согласия χ^2 Пирсона.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^L \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} \quad (4.6)$$

где n – число измерений, ($n = 80$); L – число интервалов вариационного ряда; m_i – эмпирическая частота i -го интервала (берутся из таблицы 4.2); np_i – теоретическая частота i -го интервала – это значение частоты i -го интервала при нормальном законе распределения погрешности измерений.

Теоретическое значение абсолютной погрешности измерений, попавших в интервал (a_i, a_{i+1}) рассчитывается по формуле

$$p\{a_i < \Delta < a_{i+1}\} = \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{a_i - M}{\sigma}\right) - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{a_{i+1} - M}{\sigma}\right) \quad (4.7)$$

где M – математическое ожидание абсолютной погрешности измерений; σ – среднеквадратическое отклонение абсолютной погрешности измерений; $\Phi\left(\frac{a_i - M}{\sigma}\right)$ – функция Лапласа или интеграл вероятности, определяется по таблице 4.4.

Математическое ожидание рассчитывается эмпирически как среднеарифметическая абсолютной погрешности

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} \quad (4.8)$$

Среднеквадратическое отклонение равно

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (4.9)$$

где D – дисперсия абсолютной погрешности измерений.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i - M)^2}{n} \quad (4.10)$$

Если эмпирические частоты сильно отличаются от теоретических, то проверяемую гипотезу следует отвергнуть (закон распределения не является нормальным), в противоположном случае – принять.

Таблица 4.3

Значения $\chi^2_{\alpha,k}$					
Число степеней свободы k	Доверительная вероятность $q = 1 - \alpha$				
	0,99	0,98	0,95	0,9	0,8
5	0,55	0,75	1,14	1,61	2,34
6	0,187	1,13	1,63	2,2	3,07
7	1,24	1,56	2,17	2,83	3,82
8	1,65	2,03	2,73	3,49	4,59
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18
11	3,1	3,6	4,6	5,6	7,0
12	3,6	4,2	5,2	6,3	7,8
13	4,1	4,8	5,9	7,0	8,6
14	4,7	5,4	6,6	7,8	9,5
15	5,2	6,0	7,3	8,5	10,3

Правило применения критерия χ^2 сводится к следующему. Рассчитав значение χ^2 и выбрав уровень значимости критерия $\alpha = 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2$ по таблице 4.3 (таблице χ^2 – распределения) определяют $\chi^2_{\alpha,k}$. Где k – степень свободы

$$k = L - r - 1, \quad (4.11)$$

r – число параметров распределения. По выборке абсолютной погрешности

рассчитаны два параметра: математическое ожидание и дисперсия, следовательно $r = 2$.

Если $\chi^2 > \chi^2_{\alpha,k}$, то гипотезу о нормальном законе распределения отвергают, если $\chi^2 \leq \chi^2_{\alpha,k}$, то гипотезу принимают.

5. Сделать выводы по полученным результатам.

Таблица 4.4

Значение функции $\Phi(t)$										
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0080	0,0610	0,02939	0,0319	0,0399	0,0478	0,0558	0,0638	0,0717
0,1	0,0797	0,0876	0,0995	0,1034	0,1113	0,1192	0,1271	0,1350	0,1428	0,1507
0,2	0,1585	0,1663	0,1741	0,1819	0,1897	0,1974	0,2051	0,2128	0,2205	0,2282
0,3	0,2358	0,2434	0,2510	0,2586	0,2661	0,2737	0,2812	0,2886	0,2960	0,3035
0,4	0,3108	0,3182	0,3255	0,3328	0,3401	0,3473	0,3545	0,3616	0,3688	0,3759
0,5	0,3829	0,3899	0,3969	0,4039	0,4108	0,4177	0,4245	0,4313	0,4381	0,4448
0,6	0,4515	0,4581	0,4647	0,4713	0,4778	0,4843	0,4907	0,4971	0,5035	0,5098
0,7	0,5161	0,5223	0,5285	0,5346	0,5407	0,5467	0,5527	0,5587	0,5646	0,5705
0,8	0,5763	0,5821	0,5878	0,5935	0,5991	0,6047	0,6102	0,6157	0,6211	0,6265
0,9	0,6319	0,6372	0,6426	0,6476	0,6528	0,6579	0,6629	0,6679	0,6729	0,6778
1,0	0,6827	0,6875	0,6923	0,6970	0,7017	0,7063	0,7109	0,7154	0,7199	0,7243
1,1	0,7287	0,7330	0,7373	0,7415	0,7457	0,7499	0,7540	0,7580	0,7620	0,7660
1,2	0,7699	0,7737	0,7775	0,7813	0,7850	0,7887	0,7923	0,7959	0,7994	0,8029
1,3	0,8064	0,8098	0,8132	0,8165	0,8198	0,8230	0,8262	0,8293	0,8324	0,8355
1,4	0,8385	0,8415	0,8444	0,8473	0,8501	0,8529	0,8557	0,8584	0,8611	0,8638
1,5	0,8664	0,8690	0,8715	0,8740	0,8764	0,8789	0,8812	0,8836	0,8859	0,8882
1,6	0,8904	0,8926	0,8948	0,8969	0,8990	0,9011	0,9031	0,9051	0,9070	0,9090
1,7	0,9109	0,9127	0,9146	0,9164	0,9181	0,9199	0,9216	0,9233	0,9249	0,9265
1,8	0,9281	0,9297	0,9312	0,9327	0,9342	0,9357	0,9371	0,9385	0,9399	0,9412
1,9	0,9426	0,9439	0,9451	0,9464	0,9476	0,9488	0,9500	0,9512	0,9523	0,9534
2,0	0,9545	0,9556	0,9566	0,9576	0,9586	0,9596	0,9606	0,9616	0,9625	0,9634
2,1	0,9643	0,9651	0,9660	0,9668	0,9676	0,9684	0,9692	0,9700	0,9707	0,9715
2,2	0,9722	0,9729	0,9736	0,9743	0,9749	0,9756	0,9762	0,9768	0,9774	0,9780
2,3	0,9786	0,9791	0,9797	0,9802	0,9807	0,9812	0,9817	0,9822	0,9827	0,9832
2,4	0,9836	0,9841	0,9845	0,9849	0,9853	0,9857	0,9861	0,9865	0,9869	0,9872
2,5	0,9876	0,9879	0,9883	0,9886	0,9889	0,9892	0,9895	0,9898	0,9901	0,9904
2,6	0,9907	0,9910	0,9912	0,9915	0,9917	0,9920	0,9922	0,9924	0,9926	0,9928
2,7	0,9931	0,9933	0,9935	0,9937	0,9939	0,9940	0,9942	0,9944	0,9946	0,9947
2,8	0,9949	0,9951	0,9952	0,9953	0,9955	0,9956	0,9958	0,9959	0,9960	0,9961
2,9	0,9963	0,9964	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972
3,0	0,9973	0,9974	0,9975	0,9976	0,9976	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980
3,1	0,9981	0,9981	0,9982	0,9983	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986
3,2	0,9986	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,3	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993

Таблица 4.4 (продолжение)

Значение функции $\Phi(t)$										
t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3,4	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995	0,9995
3,5	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997	0,9997
3,6	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998	0,9998	0,9998
3,7	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
3,8	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
3,9	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
4,0	0,999936	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999	0,9999
4,5	0,999994	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,0	0,9999994	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Вопросы к защите работы

1. Факторы, приводящие к возникновению случайной погрешности.
2. Законы распределения случайной погрешности. Основные характеристики законов распределения.
3. Погрешность измерений напряжения изменяется в пределах от -5 до $+3$ В. Известно, что она обусловлена случайной погрешностью, распределённой по равномерному закону. Определить вероятность того, что при измерении погрешность окажется в пределах от -1 до $+1$ В.
4. Два элемента прибора вызывают появление случайных погрешностей, распределённых по равномерному закону с пределами изменения погрешностей $(-10, +2)$ и $(-2, +10)$. Постройте распределение плотности вероятности случайной погрешности прибора в целом.
5. Прибор обладает трапециевидным законом распределения погрешности. Минимальное возможное значение погрешности -15 мА, максимальное возможное значение погрешности $+10$ мА, наиболее вероятные значения погрешностей лежат в пределах от -4 до $+6$ мА. Определить вероятность того, что при измерении погрешность окажется в пределах от -6 до $+12$ мА.
6. По п.5. постройте две функции распределения плотности вероятности элементов прибора, образовавших трапециевидный закон.
7. Поясните способ проверки соответствия нормальному закону распределения случайной погрешности, используемый в данной работе.
8. Способы уменьшения степени воздействия на результаты измерений случайных факторов. Основная и дополнительная погрешности.
9. Результат измерения напряжения 114 В, исправленный результат при этом составляет 123 В, определите точность измерения, величину случайной и систематической погрешности, если истинное значение измеряемой величины 130 В.

Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы

1. Изучение характеристик систематической погрешности.
2. Изучение методов, используемых для определения систематической погрешности измерений.

Подготовка к работе

1. Записать название и цель работы, начертить схему установки, подготовить таблицу, записать расчётные формулы.
2. Изучить порядок выполнения работы.

Описание лабораторной установки

В данной лабораторной работе осуществляется определение значения систематической погрешности измерения напряжения и характера её изменения.

Измерение напряжения осуществляется приборами прямого действия методом непосредственной оценки. Для проведения измерений на лабораторном стенде смонтированы однофазный регулятор напряжения R , электромеханический V и цифровой V_0 вольтметры.

В качестве источника электрической энергии используется однофазная сеть переменного тока.

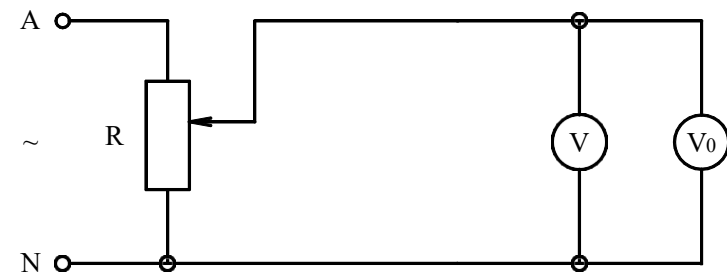


Рис. 5.1. Схема лабораторной установки.

Порядок выполнения работы

Опыт 1.

1. Провести измерение напряжения. Для этого:
 - а) по указанию преподавателя установить с помощью регулятора напряжение. Установка напряжения выполняется по вольтметру V , установленному на стенде;
 - б) записать показания вольтметра V в таблицу 5.1;
 - в) через 2-3 секунды после установки напряжения снять показания с

цифрового вольтметра V_0 и записать в таблицу 5.1. При этом фиксируется и записывается первое увиденное значение. Нельзя ждать на приборе желаемое значение. Это приводит к появлению личных ошибок оператора и к неправильным результатам;

г) уменьшить напряжение до 0. Опыт повторить 10 раз.

2. Измерения п. 1 повторить 4 раза через каждые 3 минуты.

Опыт 2.

1. Провести измерение напряжения. Для этого:

а) установить однократным и плавным движением руки с помощью регулятора напряжения значение напряжения, которое равно значению оцифрованной отметки шкалы. Установка напряжения выполняется по вольтметру V . При этом нельзя “подгонять” значение напряжения под желаемое значение. Это приводит к появлению личных ошибок оператора и к неправильным результатам;

Таблица 5.1

	Измерение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Прибор/ Погр.										
1	Узкопрофильный вольтметр, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
2	Узкопрофильный вольтметр, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
3	Узкопрофильный вольтметр, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
4	Узкопрофильный вольтметр, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
5	Узкопрофильный вольтметр, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										

б) записать показания вольтметра V в таблицу 5.2;

в) через 2-3 секунды после установки напряжения снять показания с цифрового вольтметра V_0 и записать в таблицу 5.2. При этом фиксируется и записывается первое увиденное значение. Нельзя ждать на приборе желаемое

значение. Это приводит к появлению личных ошибок оператора и к неправильным результатам.

г) уменьшить напряжение до 0. Опыт повторить 10 раз.

2. Повторить измерения п. 1. для ещё 4 оцифрованных отметок шкалы. Две отметки должны находиться в левой половине шкалы, одна в центре и две – в правой.

Обработка результатов измерений

1. По результатам каждого измерения рассчитывается абсолютная неисправленная погрешность измерения по формуле

$$\Delta = X' - Q, \quad (5.1)$$

где X' – измеренное значение напряжения, которое определяется по показаниям V ; Q – истинное значение напряжения, которое заменяется действительным значением напряжения, определяемым по показаниям цифрового вольтметра V_0 .

Таблица 5.2

	Измерение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Прибор/ Погр.										
1	Э59, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
2	Э59, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
3	Э59, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
4	Э59, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										
5	Э59, В										
	Щ4313, В										
	Δ , В										

С учётом вышеперечисленного абсолютная неисправленная погрешность измерения рассчитывается по формуле

$$\Delta = V - V_0 \quad (5.2)$$

2. Рассчитать математическое ожидание абсолютной неисправленной погрешности. Эмпирическим путем математическое ожидание рассчитывается как среднеарифметическое значение абсолютной неисправленной погрешности.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta_i}{n} \quad (5.3)$$

где n – число измерений, $n = 10$.

В проведённых экспериментах считаем, что в каждом опыте, состоящем из 10 измерений систематическая погрешность постоянна, поэтому

$$M = \theta, \quad (5.4)$$

где θ – систематическая погрешность измерений.

3. По результатам первого опыта построить зависимость $Q = f(I)$, по результатам второго – $Q = f(U)$, где U – напряжение, соответствующее оцифрованным отметкам шкалы.

Содержание отчёта

Отчёт по лабораторной работе должен содержать:

1. Название и цель работы, схему лабораторной установки, основные расчётные формулы.
2. Таблицу с результатами измерений и расчётов.
3. Выводы.

Вопросы к защите работы

1. Факторы, приводящие к возникновению систематической погрешности.
2. Классификация систематических погрешностей по характеру изменения в процессе измерений.
3. Способы обнаружения систематических погрешностей.
4. Классификация систематических погрешностей в зависимости от причин их возникновения.
5. При измерении сопротивления в цепи постоянного тока методом амперметра и вольтметра были получены следующие результаты: $0,5 \pm 0,01$ А и $12 \text{ В} \pm 4\%$. Определить точность, относительную и абсолютную погрешности измерения сопротивления.
6. Точность измерения активной мощности 40. Случайная составляющая погрешности равна +4 В, систематическая погрешность постоянна и составляет –11,5 В. Определить истинное значение измеряемой мощности, а также исправленный и неисправленный результат измерения.
7. Погрешности аналоговых электромеханических электроизмерительных приборов.
8. Погрешности цифровых электроизмерительных приборов.

