

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Шебзухов Тимур Александрович

Должность: Директор Пятигорского института (филиал) Северо-Кавказского
федерального университета

Дата подписания: 12.09.2023 17:27:27

Уникальный программный ключ: «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

d74ce93cd40e39275c3ba2f58486412a1c8ef96f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Пятигорский институт (филиал) СКФУ

Методические указания

по выполнению контрольной работы

по дисциплине «Измерение и учет электрической энергии»

для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Передача и распределение электрической энергии в системах электроснабжения

(ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОКУМЕНТ)

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания являются заданием к контрольной работе по дисциплине «Измерение и учет электроэнергии» и предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника дневной и заочной форм обучения.

При подготовке к контрольной работе необходимо подготовить протокол, который будет соответствовать требованиям к содержанию работы с использованием рекомендуемой литературы и источников Internet.

Применение методических указаний позволяет интенсифицировать процесс изучения материала, помогает студентам приобретать навыки работы с оборудованием и технической литературой.

Цель: Изучить материал настоящих методических указаний, ответить на поставленные вопросы по темам и найти соответствующие определения приведенных терминов с использованием нормативной документации.

Формируемые компетенции:

Индекс	Формулировка:
ПК-2	Способен анализировать режимы работы систем электроснабжения объектов
Индикаторы достижения компетенций	ИД-ЗПК-2 Обеспечивает заданные параметры режима системы электроснабжения объекта

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать:

технологии учёта электроэнергии; назначение, виды и функции систем АСКУЭ уметь:

устанавливать общность и различия систем электроэнергетики и применяемого оборудования с целью формирования условий для понимания путей энергосбережения и повышения энергоэффективности.

владеть:

навыками обеспечения параметров режима системы электроснабжения объекта

Контрольная работа № 1

Задача № 1 Поверка технических приборов и основы метрологии

Задача № 2 Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока

Задача № 3 Методы и погрешности электрических измерений

Задача № 4 Измерение активной мощности в цепях трехфазного тока

Задача № 5 Измерение реактивной энергии в цепях трехфазного тока

Задача № 6 Выбор измерительной аппаратуры

Задача № 7 Измерение тока в цепях переменного несинусоидального тока

Задача № 1 Поверка технических приборов

Технический амперметр магнитоэлектрической системы с номинальным током I_n , числом номинальных делений $a_n = 100$ имеет оцифрованные деления от нуля до номинального значения, проставленные на каждой пятой части шкалы (стрелки обесточенных амперметров занимают нулевое положение).

Поверка технического амперметра осуществлялась образцовым амперметром той же системы.

Исходные данные для выполнения задачи указаны в табл. 1.

Таблица 1 – Числовые значения для задачи № 1

Проверяемый амперметр	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Абсолютная погрешность	А	–	-0,01	+0,0 ₃	-0,04	+0,0 ₂	-0,03	+0,0 ₅	-0,04	+0,0 ₂	-0,06	+0,0 ₃
		–	+0,0 ₂	-0,04	+0,0 ₆	-0,08	+0,0 ₅	-0,08	+0,0 ₃	0,04	-0,03	+0,0 ₆
		–	-0,03	+0,0 ₅	-0,03	+0,0 ₇	+0,0 ₄	-0,04	+0,0 ₆	-0,05	+0,0 ₈	-0,05
		–	+0,0 ₄	-0,06	+0,0 ₂	-0,05	-0,08	+0,0 ₂	-0,07	+0,0 ₆	-0,02	+0,0 ₄
		–	-0,05	+0,0 ₇	-0,01	+0,0 ₄	-0,06	+0,0 ₃	-0,02	-0,08	+0,0 ₅	-0,02
Номинальный ток	А	0; 5	2,5	20	15	20	5,0	10	5,0	10	2,5	15
		1; 6	10	1,0	20	15	1,0	2,5	15	20	5,0	2,5
		2; 7	5,0	10	1,0	2,5	2,5	20	10	2,5	10	5,0
		3; 8	20	15	25	10	5,0	5,0	20	5,0	20	10
		4; 9	15	2,5	10	5,0	20	15	2,5	15	1,0	20

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

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.

Задача № 2 Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока

Измерительный механизм (ИМ) магнитоэлектрической системы рассчитан на ток I_n и напряжение U_n и имеет шкалу на a_n делений.

