

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению лабораторных работ
по дисциплине «Измерения и интеллектуальный
учет электроэнергии»
для студентов направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»
Направленность/профиль Цифровые
технологии в электроэнергетике

Ставрополь, 2025

Лабораторная работа 1

Подключение однофазных счётчиков электрической энергии

Цель и содержание

Изучить схему подключения однофазных счётчиков электрической энергии и провести измерения.

Теоретическое обоснование

Изучить и привести в отчёте устройство и принцип работы однофазного индукционного счётчика электрической энергии СО-И4491М и однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1.

Аппаратура, оборудование и материалы.

Для выполнения лабораторной работы используется комплект лабораторного оборудования «Учёт электрической энергии и моделирование типовых схем её хищения» УЭЭХ1-С-Р. В таблице 1.1 приведены устройства комплекта, используемые в лабораторной работе.

Таблица 1.1 – Устройства комплекта УЭЭХ1-С-Р, используемые в лабораторной работе 1

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.4	-400 В / 6 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3х0...50 Вт
P6	Счётчик электрической энергии	517	Счётчик СО-И4491М (индукционный / однофазный / активной энергии / 220 В / 5-40 А
PI	Блок однофазного одностарифного счётчика активной электрической энергии	544	Счётчик Меркурий 203.1 (электронный / однофазный / активной энергии / 230 В / 5-80 А)

Указания по технике безопасности

1. К работе с комплектом УЭЭХ1-С-Р допускаются студенты, ознакомленные с его устройством, принципом работы и требуемыми мерами безопасности.
2. Запрещается эксплуатация устройств при снятых кожухах.
3. Перед эксплуатацией необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
4. Перед эксплуатацией комплекта необходимо соединить гнёзда защитного заземления, обозначенных символом « $\oplus$ », устройств используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
5. Сборку схемы, включение комплекта и эксперименты необходимо проводить только под наблюдением преподавателя.
6. Студент обязан немедленно сообщить преподавателю обо всех нарушениях техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

1. Подключение однофазного индукционного счётчика электрической энергии СО-И4491М.
 - Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счётчика (рисунок 1.1).
 - Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки А1, например, 40 Вт (80%).
 - Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
 - Следите за счётчиком Р6. При правильном включении счётчика его диск будет вращаться вправо по стрелке.

- С помощью мультиметра контролируйте подводимое к счётчику Р6 напряжение.
- Снимите показания счётчика, например, путем подсчёта числа оборотов диска за интервал времени, например, 10 минут и определите потреблённую за это время нагрузкой А1 активную электрическую энергию в **кВт·ч** путём деления этого числа на 600.
- По завершении эксперимента отключите трёхфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

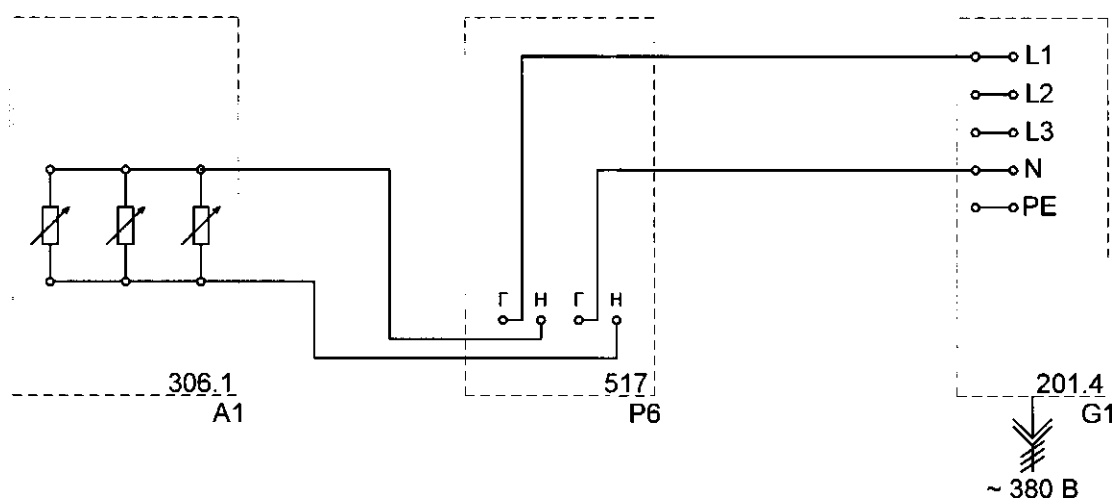


Рисунок 1.1 – Схема подключения счётчика электрической энергии СО-И4491М

2. Подключение однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счётчика (рисунок 1.2).
- Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки А1, например, 40 Вт (80%).
- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- Следите за счётчиком Р1. При правильном включении счётчика должен мигать светодиод импульсного выхода и должны вращаться барабаны его отсчётного устройства.
- С помощью мультиметра контролируйте подводимое к счётчику Р1 напряжение.
- Снимите показания счётчика, например, путём подсчёта числа миганий светодиода импульсного выхода за интервал времени, например, 10 минут и определите потреблённую за это время нагрузкой А1 активную электрическую энергию в **кВт·ч** путём деления этого числа на 3200.
- По завершении эксперимента отключите трёхфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

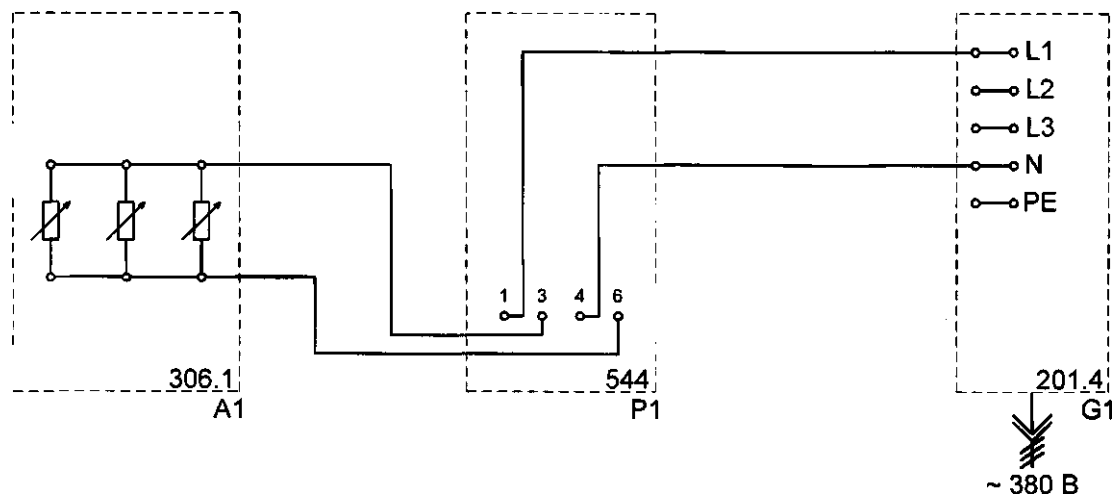


Рисунок 1.2 – Схема подключения однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1

3. Расчёт погрешностей измерений.

- Рассчитать истинное значение потреблённой нагрузкой А1 активной электрической энергии в кВт·ч по формуле:

$$W = P \cdot t, \quad (1.1)$$

где P – потребляемая мощность активной нагрузки А1, кВт;

t – время работы активной нагрузки $A1$, час.

- Для однофазного индукционного счётчика электрической энергии СО-И4491М и однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1 рассчитать абсолютную погрешность в кВт·ч по формуле:

$$\Delta = W - W_{\text{и}} \quad (1.2)$$

где W – результат измерения, кВт·ч;

$W_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины, кВт·ч.

- Для однофазного индукционного счётчика электрической энергии СО-И4491М и однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1 рассчитать относительную погрешность в % по формуле:

$$\delta = \Delta / W_{\text{и}} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

где Δ – абсолютную погрешность, кВт·ч;

$W_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины, кВт·ч.

Содержание отчёта, форма и правила оформления отчёта по лабораторной работе.

Отчёт по работе выполняется в объёме, предусмотренном требованиями данных методических указаний.

Все таблицы, графики, схемы сопровождаются пояснениями и нумерацией.

Отчёт должен иметь титульный лист, на котором указывается:

- наименование вуза, факультета, кафедры;
- номер лабораторной работы, курс, по которому выполняется работа, тема работы;
- номер группы, фамилия и инициалы студента; данные о преподавателе, под руководством которого выполняется работа;
- город, год выполнения.

Вопросы для защиты работы

1. Каково устройство однофазного индукционного счётчика электрической энергии СО-И4491М?
2. Каков принцип работы однофазного индукционного счётчика электрической энергии СО-И4491М?
3. Каково устройство однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1?
4. Каков принцип работы однофазного статического счётчика электрической энергии Меркурий 203.1?
5. Как рассчитать истинное значение потреблённой активной электрической энергии?
6. Как рассчитать абсолютную погрешность?
7. Как рассчитать относительную погрешность?

Лабораторная работа 2

Прямое и полукосвенное подключение статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 к трёхфазной четырехпроводной сети

Цель и содержание

Изучить схему подключения трёхфазных счётчиков электрической энергии и провести измерения.

Теоретическое обоснование

Изучить и привести в отчёте устройство и принцип работы трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 и трансформатора тока.

Аппаратура, оборудование и материалы.

Для выполнения лабораторной работы используется комплект лабораторного оборудования «Учёт электрической энергии и моделирование типовых схем её хищения» УЭЭХ1-С-Р. В таблице 2 приведены устройства комплекта, используемые в лабораторной работе.