Библиографический список

1. Основы метрологии и электрические измерения /Под ред. Е.М. Душна. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.
2. Электрические измерения /Под ред. А.В. Френке и Е.М. Душина. - Л.: Энергия, 1980. - 392 с.
3. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин /Под ред. Е.С. Полищука. - К.: Вища шк., 1984. - 359 с.
4. Котур. В.И. Электрические измерения и электроизмерительные приборы. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 400 с.
5. Электрические измерения /Под ред. В.Н. Малиновского. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 392 с.
6. Математическая статистика/ В.М. Иванова, В.Н. Калинина, П.А. Нешумова, И.О. Решетникова. - М.: Высшая школа, 1981. - 368 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания к лабораторным работам	3
<i>Лабораторная работа №1. Исследование метода непосредственной оценки</i>	4
<i>Лабораторная работа №2. Исследование косвенных методов измерения сопротивлений</i>	7
<i>Лабораторная работа №3. Поверка однофазного индукционного счётчика электроэнергии</i>	10
<i>Лабораторная работа №4. Исследование случайной погрешности измерений</i>	14
<i>Лабораторная работа №5. Исследование систематической погрешности измерений</i>	20
Библиографический список	24

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания к лабораторным работам

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации самостоятельной работы обучающихся по
дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для
студентов направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Цифровые технологии в электроэнергетике

Ставрополь
2025

1. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА.

Отчет о проделанной практической работе составляется каждым учащимся самостоятельно по обычной форме, принятой в университете.

Отчет должен содержать:

1. Наименование и цель работы.
2. Схему измерения с краткой характеристикой ее элементов и с пояснением методики измерения.
3. Результаты расчета.
4. Краткие выводы и заключения.

Конечные результаты измерения должны приводиться в отчетах с учетом общей погрешности измерения.

Так, например, если $u = 10$ В измерено с общей погрешностью $\pm 10\%$, то конечная запись имеет вид $U = (10 \pm 1,0)$ В.

2. МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ.

Измерения выполняются специальными техническими средствами измерений, например: меры, преобразователи, приборы и системы. Каждое из них имеет определенную нормированную погрешность. При любом измерении возможна некоторая погрешность, искажающая результат измерения; поэтому можно определить только приближенное значение измеряемой величины. Погрешность результата измерения определяется многими причинами и может значительно превышать погрешность применяемого средства измерения.

Следовательно, так как результат измерения всегда имеет погрешность, он не может дать истинного значения измеряемой величины, а дает только так называемое ее *действительное* значение, принимаемое за истинное. Нужно всегда стремиться к тому, чтобы измеренное значение было возможно ближе к истинному. Для этого одни погрешности стараются не допустить или исключить, а другие оценивают или рассчитывают.

Качество измерения иногда оценивают его *точностью* – близостью результата измерений к истинному значению. Количественно точность выражают обратным значением модуля относительной погрешности измерения. Так, если погрешность равна 10^{-2} , то точность измерения составляет 10^2 .

Погрешности считают положительными, если результат измерения превышает действительное значение измеряемой величины, и отрицательным, – если результат измерения меньше действительного значения.

Погрешности измерений различаются по:

- а) *источнику возникновения* – методическая, инструментальная и субъективная погрешности;
- б) *условиям проведения измерений* – влияние внешних условий как на измеряемый объект, так и на измерительный прибор (температура, давление, влажность и др.);
- в) *характеру проявления* – систематические, случайные и промахи;
- г) *по способу выражения*: абсолютная – ΔA ; она выражается в единицах измеряемого значения и представляет собой разность между измеренным A_x и действительным A значениями физической величины:

$$\Delta A = A_x - A. \quad (1)$$

Относительная погрешность измерения равна δ ; она обычно выражается в процентах и представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины:

$$\begin{aligned}\delta &= \Delta A / A \approx = \Delta A / A_x, \\ \delta &= 100 \Delta A / A.\end{aligned}\quad (2)$$

Погрешности по условиям измерений разделяют на *основные* и *дополнительные* применительно к измерительным приборам.

Методические погрешности возникают из-за недостаточной разработанности или несовершенства метода измерения, измерительной схемы или ее элементов. Такая погрешность возникает, например, при шунтировании вольтметром сопротивления, на котором измеряется напряжение, т. е. если включение измерительного прибора приводит к изменению режима работы источника сигнала и исследуемой цепи.

Инструментальные погрешности обусловлены конструктивными, технологическими, схемными недостатками приборов и неточной градуировкой, а также погрешностями отсчета, определяемыми ценой деления у аналоговых приборов и единицей наименьшего разряда у цифровых.

Субъективные погрешности обусловлены несовершенством органов чувств оператора, невниманием при измерениях и индивидуальными особенностями. При использовании цифровых приборов субъективные погрешности отсутствуют.

Систематические погрешности – составляющие общей погрешности измерений, остающиеся постоянными или закономерно изменяющимися при повторных измерениях тем же способом и средствами. К систематическим относятся постоянная погрешность меры, а также погрешности: за счет влияния входного сопротивления вольтметра на измеряемую цепь; от неточного нанесения штрихов на шкалу при установке нулевых показаний прибора; из-за особенностей восприятия измеряющего лица. К переменным систематическим погрешностям относят погрешности, обусловленные нестабильностью напряжения источника питания, влиянием внешних электромагнитных полей и других факторов. Обычно систематическая погрешность может быть обнаружена, устранена или учтена. Уменьшение влияния, а также исключение систематических погрешностей достигается следующими способами: установкой указателя прибора в нулевое положение до начала измерения и проверкой этого положения в процессе измерения; введением в результат измерения поправок или поправочных множителей, полученных при поверке данного прибора и приводимых в инструкциях к прибору; поверкой отдельных точек шкалы прибора по образцовым сигналам, калибровкой показаний по калибратору, встроенному в прибор.

Погрешность источника образцового сигнала (калибратора) в 3-5 раз меньше основной погрешности калибруемого измерительного прибора. Калибровка обычно производится в двух точках шкалы – начальной, соответствующей нулевому значению калиброванного сигнала и значению A , выбираемого в пределах от $0,66A_{max}$ – до A_{max} – максимальное значение измеряемого сигнала данным прибором. Такой выбор образцового сигнала обеспечивает наибольшую точность калибровки (инструментальная погрешность минимальна). Используя перечисленные способы, добиваются полного исключения систематических погрешностей или такого их уменьшения, что они практически не влияют на результат измерения.

Случайные погрешности – составляющие общей погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторных (многократных) измерениях одного и того же значения заданной величины в одинаковых условиях с помощью одних и тех же средств. Любая погрешность состоит из двух составляющих – систематической и случайной. Случайные погрешности невозможно исключить, а уменьшить можно, выполняя ряд единичных (повторных) измерений заданного значения измеряемой величины в одних и тех же условиях. Затем вычисляют действительное значение измеряемой величины как среднее арифметическое ряда измерений.

Промахи – это большие погрешности (грубые ошибки), значительно искажающие результаты измерения. Они вызываются резким нарушением условий измерений, например: неправильным отсчетом, небрежностью измеряющего и т. д. Такие измерения в

определенных случаях не учитываются и отбрасываются, что решается специальным расчетом (правило «трех сигм»).

Зная отдельные погрешности измерения (например, основную и дополнительную), вычисляют общую или предельную погрешность суммированием отдельных ее составляющих; причем все они должны быть, взяты с одинаковым знаком (если знаки их не известны). Если складывают более трех погрешностей, то правильнее учитывать *вероятностную погрешность*. Ориентировочно ее можно принять равной 0,67 от предельной, а точнее, найти как результат сложения погрешностей по квадратичному закону, взяв корень квадратный из сумм квадратов всех погрешностей. Подробно этот вопрос рассматривается в специальной литературе.

3. КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПРИБОРОВ.

Погрешность измерительных приборов отражает свойства только самого измерительного устройства, обусловленные структурными, схемными, конструктивными особенностями прибора, свойствами применяемых в нем материалов и элементов, особенностями технологии их изготовления, регулировки и градуировки. Следует различать погрешность измерительного прибора и погрешность измерения некоторого сигнала измерительным прибором. Погрешность прибора – это часть погрешности измерения некоторого сигнала измерительным прибором; она в определенной степени влияет на точность измерений.

Существуют следующие погрешности прибора:

а) абсолютная погрешность прибора

$$\Delta A = A_{\text{п}} - A,$$

где $A_{\text{п}}$ – показание прибора, а A – действительное значение измеряемой величины. Абсолютная погрешность прибора, взятая с обратным знаком, называется поправкой $P = -\Delta A$;

б) относительная погрешность прибора

$$\delta = \Delta A_{\text{п}} / A$$

или в процентах

$$\delta = 100 \Delta A_{\text{п}} / A,$$

Относительная погрешность дает более наглядное представление о точности измерений, чем абсолютная. Например, измерено 2 значения: напряжения 10 и 100 В с одной и той же абсолютной погрешностью 0,5 В. Относительные погрешности этих измерений соответственно равны 5 и 0,5%, т. е. точность второго измерения в 10 раз (на порядок) выше.

Для сравнения приборов между собой введено понятие *приведенная погрешность прибора* $\gamma_{\text{п}}$, равная отношению его абсолютной погрешности $\Delta A_{\text{п}}$ к значению шкалы $A_{\text{к}}$, которое принимается равным номинальному значению $A_{\text{ном}}$ для приборов с равномерной шкалой;

$$\gamma_{\text{п}} = \Delta A_{\text{п}} / A_{\text{ном}} \quad (3)$$

Если шкала прибора двусторонняя с нулем посередине, то за $A_{\text{к}}$ принимается длина шкалы и ΔA берется в единицах длины.

Если абсолютная погрешность измерительного прибора постоянна по всей шкале (что практически имеет место, например, при равномерной шкале прибора), то его относительная погрешность существенно увеличивается к началу шкалы. Поэтому целесообразно выбирать прибор с таким пределом измерения, при котором его указатель при измерении располагается ближе к концу шкалы.

К характеристикам измерительных приборов относятся основная и дополнительная погрешности, а также класс точности.

Основная погрешность – это погрешность, свойственная прибору в нормальных условиях применения, при которых производилась его градуировка; она нормируется стандартами. Нормальными условиями обычно считаются: температура окружающей среды $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, что соответствует $(293 \pm 5)\text{K}$ (для приборов высокой точности $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$), относительная влажность $(65 \pm 5)\%$, атмосферное давление $(100\,000 \pm 4000)\text{Па}$ [$(760 \pm 30)\text{мм рт. ст.}$], напряжение питающей сети $220\text{ В} \pm 2\%$ с частотой 50 Гц .

Составляющими основной погрешности большинства электромеханических приборов всех систем являются погрешность: от упругого последствия растяжек (или спиральных пружин), отсчета по шкале, от трения в опорах и др. Кроме того, каждая система имеет дополнительно свои специфические составляющие этой погрешности. Так например, погрешность отгистерезиса материала сердечника (электромагнитные приборы), от контактной разности потенциалов (электростатические приборы) и др.

Дополнительная погрешность – это погрешность, возникающая в измерительном приборе при отклонении одного из влияющих значений от нормальных условий эксплуатации (например, температуры окружающей среды, напряжения источника питания, внешнего магнитного или электрического поля, формы входного сигнала и др.).

Дополнительные погрешности нормируются стандартами и указываются в паспортах приборов – в процентах или долях от основной погрешности (класса точности) либо в единицах измеряемого значения. Если изменение дополнительной погрешности в рабочей области значений влияющих факторов составляет менее половины основной погрешности, то может нормироваться только основная погрешность для указанной области значений.

Точность электрорадиоизмерительных приборов определяется пределами погрешностей (основной и дополнительной) и оценивается абсолютными, относительными и приведенными погрешностями. Для радиоизмерительных приборов наиболее характерным является выражение точности измерения через абсолютную и относительную погрешности, а для электрорадиоизмерительных приборов – через приведенную.

Абсолютная погрешность приборов выражается в различной форме в зависимости от типа и назначения прибора. Так, например, абсолютная погрешность установки частоты низкочастотного генератора ГЗ-102 следующим образом: в диапазоне частот $(20 - 20) \cdot 10^3\text{ Гц}$ $\Delta f = 0,01f_{\text{вых}} + 0,2\text{ Гц}$; в диапазоне частот $(20-200) \cdot 10^3\text{ Гц}$ $\Delta f = 0,015 f_{\text{вых}}$.

Относительная погрешность измерения приборами выражается в процентах и вычисляется по формулам, содержащим один член или сумму нескольких членов. Так, например, относительная погрешность установки частоты низкочастотного генератора ГЗ-107 вычисляется по двучленной формуле $\delta = (3 + 30 / f_{\text{вых}})\%$.

Расчет относительных погрешностей цифровых приборов, измерителей индуктивности, добротности, сопротивлений и других приборов также выполняется по формулам, состоящим из суммы нескольких членов. Эти формулы приводятся в паспорте каждого прибора. Измерительным приборам, допустимая погрешность которых выражается приведенной или относительной погрешностью, присваиваются классы точности, устанавливаемые стандартами на измерительные приборы.

Согласно ГОСТ электроизмерительные приборы делятся по степени точности на 9 классов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; и 4,0.

Класс точности прибора K_n определяет наибольшую (предельную) допустимую приведенную погрешность прибора γ_n в рабочей части шкалы, выраженную абсолютным числом, значение которого равно приведенной погрешности в процентах.

По классу точности показывающих приборов можно определить их наибольшую абсолютную погрешность ΔA_n , которую может иметь прибор в любой точке шкалы (без учета знака). Так например, при использовании вольтметра со шкалой 0-100 В ($A_{\text{ном}} = 100$) класса точности 1,5 на любой отметке его шкалы основная абсолютная погрешность не превышает значения

$$\Delta A_{\text{п}} \leq \pm K_{\text{п}} A_{\text{ном}}/100 = \pm 1,5 * 100/100 = \pm 1,5 \text{ В.}$$

При этом на отдельных отметках шкалы она может быть меньше 1,5 В или даже равна нулю. Следует отметить, что приведенная погрешность соответствует максимальной относительной погрешности. Если дополнительная погрешность превышает основную, то класс точности приборов определяется по дополнительной погрешности. Классы точности измерительных приборов, допустимые погрешности которых выражаются в двучленной формуле, имеют более сложное обозначение.

Класс точности электроизмерительных приборов устанавливают на заводе при калибровке по образцовому прибору в нормальных условиях. При этом показание образцового прибора принимают за действительное значение измеряемой величины. Пусть в результате калибровки вольтметра магнитоэлектрической системы со шкалой 0 – 50 В получены следующие значения абсолютной погрешности. На отметках шкалы прибора 0 10 20 30 40 50 В абсолютные погрешности составляют соответственно 0,2 0,2 0,0 0,3 0,5 0,9 В.

В этом случае приведенная погрешность поверяемого вольтметра

$$\gamma_{\text{п}} = \Delta A_{\text{п}} / A_{\text{ном}} * 100 = 0,9/50 * 100 = 1,8\%,$$

где $\Delta A_{\text{п}} = 0,9$ – максимальная абсолютная погрешность прибора, полученная на отметке шкалы 50.

Класс точности 1,8 для электроизмерительного прибора не установлен. Поэтому по ГОСТу определяют ближайшее большее его значение, равное 2,5, и поверяемый вольтметр относят к этому классу точности.

Необходимо отметить, что класс точности прибора, характеризуя приведенную погрешность, не является непосредственным показателем точности измерений, проводимых с помощью этого прибора.

Важной характеристикой измерительного прибора является *вариация его показаний*, определяемая как разность показаний между двумя его показаниями, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины, устанавливаемому после плавного ее изменения один раз в сторону возрастания, а второй – в сторону убывания. Этот параметр нормируется пределом допускаемого значения или указывается в процентах; так, например, в электронном вольтметре В7-26 вариация показаний прибора не превышает 1,0%, а основная погрешность при измерении постоянного напряжения составляет в зависимости от предела измерения $\pm (2,5 \div 4,0)\%$.

