

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

ПОДЛЕЖИТ ВОЗВРАТУ

Одобрено кафедрой
«Электротехника»

**ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ,
МЕТРОЛОГИИ И СТАНДАРТИЗАЦИИ**

**Задание на контрольную работу № 1
с методическими указаниями для
студентов I I I курса
специальности**

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

Гомель – 2005

Рецензент доцент Н.П. Волков

ВВЕДЕНИЕ

В процессе познавательной деятельности человека возникает множество задач, для решения которых необходимо располагать количественной информацией о том или ином свойстве объектов материального мира (явления, процесса, вещества, изделия). Основным способом получения такой информации являются измерения. Информация о свойствах и качествах объектов, полученная посредством измерений, называется измерительной информацией.

Результаты любых измерений, как бы тщательно и на каком бы высоком уровне они не выполнялись, неизбежно содержат некоторые погрешности. Абсолютно точных измерений не может быть принципиально. Успешная работа студентов в лабораториях, наряду с изучением методов и средств измерений и приобретением навыков измерений, предполагает также их знакомство с современными методами математической обработки результатов измерений, анализа и оценивания погрешностей.

Необходимо иметь в виду, что сегодня измерения пронизывают все сферы инженерного труда. С измерениями связана деятельность инженера-исследователя, технолога и инженера эксплуатационщика. Они обязаны иметь ясное представление о возможностях измерительной техники, чтобы обеспечить взаимозаменяемость деталей и контролепригодность изделия на всех стадиях его жизненного цикла. Измерительная информация является основой для принятия технических и управленческих решений при испытаниях продукции, оценивания ее технического уровня, аттестации и сертификации качества.

Результат любого измерения заслуживает внимания лишь при условии, что он сопровождается оценкой погрешности измерения, либо дополняется сведениями, позволяющими потребителю измерительной информации оценить точность измерения самостоятельно. С другой стороны, важно не только уметь выполнить измерение и оценить погрешность результата, но и так спланировать и осуществить процедуру измерения, чтобы обеспечить требуемую точность или свести погрешности к минимуму.

Говоря о точности измерений, следует заметить, что уровень точности, к которому надо стремиться, должен определяться критериями технической и экономической целесообразности. Известно, что увеличение точности измерения вдвое удорожает само измерение в несколько раз. В то же время снижение точности измерения в производстве ниже определенной нормы приводит к браку продукции. При назначении точности измерений важно также учитывать их значимость. В одних случаях не достаточная точность получаемой измерительной информации имеет небольшое или локальное значение, в других играет исключительно важную роль.

В этих условиях, чтобы успешно справиться с многочисленными и разнообразными проблемами измерений, необходимо освоить некоторые общие принципы их решения, нужен единый научный и законодательный фундамент, обеспечивающий на практике высокое качество измерений, независимо от того, где и с какой целью они производятся. Таким фундаментом является метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

В сферу деятельности современной метрологии входит и определение наиболее точных значений важнейших физических констант (скорости света, ускорения силы тяжести и др.), необходимых для многих отраслей науки и техники. Метрология обеспечивает потребителей стандартными образцами веществ и материалов, состав и физико-химические характеристики которых определены с необходимой точностью. Методы метрологии широко используются в смежных отраслях знаний, таких как

оценивание и контроль качества продукции, сертификация промышленной продукции, аттестация программ и алгоритмов обработки данных и др.

Однако само по себе знание метрологических правил и норм еще не даёт гарантии успешной инженерной деятельности. Совершенно необходимо изучить и освоить методы измерений и основные принципы построения средств измерения физических величин. При этом на первое место следует поставить знание методов измерения. Это обусловлено тем, что именно методы измерений и физические принципы работы приборов являются наиболее постоянными компонентами, тогда как конкретные схемные решения и элементная база средств измерения непрерывно изменяются и совершенствуются.

Когда все известные или предполагаемые составляющие погрешности результата измерения оценены и внесены соответствующие поправки, все еще остается сомнение в том, насколько близок результат измерения к истинному значению измеряемой величины. В сложившейся метрологической практике количественной мерой этого сомнения, принято использовать понятие «погрешность измерения». В РФ и РБ приемы оценивания погрешности результата измерения регламентированы нормативно-техническими документами Госстандарта.

В 1986 г. была завершена работа Международной метрологической комиссии по разработке нового стандарта по оценке точности измерений - «Руководства по выражению неопределенности в измерениях». Основные положения «Руководства» заключаются в следующем:

- понятие «погрешность измерения» заменено понятием «неопределенность измерения»;
- введены понятия неопределенности типа A и типа B ;
- количественно неопределенности типа A и B и результата измерения оцениваются посредством «стандартного отклонения» (среднего квадратического отклонения).

Понятие «неопределенность измерений» определяется как «параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует дисперсию значений, которые могут быть обоснованно приписаны измеряемой величине».

Для оценивания различных составляющих неопределенности могут быть использованы различные исходные данные. Некоторые из составляющих оцениваются из статистического распределения результатов рядов наблюдений и характеризуются экспериментальными средними квадратическими отклонениями. Другие составляющие, которые также могут характеризоваться средними квадратическими отклонениями, оцениваются из предполагаемых распределений вероятностей, основанных на опыте экспериментатора или другой информации.

Неопределенность, оцениваемая путем статистического анализа ряда наблюдений, называют неопределенностью типа A . Неопределенность, оцениваемая любыми иными способами, чем статистический анализ рядов наблюдений, называют неопределенностью типа B .