Таблица 2.1 – Устройства комплекта УЭЭХ1-С-Р, используемые в лабораторной работе 2

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.4	-400 В / 6 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3х0. ..50 Вт
A2...A4	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ $U_{\text{раб}} = \sim 660 \text{ В}$ / $S_n = 5 \text{ ВА}$
P2	Блок трехфазного одностарифного счётчика активной электрической	545	Счётчик Меркурий 230 АМ-03 (электронный, трёхфазный,

	энергии для сети 230 В		активной энергии, 230 В / 5(7,5) А)
--	------------------------	--	-------------------------------------

Указания по технике безопасности

1. К работе с комплектом УЭЭХ1-С-Р допускаются студенты, ознакомленные с его устройством, принципом работы и требуемыми мерами безопасности.
2. Запрещается эксплуатация устройств при снятых кожухах.
3. Перед эксплуатацией необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
4. Перед эксплуатацией комплекта необходимо соединить гнёзда защитного заземления, обозначенных символом «», устройств используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
5. Сборку схемы, включение комплекта и эксперименты необходимо проводить только под наблюдением преподавателя.
6. Студент обязан немедленно сообщить преподавателю обо всех нарушениях техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

1. Прямое подключение статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 к трёхфазной четырёхпроводной сети.
 - Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счётчика, изображённой на **рисунке 2.1**.
 - Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки А1, например, 40 Вт (80%).
 - Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.

- С помощью мультиметра контролируйте подводимое к счётчику P2 напряжение.
- Снимите показания счётчика, например, путём подсчёта числа миганий светодиода импульсного выхода за интервал времени, например, 10 минут и определите потреблённую за это время нагрузкой A1 активную электрическую энергию в кВт·ч путём деления этого числа на 800.
- По завершении эксперимента отключите трёхфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».

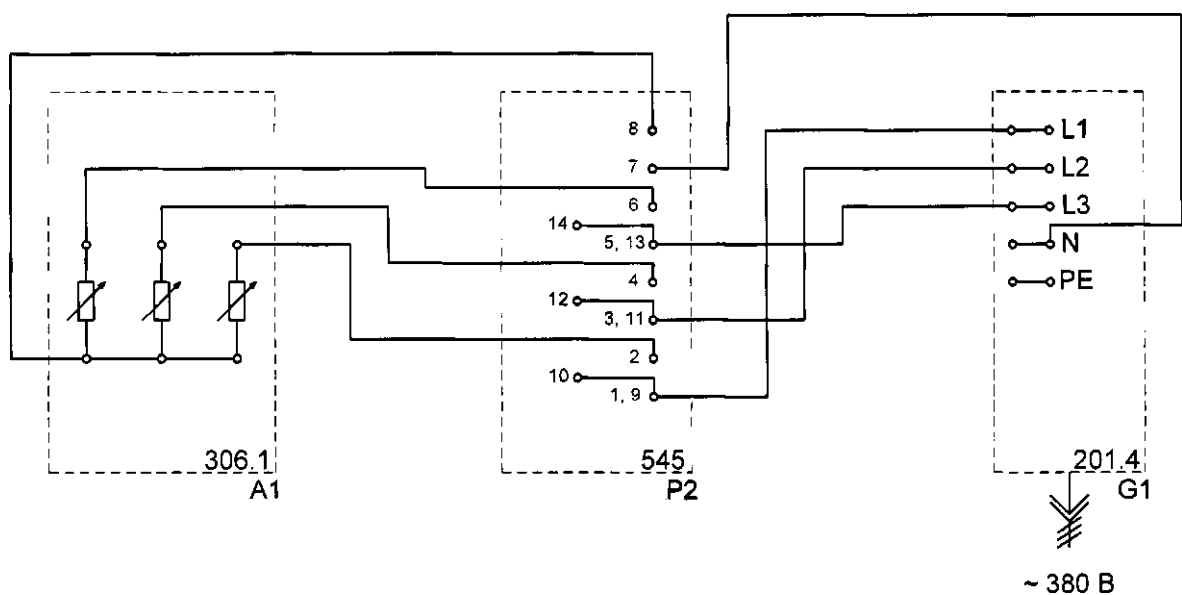


Рисунок 2.1 – Схема прямого подключения счётчика к трёхфазной четырёхпроводной сети

2. Полукоосвенное подключение статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 к трёхфазной четырёхпроводной сети с помощью трёх трансформаторов тока.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счётчика, изображённой на **рисунке 2.2**.
- Далее, аналогично пункту 1.

3. Полукозенное подключение статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 к трёхфазной четырёхпроводной сети с помощью двух трансформаторов тока.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счётчика, изображённой на **рисунке 2.3**.
- Далее аналогично пункту 1.

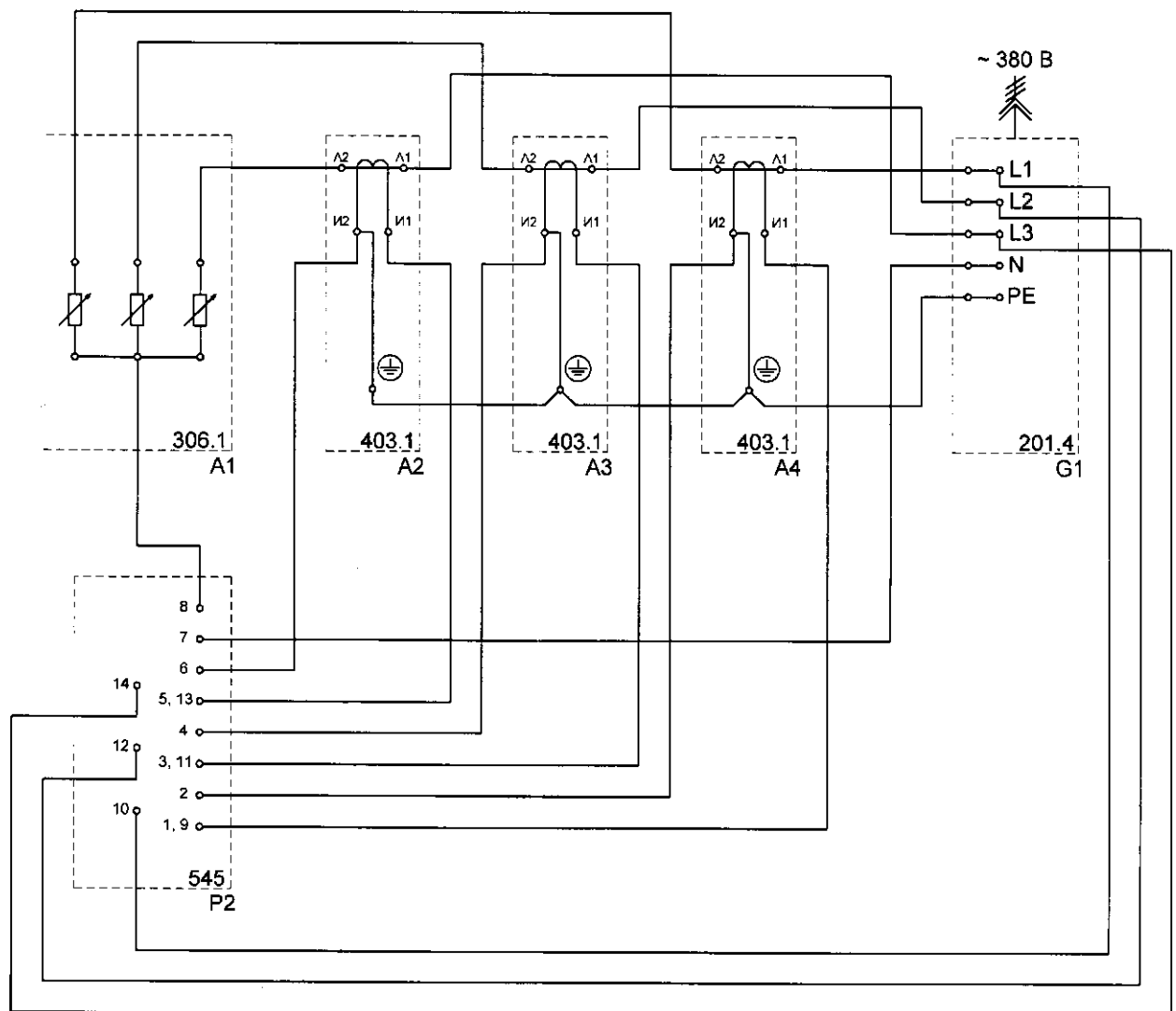


Рисунок 2.2 – Схема полукосвенного подключения счётчика к трёхфазной четырёхпроводной сети с помощью трёх трансформаторов тока