Вариация показаний проявляется от наличия трения в опорах, люфта кренов в подпятниках, механического гистерезиса пружинок, магнитного гистерезиса деталей измерительного механизма, и поэтому погрешности такого вида наиболее характерны электромеханических приборов. В соответствии с ГОСТом в обоснованных случаях допускается не нормировать вариацию показаний.

4. ЗАДАНИЕ 1.

Пример 1.

Необходимо измерить ток I .

Для этого имеются 2 миллиамперметра: один - класса точности K_1 с пределом измерения 20 мА и второй – класса точности K_2 с пределом измерения 5 мА.

Определить, у какого прибора меньше предел допускаемой основной относительной погрешности и какой прибор обеспечит более высокую точность заданного измерения.

Таблица 1.

<i>№ вар.</i>	<i>I, мА</i>	<i>K₁</i>	<i>K₂</i>	<i>№ вар.</i>	<i>I, мА</i>	<i>K₁</i>	<i>K₂</i>
1	3	1,0	2,5	11	4	1,0	2,5
2	3,1	1,5	1,0	12	4,1	1,5	1,0
3	3,2	2,5	1,5	13	4,2	2,5	1,5
4	3,3	1,0	2,5	14	4,3	1,0	2,5
5	3,4	1,5	1,0	15	4,4	1,5	1,0
6	3,5	2,5	1,5	16	4,5	2,5	1,5
7	3,6	1,0	2,5	17	4,6	1,0	2,5
8	3,7	1,5	1,0	18	4,7	1,5	1,0
9	3,8	2,5	1,5	19	4,8	2,5	1,5
10	3,9	1,0	2,5	20	4,9	1,0	2,5

5. ИСКЛЮЧЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ. ИСПЫТАНИЕ НА

Способ расчета методических погрешностей, возникающих из-за влияния на режим цепи, включение прибора поясняется на примерах типовых измерительных схем. Дополнительные погрешности, как правило, рассчитываются в соответствии с указаниями и формулами, которые даны в инструкции к прибору. Поэтому расчет погрешностей этого вида выполнен применительно к конкретному типу прибора.

Измерение тока. В электрическую цепь включается измеритель тока (рис. 1).

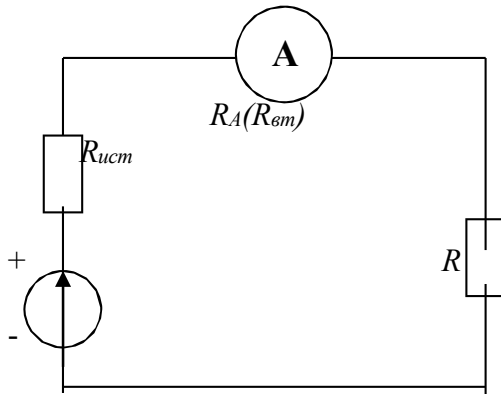


Рис. 1. Включение амперметра в электрическую цепь.

Результат измерения содержит методическую погрешность δ' (относительную погрешность измерения, обусловленную внутренним (входным) сопротивлением прибора (амперметра или вольтметра), обозначают δ' в отличие от относительной погрешности, определяемой классом точности прибора и обозначаемой δ (без штриха)).

$$\delta' = -\frac{R_A}{R_{ист} + R + R_A} 100 = -\frac{R_A 100}{R_{вх} + R_A} = -\frac{1}{1 + R_{вх} / R_A} 100. \dots, \quad (4)$$

где $R_{ист}$ – сопротивление источника E ; R_A – внутренне сопротивление прибора $R_{вн}$; R – сопротивление (нагрузка); $R_{вх} = R + R_{ист}$ – входное сопротивление цепи со стороны измерителя тока.

Если $R_{ист} \ll R$, то

$$\delta' \approx -\frac{1}{1 + R / R_A}, \quad (5)$$

$R_{вн}$ – указывается в справочнике.

Измерение вольтметром э. д. с. источника постоянного напряжения.

Действительное значение измеряемой величины э. д. с.

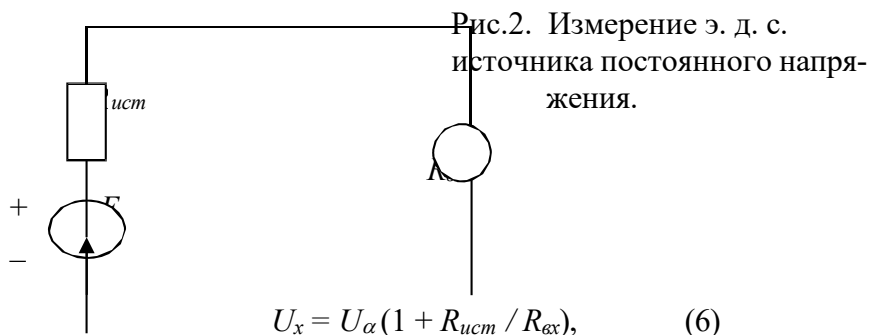


Рис.2. Измерение э. д. с. источника постоянного напряжения.

$$U_x = U_{\alpha} (1 + R_{ист} / R_{вх}), \quad (6)$$

где U_{α} – показания прибора;

$R_{вх}$ – входное сопротивление вольтметра.

Относительная погрешность измерения

$$\delta = -\frac{1}{1 + R_{ист} / R_{вх}} 100, \quad (7)$$

Измерение вольтметром напряжения на отдельном участке электрической цепи. Действительное значение измеряемой величины напряжения

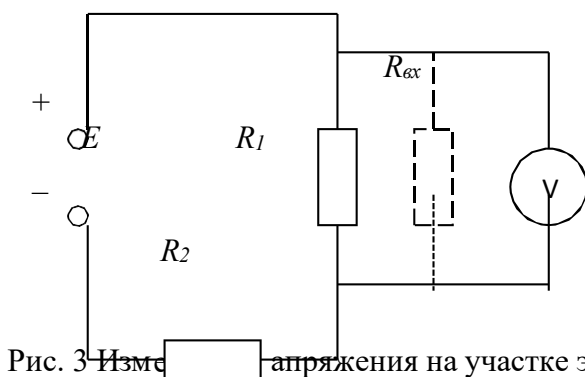


Рис. 3 Измерение напряжения на участке электрической цепи.

$$U_x = U \frac{1 + R_1 / R_2 + R_1 / R_{\text{вх}}}{1 + R_1 / R_2}, \quad (8)$$

где U_α - значение напряжения, отсчитываемое по вольтметру.

Если $R_{\text{вх}} \gg R_1$, то $U_x \approx U_\alpha$, т. е. вольтметр не вносит погрешность.

Если $R_{\text{вх}}$ соизмеримо с R_1 , но $R_2 \gg R_1$, то

$$U_x = U_\alpha (1 + R_1 / R_{\text{вх}}). \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) позволяют определить:

- 1) поправку, которую нужно внести в результат измерения на шунтирующее действие прибора;
- 2) значение требуемой величины $R_{\text{вх}}$ прибора, чтобы погрешность измерения не превышала заданного значения.

Относительная погрешность измерения, обусловленная входным сопротивлением прибора:

$$\delta' = \Delta U / U_x * 100 = (U_\alpha - U_x) / U_x * 100. \quad (10)$$

Для случая $R_2 \gg R_1$, подставляя в (10) значение из (9) и производя преобразования, получим

$$\delta = -\frac{R_1}{R_1 + R_{\text{вх}}} 100 = -\frac{1}{1 + R_{\text{вх}} / R_1} 100, \quad (11)$$

Если R_2 соизмеримо с R_1 , то подставляя значение из уравнения (8) в уравнение (10) и производя преобразования, найдем

$$\delta = - \left[1 - \frac{1 + R_1 / R_2}{1 + R_1 / R_2 + R_1 / R_{\text{вх}}} \right] 100 \quad (12)$$

При пользовании формулами (8),(9),(11) и (12), следует помнить, что R_1 означает сопротивление резистора, на котором измеряется напряжение, а R_2 –сопротивление всех резисторов, последовательно соединенных с R_1 и образующих вместе с ним и с источником питания замкнутую электрическую цепь.

Для случая $R_2 \gg R_1$ можно из (11) определить значение $R_{\text{вх}}$ вольтметра, при котором обеспечивается заданная относительная погрешность $\delta'_{\text{зад}}$:

$$R_{\text{вх}} = R_1 (1 / \delta'_{\text{зад}} - 1).$$

6. ЗАДАНИЕ 2.

Задача 2. В электрическую цепь (см. рис.1), состоящую из источника E , $R_{\text{ист}} = 2$ Ом и $R = 100$ Ом, включен миллиамперметр М260М класса точности КЛ; $R_{\text{вт}} = 2$ Ом с конечным значением шкалы 100 мА. Показание прибора I .

Определить погрешность результата измерения, обусловленную:

- а) классом точности и пределом измерения прибора;
- б) внутренним сопротивлением прибора ($R_{вт}$).

Таблица 2.

<i>№ вар.</i>	<i>E, В</i>	<i>K_п</i>	<i>I, мА</i>	<i>№ вар.</i>	<i>E, В</i>	<i>K_п</i>	<i>I, мА</i>
1	10	1,0	79	11	20	1,0	89
2	11	1,5	80	12	21	1,5	90
3	12	2,5	81	13	22	2,5	91
4	13	1,0	82	14	23	1,0	92
5	14	1,5	83	15	24	1,5	93
6	15	2,5	84	16	25	2,5	94
7	16	1,0	85	17	26	1,0	95
8	17	1,5	86	18	27	1,5	96
9	18	2,5	87	19	28	2,5	97
10	19	1,0	88	20	29	1,0	98

Задача 3. Из имеющихся двух миллиамперметров с конечным значением шкалы 5 мА:

- 1) типа М260М класса точности $K_{п1}$; $R_{вт1}$ и
 - 2) типа М4225 класса точности $K_{п2}$; $R_{вт2}$,
- необходимо выбрать один.

Выбранный прибор должен обеспечить наименьшую общую погрешность измерения тока I в схеме рис.1, состоящий из источника E , $R_{ист}$, R .

Таблица 3.

<i>№ вар.</i>	<i>K₁</i>	<i>R_{вт1}, Ом</i>	<i>K₂</i>	<i>R_{вт2}, Ом</i>	<i>I, мА</i>	<i>E, В</i>	<i>R_{ист}, Ом</i>	<i>R, Ом</i>
1	1,0	60	1,0	20	4,0	2	56	350
2	1,5	59	1,5	21	4,1	3	55	355
3	2,5	58	2,5	22	4,2	4	54	360
4	1,0	57	1,0	23	4,3	5	53	365
5	2,5	56	2,5	24	4,4	6	52	370
6	1,5	55	1,5	25	4,5	7	51	375
7	1,0	54	1,0	26	4,6	8	50	380
8	1,5	53	1,5	27	4,7	9	49	385
9	2,5	52	2,5	28	4,8	10	48	390
10	1,0	51	1,0	29	4,9	11	47	395
11	1,5	50	1,5	30	5,0	12	60	400
12	2,5	49	2,5	31	5,1	13	59	405
13	1,0	48	1,0	32	5,2	14	58	410
14	1,5	47	1,5	33	5,3	15	57	415
15	2,5	46	2,5	34	5,4	16	56	420
16	1,0	45	1,0	35	5,5	17	55	425
17	1,5	44	1,5	34	5,6	18	54	430
18	2,5	43	2,5	33	5,7	19	53	435
19	1,0	42	1,0	36	5,8	20	50	440
20	1,5	41	1,5	25	5,9	21	51	445

Задача 4. Для измерения напряжения на резисторе $R_l = 1$ кОм (см. рис.3) включен вольтметр класса точности $K_{п}$ с конечным значением шкалы $U_{ном}$ и $R_{вх} = 5$ кОм показания вольтметра U_{α} , напряжение источника E ; $R_2 = 9$ кОм. Определить действительное

значение измеряемой величины напряжения; погрешности, обусловленные методом измерения и классом точности прибора.

Таблица 4.

<i>№ вар.</i>	<i>K_п</i>	<i>U_{ном}, В</i>	<i>U_а, В</i>	<i>E, В</i>
1	1,0	1	0.11	10
2	1,5	5	3.31	11
3	2,5	20	17.54	30
4	1,0	1	0.13	12
5	2,5	5	4.07	13
6	1,5	20	14.29	31
7	1,0	1	0.15	14
8	1,5	5	3.28	15
9	2,5	20	16.15	32
10	1,0	1	0.17	16
11	1,5	5	2.48	17
12	2,5	20	13.05	33
13	1,0	1	0.20	18
14	1,5	5	4.49	19
15	2,5	20	18.76	34
16	1,0	1	0.25	20
17	1,5	5	2.73	21
18	2,5	20	19.34	35
19	1,0	1	0.29	22
20	1,5	5	3.79	23

7. АДАПТИВНАЯ И МУЛЬТИПЛЕКАТИВНАЯ СОСТАВЛЯЮЩИЕ АБСОЛЮТНОЙ ПОГРЕШНОСТИ

Погрешность измерения - это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Если X - истинное значение измеряемой величины, а X_n - результат измерения, то разность $\Delta X = X_n - X$ называется абсолютной, а отношение $\gamma = \Delta X / X$ - относительной погрешностью измерения.

По характеру проявления погрешности делятся на четыре группы: систематические, случайные, промахи и грубые погрешности.

Систематическая погрешность измерения - это погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности могут быть исключены введением поправок, изучением условий опыта и измерительной аппаратуры, применением соответствующих приемов.

Случайная погрешность измерения - это погрешность, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Случайная погрешность вызывается большим количеством причин, характер и степень влияния которых на измеряемую величину нельзя определить. Присутствие этих погрешностей обнаруживается в том, что при повторении измерений одной и той же величины в одинаковых условиях с одинаковой тщательностью получают результаты, несколько отличающиеся по значению. Величина этих погрешностей по природе их возникновения при единичном измерении не может быть определена. Однако путем выполнения многократных наблюдений и обработки их результатов методами статистики можно оценить эти погрешности.

Промахи являются следствием неправильных действий экспериментатора или внезапного отказа приборов. Наблюдения, содержащие промахи, должны быть отброшены.

Грубой погрешностью называется погрешность, существенно превышающая погрешность, оправданную условиями измерения, свойствами применяемых средств измерений, методом измерений, квалификацией экспериментатора. Грубые погрешности при статистических измерениях обнаруживаются статистическими методами и обычно исключаются из рассмотрения.

Таким образом, в общем случае погрешность измерения может быть представлена в следующем виде: $\Delta = \Delta_c + \Delta^0$, где Δ_c - систематическая погрешность, Δ^0 - случайная погрешность измерения.

Характеристикой случайных погрешностей является закон распределения их вероятностей. Чаще других встречается нормальный закон распределения погрешностей. Основным параметр распределения случайных погрешностей - среднее квадратическое отклонение /СКО/ результата измерений σ .