Следуя международной рекомендации зарубежные метрологи в последние годы все чаще стали использовать термин «неопределенность измерений» вместо «погрешность измерений». Признавал высокий авторитет и значимость международных рекомендаций, тем не менее проанализируем целесообразность и эффективность перехода от концепции «погрешности» к концепции «неопределенности» в области технических измерений.

Новизну концепции «неопределенности» видят в том, что «неопределенность» как мера сомнений является неотъемлемым атрибутом результата измерения, тогда как термин «погрешность» зачастую трактуется как некоторая самодостаточная конкретная величина, на которую измеренное значение физической величины отличается от ее истинного значения. Действительно, как только переходят к практическим вопросам - как же отражать сомнения, неуверенность экспериментатора в результате измерения, сразу же приходится связывать «неопределенность» с теми или иными статистическими характеристиками погрешности измерений как случайной величины.

По сути дела неопределенность типа *A* ни что иное, как характеристика случайной составляющей погрешности результата измерения, а неопределенность типа *B* — характеристика неисключенной систематической погрешности. Объединение неопределенностей типа *A* и *B* проводится по тем же правилам, что и при объединении составляющих погрешности, путем суммирования дисперсий [2 ,стр.62.].

В силу международного характера «Руководства по выражению неопределенности измерения» с целью способствования сотрудничеству между лабораториями и органами по аккредитации, взаимного признания результатов измерений и гармонизации национальных требований и процедур с международными, в Республике Беларусь с 01.01.2002 г. введен национальный стандарт СТБ ИСО/МЭК 17025 — 2002 , представляющий собой аутентичный текст международного стандарта ИСО/МЭК 17025 от 1999 г.

За последние годы широкое распространение получили компьютерные технологии измерений. Автоматизация измерений и применение виртуальных приборов позволили революционизировать все процедуры измерений.

Понятие виртуальные приборы (Virtual Instruments) появилось на стыке измерительной, информационной и компьютерной техники. Виртуальный информационно-измерительный прибор или система — это компьютер, оснащенный набором аппаратных и программных средств, выполняющий функции информационно измерительного прибора или системы, максимально приближенный к решению задачи.

В отличие от традиционных технических средств измерений, измерительные функции, пользовательский интерфейс, алгоритмы сбора и обработки информации определяются самим пользователем, а не производителем. Эти средства называются виртуальными по двум основным причинам:

- с помощью одного и того же аппаратного и программного обеспечения можно сконструировать систему выполняющую совершенно различные функции и имеющую различный пользовательский интерфейс;
- управление такими системами, как правило, осуществляется через графический пользовательский интерфейс при помощи технологии Drag and Drop («перенес и положил») с использованием манипулированием «мышью» через виртуальные элементы управления

Информационные технологии вывели измерительную технику на новый уровень, позволяющий быстрее и с меньшими затратами разрабатывать информационно-измерительные приборы и системы различной сложности: от измерения параметров до ввода и обработки видеоизображений с передачей результатов через внешнюю сеть на любые расстояния.

Дисциплина «Электрические измерения» неразрывно связана с курсами физики и теоретических основ электротехники, поскольку измерениям подвергаются различные физические величины и физические параметры процессов, а для средств измерений используются многие физические закономерности. Следует отметить взаимное обогащение указанных дисциплин и курса «Электрические измерения», что проявляется в использовании новых достижений в области физики и теоретической электротехники, а достижения метрологии и измерений прежде всего в отношении точности и достоверности измерений физических величин позволяют обнаруживать новые явления и закономерности и уточнять уже известные.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольные работы студенты выполняют самостоятельно до начала занятий в лаборатории, изучив самостоятельно предварительно теоретический материал курса в соответствии с программой дисциплины «Основы электрических измерений метрологии и стандартизации». Программу можно скопировать на электронный носитель на кафедре в период установочной сессии.

Для облегчения изучения курса учебными планами предусмотрены установочные лекции по отдельным разделам.

Задание на контрольную работу состоит из шести задач. Вариант контрольной работы выбирается по двум последним цифрам учебного шифра студента.

Если учебный шифр студента представляет однозначное число, то за предыдущую цифру следует принять 0.

Студенты должны выполнять данную контрольную работу в сроки, установленные планом учебной работы.

В целях оказания помощи студентам выполнения контрольной работы, кафедра «Электротехника» БелГУТа проводит устные групповые или индивидуальные консультации для студентов в дни, установленные администрацией вуза для кафедры.

Оформление контрольных работ должно удовлетворять следующим требованиям:

1. В начале каждой контрольной работы быть указаны: номер контрольной работы; дисциплина; фамилия, имя, отчество; курс, факультет, специальность; учебный шифр и домашний адрес студента.

2. Контрольные работы оформляются в тетради только чернилами (перьевой, шариковой или гелиевой авторучкой), аккуратно, без помарок и должны быть выполнены так, чтобы можно было без затруднения прочесть каждую букву, знак, слово.

Работы, оформленные небрежно, вызывающие затруднения или сомнения при их чтении, возвращаются студенту для переработки.

Страницы тетради должны быть пронумерованы, на каждой из них следует оставлять поля шириной не менее 3 см для замечаний рецензента.

3. Все расчетные действия должны сопровождаться краткими, но четкими пояснениями.

4. Для обозначения физических и электрических величин и их размерности в тексте могут применяться только условные буквенные обозначения в соответствии с действующим ГОСТом.

Буквенные обозначения единиц измерения могут применяться в тексте только после числовых значений величин (например: 5 А, 127 В, 800 Вт).

5. Обозначения электрических величин в тексте, в формулах, на векторных диаграммах и электрических схемах должны быть согласованы и расшифрованы один раз в каждой задаче.