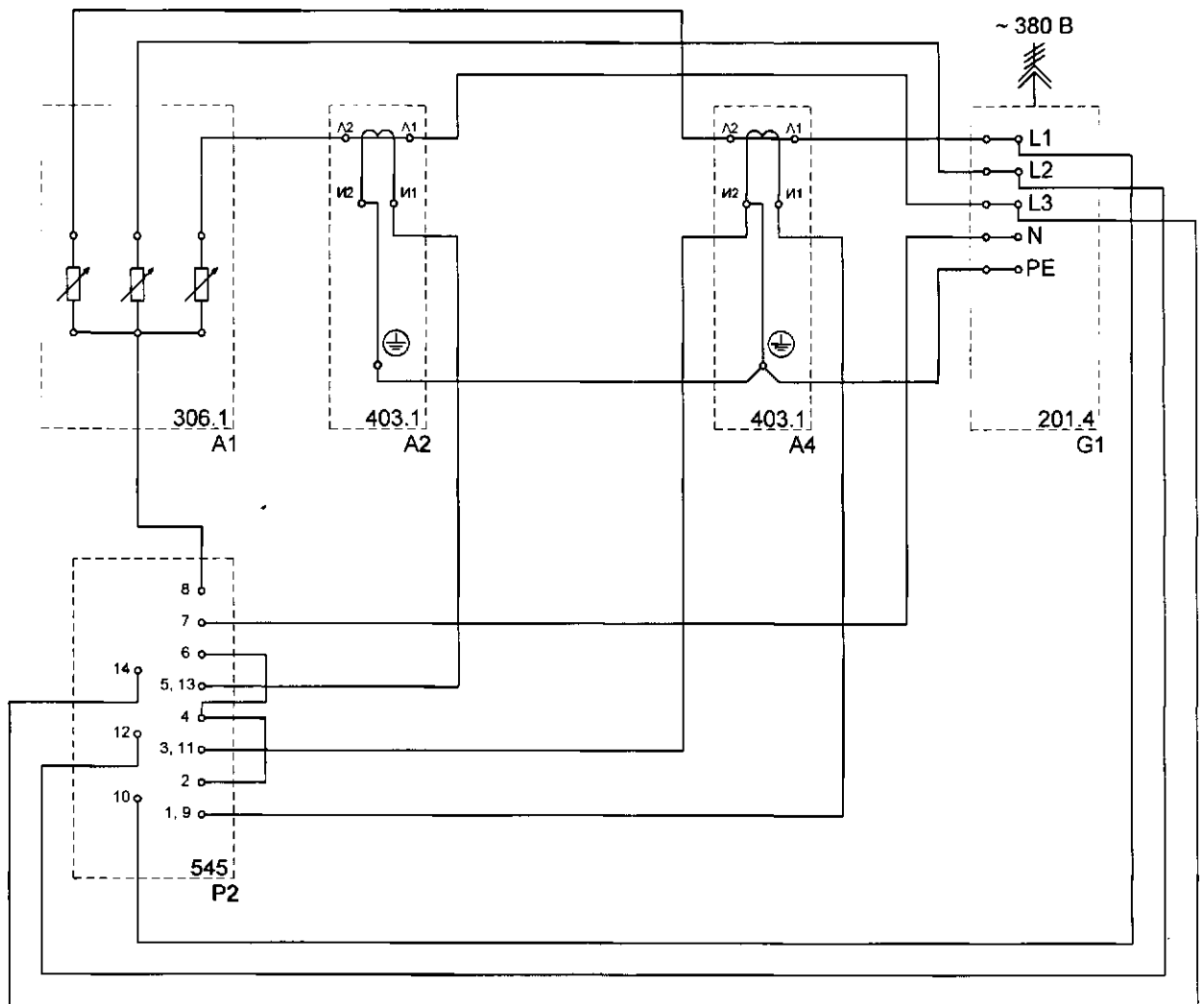


Рисунок 2.3 – Схема полукосвенного подключения счётчика к трёхфазной четырёхпроводной сети с помощью двух трансформаторов тока

3. Расчёт погрешностей измерений.

- Рассчитать истинное значение потреблённой нагрузкой A1 активной электрической энергии в кВт·ч по формуле:

$$W = P \cdot t, \quad (2.1)$$

где P – потребляемая мощность активной нагрузки A1, кВт;

t – время работы активной нагрузки A1, час.

- Для статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 при различных схемах подключения счётчика к трёхфазной четырёх-

трёхпроводной сети рассчитать абсолютные погрешности в кВт·ч по формуле:

$$\Delta = W - W_{\text{и}} \quad (2.2)$$

где W – результат измерения, кВт·ч;

$W_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины, кВт·ч.

• Для статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 при различных схемах подключения счётчика к трёхфазной четырёхпроводной сети рассчитать относительную погрешность в % по формуле:

$$\delta = \Delta / W_{\text{и}} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

где Δ – абсолютную погрешность, кВт·ч;

$W_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины, кВт·ч.

Содержание отчёта, форма и правила оформления отчёта по лабораторной работе.

Отчёт по работе выполняется в объёме, предусмотренном требованиями данных методических указаний.

Все таблицы, графики, схемы сопровождаются пояснениями и нумерацией.

Отчёт должен иметь титульный лист, на котором указывается:

- наименование вуза, факультета, кафедры;
- номер лабораторной работы, курс, по которому выполняется работа, тема работы;
- номер группы, фамилия и инициалы студента; данные о преподавателе, под руководством которого выполняется работа;
- город, год выполнения.

Вопросы для защиты работы

1. Каково устройство трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03?
2. Каков принцип работы трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03?
3. Каково устройство трансформатора тока?
4. Каков принцип работы трансформатора тока?
5. Как рассчитать истинное значение потреблённой активной электрической энергии?
6. Как рассчитать абсолютную погрешность?
7. Как рассчитать относительную погрешность?

Лабораторная работа 3

Прямое и полукосвенное подключение статического счетчика активной и реактивной электрической энергии Меркурий 230 AR-03 R к трехфазной четырехпроводной сети

Цель и содержание

Изучить схему подключения трёхфазных счётчиков активной и реактивной электрической энергии и провести измерения.

Теоретическое обоснование

Аппаратура, оборудование и материалы.

Для выполнения лабораторной работы используется комплект лабораторного оборудования «Учёт электрической энергии и моделирование типичных схем её хищения» УЭЭХ1-С-Р. В таблице 2 приведены устройства комплекта, используемые в лабораторной работе.

Таблица 3.1 – Устройства комплекта УЭЭХ1-С-Р, используемые в лабораторной работе 3

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.4	-400 В / 6 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3х0...50 Вт
A2...A4	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ $U_{раб} = \sim 660$ В/ $S_N = 5$ ВА
A8	Индуктивная нагрузка	324.2	220 В; 50 Гц 3х0...40 ВАр
P4	Блок трехфазного однотарифного счетчика активной и реактивной электрической энергии для сети 230 В	546	Счетчик Меркурий 230 AR-03 R (электронный, трехфазный, активной энергии, 230 В / 5(7,5) А)

Указания по технике безопасности

1. К работе с комплектом УЭЭХ1-С-Р допускаются студенты, ознакомленные с его устройством, принципом работы и требуемыми мерами безопасности.
2. Запрещается эксплуатация устройств при снятых кожухах.
3. Перед эксплуатацией необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
4. Перед эксплуатацией комплекта необходимо соединить гнёзда защитного заземления, обозначенных символом « $\perp$ »,  устройств используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
5. Сборку схемы, включение комплекта и эксперименты необходимо проводить только под наблюдением преподавателя.
6. Студент обязан немедленно сообщить преподавателю обо всех нарушениях техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

1. Прямое подключение статического счетчика активной и реактивной электрической энергии Меркурий 230 AR-03 R к трехфазной четырехпроводной сети.
 - Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счетчика, изображённой на **рисунке 3.1**.
 - Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки A1, например, 40 Вт (80%).
 - Установите номинальную мощность каждой фазы индуктивной нагрузки A8, например, 30 ВАр (75%).
 - Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
 - Снимите показания счетчика, например, путем подсчета чисел миганий

светодиодов импульсных выходов A^+ и R^+ за интервал времени, например, 10 минут и определите потребленную за это время нагрузками $A1$ и $A8$ активную и реактивную электрическую энергию в $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ и в $\text{кВАр}\cdot\text{ч}$ путем деления этих чисел на 1000.

- По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания $G1$ нажатием на кнопку «красный гриб».

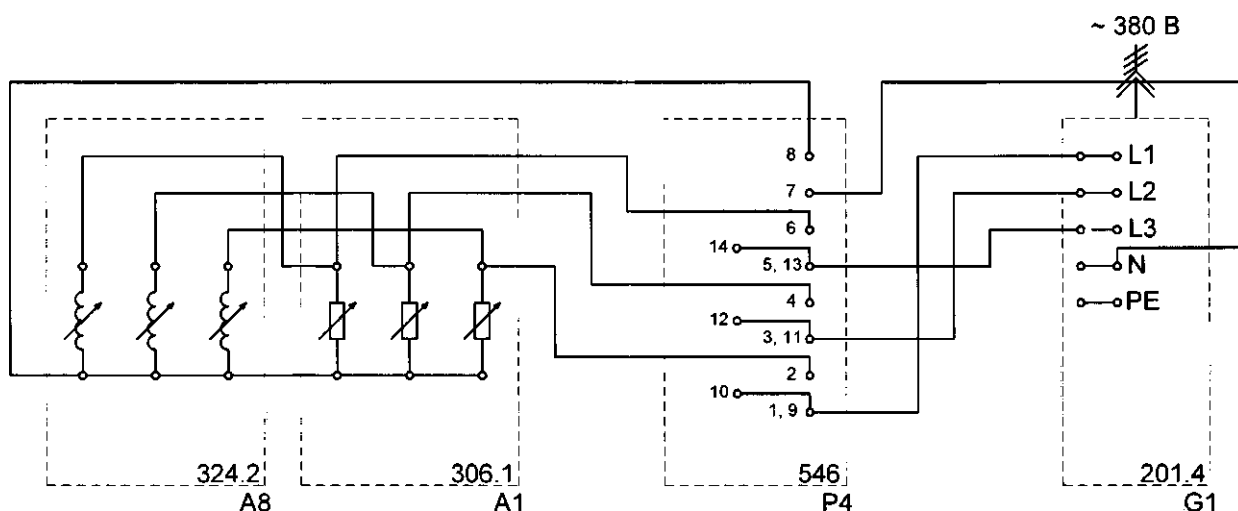


Рисунок 3.1 – Схема прямого подключения счетчика к трехфазной четырехпроводной сети

2. Полукусвенное подключение статического счетчика активной и реактивной электрической энергии Меркурий 230 AR-03 R к трехфазной четырехпроводной сети с помощью трех трансформаторов тока.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счетчика, изображённой на **рисунке 3.2**.
- Далее, аналогично пункту 1.