Таблица 3 – Числовые значения для задачи № 2

Наименование величин	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение ИМ U_n	мВ	–	45	75	50	100	75	60	100	75	80	100
Ток ИМ I_n	мА	–	5	7,5	10	10	7,5	15	30	25	40	50
Число делений a_n	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
		1; 6	90	150	45	20	60	30	50	150	40	15
		2; 7	18	75	50	150	90	150	100	300	80	30
		3; 8	135	225	100	50	120	300	150	15	160	50
		4; 9	150	15	150	100	150	15	250	30	120	10
Ток I_n	А	0; 1	1,0	1,5	2,0	10	1,5	3,0	25	30	20	5
		6; 2	1,5	3,0	10	2,0	3,0	1,5	2,5	25	5,0	15
		7; 3	2,0	6,0	5,0	3,0	4,5	6,0	5,0	15	10	0,5
		8; 4	2,5	4,5	1,5	5,0	15	4,5	7,5	1,5	0,5	1,0
		9; 5	3,0	7,5	0,5	2,5	30	0,3	0,6	7,5	4,0	20

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 .

6. Определить мощность, потребляемую вольтметром при номинальном значении напряжения U_n .

Задача № 3 Методы и погрешности электрических измерений

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.

Таблица 4 – Числовые значения для задачи № 3

Наименование величин		Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
				0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вольтметр	Предел измерения U_n	В	—	300	150	15	75	300	30	300	150	75	30
	Ток полного отклонения стрелки прибора при U_n	мА	—	3	7,5	1	1	7,5	1	1	3	1	7,5
	Класс точности	%	—	0,2	0,5	1,0	0,2	0,5	1,0	1,0	0,5	0,5	1,0
	Показание вольтметра U	В	0; 5	220	140	12	60	240	27	270	100	50	20
			1; 6	280	130	10	70	260	25	180	110	60	26
			2; 7	250	120	8	65	210	23	230	140	70	18
			3; 8	170	110	11	75	250	28	240	120	65	22
			4; 9	290	150	14	55	200	29	160	130	75	25
Амперметр	Предел измерения I_n	А	—	1,5	3,0	1,5	7,5	0,3	15	1,5	1,5	0,3	15
	Падение напряжения на зажимах прибора при I_n	мВ	—	100	95	100	140	27	100	100	100	27	100
	Класс точности	%	—	1,5	1,0	0,2	0,5	1,0	0,2	1,0	0,5	0,2	1,5
	Показание вольтметра I	А	0; 1	1,0	0,5	1,0	5	0,29	9	0,5	0,4	0,1	10
			6; 2	1,3	0,7	1,2	6	0,18	10	0,6	0,5	0,15	8
			7; 3	1,1	0,7	1,2	6	0,18	10	0,6	0,5	0,15	8
			8; 4	1,5	1,1	0,6	4	0,24	11	1,0	1,0	0,17	14
			9; 5	1,4	1,3	0,7	3,5	0,16	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

Определить:

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

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 $a_n = 150$ дел.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 7.

Таблица 7 – Числовые значения для задачи № 4

Наименование величин	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	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
		1; 6	3,5	5,5	6,0	5,5	3,0	2,0	2,5	2,0	3,0	2,2
		2; 7	2,5	5,0	6,5	6,0	3,6	2,5	1,5	1,8	2,5	2,8
		3; 8	2,0	4,5	5,0	4,5	5,0	3,0	5,0	3,0	2,0	1,4
		4; 9	1,8	4,0	4,5	4,0	6,0	3,5	5,8	3,5	1,5	3,5
Коэффициент мощности $\cos\phi$	—	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 напряжение U_ϕ	В	—	127	220	380	220	380	127	380	220	127	127
Схема соединения	—	—	Звезда	Звезда	Треугол.	Звезда	Треугол.	Звезда	Треугол.	Треугол. н	Звезда	Звезда
Последовательные обмотки ваттметров 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

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 a_1 и a_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 a_1 и a_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.

—

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.

Таблица 9 – Числовые значения для задачи № 5

Наименование величины	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Схема соединения	—	—	треуг.	треуг.	звезда	треуг.	звезда	треуг.	звезда	звезда	треуг.	треуг.