6. Схемы, векторные диаграммы и графики должны выполняться с применением чертежных инструментов или компьютерных технологий. При выполнении схем следует пользоваться ЕСКД «Обозначения условные графические в схемах». Схемы, рисунки, векторные диаграммы и графики должны быть пронумерованы и иметь подрисовочные надписи. В тексте контрольной работы нужно обязательно делать ссылки на соответствующие схемы, диаграммы и графики.

7. Кривые и графики должны иметь размеры не менее 10см*10 см. Графики должны быть построены на миллиметровой бумаге и подклеены к тексту работы. При выборе масштабов надо иметь в виду, что число единиц в 1 см (или отрезке длины, принятом за единицу, например, в стороне одной клетки бумаги) должно выражаться - числами 1×10^n ; 2×10^n или 5×10^n , где n — любое число.

Масштаб должен быть указан на координатных осях.

Надписи, обозначающие величины, откладываемые по осям, делать слева от оси ординат у ее конца и под осью абсцисс также у ее конца, а условные знаки единиц измерений ставить у последних числовых значений величин. (Допускается выполнение графиков с использованием компьютерных технологий, но с соблюдением требований к их исполнению, указанных п.7)

8. Работа должна быть подписаны с указанием даты ее завершения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метрология и электро-радиоизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов В.И.Нефедов, В.И.Хахин,Е.В.Федорова и др.; Под ред. В.И.Нефедова.- М.: Высш.шк., 2001.-383 с.: ил.
2. Д.Ф.Тартаковский, А.С. Ястребов. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб.для вузов.-М.: Высш. шк., 2001.- 205 с.: ил.
3. Г.Г.Раннев, А.П.Тарасенко. Методы и средства измерений: Учебник для вузов.- М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 336 с.
4. Информационно-измерительная техника и технологии / В.И.Калашников,С.Ф.Нефедов, и др.; Под ред. Г.Г.Раннева.-М.; Высш. Шк., 2002, - 336 с.
5. Электрические измерения / Под ред. А.В.Фремке и Б.М.Душина - М.: Энергия, 1980,-392с.
6. Основы метрологии и электрические измерения / Под ред. В.М.Душина -М.: Высш. шк., 1985.
7. Электрические измерения / Под ред. Малиновского- М.: Высш. шк., 1985.
8. Методы электрических измерений: учебное пособие для вузов / Л.Г.Журавин и др.; под ред. Цветкова Э.И.- Л.: Энергоатомиздат. Ленинградское отделение, 1990.
9. Р.М Демидова-Панферова, В.Н.Малиновский, Ю.С.Солодов. Задачи и примеры расчетов по электро-измерительной технике. -М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Сборник задач и упражнений по электрическим и электронным Измерениям. /Под ред.Э.Г. Атамалян.-М.; Высш. шк. 1980.
11. Справочник по электроизмерительным приборам /Под ред. К. К. Илюнина. Л.: Энергоатомиздат, 1983. -
12. Попов В. С. Электрические измерения. М.: Энергия, 1963, 1974.

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

ЗАДАЧА № 1

ПОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ И ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Технический амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током I_n , числом номинальных делений $\alpha_n = 50$ имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения, проставленные на каждой пятой части шкалы (стрелки обесточенных амперметров занимают пулевое положение).

Поверка технического амперметра осуществлялась образцовым амперметром той же системы.

Исходные данные для выполнения задачи указаны в табл. 1.

1. Указать условия поверки технических приборов.
2. Определить поправки измерений.
3. Построить график поправок.
4. Определить приведенную погрешность.
5. Указать, к какому ближайшему стандартному классу точности относится данный прибор.

Если прибор не соответствует установленному классу точности, указать на это особо.

6. Написать ответы на вопросы:

- 1) Что называется измерением?
- 2) Что такое мера и измерительный прибор? Как они подразделяются по назначению?
- 3) Что такое погрешность? Дайте определение абсолютной, относительной и приведенной погрешности.
- 4) Что такое неопределенность в измерениях?

Методические указания к решению задачи № 1

В метрологии рассматриваются общие вопросы измерений: единицы физических величин и их системы, эталоны и способы передачи размеров единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам измерений, общие методы обработки результатов измерений и оценки их точности и достоверности, основы обеспечения единства измерений.

Под единством измерений понимают такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах. Такие единицы устанавливаются в каждой стране особым законодательством с учетом рекомендаций международных организаций.

Международную унификацию системы единиц СИ приняла XI Генеральная конференция по мерам и весам в 1960 году. Единство измерений необходимо для обеспечения сопоставления результатов измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений.

Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

В зависимости от степени точности показывающие и самопишущие электроизмерительные приборы согласно ГОСТ делятся на девять классов: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Число, обозначающее класс, является наибольшей приведенной погрешностью прибора на всех отметках рабочей части его шкалы.

Числовые значения для задачи № 1

Таблица 1

Поверяемый амперметр	Ед. изм.	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Абсолют. погрешность Δ_I	А	-	-0,02	+0,04	-0,05	+0,03	-0,04	+0,06	-0,05	+0,03	-0,07	+0,03
		-	+0,03	-0,05	+0,07	-0,09	+0,06	-0,09	+0,04	+0,05	-0,04	+0,07
		-	-0,04	+0,06	-0,04	+0,08	+0,05	-0,05	+0,07	-0,06	+0,09	-0,05
		-	+0,05	-0,07	+0,03	-0,06	-0,09	+0,03	-0,08	+0,07	-0,03	+0,05
		-	-0,06	+0,08	-0,02	+0,04	-0,07	+0,04	-0,03	-0,09	+0,06	-0,03
Ном. ток I_n	А	0; 5	0,5	10	5	10	2,5	5	2,5	5	5,5	5
		1; 6	5	0,5	10	5	0,5	0,5	5	10	2,5	0,5
		2; 7	2,5	5	0,5	0,5	0,5	10	5	0,5	5	2,5
		3; 8	10	5	0,5	5	2,5	2,5	10	2,5	10	5
		4; 9	5	0,5	5	2,5	10	5	0,5	5	0,5	10

Примечание. Абсолютная погрешность Δ_I в табл. 1 указана для каждого оцифрованного деления шкалы после нуля в порядке их возрастания, включая номинальный ток амперметра.