Случайную погрешность исключить нельзя, так как неизвестно, какое конкретное значение она приняла при данном измерении. Для оценки влияния случайной погрешности на результат измерения задаются погрешностями Δ_1 и Δ_2 и находят вероятность того, что измеряемая величина X заключена между $(X - \Delta_1)$ и $(X + \Delta_2)$. Интервал $[X - \Delta_1; X + \Delta_2]$ называется доверительным, а вероятность того, что X находится внутри этого интервала - доверительной вероятностью P .

Вследствие наличия в отдельных наблюдениях случайных погрешностей невозможно определить истинное значение измеряемой величины даже при наличии нескольких наблюдений, поэтому принимают вместо него некоторое значение, максимально приближающееся к истинному значению.

Наиболее достоверным значением измеряемой величины на основании большого ряда заслуживающих одинакового доверия наблюдений является арифметическое среднее из полученных результатов наблюдений / математическое ожидание случайной величины /:

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n .$$

СКО арифметического среднего определяется по формуле:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n(n-1)}$$

где: X_i - результат i -го измерения; n - количество измерений.

При нормальном законе распределения погрешностей границы доверительного интервала определяются функцией Лапласа:

$$P(\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \Phi(r_1) - \Phi(r_2)$$

где $\Phi(z)$ - нормированная функция Лапласа:

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

Значения $\Phi(z)$ - взяты из таблицы 2.

Таблица 1

Z	$\Phi(z)$	Z	$\Phi(z)$
1	2	3	4
0,0	0,00000	2,1	0,48214
0,1	0,03983	2,2	0,48610
0,2	0,77926	2,3	0,48928
0,3	0,11791	2,4	0,49180
0,4	0,15542	2,5	0,49379
0,5	0,19146	2,6	0,49534
0,6	0,22575	2,7	0,49653
0,7	0,25804	2,8	0,49744
0,8	0,28814	2,9	0,49813
0,9	0,31594	3,0	0,49865
1,0	0,34131	3,1	0,49903
1,1	0,36433	3,2	0,49931
1,2	0,38493	3,3	0,49952
1,3	0,40320	3,4	0,49966
1,4	0,41924	3,5	0,49977
1,5	0,43319	3,6	0,49984
1,6	0,44520	3,7	0,49989
1,7	0,45543	3,8	0,49993
1,8	0,46407	3,9	0,49995
1,9	0,47128	4,0	0,499968
2,0	0,47725	4,5	0,499999

Значения аргумента **Z** функции где **$\Phi(z)$** определяются соотношением **$Z=\Delta/\sigma_x$** .
Для симметричного интервала ($\Delta_1=\Delta=\Delta_2$)

$$P(-\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \Phi(z) - \Phi(z_2) = 2\Phi(z)$$

При наличии систематической погрешности последнее выражение примет вид:

$$P(\Delta_1 \leq \Delta \leq \Delta_2) = \Phi\left(\frac{\Delta_2 - \Delta_c}{\sigma}\right) + \Phi\left(\frac{\Delta_1 - \Delta_c}{\sigma}\right)$$

При малом числе наблюдений (**$n < 20$**) доверительный интервал определяют с помощью коэффициента Стьюдента: **$t = \Delta \pm t \sigma$** .

Коэффициент **t** можно определить из таблицы 3 по заданному числу наблюдений **n** и заданной /выбранной/ доверительной вероятности **P**.

Таблица 2

n	P						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
1	2	3	4	5	6	7	8
2	1,00	1,38	2,0	3,1	6,3	12,7	63,7
3	0,82	1,06	1,3	1,9	2,9	4,3	9,9

n	P						
	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,99
1	2	3	4	5	6	7	8
4	0,77	0,98	1,3	1,6	2,4	3,2	5,8
5	0,74	0,94	1,2	1,5	2,1	2,8	4,6
6	0,73	0,92	1,2	1,5	2,0	2,6	4,0
7	0,72	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,7
8	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,4	3,5
9	0,71	0,90	1,1	1,4	1,9	2,3	3,4
10	0,70	0,88	1,1	1,4	1,8	2,3	3,3
12	0,70	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	3,1
14	0,69	0,87	1,1	1,4	1,8	2,2	3,0
16	0,69	0,87	1,1	1,3	1,8	2,1	2,9
18	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,9
20	0,69	0,86	1,1	1,3	1,7	2,1	2,9

Результат измерения записывают в соответствии с ГОСТ 8.011-72. В стандарте приведены четыре формы представления результатов измерений. Рассмотрим только первую форму, которая используется как окончательная.

Показателем точности в этой форме является интервал, в котором с установленной вероятностью P находят суммарную погрешность измерения: $X \pm \Delta(x)$ от $\Delta_n(x)$ до $\Delta_6(x)$; P , где: $\Delta(x)$, $\Delta_n(x)$, $\Delta_6(x)$ - погрешность измерения соответственно с нижней и верхней границей, в тех же единицах; P -установленная вероятность, с которой погрешность измерения находится в этих границах. Например: **121 м/с; Δ от -1 до 2 м/с; $P = 0,99$.**

При симметричном доверительном интервале допускается записывать результат в виде $(X \pm \Delta)$; P . Например: **(100 $\pm$ 1) В; $P=0,95$,**

При записи результата необходимо соблюдать следующие правила:

число значащих цифр в показателе точности должно быть не больше двух; последний разряд среднего определяется последним разрядом погрешности.

Вычисление показателей точности выполняют в таком порядке:

1/ вычисляют среднее арифметическое серии измерений $\bar{X}$;

2/ находят оценку СКО результата σ_x ,

3/ задавшись вероятностью P по табл.3, находят t из графы, соответствующей данному P и числу наблюдений n ;

4/ найденный доверительный интервал представляют в виде $\pm t\sigma_x$

8. СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ. НАДЕЖНОСТЬ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ ВЕРОЯТНОСТИ

Погрешность измерения напряжения электронным цифровым вольтметром состоит из ряда отдельных погрешностей (меры, преобразования, сравнения и др.).

Предел допускаемой относительной погрешности цифровых вольтметров обычно определяют по следующей двучленной формуле:

$$\delta = \pm \left(A + B \frac{U_k}{U_x} \right) \%$$

где U_k – верхнее значение поддиапазона, т. е. конечное значение установленного предела измерений;

U_x – значение измеряемого напряжения (показание прибора);

A и B – постоянные коэффициенты, характеризующие класс точности прибора.

Такой способ определения (нормирования), применяемый для точных приборов, наиболее полно отражает характер изменения погрешности в пределах поддиапазона измерения: первое слагаемое определяет погрешность измерения при больших значениях измеряемой величины, а второе – при малых. Так, например, относительная погрешность измерения универсального вольтметра В7–21 равна

$$\pm \left(0,2 + 0,02 \frac{U_k}{U_x} \right) \%,$$

Если измерять постоянное напряжение $U_x = 2\text{В}$ на пределе измерения $U_k = 10\text{В}$, то его относительная погрешность составит $(0,2 + 0,1)\% = 0,3\%$. В этом случае второе слагаемое (относительная часть погрешности) существенно влияет на общую относительную погрешность измерения. Если на этом же пределе измерять постоянное напряжение $U_x = 8\text{В}$, то его относительная погрешность составит $(0,2 + 0,025)\% = 0,225\%$. В этом случае второе слагаемое не оказывает существенного влияния на общую относительную погрешность измерения, определяемую в основном первым слагаемым (абсолютная часть общей погрешности).

Универсальные цифровые вольтметры позволяют измерять постоянное и переменное напряжения, постоянный и переменный токи, а также сопротивление. Обычно погрешность измерения переменного напряжения и тока больше погрешности измерения постоянного напряжения и тока. Погрешность измерения может иметь различные значения на разных пределах измерения и частотах (разных диапазонах частот).

Классы точности приборов, у которых пределы допускаемых погрешностей выражаются в процентах от значения измеряемой величины, обозначаются двумя числами, разделенными косой чертой; первое представляет собой значение A , второе – B . Так, например, если относительная погрешность измерения напряжения вольтметром выражается формулой $\pm \left(0,2 + 0,02 \frac{U_k}{U_x} \right) \%$, то класс точности этого прибора обозначается (в кружочке) как 0,2/ 0,02.

Следует отметить, что в технических описаниях отдельных цифровых вольтметров приводятся формулы для расчета погрешности измерения в виде: $\Delta = (\% \text{ от } U_x + m \text{ единиц счета})$, где m – погрешность дискретности, не зависящая от значения измеряемой величины, выбирают из ряда чисел 0,5; 1; 2. Такая форма выражения зависимости погрешности для приборов с дискретным счетом допускается ГОСТом. Так, например, в техническом описании электронного цифрового вольтметра типа ВК7 – 10А (ВК7-10А/1) указывается, что основная погрешность измерения постоянного напряжения не более $\pm (0,1\% / U_x + 1 \text{ единица младшей декады})$; в таких случаях должны быть указаны цена единицы младшей декады (разряда) на различных пределах измерения. Более удобно определять погрешность измерения по приведенной ранее двучленной форме.

8. ЗАДАНИЕ 3.

Задача 5. При измерении постоянного напряжения на пределе $U_{ном}$ вольтметр ВК7 –10А/1 показал напряжение U . Класс точности (0,1/0,01). Данные из табл 5

Определить относительную и абсолютную погрешности измерения этого напряжения.

Таблица 5.

<i>№ вар</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
$U_{ном},$ <i>В</i>	5	10	20	5	10	10	5	10	10	5
$U, В$	1.08	6.38	6.93	2.54	8.47	3.13	1.39	7.62	4.91	4.61
<i>№ вар</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
$U_{ном},$ <i>В</i>	10	20	5	10	20	5	10	20	5	10
$U, В$	9.12	14.76	4.15	8.50	10.88	3.66	7.42	16.34	4.06	9.21

Задача 6. При измерении постоянного напряжения на пределе $U_{ном}$ вольтметр В7 –20 показал U . Класс точности (0,5/0,1). Данные из табл 5.

Определить относительную и абсолютную погрешности измерения этого напряжения. Результаты вычислений сравнить со значениями погрешностей, полученными в задаче 1.

Задача 7. При измерении постоянного напряжения на пределе 20 В вольтметр В7 –22 показал 5,72 В. Класс точности (0,1/0,15)

Определить относительную и абсолютную погрешности измерения этого напряжения. Результаты вычислений сравнить со значениями погрешностей, полученными в задаче 2.

Таблица 6.

<i>№ вар</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
$U_{ном},$ <i>В</i>	10	20	10	10	20	5	10	20	5	10
$U, В$	1.08	6.38	6.93	2.54	8.47	3.13	1.39	7.62	4.91	4.61
<i>№ вар</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
$U_{ном},$ <i>В</i>	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20
$U, В$	9.12	14.76	4.15	8.50	10.88	3.66	7.42	16.34	4.06	9.21

9. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ ПОГРЕШНОСТИ

Общие сведения об информационно-измерительных системах (ИИС), Государственная система приборов и агрегатные комплексы. Унификация сигналов в ИИС. Основные структуры ИИС. Измерительные системы. Измерительно-вычислительные комплексы /ИВК/. Системы автоматического контроля. Основные характеристики ИИС. [1, с.352...374; 2, с.369...390; с.321...329]

Методические указания.

Следует уяснить основные задачи и функциональные возможности ИИС, знать особенности структур измерительных систем и информационно-вычислительных комплексов, уяснить место ИИС в системах более высокого уровня. Необходимо знать особенности и метрологические характеристики ИИС, назначение основных блоков систем, характеристики унифицированных сигналов, характеристики систем

автоматического контроля /САК/.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлено широкое развитие и внедрение ИИС?
2. Основные блоки, входящие в ИИС, ИВК, САК.
3. Основные структурные схемы ИИС, ИВК.
4. Метрологические характеристики ИИС.
5. Назначение и структурные схемы САК.

10. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, СВОБОДНЫХ ОТ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ

При косвенных измерениях, когда измеряется не сама величина непосредственно, а другие величины, связанные определенной зависимостью с величиной, подлежащей измерению, погрешность результата зависит от погрешностей каждого из прямых измерений, входящих в косвенное измерение.

Предположим, что следует определить величину Y прямыми измерениями других величин $x_1, x_2, \dots, x_m$, с которыми она связана зависимостью $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$. Пусть для каждой из величин x_i известен результат, систематическая погрешность Δ_{ci} , СКО случайной погрешности σ_{xi} . Требуется найти результат и оценить погрешность определения.

Задача решается следующим образом.

1. Значение величины y находят, подставляя в зависимость $y=f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ известные значения x_i .

2. Систематическую погрешность измерения Y определяют по формуле:

$$\Delta_{cy} = \sum_{i=1}^m \frac{df}{dx_i} \Delta_{ci}$$

,где частные производные $\frac{df}{dx_i}$ вычисляют при $x_i = \bar{x}_i$.

3. СКО случайной погрешности для y находят по выражению:

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i} \sigma_{xi} \right)^2 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{df}{dx_i} \frac{df}{dx_j} \sigma_{xi} \sigma_{xj} r_{ij}}$$

,где r_{ij} - коэффициент корреляции между i -й и j -й погрешностями.

Если погрешности коррелированы $r_i = \pm 1$, выражение для σ_y примет вид:

$$\sigma_y = \sum_{i=1}^m \left(\pm \frac{df}{dx_i} \sigma_{xi} \right)$$

При независимых погрешностях $r_{ij}=0$, и выражение для СКО можно записать как:

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{df}{dx_i} \sigma_{x_i}\right)^2}$$

Пример. Определить результат и погрешность косвенного измерения мощности по результатам прямых измерений тока и сопротивления с независимыми случайными погрешностями, распределенными по нормальному закону: $I=(15,0\pm0,02)$ А; $P=0,99$; $R=(10,0\pm0,8)$ Ом; $P=0,9$.

Результат записать в стандартной форме для $P=0,96$.

Решение:

1. Определяют результат косвенного измерения мощности по формуле $P=I^2R=5,0^2*10,0=250$ Вт.

2. Определяют СКО случайной погрешности косвенного измерения. Для этого сначала находят СКО погрешности прямых измерений I и R .

$\sigma_I = \frac{\Delta_I}{Z_I}$, где $\Delta_I = 0,01$ А - половина доверительного интервала случайной погрешности измерения тока, Z_I - значение аргумента Z для функции Лапласа $\Phi(Z)$ при $\Phi(Z) = \frac{P_I}{2} = 0,495$

3. По табл. 2 для $\Phi(Z)=0,495$ находят, что $Z_I=2,58$.

Отсюда $\sigma_I = 0,01/2,58 = 0,0039$ А.

Аналогично для нахождения σ_R определяют $\Phi(Z) = \frac{P_R}{2} = 0,9/2 = 0,45$. По табл. 2 для $\Phi(Z)=0,45$ находят $Z_R=1,65$ и $\sigma_R = \Delta_R/Z_R = 0,8/1,65 = 0,485$ Ом.