3. Полукусвенное подключение статического счетчика активной и реактивной электрической энергии Меркурий 230 AR-03 R к трехфазной четырехпроводной сети с помощью двух трансформаторов тока.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счетчика, изображённой на **рисунке 3.3**.

- Далее аналогично пункту 1.

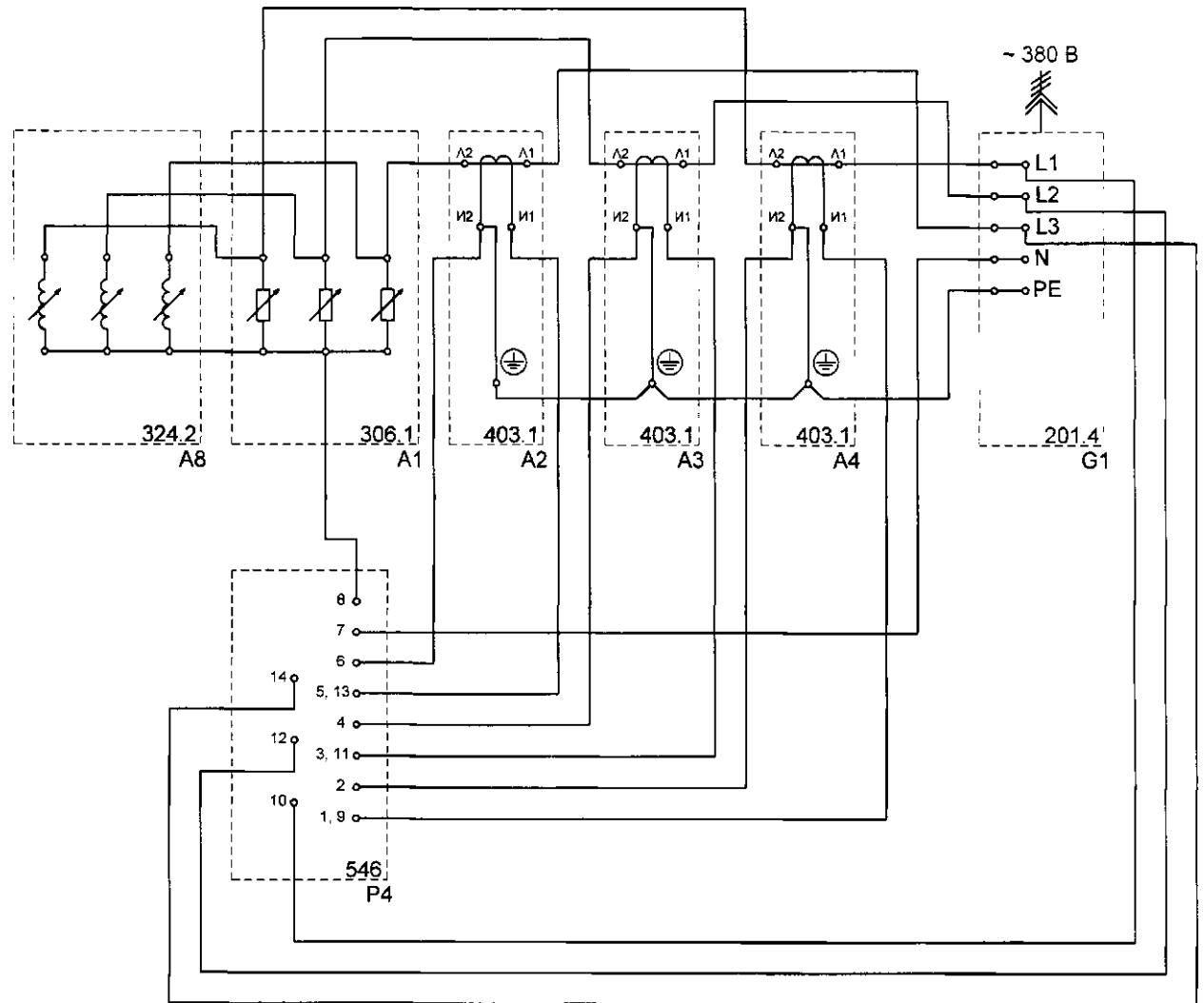


Рисунок 3.2 – Схема полукосвенного подключения счетчика к трехфазной четырехпроводной сети с помощью трех трансформаторов тока

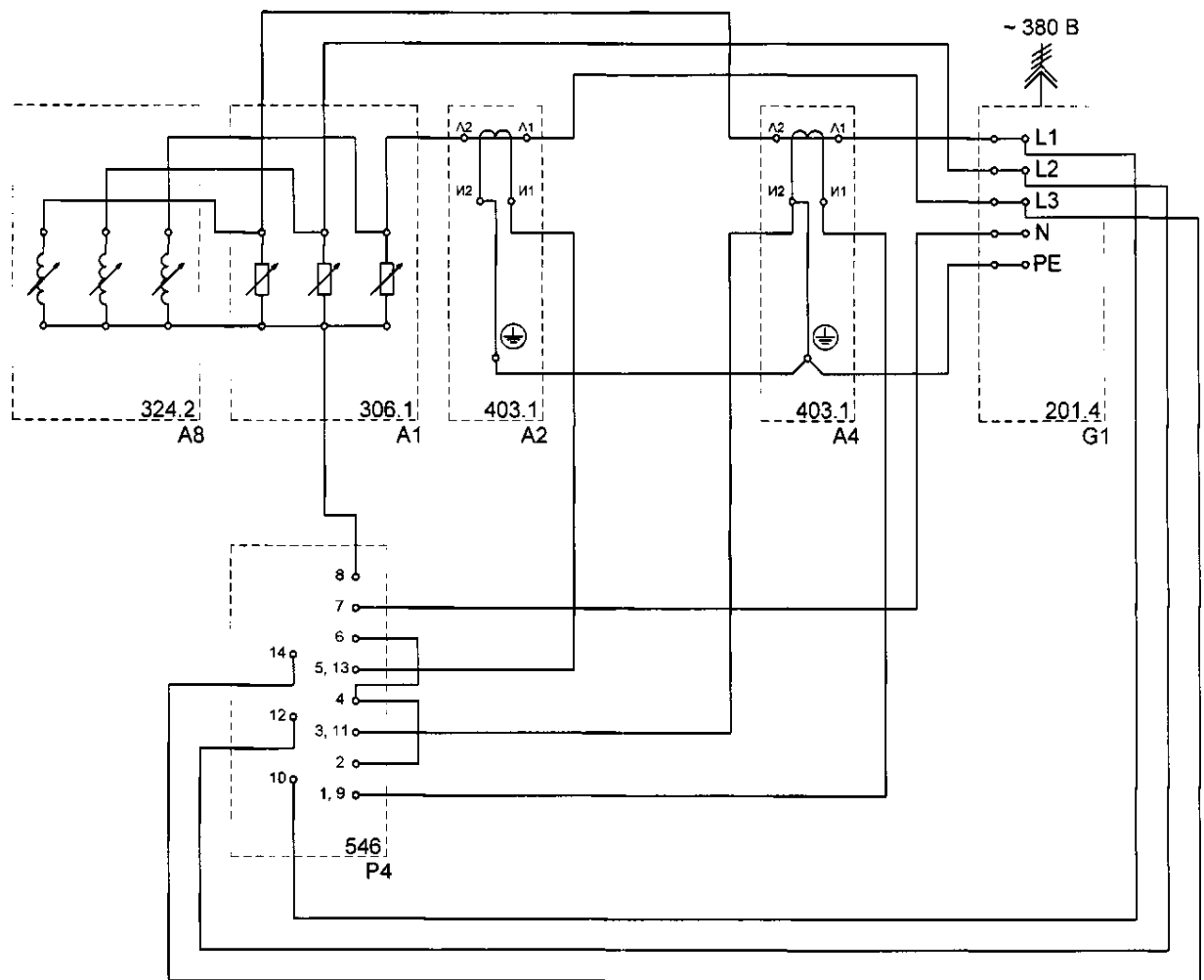


Рисунок 3.3 – Схема полукосвенного подключения счетчика к трехфазной четырехпроводной сети с помощью двух трансформаторов тока

Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе.

Отчет по работе выполняется в объеме, предусмотренном требованиями данных методических указаний.

Все таблицы, графики, схемы сопровождаются пояснениями и нумерацией.

Отчет должен иметь титульный лист, на котором указывается:

- наименование вуза, факультета, кафедры;
- номер лабораторной работы, курс, по которому выполняется работа,

тема работы;

– номер группы, фамилия и инициалы студента; данные о преподавателе, под руководством которого выполняется работа;

– город, год выполнения.

Вопросы для защиты работы

1. Каково устройство трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 AR-03 R?
2. Каков принцип работы трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 AR-03 R?
3. Каково устройство трансформатора тока?
4. Каков принцип работы трансформатора тока?
5. Как рассчитать истинное значение потреблённой активной электрической энергии?
6. Как рассчитать абсолютную погрешность?
7. Как рассчитать относительную погрешность?