*

Приборы более высокого класса точности, применяемые в лабораторной практике, называются лабораторными в отличие от приборов ограниченной степени точности, используемых для технических измерений.

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [5 с. 11—22; 12, с. 14—27] Результаты решения задачи 1 записать в табл.2.

Таблица 2.

Оцифрованные деления шкалы, А	Абсолютная Погрешность $\Delta_I, А$	Поправки измерений $\delta_I, А$	Приведенная Погрешность $\gamma_n, \%$

ЗАДАЧА № 2

ИЗМЕРЕНИЕ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ В ЦЕПЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Измерительный механизм (ИМ) магнитоэлектрической системы рассчитан на ток I_u и напряжение U_u . и имеет шкалу на α_u делений.

1. Составить схему включения измерительного механизма с шунтом и дать вывод формулы $R_{ш}$
2. Определить постоянную измерительного механизма по току C_I Величину сопротивления шунта $R_{ш}$ и постоянную амперметра C'_I , если этим прибором нужно измерять ток I_n .
3. Определить мощность, потребляемую амперметром при номинальном значении тока I_n .
4. Составить схему включения измерительного механизма с добавочным сопротивлением и дать вывод формулы R_d
5. Определить постоянную измерительного механизма по напряжению C_U , величину добавочного сопротивления R_d и постоянную вольтметра C'_U , если этим прибором нужно измерять напряжение U_n
- б. Определить мощность, потребляемую вольтметром при номинальном значении напряжения U_n

Методические указания к решению задачи № 2

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [5, с. 59—70, 88—90; 12, с. 70—76].

Численные значения для задачи №2

Таблица 3

Наименование величин	Единиц. Измерения	Предпоследняя Цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение ИМ U_u . Ток ИМ I_u	мВ	-	45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
	мА	-	5	7,5	10	10	15	30	25	25	40	50
	дел	-	50	75	100	50	150	75	100	150	50	100
Напряжение U_n	В	0; 5	45	300	15	200	30	60	25	75	200	100
	В	1; 6	90	150	45	20	60	30	50	150	40	15
	В	2; 7	18	75	50	150	90	150	100	300	80	30
	В	3; 8	135	225	100	50	120	300	150	15	100	50
	В	4; 9	180	15	150	100	150	15	250	30	150	10
Ток I_n	А	0; 1	1,0	1,5	2,0	10	1,5	3,0	25	30	20	5
	А	6; 2	1,5	3,0	10	2,0	3,0	1,5	2,5	25	5,0	15
	А	7; 3	2,0	6,0	5,0	3,0	4,5	6,0	5,0	15	10	0,5
	А	8; 4	2,5	4,5	1,5	5,0	15	4,5	7,5	1,5	0,5	1,0
	А	9; 5	3,0	7,5	0,5	2,5	30	0,3	0,5	7,5	4,0	20

ЗАДАЧА № 3

МЕТОДЫ И ПОГРЕШНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИИ

Для измерения сопротивления косвенным методом использовались два прибора: амперметр и вольтметр магнитоэлектрической системы.

Измерение сопротивления производилось при температуре $t^{\circ}\text{C}$ приборами группы А, Б или В. Данные приборов, их показания, а также группа приборов и температура окружающего воздуха, при которой производилось измерение сопротивления, приведены в табл. 4.

Определить:

- 1) величину сопротивления R_{x1} по показаниям приборов и начертить схему;
- 2) величину сопротивления R_x с учетом схемы включения приборов;
- 3) наибольшие возможные (относительную γ_r и абсолютную ΔR) погрешности результата измерения этого сопротивления;
- 4) в каких пределах находятся действительные значения измеряемого сопротивления.

Числовые значения для задачи № 3

Таблица 4

Наименование величин	Един.Пред ИзмерЦифр шиф		Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Предел измер U_n Ток полн.откл. стрелки при U_n Класс точн. γ_0	В	-	300	150	15	75	300	30	300	150	75	30
	мА	-	3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	7,5
	%	-	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
Показания вольтметра U	В	0; 5	220	140	12	60	240	27	270	100	50	20
	В	1; 6	280	130	10	70	260	25	180	110	60	26
	В	2; 7	250	120	8	65	210	23	230	140	70	18
	В	3; 8	170	110	11	75	250	28	240	120	65	22
	В	4; 9	290	150	14	55	200	29	160	130	75	25
Предел изм. I_n Паден.напр.на зажимах при I_n Класс точн. γ_0	А	-	1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3	15
	мВ	-	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
	%	-	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	1,0	0,5	0,2	1,5
Показания Амперметра I	А	0; 1	1,0	0,5	1,0	5	0,2	9	0,5	0,4	0,1	10
	А	6; 2	1,3	0,7	1,2	6	0,2	10	0,6	0,5	0,2	8
	А	7; 3	1,1	0,9	0,9	7	0,3	11	1,1	1,0	0,2	14
	А	8; 4	1,5	1,1	0,8	4	0,3	12	1,3	1,2	0,3	7
	А	9; 5	1,4	1,3	0,7	3,5	0,2	13	1,5	0,8	0,3	5
Группа приборов	-	-	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
Температура t	$^{\circ}\text{C}$	-	10	0	-10	30	10	0	25	30	40	10

Методические указания к решению задачи № 3

При измерении сопротивления методом двух приборов амперметра и вольтметра, применяются две схемы. В этом случае приближенное значение сопротивления R_{x1} согласно закону Ома определяются как $R_{x1} = \frac{U}{I}$.