Вычисляют частные производные:

$$\frac{dP}{dI} = 2 \bar{I} \bar{R} = 2 * 5,0 * 10,0 = 100$$

$$\frac{dP}{dI} = \bar{I}^2 = 5,0^2 = 25$$

Окончательно определяют СКО косвенного измерения:

$$\sigma_P = \sqrt{\left(\frac{dP}{dI} \sigma_I\right)^2 + \left(\frac{dP}{dR} \sigma_R\right)^2} = (0,0039 * 100)^2 + (0,485 * 25)^2 = 12,19 \text{ Вт}$$

4. Определяют доверительный интервал для погрешности косвенного измерения мощности с доверительной вероятностью $P=0,96$. Для $\Phi(Z)=P_P/2=0,96/2=0,48$ по табл. 2 находят $Z_P=2,04$ и вычисляют доверительный интервал:

$$\Delta_P = Z_P * \sigma_P = 2,04 * 12,19 = 24,87 \text{ Вт}$$

1. Записывают результат в стандартной форме:

$$P = 250 \pm 24,9 \text{ Вт}, \quad P = 0,96. \quad .$$

ЛИТЕРАТУРА.

1. Червяков, В.М. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация / В.М. Червяков / А.О. Пилягина / П.А. Галкин : учебное пособие Электронный ресурс : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ ; Тамбов, 2015. – 112 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-8265-1426-
2. Камардин, Н.Б. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация, подтверждение соответствия / Н.Б. Камардин / И.Ю. Суркова : учебное пособие Электронный ресурс : Казанский национальный исследовательский технологический университет ; Казань, 2013. – 241 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7882-1401-6
3. Иголкин, А. Ф. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Практикум Электронный ресурс : Учебно-методическое пособие / А. Ф. Иголкин, С. А. Вологжанина. – Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Практикум, 2022-10-01. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 42 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 2227-8397
4. Таренко, Б. И. Метрология, стандартизация и сертификация, взаимозаменяемость, стандартизация и сертификация Электронный ресурс : Тексты лекций / Б. И. Таренко, Р. А. Усманов. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011. – 222 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 978-5-7882-1048-3
5. Веремеевич, А.Н. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости Электронный ресурс : учебное пособие / А.Н. Веремеевич. – Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости. – Москва : Издательский Дом МИСиС, 2004. – 99 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
6. Семенов, Б. А. (д-р техн. наук). Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях : учеб. пособие для вузов / Б.А. Семенов. - 2-е изд., доп. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013. - 393 с. : ил. ; 21. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 388-390. - ISBN 978-5-8114-1392-8
7. Основы метрологии и электрические измерения /Под ред. Е.М. Душна. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.
8. Электрические измерения /Под ред. А.В. Френке и Е.М. Душина. - Л.: Энергия, 1980. - 392 с.
9. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин /Под ред. Е.С. Полищука. - К.: Вища шк., 1984. - 359 с.
10. Котур, В.И. Электрические измерения и электроизмерительные приборы. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 400 с.
11. Электрические измерения /Под ред. В.Н. Малиновского. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 392 с.
12. Математическая статистика/ В.М. Иванова, В.Н. Калинина, П.А. Нешумова, И.О. Решетникова. - М.: Высшая школа, 1981. - 368 с.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания

по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация» для
студентов направления подготовки /специальности
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль) Электроэнергетические системы и сети

Ставрополь, 2025

Характерная черта развития электроизмерительной техники на современном этапе - улучшение технико-экономических характеристик средств измерений. Существенно возросла точность измерительных приборов, повысилось их быстродействие, расширился диапазон измерения, увеличилось количество видов измеряемых величин. Современные измерительные приборы отличаются высоким уровнем автоматизации процесса измерения, что достигается благодаря использованию современной элементной базы, в том числе микропроцессоров. Однако эффективное использование средств измерений возможно только грамотными специалистами, владеющими методами измерений и знакомыми с соответствующими техническими средствами.

Технологические процессы в различных отраслях промышленности, качество материалов и готовых изделий контролируются измерением неэлектрических величин с помощью электрических средств измерений, которые являются наиболее точными, универсальными и быстродействующими.

Основная цель изучения дисциплины "Метрология, стандартизация и сертификация и измерения" - ознакомиться с основными понятиями метрологии и измерительной техники, теорией погрешностей, освоить методы и средства измерения электрических и неэлектрических величин во всем диапазоне их изменения.

При изучении дисциплины студенты используют и закрепляют знания основных законов физики, электричества, механики, теоретических основ электротехники, высшей математики.

В процессе изучения дисциплины студенты получают знания методов и техники выполнения измерений, принципов работы и устройства основных измерительных приборов и систем, приобретают умения и навыки правильного выбора и использования того или иного средства измерения, обработки результатов измерений.

Настоящие методические указания содержат программу дисциплины, методические указания по изучению отдельных ее тем, вопросы для самопроверки, литературу, задания для контрольной работы студентов заочного факультета.

ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

1 ВВЕДЕНИЕ

Предмет и содержание дисциплины. Понятие об измерении физических величин. Особенности электрических измерений. Электрические измерения как средство контроля технологических процессов в автоматическом управлении производственными процессами и в научных исследованиях. Краткий обзор истории развития метрологии и измерительной техники и ее задачи на современном этапе . [1, с.3...10; 2, с.3...11; 3).

Методические указания

Студенты изучают историю развития электроизмерительной техники, значение измерений в науке и технике, перспективы развития теории и практики электрических измерений.

Вопросы для самопроверки

1. Чем обусловлена важная роль измерений в науке и технике?
2. Основные этапы развития электроизмерительной техники.
3. Что изучает Метрология, стандартизация и сертификация?

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ

Понятие измерения. Задачи метрологии. Единицы физических величин. Международная система единиц /СИ/. Классификация средств измерений. Эталонная база. Метрологическая служба. Виды и методы измерений. Характеристики средств измерений. Структурные схемы средств измерений. [1, с.11...39, 2, с.12...45; 3, с.3...30; 4, с.7...17]

Методические указания

Особое внимание следует уделить пониманию терминов и определений измерительной техники. В результате изучения темы студенты должны знать сравнительную классификацию видов /прямые, косвенные, совместные/, методов /непосредственной оценки и сравнения с мерой/ и средств /меры, измерительные преобразователи, приборы, системы/ измерения; основные принципы обеспечения единства измерений в стране; основные характеристики средств измерений; классификацию погрешностей по форме представления, характеру изменения, условиям возникновения. Четко понимать, что представляет собой класс точности прибора и способы его обозначения согласно ГОСТ 8.401-80. Разбираться в структурных схемах средств измерений прямого и компенсационного преобразования, знать их основные погрешности.

Вопросы для самопроверки

4. Дайте определение понятий "измерение", "единица физической величины", "результат измерения", "погрешность измерения".
5. Задачи и структура государственной метрологической службы.
6. В чем отличие прямых, косвенных и совместных измерений?
7. Что такое эталон и какие функции он выполняет?
8. Как передается размер единиц величин от эталона к рабочим средствам измерений?
9. Классификация погрешностей средств измерений.
10. Аддитивные и мультипликативные погрешности. Причины их возникновения.
11. Расчет погрешностей средств измерения прямого преобразования.
12. Расчет погрешностей средств измерения компенсационного преобразования /с замкнутой структурной схемой/.
13. Обозначение классов точности приборов по ГОСТ 8.401-80.
14. Методы измерений. Краткая характеристика.

3 ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешности измерений. Виды погрешностей. Систематические погрешности прямых измерений и методы их исключения из результата измерения. Систематические погрешности косвенных измерений и их определение. Вероятностные характеристики случайных погрешностей. Обработка результатов прямых и косвенных измерений. Суммирование погрешностей. [1, с.39...54; 2, с.45...75; 3, с.31...45; 4, с.17...29]

Методические указания

При изучении темы необходимо помнить, что в общем случае погрешность измерения - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой

величины - состоит из двух составляющих: систематической и случайной. Систематическая погрешность в процессе измерения остается постоянной или изменяется по известному закону, что позволяет ее определить и исключить из результата измерения. Случайная погрешность изменяется случайным образом от измерения к измерению и может быть определена только в результате математической обработки результатов наблюдений с определенной вероятностью, называемой доверительной.

В результате изучения темы студенты должны знать способы обнаружения систематических погрешностей и методы их исключения, а также законы распределения случайных погрешностей. Уметь находить доверительный интервал погрешностей при нормальном законе распределения погрешностей при большом и малом числе наблюдений, записывать результат измерений в соответствии с требованиями ГОСТ 8.011-72. Знать методику нахождения результатов прямых и косвенных измерений при наличии случайных погрешностей с нормальным законом распределения и как осуществляется суммирование погрешностей.

Вопросы для самопроверки

15. Отличие систематических и случайных погрешностей.
16. Примеры законов распределения случайных погрешностей. Факторы, определяющие законы распределения. Начертить их графики.
17. Определение понятий "доверительный интервал" и "доверительная вероятность".
18. Как определяют доверительный интервал и доверительную вероятность для нормального закона распределения?
19. Как определяют результат и погрешность прямых измерений с многократными наблюдениями?
20. Как определяют результат и систематическую погрешность косвенных измерений?
21. Как определяют суммарную погрешность косвенных измерений?
22. Как оцениваются результаты измерения при малом числе наблюдений?

4 ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН АНАЛОГОВЫМИ ПРИБОРАМИ

Основные детали и узлы измерительных механизмов. Моменты, действующие на подвижную часть измерительного механизма. Противодействующий момент и способы его создания.

Разновидности электромеханических измерительных механизмов: магнитоэлектрический /обычный и логометрический/, электромагнитный, электродинамический и ферродинамический, электростатический. Конструкции, принцип действия, источники погрешностей, уравнения преобразования. Эксплуатационные характеристики, область применения.

Измерительные преобразователи тока и напряжения. Шунты и добавочные резисторы; компенсация температурных погрешностей. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Векторные диаграммы. Измерительные трансформаторы постоянного тока. Термопреобразователи. Измерительные выпрямители.

Измерение постоянных и переменных токов и напряжений электромеханическими приборами без преобразователей рода тока.

Измерение переменных токов и напряжений магнитоэлектрическими приборами с преобразователями рода тока. Магнитоэлектрические гальванометры.

Электронные вольтметры постоянного тока. Вольтметры переменного тока амплитудного, среднего и среднеквадратичного значения. Принцип действия, структурные схемы. Эксплуатационные характеристики. Область применения. Погрешности. Измерение угла сдвига фаз, частоты, энергии. [1, с.56...148; 2, с.84...180; 3, с.49...96; 4, 0.59-75].

Методические указания

Необходимо рассмотреть и изучить общий принцип действия и устройство измерительных механизмов, получение обобщенного выражения вращающего момента. Вывести уравнение шкалы для всех измерительных механизмов из условия статического равновесия подвижной части. Рассмотреть устройство, конструкцию и назначение узлов и деталей, общих для всех измерительных механизмов.

При изучении измерительных преобразователей необходимо уяснить их назначение, основные расчетные соотношения, источники погрешностей. Знать способы компенсации температурных и частотных погрешностей для шунтов и добавочных резисторов; векторные диаграммы измерительных трансформаторов тока и напряжения, источники погрешностей; область применения и конструкцию трансформаторов постоянного тока; принцип действия, конструкцию и область применения выпрямительных термопреобразователей.

На базе изученного материала по электромеханическим измерительным механизмам и измерительным преобразователям нужно разобраться в преимуществах и недостатках каждого из типов электромеханических приборов для измерения токов, напряжений, угла сдвига фаз, частоты. Усвоить особенности каждой системы, основные источники погрешности, диапазон измерений, способы компенсации погрешностей и расширения диапазонов измерения. Научиться подбирать системы приборов в зависимости от параметров исследуемой цепи.

При изучении материала об электронных вольтметрах следует проанализировать структурные схемы приборов, принцип построения схем с открытым и закрытым входом для постоянной составляющей, для измерения амплитудных, средних и среднеквадратичных значений, расширение пределов измерений, выбор измерительного механизма на выходе схемы.

При изучении гальванометров следует обратить внимание на рассмотрение режимов движения подвижной части и выбор внешнего сопротивления исследуемой цепи.

Вопросы для самопроверки

23. Основные узлы электромеханических приборов и их назначение.
24. Основные характеристики электромеханических приборов.
25. Почему значение противодействующего момента должно зависеть от поворота подвижной части?
26. Почему приборы магнитоэлектрической системы обладают высокой чувствительностью и точностью? Напишите уравнение преобразования.
27. Принцип работы магнитоэлектрического гальванометра.
28. Принцип действия приборов электромагнитной системы, область их применения.
29. Принцип работы приборов электродинамической системы, область их применения.
30. Свойства и область притеснения электростатических приборов.
31. Что такое логометр? Особенности его конструкции. На базе каких измерительных механизмов может быть изготовлен логометр?
32. Принцип действия, характеристики и область применения приборов термоэлектрической системы.
33. Принцип действия и структурные схемы электронных вольтметров.
34. Схемы "открытого" и "закрытого" по постоянному току входов электронных вольтметров.
35. Принцип действия амплитудного вольтметра.
36. Электронные вольтметры средних и среднеквадратичных значений.
37. Методические погрешности при измерении токов и напряжений.
38. Расширение пределов измерений вольтметров.
39. Расширение пределов измерений амперметров.
40. Компенсация частотных погрешностей электромеханических приборов.
41. Компенсация температурных погрешностей.
42. Какими приборами /какой системы/ измеряют угол сдвига фаз? Приведите схему и поясните ее.
43. Измерение частоты электромеханическими измерительными приборами.

44. Электромеханические ваттметры.

5 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ.

Измерение сопротивлений на постоянном токе. Омметры, мегомметры. Метод двух приборов /ампервольтметра/. Методические погрешности. Мостовые цепи. Одинарный мост. Условия равновесия, чувствительность. Источники погрешностей. Эксплуатационные характеристики. Двойной мост. Условия равновесия. Типы мостов, основные характеристики, области применения. Измерение сопротивления изоляции кабеля, заземления. Автоматические мосты. Мосты для измерения параметров на переменном токе. Условия равновесия. Отличия от мостов постоянного тока. Разновидности мостов для измерения емкости, угла потерь, индуктивности, взаимной индуктивности, добротности. Резонансные методы для измерений индуктивности и емкости. Автоматические и цифровые мосты.

Потенциометры постоянного тока с постоянным и переменным значением рабочего тока. Электрические схемы, эксплуатационные характеристики. Область применения. Погрешности. Автоматические потенциометры. [1, с.189...218; 2, с.145...243; 3, с.249...272; 4, с.254...269]

Методические указания

Следует изучить прямые и косвенные методы измерения сопротивлений, особенности измерения малых и больших сопротивлений, измерения методом сравнения с мерой. Уметь вывести условие равновесия мостов постоянного и переменного токов, правильно выбрать метод и средства измерения параметров электрических цепей.

При изучении приборов необходимо запомнить их структуру, принцип действия, основные погрешности и особенности применения.

Вопросы для самопроверки

45. Методические погрешности при измерении сопротивления методом амперметра и вольтметра.
46. Приведите схемы и укажите особенности электромеханических омметров.
47. Приведите схему и выведите условие равновесия одинарного моста.
48. Приведите схему и выведите условия равновесия двойного моста.
49. Принцип действия и схема кумметра.
50. Условия равновесия моста переменного тока.
51. Начертите мостовые схемы для измерения индуктивности и приведите расчетные формулы.
52. Начертите схемы и укажите принцип действия работы мостов для измерения емкости и угла потерь.
53. Начертите схемы для определения сопротивления заземления.
54. Начертите мостовые схемы для определения места повреждения кабеля.
55. Схема и принцип действия автоматических мостов.
56. Схема и принцип действия потенциометра постоянного тока.
57. Схема и принцип действия потенциометра переменного тока.
58. Измерение сопротивлений и токов потенциометрами постоянного тока.
59. Мосты уравновешенные и неуравновешенные. Сходимость мостов переменного тока.