Лабораторная работа 4

Косвенное подключение статического счетчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-00 к трехфазной трех- или четырехпроводной сети

Цель и содержание

Изучить схему подключения трёхфазных счётчиков электрической энергии и провести измерения.

Теоретическое обоснование

Изучить и привести в отчёте устройство и принцип работы трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 и трансформатора напряжения.

Аппаратура, оборудование и материалы.

Для выполнения лабораторной работы используется комплект лабораторного оборудования «Учёт электрической энергии и моделирование типичных схем её хищения» УЭЭХ1-С-Р. В таблице 4.1 приведены устройства комплекта, используемые в лабораторной работе.

Таблица 4.1 – Устройства комплекта УЭЭХ1-С-Р, используемые в лабораторной работе 4

Обозначение	Наименование	Тип	Параметры
G1	Трёхфазный источник питания	201.4	-400 В / 6 А
A1	Активная нагрузка	306.1	220 В / 3х0. ..50 Вт
A2...A4	Трансформатор тока	403.1	1,0/1,0 А/ U _{раб} = ~ 660 В/ S _Н = 5 ВА
A5...A7	Трансформатор напряжения	405.2	380/100 В/ S _Н = 7,5 ВА
P3	Блок трёхфазного однота-	545.1	Счетчик Меркурий 230 АМ-

	рифного счетчика активной электрической энергии для сети 100Л/3 В		00 (электронный, трехфазный, активной энергии, 100/V3 В / 5(7,5) А)
--	---	--	---

Указания по технике безопасности

1. К работе с комплектом УЭЭХ1-С-Р допускаются студенты, ознакомленные с его устройством, принципом работы и требуемыми мерами безопасности.
2. Запрещается эксплуатация устройств при снятых кожухах.
3. Перед эксплуатацией необходимо убедиться, что устройства, используемые в эксперименте, отключены от сети электропитания.
4. Перед эксплуатацией комплекта необходимо соединить гнезда защитного заземления, обозначенных символом « $\oplus$ », устройств используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» трехфазного источника питания G1.
5. Сборку схемы, включение комплекта и эксперименты необходимо проводить только под наблюдением преподавателя.
6. Студент обязан немедленно сообщить преподавателю обо всех нарушениях техники безопасности.

Методика и порядок выполнения работы

1. Косвенное подключение статического счетчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-00 к трехфазной трех- или четырехпроводной сети с помощью трех трансформаторов напряжения и трех трансформаторов тока.
 - Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счетчика, изображенной на **рисунке 4.1**.
 - Установите номинальную мощность каждой фазы активной нагрузки А1, например, 40 Вт (80%).

- Включите источник G1. О наличии напряжений фаз на его выходе должны сигнализировать светящиеся лампочки.
- С помощью мультиметра контролируйте напряжения фаз питающей сети.
- Снимите показания счетчика, например, путем подсчета числа миганий светодиода импульсного выхода за интервал времени, например, 10 минут и определите потребленную за это время нагрузкой A1 активную электрическую энергию в **кВт-ч** путем деления этого числа на 8000.
- По завершении эксперимента отключите трехфазный источник питания G1 нажатием на кнопку «красный гриб».
 - Для получения данных о потребленной активной электрической энергии в трехфазной сети 230 В умножьте показания счетчика на коэффициент трансформации трансформаторов напряжения $380/100 = 3,8$.

2. Косвенное подключение статического счетчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-00 к трехфазной трехпроводной сети с помощью трех трансформаторов напряжения и двух трансформаторов тока.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счетчика, изображённой на **рисунке 4.2**.
- Далее, аналогично пункту 1.

3. Полукосвенное подключение статического счетчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-00 к трехфазной четырехпроводной сети с помощью двух трансформаторов тока.

- Соедините аппаратуру в соответствии со схемой подключения счетчика, изображённой на **рисунке 4.3**.
- Далее аналогично пункту 1.

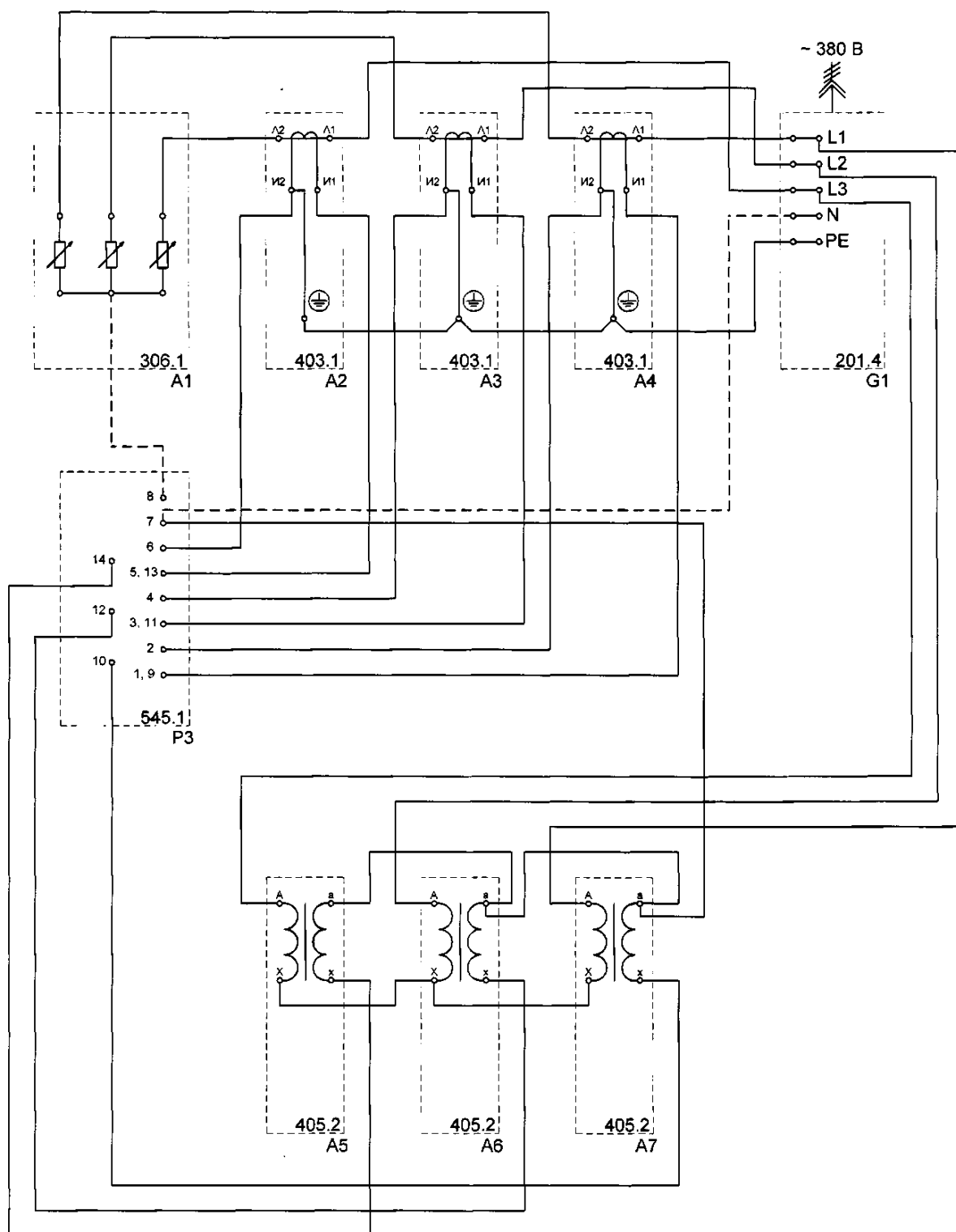


Рисунок 4.1 – Схема косвенного подключения счетчика к трехфазной трех- или четырехпроводной сети с помощью трех трансформаторов напряжения и трех трансформаторов тока.