Одна из схем (без учета внутреннего сопротивления приборов) используется в тех случаях, когда измеряемое сопротивление велико по сравнению с сопротивлением амперметра; другая в тех случаях, когда измеряемое сопротивление мало по сравнению с сопротивлением вольтметра. Поскольку в практике измерений этим методом подсчет сопротивления R_{x1} обычно производится по приближенной формуле, то необходимо знать, какую схему следует выбрать для того, чтобы величина погрешности была наименьшей. Чтобы правильно выбрать схему, необходимо сначала определить соотношения R_{x1}/R_A и R_V/R_{x1} и по наибольшему из них принять и вычертить схему включения приборов.

Величина сопротивления R_x определяется с учетом внутреннего сопротивления R_A или R_V в зависимости от принятой схемы.

Приступая к решению п. 3, необходимо иметь в виду, что погрешности электроизмерительных приборов разделяются на две категории:

- а) основная погрешность, зависящая только от внутренних свойств и состояния самого прибора,
- б) дополнительные погрешности, обусловленные влиянием внешних факторов и отклонением условий эксплуатации прибора от нормальных (например, отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной)

Погрешность измерения γ будет представлять собой сумму основной погрешности γ_d (класс точности прибора) и дополнительно погрешности γ_t , вызванной отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной (принимается обычно $t_n = 20^\circ \text{C}$); причем следует принимать случай наиболее неблагоприятный, когда

$$\pm \gamma = \pm \gamma_d \pm \gamma_t$$

Относительная погрешность при косвенном методе измерения сопротивления определяется по формуле

$$\pm \gamma_r = \pm \gamma_U \pm \gamma_I,$$

где γ_U и γ_I относительные погрешности измерений напряжения и тока.

Величины γ_U и γ_I могут быть определены по формулам, приведенным в рекомендуемой литературе [12, с.11]. Так относительная погрешность при измерении напряжения, выражается через класс точности прибора (приведенная относительная погрешность γ) будет

$$\pm \gamma_U = \frac{\Delta U}{U} 100\% = \pm \frac{\gamma U_n}{100\%} \frac{100\%}{U} = \pm \gamma \frac{U_n}{U}.$$

Аналогично определяется погрешность при измерении тока.

Для определения абсолютной погрешности ΔR , а также пределов изменения действительного значения измеренного значения сопротивления R следует воспользоваться соотношением

$$\pm \gamma_r = \frac{\Delta R}{R_x} 100\%$$

По исполнению от условий эксплуатации приборы разделяются на три группы: А, Б и В. Ниже, в табл. 5, приводятся нормы для рабочих климатических условий по температуре для приборов различных групп.

Таблица 5

Параметры окружающего воздуха	Группы приборов		
	А	Б	В
Температура	От +10 до +35 ⁰ С	От -30 до +40 ⁰ С	От -50 до +60 ⁰ С

Изменения показаний прибора, вызванное отклонением температуры окружающего воздуха от нормальной до любой в пределах рабочих температур, не должно превышать значений, указанных табл. 6, на каждые $\pm 10^0$ С изменении я температуры.

Таблица 6

Класс точности прибора	Допускаемое изменение показаний приборов групп, %		
	А	Б	В
0,05	$\pm 0,05$	-	-
0,1	$\pm 0,1$	-	-
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 0,15$	$\pm 0,15$
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 0,4$	$\pm 0,3$
1,0	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$\pm 0,5$
1,5	$\pm 1,5$	$\pm 1,2$	$\pm 0,8$
2,5	$\pm 2,5$	$\pm 2,0$	$\pm 1,2$
4,0	$\pm 4,0$	$\pm 3,0$	$\pm 2,0$

ЗАДАЧА № 4

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Для измерения активной мощности трехпроводной цепи трехфазного тока с симметричной активно-индуктивной нагрузкой соединенной звездой или треугольником необходимо выбрать два одинаковых ваттметра с номинальным током I_n ; номинальным напряжением U_n и числом делений шкалы $\alpha_n = 150$ дел.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 7.

1. По данным варианта для нормального режима работы цепи:

- а) начертить схему включения ваттметров в цепь;
- б) доказать, что активную мощность трехпроводной цепи трехфазного тока можно представить в виде суммы двух слагаемых;
- в) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
- г) определить мощности P_1 и P_2 измеряемые каждым из ваттметров;
- д) определить число делений шкалы α_1 и α_2 , на которые отклоняются стрелки ваттметров.

2. По данным варианта при обрыве одной фазы приемника энергии:

- а) начертить схему включения ваттметров в цепь;
- б) построить в масштабе векторную диаграмму, выделив на ней векторы напряжений и токов, под действием которых находятся параллельные и последовательные обмотки ваттметров;
- в) определить мощности P_1 и P_2 измеряемые каждым из ваттметров;
- г) определить число делений шкалы α_1 и α_2 , на которые отклоняются стрелки ваттметров.

Результаты расчетов записать в табл. 8.