6 ИЗМЕРЕНИЕ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ.

Измерение мощности амперметром и вольтметром в цепях постоянного тока. Методические погрешности. Ваттметры электродинамической и ферродинамической систем. Расширение пределов измерений. Измерение мощности в однофазной цепи

переменного тока, активной мощности в трехфазных симметричных и асимметричных цепях. Метод одного и двух ваттметров. Измерение реактивной мощности в одно- и трехфазных цепях. Метод одного и двух ваттметров с искусственными схемами включения. Преобразователи активной и реактивной мощности, предназначенные для линейного преобразования мощности в унифицированный сигнал постоянного тока.

Измерение энергии. Типы и конструкции индукционных счетчиков. Эксплуатационные характеристики.

Включение счетчиков и ваттметров через измерительные трансформаторы. [1, с.118...135; 2, с.182...194; 3, с.226...239; 4, с.196...201]

Методические указания

Студенты должны рассмотреть методы измерения мощности и энергии на постоянном и переменном токе. Научиться правильно выбирать схемы включения приборов для измерения активной и реактивной мощности трехфазной цепи в зависимости от характера нагрузки. Разобраться в векторных диаграммах для различных случаев измерения активной и реактивной мощности в трехфазных цепях, а также в способах расширения пределов измерений при измерении энергии и мощности.

Вопросы для самопроверки

60. Методы измерения мощности в цепях постоянного и однофазного переменного тока.

61. В каких случаях для измерения мощности применяются методы одного, двух и трех ваттметров?

62. Что следует понимать под активной и реактивной мощностями?

63. Как измерить реактивную мощность трехфазной цепи?

64. Принцип действия и устройство индукционного счетчика.

65. Дать определение действительной и номинальной постоянной счетчика.

66. Относительная погрешность счетчика.

67. Схемы включения ваттметров и счетчиков через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

7 ИЗМЕРЕНИЕ И РЕГИСТРАЦИЯ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ВО ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Назначение приборов для регистрации и записи показаний в функции времени. Требования, предъявляемые к ним. Методы регистрации, виды носителей. Самопишущие приборы прямого действия. Быстродействующие регистрирующие приборы. Двухкоординатные регистрирующие приборы.

Светолучевые осциллографы. Принцип действия, эксплуатационные характеристики. Область применения.

Электронно-лучевые осциллографы. Структурная схема, устройство. и назначение отдельных узлов. Блок развертки и формирование пилообразного напряжения. Режимы работы генератора развертки. Виды синхронизации. Блок усилителей и его погрешности. Типы осциллографов: универсальные, многолучевые, запоминающие. Эксплуатационные характеристики. Измерение электрических величин с помощью осциллографа: напряжений, токов, частоты, угла сдвига фаз, временных интервалов. Возможности осциллографов со встроенными микропроцессорами. [1, с.160...188; 2, с.166...174, 243...286; 3, с.120...154; 4, с.75...78, 114...143]

Методические указания

Следует уяснить важную роль регистрации изменяющихся во времени параметров

исследуемых объектов и процессов. Знать устройство, принцип действия, эксплуатационные характеристики самопишущих приборов.

Изучить основной вопрос темы - электронный осциллограф как универсальный измерительный прибор.

В исследовательских и научных работах необходимо визуально наблюдать и проводить измерения переходных процессов, параметров однократных и периодических сигналов, что возможно только с помощью электронного осциллографа. Студенты должны знать структурную схему прибора, назначение всех блоков и режимов работы, как и какие измерения можно выполнить с помощью осциллографа. Ознакомиться с возможностями осциллографов со встроенными микропроцессорами.

Вопросы для самопроверки

68. Требования, предъявляемые к регистрирующим приборам.
69. Схема устройства и принцип действия светолучевого осциллографа.
70. Устройство электронно-лучевой трубки.
71. Сущность явления синхронизации.
72. Начертите структурную схему и объясните работу электронного осциллографа.
73. Органы управления электронным лучом и режимами работы осциллографа.
74. Как измерить напряжение и силу тока с помощью осциллографа?
75. Как измерить осциллографом частоту и фазу электрических сигналов?
76. Как измерить осциллографом параметры импульсов?

8 ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ЦИФРОВОГО ТИПА /ЦИП/

Основные понятия и определения. Коды, применяемые в цифровых средствах измерений. Методы преобразования непрерывных измеряемых величин в код. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи. Структура и классификация, основные характеристики, погрешности, основные узлы.

Цифровые измерительные приборы для измерения частоты и периода входного сигнала. ЦИП для измерения напряжения постоянного и переменного токов. Цифровые фазометры. Перспективы развития ЦИП.

Г1, с.218...263; 2, с.323...369; 3, с.148...161, 167...174, 188...196; 4,0.176...218]

Методические указания

Необходимо обратить внимание на усвоение принципа действия цифровых приборов. Разобраться в понятиях "дискретизация во времени", "квантование по уровню", как влияет реализация этих процессов на погрешности измерений. Ознакомиться с системами счисления и кодами, используемыми при построении цифровых приборов, с основными узлами ЦИП: триггерами, счетчиками, знаковыми индикаторами и т.д. Изучить структурные схемы ЦИП, реализующие различные методы преобразования аналоговой величины в дискретную: последовательного счета, поразрядного уравнивания: структурные схемы приборов для измерения напряжения, частоты, интервалов времени, сдвига фаз и т.д. Ознакомиться с перспективами развития и применения цифровых приборов.

Вопросы для самопроверки

77. Принципы преобразования аналогового сигнала в цифровую форму.
78. Типы кодов, применяемых в цифровых измерительных приборах.
79. Погрешности дискретности и квантования.
80. Основные характеристики ЦИП.
81. Основные узлы ЦИП.
82. ЦИП последовательного счета. Структурная схема.
83. ЦИП двойного интегрирования.
84. ЦИП время-импульсного преобразования.

- 85. ЦИП поразрядного уравнивания.
- 86. Цифровые вольтметры: принцип действия, структурные схемы.
- 87. Цифровые частотомеры: структурные схемы, принцип действия.
- 88. Цифровые периодометры: структурные схемы, принцип действия.
- 89. Цифровые фазометры: структурные схемы, принцип действия.

9 ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН

Общие задачи магнитных измерений. Магнитные величины и связь между ними. Методы измерения магнитного потока. Баллистический метод. Измерения с помощью веберметра, гальваномантных преобразователей, ядерных преобразователей. Статические и динамические характеристики магнитных материалов. Определение статических характеристик материалов баллистическим методом. Определение динамических характеристик магнитных материалов по среднему значению ЭДС. Ваттметровый метод определения потерь в стали. [1, с.265...302; 2, с.286...323]

Методические указания

Цель изучения материала темы - ознакомиться с основными методами измерения магнитных величин.

При рассмотрении баллистического метода необходимо уяснить способ определения баллистической постоянной гальванометра, особенности измерений с помощью веберметра.

При изучении ваттметрового метода определения потерь в стали следует обратить особое внимание на отделение от результата измерений потерь в измерительных приборах.

Вопросы для самопроверки

- 90. Статические и динамические характеристики магнитных материалов.
- 91. Баллистический метод измерения магнитных параметров.
- 92. Принцип действия веберметра.
- 93. Принцип действия приборов для измерения магнитных параметров, использующих эффект Холла.
- 94. Сущность ваттметрового метода определения потерь в стали.

10 ИЗМЕРЕНИЕ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Общие сведения об измерениях неэлектрических величин. Структурные схемы приборов для измерения неэлектрических величин, предусматривающие преобразование неэлектрических величин в электрические и дальнейшее измерение электрических величин. Классификация измерительных преобразователей. Резистивные, электромагнитные, электростатические, тепловые измерительные преобразователи. Приборы для измерения деформаций и малых механических напряжений, скорости, ускорений, расхода материалов, концентраций жидкости и газа, температуры. [1, с.303...354; 9, с.350...370]

Методические указания

Изучение данной темы следует начать со структурной схемы прибора для измерения

неэлектрических величин. Уяснить, что измерение неэлектрических величин заключается в преобразовании неэлектрической величины в электрическую и в дальнейшем измерении полученного электрического сигнала с помощью изученных ранее электрических измерительных приборов. Затем рассмотреть первичные преобразователи, предназначенные для преобразования неэлектрической величины в электрическую и применить для измерения электрической величины уже известные технические средства. Для каждого прибора проанализировать источники погрешностей и способы их устранения.

Вопросы для самопроверки

95. Классификация измерительных преобразователей.
96. Приборы для измерения температуры.
97. Приборы для измерения механических напряжений, деформаций, давлений.
98. Приборы для измерения расхода,
99. Измерение размеров, уровней, расстояний.
100. Газоанализаторы.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Червяков, В.М. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация / В.М. Червяков / А.О. Пилягина / П.А. Галкин : учебное пособие Электронный ресурс : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ ; Тамбов, 2015. – 112 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-8265-1426
2. Камардин, Н.Б. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация, подтверждение соответствия / Н.Б. Камардин / И.Ю. Суркова : учебное пособие Электронный ресурс : Казанский национальный исследовательский технологический университет ; Казань, 2013. – 241 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7882-1401-6
3. Иголкин, А. Ф. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Практикум Электронный ресурс : Учебно-методическое пособие / А. Ф. Иголкин, С. А. Воложанина. – Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Практикум, 2022-10-01. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 42 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 2227-8397
4. Электрические измерения: Учеб. для вузов / Под ред. А.В.Фремке, Е.М.Душина. - Л.: Энергия, 1980. - 302 с.
5. Электрические измерения: Учеб. пособие для вузов /Под ред. В.Н.Малиновского. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 416 с.
6. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для вузов. -Л.: Энергоатомиздат, 1983. - 320 с.
7. Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для радиотехнич, спец. вузов /Под ред. В.И.Винокурова. - М.; Высш. шк., 1986. - 351 с.
- 5 ГОСТ 8.401-80. Классы точности средств измерений,
- 6 ГОСТ 8.011-72. Показатели точности измерений. Формы представления результатов измерений.

Дополнительная

- 7 Таренко, Б. И. Метрология, стандартизация и сертификация, взаимозаменяемость, стандартизация и сертификация Электронный ресурс : Тексты лекций / Б. И. Таренко, Р. А. Усманов. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011. – 222 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 978-5-7882-1048-3
- 8 Веремеевич, А.Н. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости Электронный ресурс : учебное пособие / А.Н. Веремеевич. – Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости. – Москва : Издательский Дом МИСиС, 2004. – 99 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks
- 9 Семенов, Б. А. (д-р техн. наук). Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях : учеб. пособие для вузов / Б.А. Семенов. - 2-е изд., доп. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013. - 393 с. : ил. ; 21. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 388-390. - ISBN 978-5-8114-1392-8
- 10 Атамаян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величия; Учеб.пособие. - М.: Высш. шк', 1982. - 223 с.
- 11 Орнатский П.П. Автоматические измерения и приборы /аналоговые и цифровые/. - Киев: Вища шк., 1986. - 504 с.
- 12 Электрические измерения: Учеб. для техникумов /Под ред. В .Н. Малиновского. - М.: Энергоиздат, 1983. - 392 с.
- 13 Хромой Б.П., Моисеев Ю.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. для техникумов. - М.; Радио и связь, 1985. - 455 с.
- 14 П. Мамонов П.Н. Сборник задач по электрическим измерениям. -Л.: Судостроение, 1966. - 107 с.
- 15 Демидова-Панферова Р.М., Малиновский В.Н., Солодов Ю.С. Задачи и примеры расчетов по электроизмерительной технике: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергия, 1977. - 176 с.

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания к самостоятельной работе

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания

к контрольной работе

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и
электротехника

Профиль подготовки "Электроэнергетические системы и сети"

Квалификация выпускника бакалавр

Изучается в 5 семестре

Ставрополь
2025

Задание

**на контрольную работу (КР) по дисциплине: "Метрология,
стандартизация и сертификация ,стандартизация и сертификация »
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

для студентов дневного и заочного обучения СКФУ

Цель выполнения КР - проверка умения студента применять полученные знания при решении метрологических задач дисциплины .По согласованию с преподавателем студенты могут выполнять типовое задание на КР (приведенное ниже) либо индивидуальное, связанное с выполнением конкретных научно-технических, научно-методических и учебных задач .Задание может включать анализ методов контроля и испытаний, решение измерительных задач, разработку поверочных схем и другие задания .

Выбор задач КР производится по выданному преподавателем варианту в табл. «Типовое задание на КР» .Исходные данные выбираются в табл. 1-24 по последней и предпоследней цифрам шифра зачетки . КР включает в себя четыре задачи из 24, предложенных в табл. «Типовое задание на КР».

Текст задания переписывается полностью .Писать следует через 1 строчку ,оставляя на страницах поля шириной 30 мм и место после решения задачи для пометок рецензента . Буквенные обозначения физических величин и их единиц должны соответствовать Международной системе единиц (СИ) . Все расчеты следует выполнять в соответствии с требованиями приближенных вычислений . Условные графические обозначения средств измерений и элементов электрических цепей , виды соединений и другие обозначения должны соответствовать требованиям ЕСКД . На обложке тетради с КР необходимо указать фамилию , имя , отчество студента ,факультет , курс , специальность , группу , название дисциплины . Решение

задач должно быть приведено полностью ,без сокращений . В случае необходимости задача должна быть сопровождается необходимым для решения теоретическим материалом .В конце каждой задачи приводятся подробные выводы .анализ полученных результатов .

ТИПОВОЕ ЗАДАНИЕ НА КР

ВАРИАНТ	НОМЕРА РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ	ВАРИАНТ	НОМЕРА РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ	ВАРИАНТ	НОМЕРА РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ
1	1 ,2, 17, 18	21	7,9,18,19	41	9,10,11,23
2	3,2,18,17	22	1,24,2,16	42	11,12,13,23
3	4,3,19,18	23	2,3,17,23	43	10,11,12,24
4	5,4,20,19	24	3,4,18,22	44	12,13,14,22
5	6,5,20,21	25	4,5,19,21	45	13,14,15,21
6	7,6,21,22	26	5,6,20,21	46	14,15,16,21
7	7,8,22,23	27	6,7,19,22	47	17,18,16,1
8	8,9,23,24	28	7,8,18,23	48	18,19,17,2
9	9,10,24,16	29	8,9,17,24	49	19,20,18,3
10	10,11,23,17	30	9,10,16,23	50	20,21,19,4
11	11,12,22,18	31	10,11,15,22	51	20,21,22,5
12	12,13,21,19	32	11,12,14,21	52	21,22,23,6
13	13,14,16,20	33	12,13,15,20	53	22,23,24,7
14	14,15,17,19	34	2,3,4,16	54	2,10,16,24
15	1,15,16,24	35	3,5,4,17	55	9,1,18,23
16	2,14,17,23	36	4,6,5,18	56	2,10,17,20
17	3,13,18,22	37	5,6,7,19	57	3,7,16,19
18	4,12,19,21	38	6,7,8,20	58	20,4,8,15
19	5,11,16,17	39	7,8,9,21	59	18,5,9,21
20	6,10,17,18	40	8,9,10,22	60	22,6,10,17

Двумя пружинными манометрами на P кПа измерено давление воздуха в одной из камер компрессора. Один манометр имеет погрешность K_1 % от верхнего предела измерений, другой K_2 % . Первый показал P_1 кПа, второй P_2 кПа. Требуется определить действительное значение давления в камере, оценить возможное истинное значение давления, а также погрешность измерения давления двумя манометрами. Исходные данные приведены в таблице 1.

С Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
P , кПа	600	700	800	750	900	650	850	950	700	600
P_I , кПа	575	581	587	593	599	605	611	617	623	539
K_I , %	1,0	1,5	0,2	0,5	1,0	0,2	1,5	0,5	1,0	0,5
	Предпоследняя цифра шифра									
P_2 , кПа	510	525	540	555	570	585	600	615	630	645
K_2 , %	4,0	2,5	4,0	2,0	2,5	4,0	2,0	2,5	4,0	4,0

К клеммам элементов с E и r подсоединен вольтметр с сопротивлением R_v . Определить показания pV и вычислить абсолютную и относительную погрешность его показания, возникновение которой обусловлено тем, что вольтметр имеет не бесконечно большое сопротивление. Классифицировать погрешность и измерение. Исходные данные в таблице 2.

С Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
$E, В$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$r, Ом$	1	8	2	9	3	10	4	11	6	5
Предпоследняя цифра шифра										
$R_u, Ом$	48	103	60	114	76	127	89	135	91	140

Для измерения тока в цепи (рис.1) включен микроамперметр класса точности K_A с пределом измерения I_K и внутренним сопротивлением R_A . Определить погрешность метода измерения тока, если задано E , R_E , R_I . Определить погрешность измерения тока, обусловленную классом точности и пределом измерения микроамперметра. Сопоставить эту погрешность с погрешностью метода. Исходные данные в таблице 3.



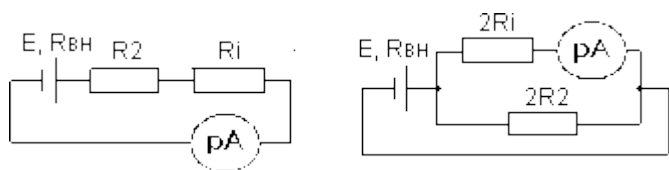
Таблица 3

С Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
Вариант схемы	а	б	в	А	Б	В	А	Б	в	а
K_A	1,0	0,5	1,5	2,0	4,0	2,5	0,2	1,0	1,5	2,0
$E, В$	1	0,5	0,4	0,6	0,8	0,3	0,7	0,35	0,74	0,9
$R_A, мОм$	2000	3000	2500	1800	2200	3100	2700	1900	2300	3300
Предпоследняя цифра шифра										
$R_l, Ом$	24000	7965	6140	16000	10990	4124	28200	12810	9422	34525
$R_E, Ом$	100	200	150	250	120	180	220	260	300	280
$R_2, Ом$	10000	25670	2745	25000	29078	12372	20500	44970	4372	25940
$I_K, мкА$	200	300	400	250	100	150	500	350	600	650

Задача №4 с-36

В цепи с сопротивлением R_2 и источником тока E и $R_{вн}$ включен амперметр сопротивлением R_l . Определить показания амперметра A и вычислить относительную погрешность δ его показания, возникающую из-за того, что амперметр имеет определённое сопротивление отличное от нуля. Классифицировать погрешность.

Исходные данные приведены в таблице 4 и рис 2.



а) б)
рис.2

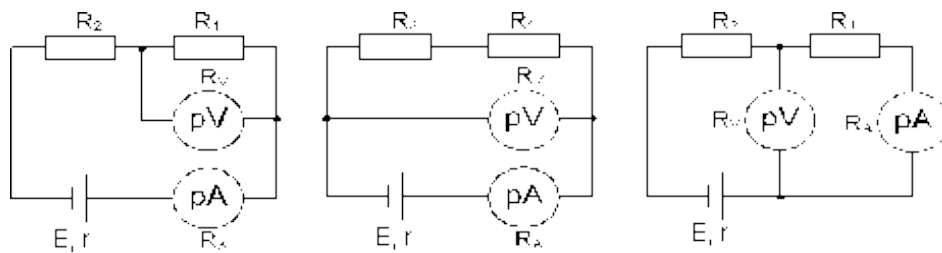
Таблица 4

с Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
Вариант схемы	а	б	а	Б	А	б	а	Б	а	б
$E, В$	10	20	40	15	25	35	80	60	50	45
предпоследняя цифра шифра										
$R_2, Ом$	31	60	19,5	102	41,2	58	42,3	14	37,2	67
$R_{вн}, Ом$	1	2	1,5	2,5	0,8	2,2	1,7	2,2	2,8	3
$R_l, Ом$	23	99	43	109	34	120	41	130	53	144

Задача №5 с-36 не решена

Для схемы (рис.3) заданы E, R_l, R_2 , сопротивление амперметра R_a . Какая систематическая погрешность (в %) будет при измерении силы тока амперметром с

сопротивлением R_a , если сопротивление вольтметра очень большое или конечное и равно R_v , а внутреннее сопротивление источника равно r ? Исходные данные в таблице 5.



а)

б)

в)

рис.3

Таблица 5

с Параметр	вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
вариант схемы	А	б	в	а	б	в	а	б	в	а
R_1 , Ом	8	13,5	17	5,5	29,2	22,8	37,8	22,2	43,5	39,2
r , Ом	2	1,5	3	2,5	0,8	1,2	2,2	2,8	0,5	1,8
R_2 , Ом	10	16	22	42	32	52	44	68	58	71
предпоследняя цифра шифра										
R_a , Ом	0,1	0,5	0,2	0,3	0,7	1,0	0,8	1,2	0,4	0,6
E , В	5	7	10	4	8	12	9	11	15	13
R_v , Ом	1000	2000	3000	1500	2500	3500	1200	2700	2200	1400

Задача №6 с-40-41

В цепи постоянного тока (рис.4) включены приборы: pA –амперметр класса точности K_A , с пределом измерений I_k и pA_1 –амперметр класса точности K_{A1} с пределом измерений I_{kA1} . Рассчитать наибольшую возможную относительную погрешность измерения тока I_2 , если приборы показали I и I_1 . Классифицировать измерения. Рассчитать возможные пределы действительного значения тока I_2 , определённого по показаниям амперметров pA и pA_1 . Исходные данные приведены в таблице 6.

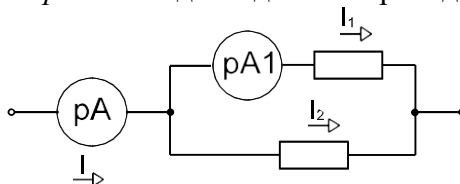


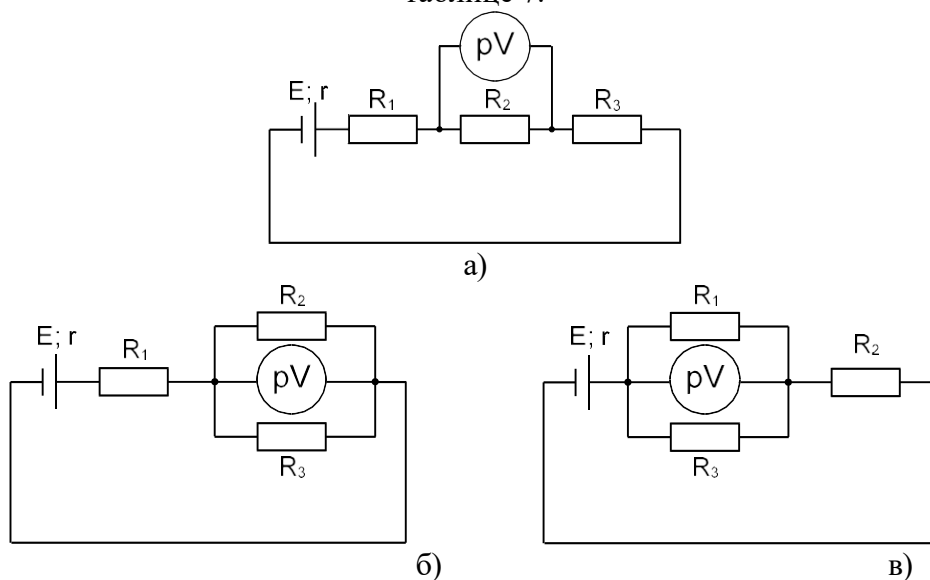
рис.4

Таблица 6

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
K_A	1,5	2,0	2,5	4,0	1,5	2,5	2,0	4,0	1,5	2,0
I_K, A	25	20	30	40	20	25	35	45	50	10
I, A	20	17	22	35	11	24	32	39	38	9
	предпоследняя цифра шифра									
	1,0	0,5	0,2	0,1	0,5	1,0	0,2	0,1	1,0	0,5
	K_{A1}	I_{K1}, A	I_1, A							
	8	10	15	12	14	20	25	30	45	5
	6	8	12	10	9	15	17	22	37	3

Задача №7 с-57-58

Каким должно быть сопротивление вольтметра для того, чтобы погрешность измерений падения напряжения на сопротивлении R_1 либо R_2 была не более $N, \%$ (рисунок 5)? Сопротивление источника, r составляет несколько Ом. Исходные данные приведены в таблице 7.



б)

в)

рис.5

Таблица №7

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
Номер рисунка	а	б	в	в	а	б	в	а	б	в
$N, \%$	5	10	7	6	2	3	4	5	10	9
	предпоследняя цифра шифра									
	100	150	200	300	250	60	80	170	230	40
	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$							
	300	250	100	100	160	200	190	150	120	200
	50	100	180	100	50	150	210	100	100	130

Задача №8 с-61-62

При отсутствии фазометра можно измерить $\cos(\varphi)$ (между током и напряжением) косвенно — с помощью ваттметра, амперметра и вольтметра. Определить погрешность оценки $\cos(\varphi)$ двигателя Д. Классы точности вольтметра, амперметра и ваттметра соответственно K_P, K_I, K_U . Схема измерения приведена на рисунке 6. Исходные данные приведены в таблице 8.

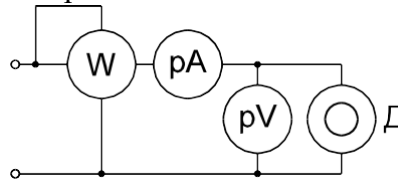


рис.6

Таблица №8

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
$K_I, \%$	2.5	1.0	0.5	1.5	4.0	2.5	1.5	4.0	0.5	2.5
$K_P, \%$	1.5	2.5	4.0	2.5	0.5	1.5	1.0	2.5	1.5	0.5
$K_U, \%$	Предпоследняя цифра шифра									
	1.0	1.5	2.5	4.0	0.5	4.0	2.5	1.0	1.5	0.5

Задача №9 с-70-71

Проведены три группы измерений сопротивления одной и той же образцовой катушки и получены следующие результаты (в омах) : $X_1 \pm \Delta X_1$; $X_2 \pm \Delta X_2$; $X_3 \pm \Delta X_3$. Путём дальнейшей обработки результатов найти погрешность среднего взвешенного. Исходные данные в таблице 9.

Таблица 9

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
$X_1, \text{Ом}$	10.549	50.765	100.12	150.31	210.31	130.11	30.357	70.231	180.33	190.44
			3	1	4	2			3	4
$X_2, \text{Ом}$	10.132	50.612	100.45	150.76	210.72	130.54	30.772	70.577	180.45	190.93
			2	3	5	3			2	1
$X_3, \text{Ом}$	10.164	50.322	100.76	150.91	210.55	130.87	30.184	70.914	180.11	190.19
			5	3	5	6			2	5
$\Delta X, \text{Ом}$	Предпоследняя цифра шифра									
	0.005	0.007	0.105	0.009	0.109	0.008	0.012	0.015	0.006	0.018
	0.115	0.109	0.112	0.113	0.101	0.102	0.12	0.125	0.01	0.099
	0.01	0.211	0.001	0.006	0.017	0.056	0.0009	0.079	0.134	0.154

Задача №10 с-73

Найти значение электрической энергии и среднее квадратическое отклонение по результатам косвенных измерений силы тока $I \pm \Delta I$ А., сопротивления $R \pm \Delta R$ Ом, времени $t \pm \Delta t$ с., т.к. $W = I^2 \cdot R \cdot t$. Исходные данные приведены в таблице 10.

Таблица №10

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
I , А.	2.33	5.41	3.41	1.56	4.72	8.41	7.34	6.31	9.14	10.23
R , Ом	12.14	15.06	11.71	10.31	7.94	8.57	9.48	13.09	14.25	6.51
t , сек.	314.1	210.4	180.6	175.3	418.2	150.2	350.4	455.1	370.6	470.7
предпоследняя цифра шифра										
ΔI , А.	0.015	0.02	0.023	0.035	0.009	0.012	0.025	0.0312	0.018	0.011
ΔR , Ом	0.011	0.015	0.009	0.007	0.021	0.019	0.005	0.003	0.006	0.023
Δt , сек.	0.2	0.1	0.15	0.13	0.19	0.12	0.23	0.16	0.17	0.21

Задача №11 с-73

Определить суммарное сопротивление двух последовательно соединённых образцовых катушек сопротивления при $R_1 \pm \Delta R_1$ и $R_2 \pm \Delta R_2$. Исходные данные приведены в таблице 11.

Таблица №11

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
R_1 , Ом	11	21	10	5.5	2.5	7	16	14	23	6
R_2 , Ом	2	8	1	3.5	9	12	6.5	1.5	5	2.5
предпоследняя цифра шифра										
ΔR_1 , Ом	0.012	0.021	0.035	0.047	0.053	0.028	0.016	0.044	0.056	0.039
ΔR_2 , Ом	0.025	0.019	0.029	0.034	0.032	0.047	0.053	0.066	0.051	0.015

Задача №12 с-81-82

Можно ли утверждать, что амперметр, рассчитанный на измерение тока I_K класса точности K_{A1} , измеряет величину тока I с погрешностью K_{A1} %? Исходные данные приведены в таблице 12.

Таблица №12

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
K_{A1}	1,0	0,5	0,2	0,1	0,5	1,0	0,2	0,1	1,0	0,5
I_K , А	25	20	30	40	20	25	35	45	50	60
предпоследняя цифра шифра										
I , А	7	6,5	8	8,5	9	10	11	12	9,5	11,5

Задача №13 с-82

Оценить годность амперметра класса точности K_A с пределом I_{KA} , если при его поверке методом сличения с образцовым амперметром класса точности K_{A0} в точке I_H при повышении тока было зафиксировано I_B , а при понижении — I_M . Исходные данные в таблице 13.