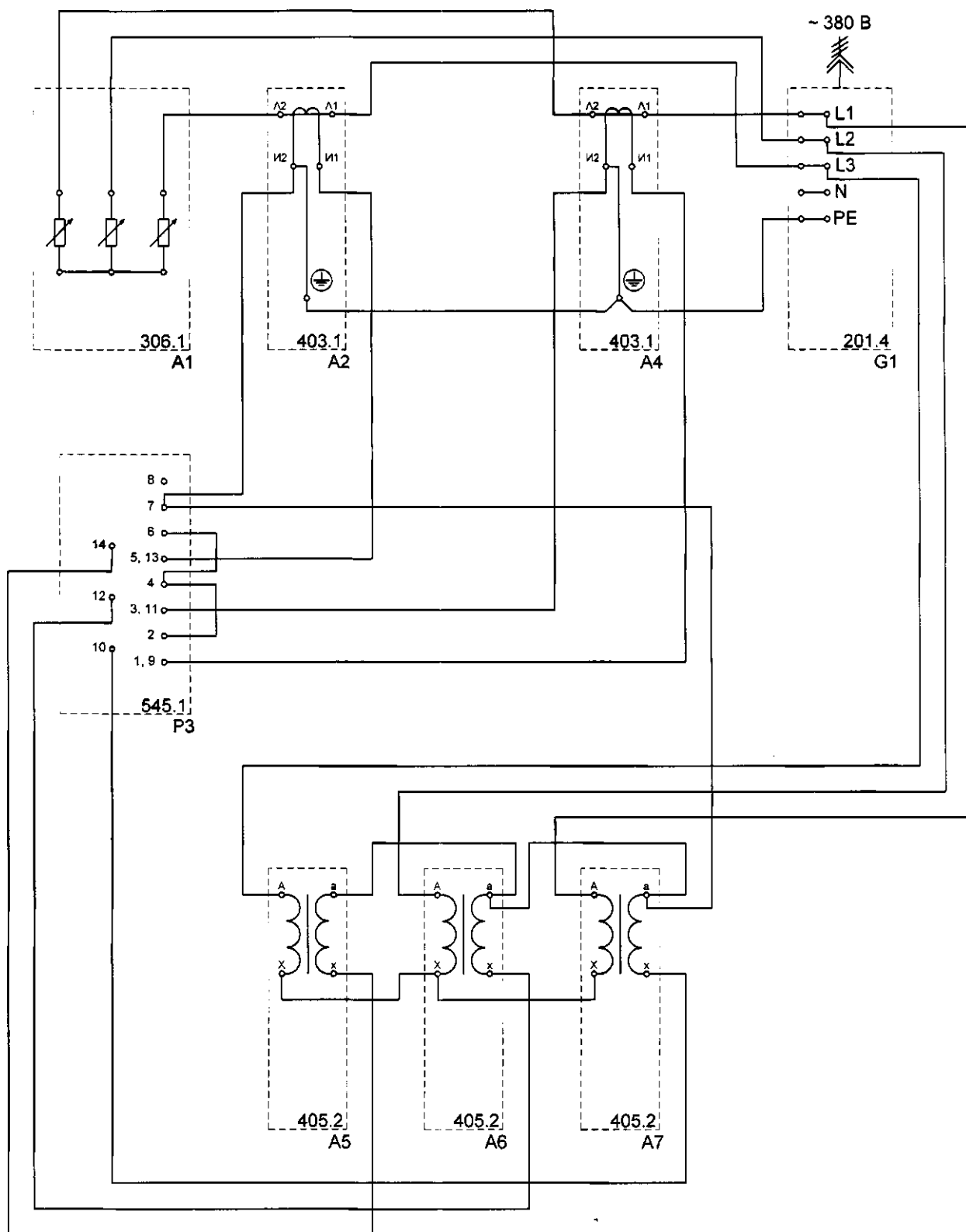


Рисунок 4.2 – Схема косвенного подключения счетчика к трехфазной трехпроводной сети с помощью трех трансформаторов напряжения и двух трансформаторов тока.

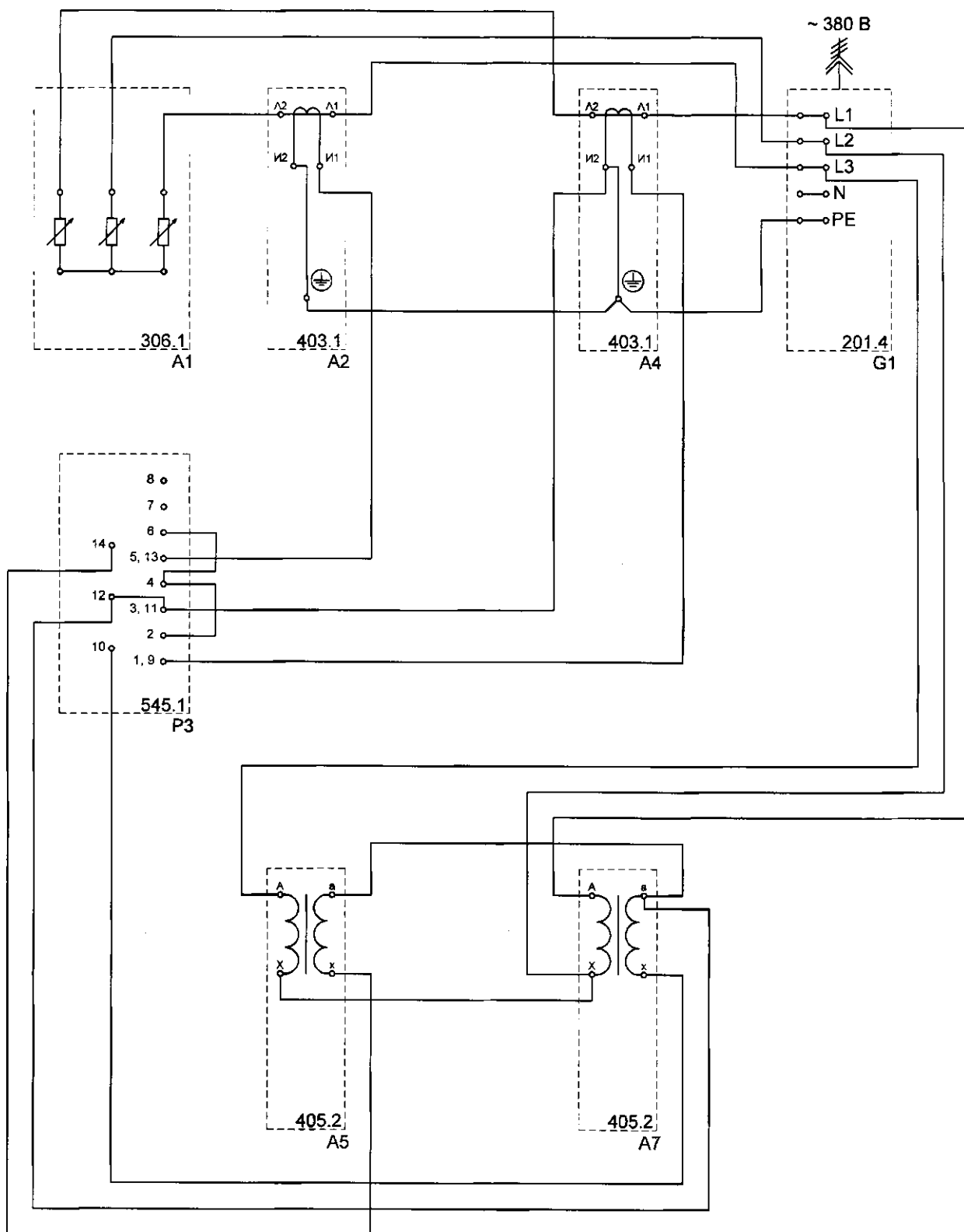


Рисунок 4.3 – Схема косвенного подключения счетчика к трехфазной
трехпроводной сети с помощью двух трансформаторов напряжения и двух
трансформаторов тока.

3. Расчёт погрешностей измерений.

- Рассчитать истинное значение потреблённой нагрузкой А1 активной электрической энергии в **кВт·ч по формуле:**

$$W=P \cdot t, \quad (4.1)$$

где P – потребляемая мощность активной нагрузки А1, кВт;

t – время работы активной нагрузки А1, час.

- Для статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 при различных схемах подключения счётчика к трёхфазной четырёхпроводной сети рассчитать абсолютные погрешности в **кВт·ч по формуле:**

$$\Delta=W-W_{\text{и}}, \quad (4.2)$$

где W – результат измерения, **кВт·ч;**

$W_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины, **кВт·ч.**

- Для статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03 при различных схемах подключения счётчика к трёхфазной четырёхпроводной сети рассчитать относительную погрешность в % **по формуле:**

$$\delta=\Delta / W_{\text{и}} \cdot 100\%, \quad (4.3)$$

где Δ – абсолютную погрешность, **кВт·ч;**

$W_{\text{и}}$ – истинное значение измеряемой величины, **кВт·ч.**

Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе.

Отчет по работе выполняется в объеме, предусмотренном требованиями данных методических указаний.

Все таблицы, графики, схемы сопровождаются пояснениями и нумера-

цией.

Отчет должен иметь титульный лист, на котором указывается:

- наименование вуза, факультета, кафедры;
- номер лабораторной работы, курс, по которому выполняется работа, тема работы;
- номер группы, фамилия и инициалы студента; данные о преподавателе, под руководством которого выполняется работа;
- город, год выполнения.

Вопросы для защиты работы

1. Каково устройство трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03?
2. Каков принцип работы трёхфазного статического счётчика активной электрической энергии Меркурий 230 АМ-03?
3. Каково устройство трансформатора напряжения?
4. Каков принцип работы трансформатора напряжения?
5. Как рассчитать истинное значение потреблённой активной электрической энергии?
6. Как рассчитать абсолютную погрешность?
7. Как рассчитать относительную погрешность?

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к практическим занятиям по дисциплине
«Измерения и интеллектуальный учет
электроэнергии»
для студентов направления
13.03.02 «Электроэнергетика и
электротехника»
Направленность/профиль Цифровые
технологии в электроэнергетике

Ставрополь, 2025

Содержание

Практическое занятие № 1 Измерение тока

Практическое занятие № 2 Измерение тока

Практическое занятие № 3 Измерение напряжения

Практическое занятие № 4 Измерение напряжения

Практическое занятие № 5 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Практическое занятие № 6 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Практическое занятие № 7 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Практическое занятие № 8 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Практическое занятие № 9 Погрешности средств измерений

Практическое занятие № 1 Измерение тока

Задача 1

Определить относительную методическую погрешность $\gamma_{\text{отп}}$ измерения тока амперметром, внутреннее сопротивление которого R_A , включенным последовательно в цепь с источником ЭДС E и сопротивлением R (рисунок 2.1).

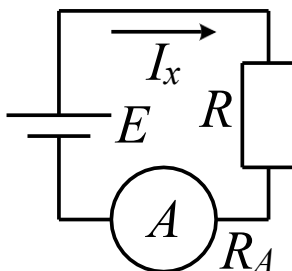


Рисунок 2.1 – Схема

Задача 2

Определить класс точности магнитоэлектрического миллиамперметра с конечным значением шкалы $I_{\text{ном}} = 0,5 \text{ мА}$ для измерения тока $I = 0,1 \div 0,5 \text{ мА}$ так, чтобы относительная погрешность измерения тока $\gamma_{\text{отп}}$ не превышала 1%.