Примечание. Заданная трехпроводная цепь трехфазного тока представляет собой соединение трех неподвижных магнитно-несвязанных катушек.

Методические указания к решению задачи № 4

При решении п.1 этой задачи необходимо в соответствии с заданием своего варианта начертить схему включения ваттметров в трехпроводную цепь трехфазного тока и дать на ней разметку генераторных зажимов последовательной и параллельной обмоток каждого из ваттметров.

После этого следует привести доказательство, что активная мощность в трехфазной цепи может быть измерена двумя ваттметрами, при этом должна быть учтена схема соединения приемников энергии (табл. 7).

Если приемники энергии соединены по схеме звезда, то вывод формулы активной мощности для этого случая приведен в рекомендуемой литературе, если приемники энергии соединены по схеме треугольник, то мгновенную мощность трехфазной цепи следует представить как

$$P = P_{ab} + P_{bc} + P_{ca} = u_{ab} i_{ab} + u_{bc} i_{bc} + u_{ca} i_{ca},$$

где u_{ab} , u_{bc} , u_{ca} — мгновенные значения фазных напряжений;
 i_{ab} , i_{bc} , i_{ca} — мгновенные значения фазных токов.

После этого следует воспользоваться вторым законом Кирхгофа, но которому $u_{ab} + u_{bc} + u_{ca} = 0$. Из этого уравнения исключается одно из напряжений, например, $u_{ab} = -u_{bc} - u_{ca}$ (для схемы, в которой обмотки ваттметров находятся под действием напряжений u_{bc} , u_{ca}). Затем производятся необходимые преобразования, чтобы получить окончательное выражение мощности, соответствующее схеме включения ваттметров.

Определив токи и напряжения под действием которых находятся последовательные и параллельные обмотки ваттметров, необходимо выбрать два одинаковых ваттметра с номинальным током $I_n = 5\text{А}$ или $I_n = 10\text{А}$, номинальным напряжением $U_n = 150\text{В}$, $U_n = 300\text{В}$ или $U_n = 600\text{В}$, и числом делений шкалы $\alpha_n = 150$ дел.

Постоянная ваттметра определяется формуле $U_n I_n$

$$C_p = \frac{U_n I_n}{\alpha_n}$$

При решении п. 2 этой задачи необходимо также начертить схему включения ваттметров, указав на ней обрыв одной из фаз приемника энергии (см. табл. 7)

Если приемники энергии соединены по схеме **треугольник**, то при обрыве одной из фаз сопротивление ее будет равно бесконечности, следовательно, ток в ней будет равен нулю. Токи в двух других фазах останутся такими, какими были до обрыва фазы. Вследствие этого изменятся линейные токи, что и должно быть учтено при построении векторной диаграммы и определении показаний ваттметров.

Если приемники энергии соединены по схеме **звезда**, то при обрыве одной из фаз ток в ней будет равен нулю. Две другие фазы окажутся соединенными между собой последовательно и включенными на линейное напряжение. Для определения тока в этих фазах необходимо предварительно определить сопротивление фазы, исходя из данных для нормального режима работы приемника

$$Z_\phi = \frac{U_\phi}{I_\phi}$$

Для симметричной трехфазной системы ток в последовательно соединенных фазах определяется как

$$I^I = \frac{U_l}{2Z_\phi}$$

Это значение тока и должно быть принято при построении векторной диаграммы и определении показаний ваттметров при обрыве фазы приемника.

Более подробно с методами измерения активной мощности в цепях трехфазного тока можно познакомиться в рекомендуемой литературе [5, с. 144-160; 12. с. 230-251].

Числовые значения для задачи № 4

Таблица 7

Наименование величин	Един. Измер.	Предп. Цифра шрифта	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность цепи S	кВ.А	0; 5	3,0	6,0	5,5	5,0	3,2	1,5	2,0	2,5	3,5	1,8
	кВ.А	1; 6	3,5	5,5	6,0	5,5	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,2
	кВ.А	2; 7	2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
	кВ.А	3; 8	2,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
	кВ.А	4; 9	1,8	4,0	4,5	4,0	6,0	3,5	4,5	3,6	1,5	3,5
Коэффициент Мощности $\cos \varphi$	-	0; 1	0,7	0,8	0,9	0,72	0,82	0,88	0,83	0,92	0,84	0,72
	-	6; 2	0,72	0,82	0,92	0,74	0,83	0,80	0,85	0,90	0,86	0,70
	-	7; 3	0,74	0,84	0,73	0,76	0,84	0,81	0,87	0,88	0,85	0,76
	-	8; 4	0,76	0,86	0,75	0,78	0,85	0,82	0,89	0,86	0,83	0,74
	-	9; 5	0,78	0,88	0,71	0,80	0,86	0,84	0,91	0,83	0,74	0,80
Фазное U_{ϕ}	В	-	127	220	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема соед.	-	-	*	*	Δ	*	Δ	*	Δ	Δ	*	*
Последов. обмотки ваттметр. включены в провода	-	-	А и В	В и С	С и А	А и В	В и С	С и А	А и В	В и С	С и А	А и В
Обрыв фазы	-	-	А	В	АВ	С	ВС	А	СА	АВ	В	С

Таблица 8

	Наименование величин	Единица измерения	Результаты расчета
Определить по пункту 1	Мощность цепи P	Вт	
	Линейное напряжение U_L	В	
	Линейный ток I_L	А	
	Номинальное напряжения ваттметра U_H	В	
	Номинальный ток ваттметра I_H	А	
	Постоянная ваттметра C_p	Вт/дел	
	Мощность, измеряемая первым ваттметром P_1	Вт	
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром P_2	Вт	
	Число делений шкалы α_1	дел	
Число делений шкалы α_2	дел		
Определить по пункту 2	Мощность, измеряемая первым ваттметром P_1	Вт	
	Мощность, измеряемая вторым ваттметром P_2	Вт	
	Число делений шкалы α_1	дел	
	Число делений шкалы α_2	дел	

ЗАДАЧА № 5

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ЦЕПЯХ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Симметричный трехфазный приемник электрической энергии соединен по схеме звезда или по схеме треугольник.