Таблица №13

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
K_A	1,0	1.5	2.0	2.5	4.0	1.5	2.0	4.0	2.5	4.0
K_{A0}	0.2	0.5	0.5	1.0	1.5	0.2	0.5	1.0	0.5	0.2
	предпоследняя цифра шифра									
	10	50	100	20	5	30	60	80	90	25
$I_{KA}, A.$	6	28	75	15	2	19	35	62	82	21
$I_H, A.$	5.92	27.7	74.8	14.9	1.97	18.7	34.94	61.85	81.91	20.72
$I_M, A.$	6.09	28.1	75.3	15.2	2.14	19.2	35.31	62.14	82.33	21.41

Задача №14

Определить возможные показания вольтметра U и амперметра I для обоснования выбора этих приборов при измерении в схеме на рисунке 7. Отклонения стрелки приборов не должно превышать φ , % всей шкалы. Исходные данные в таблице 17 ($R_2=n \cdot R_1$, $R_3=k \cdot R_1$).

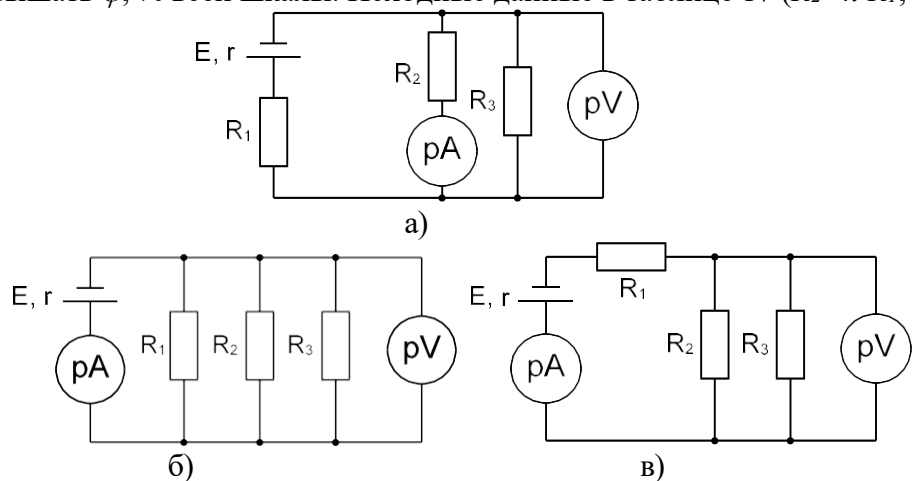


рис.7

Таблица №14

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	последняя цифра шифра									
№ схемы	А	в	б	а	б	в	а	в	б	в
$E, B.$	4	5	6	3	4.5	5.5	3.5	2.5	2	1.5
R_1, Ω	20	10	30	40	45	50	15	25	35	10
N	2	4	1.5	1.5	1	0.5	3	2	2	2.5
	предпоследняя цифра шифра									
	1	2	1.5	2.2	0.8	0.5	1.3	2.5	2.7	1.8
r, Ω	3	1	1.8	2.3	1.2	1.6	3	3.5	2.6	3.2
K	75	60	80	85	65	87	78	90	92	62
$\varphi, \%$										

Задача №15

С помощью вольтметра, амперметра и ваттметра измеряется сопротивление на переменном токе (рисунок 8). Рассчитать измеренное сопротивление с учётом классов точности приборов R_A , R_B , R_{BT} . Исходные данные в таблице 15.

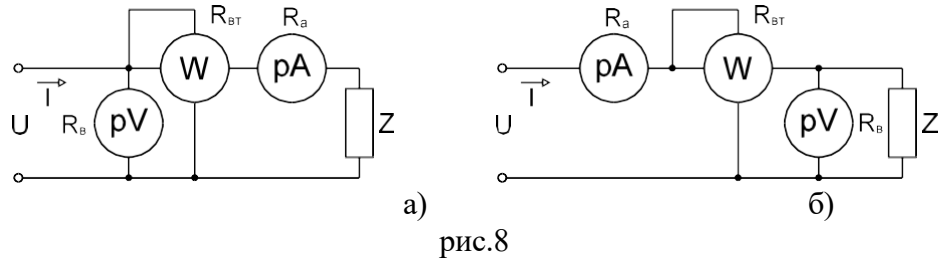


Таблица №15

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
U , В.	220	380	220	220	380	220	220	380	380	220
I , А.	1	1.5	2	0.8	4	3.5	3	2.5	1.8	3.7
Рисунок	а	б	а	б	А	б	а	б	а	б
P , Вт.	45	52	25	130	80	60	70	90	110	120
	Предпоследняя цифра шифра									
	R_A , Ом	0.5	1	1.5	0.8	1.2	2	2.5	1.4	1.8
	R_B , Ом	1500	2000	1000	4000	3000	5000	2500	6000	3500
	R_{BT} , Ом (P_A/P_V)	0.1 10000	0.2 12000	0.4 8000	0.6 7000	0.5 9000	0.7 14000	0.8 15000	0.9 11000	1 6000

Задача №16

Для определения мощности в цепи постоянного тока были измерены напряжение сети U вольтметром класса точности N_B с пределом измерений U_m , ток I амперметром класса точности N_A с пределом измерений I_m . Определить мощность, потребляемую приемником, а также относительную и абсолютную погрешности ее определения.

Исходные данные приведены в табл. 16.

Таблица 16

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
U , В	220	120	250	175	110	200	100	230	90	130
U_m , В	300	150	300	300	150	300	150	300	150	150
I , А	350	10	400	200	20	250	12	260	25	8
I_m , А	500	15	500	300	30	300	15	300	30	15
	Предпоследняя цифра шифра									
	N_B	1,5	1,0	1,0	1,5	0,5	2,5	1,0	1,5	0,5
	N_A	2,5	1,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,5	1,5

Задача №17

Проведено пять независимых наблюдений одного и того же напряжения U . Найти результат измерения и доверительную вероятность того, что абсолютная погрешность измерения не превышает по модулю U . Систематической погрешностью можно пренебречь. Исходные данные приведены в табл. 17.

Таблица 17

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
U_1 , мВ	2781	3509	1237	1834	3784	1944	2293	1538	2910	1354
U_2 , мВ	2836	3523	1245	1851	3775	1961	2304	1540	2898	1343
U_3 , мВ	2807	3501	1253	1867	3788	1951	2311	1545	2894	1367
U_4 , мВ	2763	3493	1262	1839	3796	1955	2317	1554	2927	1362
U_5 , мВ	2858	3497	1270	1862	3803	1967	2310	1563	2903	1351
	Предпоследняя цифра шифра									
U , мВ	50	30	25	50	30	25	40	30	25	50

Задача №18

Обмотка магнитоэлектрического измерительного механизма имеет сопротивление R_o и рассчитана на предельный длительный ток I_o , при котором подвижная часть получает наибольшее отклонение. Каким образом на базе указанного измерительного механизма сделать амперметр с пределом измерений I_m и вольтметр с пределом измерений U_m ?

Исходные данные приведены в табл. 18.

Таблица 18

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
R_o , Ом	20	30	15	25	20	15	30	20	15	30
I_o , мА	10	5	8	10	15	5	10	5	10	15
	Предпоследняя цифра шифра									
I_m , А	5	2	1	3	5	2	1	10	0,5	3
U_m , В	100	15	30	150	300	100	250	30	100	300

Задача №19

Определить относительные погрешности измерения сопротивления R_x в цепи постоянного тока с помощью амперметра и вольтметра при подключении их двумя возможными способами. Сопротивление амперметра - R_a , вольтметра - R_v . Сделать вывод о целесообразности использования той или иной схемы. Исходные данные приведены в табл. 19.

Таблица №19

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
R_a , Ом	0,01	0,2	0,02	0,1	0,01	0,01 5	0,03	0,05	0,04	0,02 5
R_v , кОм	40	30	50	15	5	10	25	35	50	20
	Предпоследняя цифра шифра									
R_x , Ом	2	10	5	100	15	1000	3	1	500	50

Задача №20

Определить индуктивность L_x и активное сопротивление R_x катушки, включенной в одно из плеч уравновешенного моста переменного тока. В противоположное плечо моста включено образцовое сопротивление R_z , а в два других плеча соответственно образцовое

сопротивление R_4 и образцовая катушка индуктивности с параметрами L_2 и R_2 . Исходные данные приведены в табл. 20.

Таблица №20

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
R_2 , Ом	3	4	5	7	9	10	8	20	12	15
L_2 , Гн	0,1	0,2	0,3	0,4	0,15	0,25	0,3	0,2	0,15	0,1
	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Предпоследняя цифра шифра									
R_3 , Ом	20	15	10	25	30	10	35	20	40	25
R_4 , Ом	10	20	15	30	35	25	10	15	30	20

Задача №21

Цепь постоянного тока напряжением U состоит из двух последовательно соединенных сопротивлений R_1 и R_2 . Имеется три вольтметра магнитоэлектрической системы с внутренними сопротивлениями $R_{в1}$, $R_{в2}$ и $R_{в3}$. Рассчитать истинное значение напряжения на сопротивлении R_1 и определить показания вольтметров при поочередном их подключении к R_1 и относительные методические погрешности измерения, вызванные подключением вольтметров. Исходные данные приведены в табл. 21.

Таблица №21

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
U , В	100	120	150	200	220	110	90	120	100	220
R_1 , кОм	5	10	12	6	15	10	15	7,5	6	10
R_2 , кОм	10	10	24	10	25	25	20	15	9	5
	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Предпоследняя цифра шифра									
$R_{в1}$, кОм	5	8	12	10	20	10	20	10	10	15
$R_{в2}$, кОм	500	100	300	250	500	300	100	50	15	25
$R_{в3}$, кОм	50	500	75	100	150	75	300	250	300	500

Задача №22 с-60

Измеряется мощность трехфазного тока 2-мя ваттметрами. Какова наибольшая погрешность измерения, если стрелка первого ваттметра показывает n_1 делений и погрешность этого прибора не более $a\%$. Стрелка второго ваттметра в то же время показывает n_2 делений, погрешность прибора $b\%$. Исходные данные приведены в табл. 22.

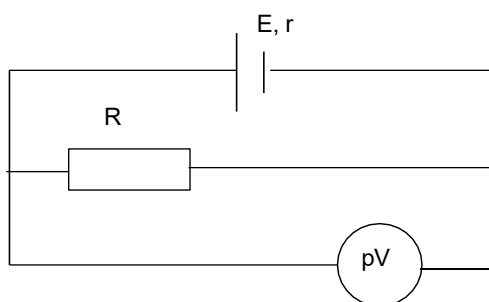
Таблица №22

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
n_1 , делений	100	90	105	125	130	140	85	60	70	110
a , %	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	2,5	1,5	2,5	0,5
	Предпоследняя цифра шифра									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Предпоследняя цифра шифра									
n_2 , делений	50	60	45	35	30	25	70	110	120	55
b , %	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1,5	2,5	1	1,5

Задача №23 с-34

Рис.9

Вычислить относительную погрешность показаний вольтметра, включенного по схеме (рис. 9), которая получается, если предположить, что вольтметр имеет бесконечно



большое сопротивление и не вносит искажений в измеряемую цепь. Определить показания pV и вычислить абсолютную погрешность его показания, возникновение которой обусловлено тем, что вольтметр имеет сопротивление R_v (сопротивление R_v для этого случая равно бесконечности). Классифицировать погрешность измерений для этой задачи. Исходные данные приведены в табл. 23.

Таблица №23

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
R , Ом	1000	1500	2000	800	500	100	50	150	300	400
r , Ом	1	0,5	1,5	2	2,5	1,2	0,7	1,6	0,8	1,8
	Предпоследняя цифра шифра									
	10	5	8	15	20	12	25	30	27	22
	100	200	300	250	150	400	350	500	1000	700

Задача №24 с-42

Для измерения тока в цепи (рис. 10) включен микроамперметр класса точности K_a с пределом измерения I_k и внутренним сопротивлением R_a . Определить погрешность метода измерения тока, если известны E , R_e , R . Определить погрешность измерения тока, обусловленную классом точности и пределом измерения микроамперметра. Сопоставить эту погрешность с погрешностью метода. Исходные данные представлены в табл. 24.

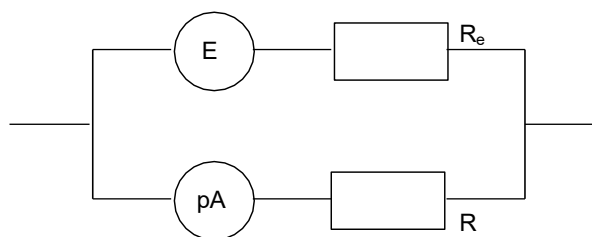


Рис. 10

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
	Последняя цифра шифра									
E , мВ	20	30	50	25	35	45	60	55	70	65
R_e , Ом	100	150	200	120	160	170	250	220	300	270
R , Ом	1000	900	1200	800	1100	1400	2000	1800	2300	2100
	Предпоследняя цифра шифра									
	1	1,5	0,5	2,5	0,5	2	2,5	1	1,5	2
K_a	1	1,5	0,5	2,5	0,5	2	2,5	1	1,5	2
I_k , мкА	40	45	50	70	80	100	150	200	60	250
R_a , Ом	1200	1500	1400	2100	1900	2000	2500	1700	3000	1000

Таблица №24

Библиографический список

1. Червяков, В.М. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация / В.М. Червяков / А.О. Пилягина / П.А. Галкин : учебное пособие Электронный ресурс : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ ; Тамбов, 2015. – 112 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-8265-1426-
2. Камардин, Н.Б. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация, подтверждение соответствия / Н.Б. Камардин / И.Ю. Суркова : учебное пособие Электронный ресурс : Казанский национальный исследовательский технологический университет ; Казань, 2013. – 241 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. – ISBN 978-5-7882-1401-6
3. Иголкин, А. Ф. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Практикум Электронный ресурс : Учебно-методическое пособие / А. Ф. Иголкин, С. А. Вологжанина. – Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Практикум, 2022-10-01. – Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2015. – 42 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 2227-8397
4. Таренко, Б. И. Метрология, стандартизация и сертификация, взаимозаменяемость, стандартизация и сертификация Электронный ресурс : Тексты лекций / Б. И. Таренко, Р. А. Усманов. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2011. – 222 с. – Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. – ISBN 978-5-7882-1048-3
5. Веремеевич, А.Н. Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости Электронный ресурс : учебное пособие / А.Н. Веремеевич. – Метрология, стандартизация и сертификация, стандартизация и сертификация. Основы взаимозаменяемости. – Москва : Издательский Дом МИСиС, 2004. – 99 с. – Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
6. Семенов, Б. А. (д-р техн. наук). Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях : учеб. пособие для вузов / Б.А. Семенов. - 2-е изд., доп. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013. - 393 с. : ил. ; 21. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Гриф: Доп. УМО. - Библиогр.: с. 388-390. - ISBN 978-5-8114-1392-8
7. Основы метрологии и электрические измерения /Под ред. Е.М. Душна. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.
8. Электрические измерения /Под ред. А.В. Френке и Е.М. Душина. - Л.: Энергия, 1980. - 392 с.
9. Электрические измерения электрических и неэлектрических величин /Под ред. Е.С.

- Полищука. - К.: Вища шк., 1984. - 359 с.
10. Котур. В.И. Электрические измерения и электроизмерительные приборы. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 400 с.
 11. Электрические измерения /Под ред. В.Н. Малиновского. - М.: Энергоатомиздат, 1982. - 392 с.
 12. Математическая статистика/ В.М. Иванова, В.Н. Калинина, П.А. Нешумова, И.О. Решетникова. - М.: Высшая школа, 1981. - 368 с.

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Методические указания к контрольной работе