Последовательная обмотка счетчика включена в провод	–	–	В	А	А	С	С	В	В	А	А	С
Время t	ч	–	30	50	20	20	40	40	30	30	50	30
Фазовое напряжение U_{ϕ}	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
		1; 6	19	29	11	17	16	24	18	21	16	14
		2; 7	18	28	12	18	17	23	21	22	18	16
		3; 8	17	27	13	19	18	22	24	23	20	18
		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
		6; 2	19	26	16	23	21	29	11	17	27	38
		7; 3	20	27	17	22	23	28	12	16	26	36
		8; 4	21	28	18	21	24	27	13	15	25	31
		9; 5	22	29	19	20	25	26	14	21	24	32

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 $U_{\text{л}}$ линейный ток $I_{\text{л}}$, коэффициент мощности $\cos \phi$ 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.

—

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 $S = 2,5 \text{ м}^2$), номинальное напряжение сети U_1 и линейный ток I_1 приведены в табл. 10. Начертить схему включения ИТТ и ИТН в цепь, а также показать подключение к ним всех измерительных приборов.

Таблица 10 – Числовые значения для задачи № 6

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

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

Пример: Решение Основы метрологии и электрические измерения Контрольная работа № 1 вариант 4

Задача № 7 (задача № 5) Измерение тока в цепях переменного несинусоидального тока

1. В цепь несинусоидального тока включены: амперметр магнитоэлектрической системы и амперметр электродинамической системы. Амперметры имеют одинаковые номинальные токи $I_H = 5 \text{ А}$ и шкалы с одинаковым номинальным числом делений $a_H = 100$ дел.

Начертить схему цепи и определить, на какое число делений шкалы отклонится стрелка:

а) магнитоэлектрического амперметра;

б) электродинамического амперметра,

если в цепи проходит ток:

$$i = I_0 + I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin (3\omega t + \Psi_3).$$

Построить в масштабе в одних осях координат графики заданного тока $i = f(t)$ за время одного периода основной гармонике тока.

Значения I_0 , I_{1m} , I_{3m} и угол сдвига фазы третьей гармоники для отдельных вариантов даны в табл. 14.

2. В цепь несинусоидального тока включены: амперметр электродинамической системы и амперметр детекторной (выпрямительной) системы. Амперметры имеют одинаковые номинальные токи $I_H = 5 \text{ А}$ и шкалы с одинаковым номинальным числом делений $a_H = 100$ дел.

На какое число делений шкалы отклонится стрелка: а) электродинамического амперметра;

б) детекторного амперметра, если в цепи проходит ток:

$$i = I_{1m} \sin \omega t + I_{3m} \sin (3\omega t + \Psi_3).$$

Таблица 14 – Числовые значения для задачи № 7

Наименование величин	Ед. измерения	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ток I_0	В	—	0,5	1,5	1,5	2,0	2,5	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Ток I_{1m}	А	0; 5	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4,0
		1; 6	4,0	4,5	3,8	3,2	3,0	4,4	4,0	3,5	3,0	4,0
		2; 7	3,5	3,0	4,0	3,4	3,6	4,2	3,8	4,0	3,5	4,2
		3; 8	3,0	2,5	4,2	3,6	4,0	3,5	4,4	4,5	4,0	3,8
		4; 9	2,5	3,5	4,4	3,8	4,5	3,8	4,2	3,6	4,2	4,4
Ток I_{3m}	м	0; 1	2,5	2,0	1,5	1,0	1,5	1,0	2,0	1,5	1,0	2,0
		6; 2	2,0	2,5	1,8	1,4	2,0	1,2	1,8	1,8	1,2	2,2
		7; 3	1,5	1,0	2,0	1,6	2,5	1,4	1,6	2,0	2,2	2,8
		8; 4	1,0	1,5	2,2	2,5	1,2	1,6	1,5	2,4	1,8	3,0

		9; 5	1,5	2,0	2,4	2,0	2,6	1,8	1,4	2,5	1,6	3,2
угол сдвига фазы третьей гармоники			0	π/6	π	π/3	π/2	π	π/6	0	π	π/3

Перечень основной литературы:

1. Бастраков, В.М. Метрология: учебное пособие / В.М. Бастраков. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный университет, 2016. – 288 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=461556

2. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. _ М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2015.э – 671 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=114433

Перечень дополнительной литературы:

1. Клевцов, А. В. Основы рационального потребления электроэнергии [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Клевцов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Инфра-Инженерия, 2017. — 232 с. — 978-5-9729-0190-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69000.html>