Напряжение на фазе приемника U_{ϕ} .

Активное и индуктивное сопротивления фаз приемника соответственно равны R_{ϕ} , X_{ϕ} .

В цепь приемника включен одноэлементный счетчик активной энергии для измерения реактивной энергии. Последовательная обмотка счетчика включена в один из проводов трехфазной цепи, как указано в табл. 9.

Приемник электрической энергии работает непрерывное время t .

1. Начертить схему включения счетчика в соответствии с данными варианта, сделать разметку генераторных зажимов его обмоток.

2. Определить линейное напряжение U_L , линейный ток I_L коэффициент мощности $\cos \varphi$ и угол φ .

3. Для заданной цепи построить в масштабе векторную диаграмму, выделить в ней векторы напряжения и тока, под действием которых находятся параллельная и последовательная обмотки счетчика.

4. Пользуясь векторной диаграммой, доказать, что счетчик, включенный по такой схеме, измеряет реактивную энергию.

Определить расход реактивной энергии, учитываемой счетчиком за время t .

5. Подсчитать за время t реактивную энергию всего приемника.

6. Найти численное соотношение между энергией, учитываемой счетчиком, и энергией приемника.

Числовые значения для задачи № 5

Таблица 9

Наименование величин	Единица измерения	Предпоследняя цифра шрифта	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема соедин. Последов. обмотка вкл. провод Время t Фазное напр. U_{ϕ} .	-	-	Δ	Δ	*	Δ	*	Δ	*	*	Δ	Δ
	-	-	В	А	А	С	С	В	В	А	А	С
	Ч	-	30	50	20	20	40	40	30	30	50	30
	В	-	220	380	127	220	220	380	127	220	220	380
Активное Сопротивление фазы R_{ϕ}	Ом	0; 5	20	30	10	16	15	25	15	20	14	20
	Ом	1; 6	19	29	11	17	16	24	18	21	16	14
	Ом	2; 7	18	28	12	18	17	23	21	22	18	16
	Ом	3; 8	17	27	13	19	18	22	24	23	20	18
	Ом	4; 9	16	26	14	20	19	21	27	24	22	26
Индуктивное сопротивление фазы X_{ϕ}	Ом	0; 1	18	25	15	24	20	30	10	18	28	40
	Ом	6; 2	19	26	16	23	21	29	11	17	27	38
	Ом	7; 3	20	27	17	22	23	28	12	16	26	36
	Ом	8; 4	21	28	18	21	24	27	13	15	25	31
	Ом	9; 5	22	29	19	20	25	26	14	21	24	32

Методические указания к решению задачи № 5

Весь необходимый теоретический материал, а также формулы для решения этой задачи могут быть получены из рекомендуемых учебников [5, с. 160—166, 12, с. 256—270].

ЗАДАЧА № 6

ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

В высоковольтной трехпроводной цепи трехфазного тока необходимо измерить линейные токи, линейное напряжение, коэффициент мощности цепи и расход активной энергии всей цепи.

Подобрать для этой цели два измерительных трансформатора тока (ИТТ) два измерительных трансформатора напряжения (ИТН) и подключить к ним следующие измерительные приборы: два амперметра электромагнитной системы; два однофазных индукционных счетчика активной энергии; один трехфазный фазометр электромагнитной или электродинамической системы; один вольтметр электромагнитной системы,

Расстояние от трансформатора до измерительных приборов l (провод медный, сечением $S=2,5 \text{ мм}^2$), номинальное напряжение сети U_l и линейный ток I_l приведены в табл. 10, Начертить схему включения ИТТ и ИТН в цепь, а также показать подключение к ним всех измерительных приборов.

Выполнить разметку зажимов обмоток ИТТ, ИТН, счетчиков и фазометра. Показать заземление вторичных обмоток ИТТ и ИТН.

Методические указания к решению задачи № 6

При подборе измерительных трансформаторов тока необходимо учитывать, что для обеспечения правильности их работы общее сопротивление всех проводов и обмоток приборов во вторичной цепи не должно превышать номинальной нагрузки. Номинальной нагрузкой трансформатора тока называется наибольшее сопротивление, на которое может быть замкнута вторичная обмотка при условии, что погрешности его не превысили допустимых значений.

Выбор трансформаторов напряжения производится по их допустимой начальной мощности. Таким образом, к трансформатору напряжения можно подключить такое количество приборов, при котором их мощность при номинальном напряжении не превышает номинальной мощности трансформатора номинальные данные измерительных трансформаторов тока и напряжения согласно ГОСТ 9032—69 приведены в табл. 11 и 12,

При решении этой задачи прежде всего необходимо определить сопротивления обмоток амперметров, а также сопротивления последовательных обмоток счетчиков и фазометра.

При расчете нагрузки, подключаемой к трансформаторам тока, необходимо учитывать не только сопротивление приборов, но и сопротивление соединительных проводов.

Параметры обмоток приборов приведены в табл. 13.