Задача 3

Определить в каком случае относительная погрешность измерения тока $I = 10 \text{ мА}$ меньше, если для измерения использованы два прибора, имеющих соответственно шкалы на 15 мА (класс точности прибора 0,5) и 100 мА (класс точности прибора 0,1).

Задача 4

Определить наибольшую разницу в показаниях двух последовательно включенных магнитоэлектрических миллиамперметров разного класса точности при измерении одного и того же тока.

Задача 5

Что могли показать два магнитоэлектрических миллиамперметра на пределе 100 мА (делений – 100) класса точности 1,0 и класса точности 0,5 при измерении тока коллектора транзистора, если действительное значение тока коллектора 50 мА?

Задача 6

Предложить формулу расчета сопротивления шунта $R_{\text{ш}}$ (рисунок 2.2) для расширения пределов измерения магнитоэлектрического микроамперметра с током полного отклонения I_A и внутренним сопротивлением R_A до значения тока I .

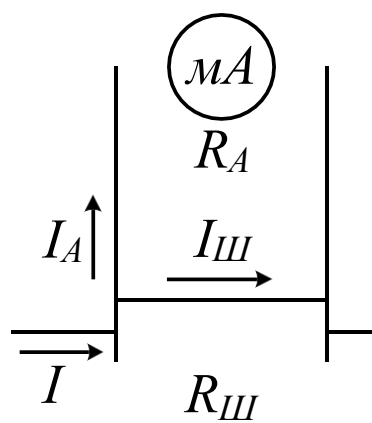


Рисунок 2.2 – Схема

Практическое занятие № 2 Измерение тока

Задача 1

Амперметр (рисунок 2.2) имеет внутреннее сопротивление $R_A = 9,9 \text{ Ом}$, а сопротивление его шунта $0,1 \text{ Ом}$. В каком отношении разделится измеряемый ток 300 А в приборе и шунте?

Задача 2

Рассчитать значение сопротивлений $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$ шунтов (рисунок 2.2) для расширения пределов измерения магнитоэлектрического миллиамперметра с током полного отклонения $I_A = 5 \text{ мА}$ внутренним сопротивлением $R_A = 15 \text{ Ом}$ до значений $I_1 = 100 \text{ мА}$, $I_2 = 5 \text{ А}$.

Задача 3

Предложить формулу расчетов сопротивлений резисторов R_1 и R_2 (рисунок 2.3) двухпредельного шунта для расширения пределов измерения магнитоэлектрического микроамперметра с током полного отклонения I_A и внутренним сопротивлением R_A . Новые пределы измерения токов I_1 и I_2 ($I_1 < I_2$).

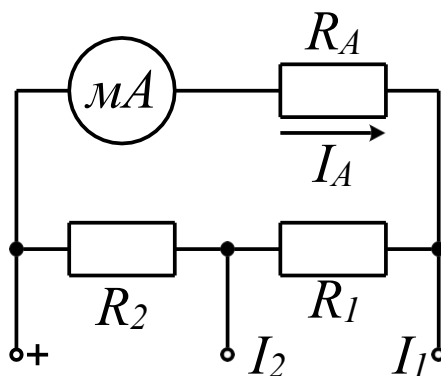


Рисунок 2.3 – Схема

Задача 14

Определить предел измерения тока I_1 в цепи двухпредельного миллиамперметра (рисунок 2.3) с током полного отклонения рамки измерительного механизма $I_A = 50 \text{ мкА}$, внутренним сопротивлением $R_A = 1 \text{ кОм}$. Значение сопротивлений резисторов ступенчатого шунта $R_1 = 0,9 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,1 \text{ Ом}$.

Задача 15

Рассчитать значение сопротивлений R_1 , R_2 , R_3 резисторов многопредельного шунта к щитовому микроамперметру типа М24 (рисунок 2.4) на пределы измерения тока $I_1 = 100 \text{ мкА}$, $I_2 = 10 \text{ мА}$, $I_3 = 10 \text{ А}$, если ток

полного отклонения микроамперметра $I_A = 50 \text{ мкА}$, а его внутреннее сопротивление $R_A = 3000 \text{ Ом}$.

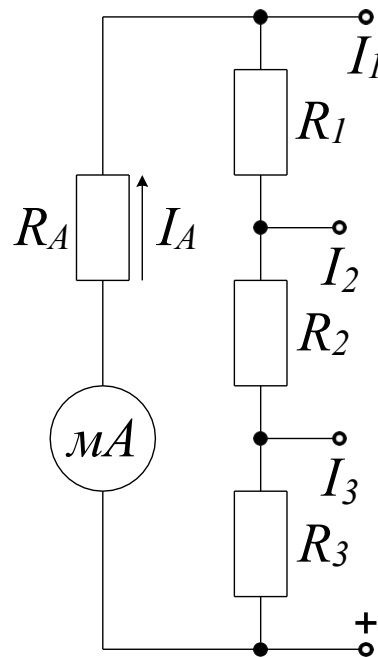


Рисунок 2.4 – Микроамперметр типа М24

Задача 6

Можно ли измерить ток в 1500 мА магнитоэлектрическим милливольтметром с пределом измерения $U_V = 75 \text{ мВ}$ и внутренним сопротивлением $R_V = 5 \text{ Ом}$ (шкала имеет 150 делений)? Чему равна цена деления C_I по току?

Практическое занятие № 3 Измерение напряжения

Задача 1 Определить относительную методическую погрешность измерения $\gamma_{\text{отн}}$ напряжения вольтметром с внутренним сопротивлением R_V на нагрузке R в цепи с источником энергии, ЭДС которого E и внутреннее сопротивление R_0 (рисунок 3.1). Вольтметр включен параллельно нагрузке R .

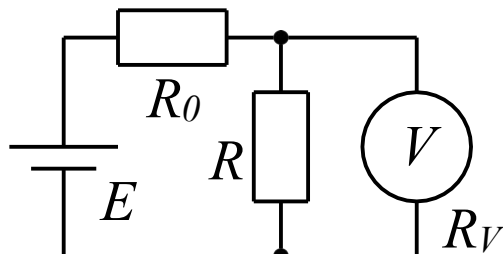


Рисунок 3.1

Задача 2 Определить значение сопротивлений добавочных резисторов R_1 , R_2 , R_3 в цепи многопредельного магнитоэлектрического вольтметра (рисунок 3.2) для расширения пределов измерения напряжения до $U_1 = 7,5$ В; $U_2 = 15$ В; $U_3 = 30$ В если ток полного отклонения рамки измерительного механизма вольтметра $I_V = 50$ мкА, внутреннее сопротивление $R_V = 1$ кОм. Чему равна мощность потребления вольтметра на пределах 7,5; 15; 30 В?

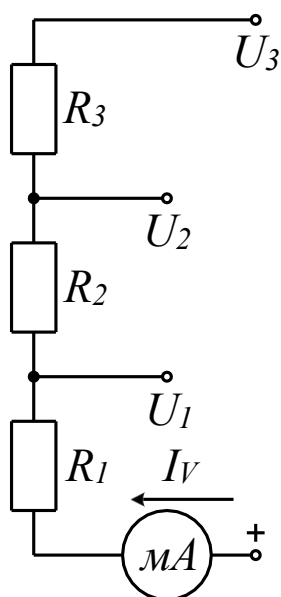


Рисунок 3.2

Задача 3 Определить значение сопротивления добавочного резистора R_d , включенного последовательно в цепь магнитоэлектрического вольтметра с пределом измерения 30 В, внутренним сопротивлением $R_V = 1000$ Ом и шкалой на 150 делений для расширения предела измерения напряжения до 300 В. Чему равна цена деления?

Задача 4 Определить значение входного сопротивления вольтметра со ступенчатым включением добавочных резисторов на пределах $U_1 = 100$ мВ; $U_2 = 2,5$ мВ; $U_3 = 10$ В, если

ток полного отклонения рамки измерительного механизма трехпредельного выпрямительного вольтметра $I_V = 50$ мкА (рисунок 3.2).

Задача 5 Определить значение входного сопротивления прибора при измерении напряжения постоянного тока на пределах: 75 мВ; 3; 30; 60; 300; 600 В, если комбинированный аналоговый прибор Ц4314 имеет магнитоэлектрический механизм ток полного отклонения рамки измерительного механизма $I_V = 12$ мкА; $R_V = 6,25$ кОм.

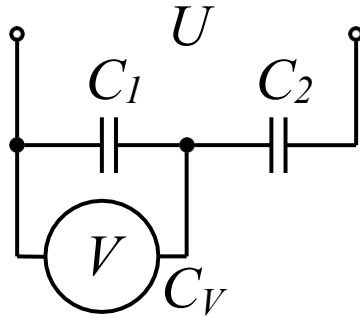


Рисунок 3.3

Задача 6 Рассчитать значение емкости C_2 в емкостном делителе (рисунок 3.3), если требуется расширить предел измерения электростатического вольтметра от 300 В до 6 кВ. Входная емкость вольтметра $C_V = 6$ пФ, емкость параллельно включенного конденсатора $C_1 = 374$ пФ.

Задача 7 Определить входную емкость электростатического вольтметра с емкостным делителем, используемого для измерения высокого напряжения, если $C_V = 4$ пФ, $C_1 = 40$ пФ, $C_2 = 20$ пФ (рисунок 3.3).