Более подробно с выбором и схемами включения измерительной аппаратуры можно ознакомиться в рекомендуемой литературе [5, с. 90—101; 12, с. 110—127, 255—256]

Числовые значения для задачи № 6

Наименование величин	Единица измерения	Предыдущая цифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номинальное напряжение сети U_1	В	—	6000	500	3000	10000	15000	6000	500	3000	10000	15000
Линейный ток I_1	А	0; 5	40	100	75	30	20	50	150	50	40	30
	А	1; 6	15	75	50	15	25	30	100	30	20	25
	А	2; 7	30	150	75	25	30	40	200	40	30	20
	А	3; 8	60	200	40	40	15	60	250	50	25	15
	А	4; 9	50	250	60	20	40	75	100	75	50	40
Расстояние от измерительных пунктов до трансформатора l	м	0; 1	15	10	10	15	20	15	10	20	10	20
	м	6; 2	14	11	14	18	21	16	12	19	9	15
	м	7; 3	13	12	15	19	22	17	14	18	8	23
	м	8; 4	12	13	16	20	23	18	16	17	12	21
	м	9; 5	11	14	17	16	24	19	8	16	15	18

Таблица 11

Измерительные трансформаторы тока

Тип	Номинальный ток, А		Класс точности	Номинальная нагрузка, Ом	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
	первичный	вторичный			
1	2	3	4	5	6
И54	0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50	5 5	0,2	0,1	—
			0,5		
И54/1	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,2	0,4	0,8—1
			0,2	0,4	0,5—0,8
			0,2	0,05	1
			0,2	0,5	0,8
			0,5	0,4	0,5—0,8
И55/1	0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50	0,5	0,1	30	1
И56М	1—1000	1 5 5	0,1	15	0,8—1
			0,1	0,6	0,8—1
			0,05	0,2	1
И508М	100; 250; 500; 600	5	0,2	0,2	0,8—1
И509	5—1000	5	0,2	0,6	0,5—1
И512	0,5—3000	1	0,05	15	1
		5		0,6	1
И515	0,5; 1; 2,5; 5; 10; 25; 50	5	0,1	0,4	0,8—1

Продолжение табл. 11

1	2	3	4	5	6
И1532	5; 6; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 75; 100;	1	0,05—0,5	15	1
	150; 200; 250; 300; 400; 500 600; 750 800; 1000	5		0,6	1
И1820	30; 50; 75; 100; 150; 200	1	1	5	—
	5	1	1	5	—
	5	0,5	1	55	—
УТТ—5	15; 50; 100; 150; 200; 300; 600	5	0,2	0,2	0,8—1
УТТ—6М1	100; 150; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 750; 1000; 1200; 1500; 2000	5	0,2	0,4	0,8—1
			0,2	0,6	0,8

Таблица 12

Измерительные трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное напряжение		Класс точности	Номинальная мощность нагрузки, вторичной цепи, В·А	Коэффициент мощности, $\cos \varphi$
	первичное, кВ	вторичное, В			
УТН—1	$0,380/\sqrt{3}$	100	0,2	15,0	0,8—1
	0,380	100	0,2	15,0	0,8—1
	0,500	100	0,2	15,0	0,8—1
	$0,380/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8—1
	0,380	$100/\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8—1
	0,500	$100/\sqrt{3}$	0,2	10,0	0,8—1
	$0,380/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$	0,2	5,0	0,8—1
	0,380	100/3	0,2	5,0	0,8—1
	0,500	100/3	0,2	5,0	0,8—1
И50	3,0; 6,0; 10,0; 15,0	$100/\sqrt{3}$ 100	0,2	10,0 15,0	0,8—1
И510	3,0; 6,0; 10,0; 15,0	$100/\sqrt{3}$ 100 150	0,1	10,0 15,0 15,0	0,8—1

Параметры обмоток приборов

Таблица 13

Тип прибора	Номинальные величины		Класс точности	Номинальная область частот, Гц	Номинальное сопротивление обмоток, Ом	
	ток, А	напряжение, В			последовательной	параллельной
Амперметр Э513/4	0,5	—	0,5	40—100	0,12	—
	1,0	—	0,5		0,035	—
Амперметр Э514/1	1,0	—	0,5	40—100	0,035	—
	2,0	—	0,5		0,12	—
Амперметр Э514/2	2,5	—	0,5	40—60	0,12	—
	5,0	—	0,5		0,005	—
Амперметр Э514/3	5,0	—	0,5	40—100	0,008	—
Вольтметр Э515/2	—	60	0,5	40—60	—	2400
Вольтметр Э515/3	—	75	0,5	40—100	—	10000
		150	0,5			20000
		300	0,5			40000
		600	0,5			80000
Счетчик однофазный СО—2М2	5,0	127	2,5	50	0,08	10700
		220				32000
Счетчик однофазный СО—И445/4Т	2,5	110			0,25	8000
		127				10700
	5,0	220	2,0	50—60	0,08	32000
		230				35000
	250				41500	
Фазометр трехфазного тока Д120	5	127	1,5	50	0,12	2500
		220				7500
		380				22000
Фазометр трехфазного тока Э120	5	127	1,5	50	0,01	10700
		220				32000

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Введение.....	3
Общие методические указания.....	6
Список рекомендуемой литературы.....	7
Задание на контрольную работу и методические указания к решению задач.....	8
Задача № 1. Поверка технических приборов и основы метрологии.....	8
Задача № 2. Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока.....	10
Задача № 3. Методы и погрешности электрических измерений.....	11
Задача № 4. Измерение активной мощности в цепях трехфазного тока.....	14
Задача № 5. Измерение реактивной энергии в цепях трехфазного тока.....	17
Задача № 6. Выбор измерительной аппаратуры.....	18

07.07.05

Влеучаев