Практическое занятие № 4 Измерение напряжения

Задача № 1

Амперметр класса точности 1,5 со шкалой 0...50 А показал $3 \cdot N$ А (варианты 1–15), а вольтметр класса точности 1,0 со шкалой 0...100 В показал N В (варианты 16–30). Определите относительную погрешность измерения δ указанных электрических величин и запишите результат измерения для каждого прибора.

Зная класс точности прибора и номинальное значение измеряемой величины (в данном случае – верхний предел измерения), определите допускаемую максимальную абсолютную погрешность. Относительная погрешность измерения находится как отношение абсолютной погрешности к измеренному значению.

Ответы даны в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Ответы

N	$\delta, \%$	N	$\delta, \%$	N	$\delta, \%$	N	$\delta, \%$	N	$\delta, \%$
1	25,0	7	3,6	13	1,9	19	5,3	25	4,0
2	12,5	8	3,1	14	1,8	20	5,0	26	3,8
3	8,3	9	2,8	15	1,7	21	4,8	27	3,7
4	6,3	10	2,5	16	6,3	22	4,5	28	3,6
5	5,0	11	2,3	17	5,9	23	4,3	29	3,4
6	4,2	12	2,1	18	5,6	24	4,2	30	3,3

Задача № 2

При поверке электродинамического ваттметра со шкалой 0...500 Вт в одной из её оцифрованных точек получена максимальная абсолютная погрешность $0,2 \cdot (1 + 2 \cdot N)$ Вт. Определите класс точности и чувствительность прибора (его шкала имеет 100 делений). Какой будет относительная погрешность измерения мощности, равной $10 \cdot N$ Вт?

Ответы приведены в таблице 7.2, где относительные погрешности δ округлены до десятых долей %.

Таблица 7.2 – Ответы

N	Класс точности	$\delta, \%$	N	Класс точности	$\delta, \%$	N	Класс точности	$\delta, \%$
1	0.2	10,0	11	1.0	4,5	21	2.5	6,0
2	0.2	5,0	12	1.0	4,2	22	2.5	5,7
3	0.5	8,3	13	1.5	5,8	23	2.5	5,4

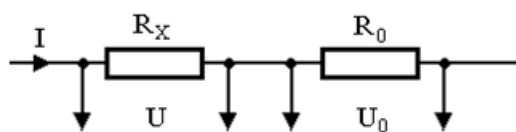
4	0.5	6,3	14	1.5	5,4	24	2.5	5,2
5	0.5	5,0	15	1.5	5,0	25	2.5	5,0
6	1.0	8,3	16	1.5	4,7	26	2.5	4,8
7	1.0	7,1	17	1.5	4,4	27	2.5	4,6
8	1.0	6,3	18	1.5	4,2	28	2.5	4,5
9	1.0	5,6	19	2.5	6,6	29	2.5	4,3
10	1.0	5,0	20	2.5	6,3	30	2.5	4,2

Задача № 3

Косвенное измерение сопротивления резистора R_X производится потенциометрическим методом. При этом значение сопротивления рассчитывается по соотношению:

$$R_X = R_0 \cdot U_X / U_0,$$

где R_0 – сопротивление последовательно включенной с резистором R_X образцовый катушки сопротивления; U_X и U_0 – падения напряжений на R_X и R_0 , измеренные цифровым вольтметром (рисунок 7.1). Определите сопротивление R_X и значение его допускаемого отклонения. Необходимые данные для расчета приведены в таблице 7.3.



К цифровому вольтметру

Рисунок 7.1 – Схема включения измеряемого резистора R_X и образцовый катушки сопротивления R_0

Таблица 7.3 – Необходимые данные для расчета

N	Образцовая катушка сопротивления		U_X	U_0	Цифровой вольтметр Щ-301-1	
	R_0 , Ом	класс точности	мВ		верхний предел измерения	класс точности
1 – 15	100	0,05	$2,35 + 0,48 \cdot N$	$7,85 - 0,38 \cdot N$	10 мВ	0,1/0,05
16 – 30	1000	0,02	$547,5 + 13,4 \cdot N$	$881,6 - 10,5 \cdot N$	10 В	0,06/0,02

Рассмотрим пример оценки результата косвенного измерения сопротивления R_X , при следующих исходных данных: $U_X = 819,5$ мВ,

$U_0=782,6$ мВ, $R_0=1000$ Ом, класс точности катушки сопротивления 0,02, класс точности прибора 0,06/0,02, а верхнее значение диапазона его измерения $U_K=10$ В.

Для решения задачи необходимо, прежде всего, определить сопротивление R_X по соотношению:

$$R_X=R_0 \cdot U_X/U_0=1000 \cdot 819,5/782,6=1047,15 \text{ Ом.}$$

Далее рассчитывается погрешность косвенного измерения ΔR_X по формуле:

$$\Delta R_X = U_0^{-1} \cdot \left[(U_X \cdot \Delta R_0)^2 + (R_0 \cdot \Delta U_X)^2 + (U_X \cdot R_0 \cdot \Delta U_0 \cdot U_0^{-1})^2 \right]^{0,5}$$

вывод которой следует привести в работе.

Абсолютные погрешности при измерении прибором падений напряжений U_X и U_0 находятся по соотношениям:

$$\Delta U_X=\pm[c+d(U_K/U_X-1)]U_X/100=\pm 2,3 \text{ мВ};$$

$$\Delta U_0=\pm [c+d(U_K/U_0-1)]U_0/100=\pm 2,3 \text{ мВ},$$

а допускаемое отклонение сопротивления образцовой катушки от его номинального значения R_0 рассчитывается по соотношению:

$$\Delta R_0=\delta_{ПР} \cdot R_0/100=0,2 \text{ Ом},$$

где $\delta_{ПР}$ – приведенная погрешность, характеризующая класс точности катушки.

Результат измерения в данном случае запишется в виде (1047 ± 4) Ом.

Ответы по 30 вариантам задачи сведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Ответы

N	UX	U0	(RX±ΔRX), Ом	N	UX	U0	(RX±ΔRX), Ом
	мВ				мВ		
1	2,83	7,47	37,88 ± 0,10	16	761,9	713,6	1068 ± 5
2	3,31	7,09	46,69 ± 0,11	17	775,3	703,1	1103 ± 5
3	3,79	6,71	56,48 ± 0,13	18	788,7	692,6	1139 ± 5
4	4,27	6,33	67,46 ± 0,15	19	802,1	682,1	1176 ± 5
5	4,75	5,95	79,83 ± 0,17	20	815,5	671,6	1214 ± 5
6	5,23	5,57	93,90 ± 0,19	21	828,9	661,1	1254 ± 6
7	5,71	5,19	110,02 ± 0,23	22	842,3	650,6	1295 ± 6
8	6,19	4,81	128,69 ± 0,27	23	855,7	640,1	1337 ± 6
9	6,67	4,43	150,6 ± 0,3	24	869,1	629,6	1380 ± 6

10	7,15	4,05	$176,5 \pm 0,4$	25	882,5	619,1	1425 ± 6
11	7,63	3,67	$207,9 \pm 0,5$	26	895,9	608,6	1472 ± 7
12	8,11	3,29	$246,5 \pm 0,6$	27	909,3	598,1	1520 ± 7
13	8,59	2,91	$295,2 \pm 0,7$	28	922,7	587,6	1570 ± 7
14	9,07	2,53	$358,0 \pm 1,0$	29	936,1	577,1	1622 ± 8
15	9,55	2,15	$444,2 \pm 1,4$	30	949,5	566,6	1676 ± 8

Задача № 4

Цифровой универсальный прибор типа Ф4800 используется для измерения напряжения, силы тока и сопротивления постоянному току, а также средней частоты синусоидальных колебаний. Измеряемые прибором параметры, диапазоны измерения, конечные значения поддиапазонов и основные погрешности измерения приведены в таблице 7.5, а значения измеряемых электрических величин указаны в таблице 7.6.

Таблица 7.5 – Основные погрешности измерения

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Конечное значение поддиапазона	Класс точности c/d
Напряжение	0,001 – 1000 В	1; 10; 100; 1000 В	0,25/0,1
Сила тока	0,1 – 1000 мА	1; 10; 100 мА 1000 мА	0,25/0,1 0,5/0,2
Сопротивление	10 Ом – 1000 кОм	100 Ом; 1; 10; 100; 1000 кОм	0,25/0,1
Частота	1 – 1000 кГц	10; 100; 1000 кГц	0,02/0,01

Таблица 7.6 – Значения измеряемых электрических величин

Напряжение	Сила тока	Сопротивление	Частота
(185,7+0,2N) мВ	(7,65+0,31N) мА	(5,68+0,15N) кОм	(1060+5N) Гц
(37,2+0,1N) В	(0,63+0,01N) А	(253,7+0,1N) Ом	(778,5+2,5N) кГц

Выберите соответствующие поддиапазоны прибора и оцените абсолютную и относительную погрешности результата измерения.

Решение задачи рекомендуется выполнять в следующей последовательности. Так как класс точности прибора для каждого диапазона измерения указан в виде дроби c/d, то предел допускаемой основной относительной погрешности найдите по формуле:

$$\delta = \pm \{c + d[(X_K/X) - 1]\} \%,$$

где X и X_K – соответственно измеренное и верхнее значение поддиапазона измерения физической величины.

Зная δ , определите абсолютную погрешность по формуле:

$$\Delta = \delta X / 100.$$

Далее, выполнив округление, запишите результат измерения в виде $X \pm \Delta$.

Размерность Δ и результата измерения такая же, как и у измеряемой физической величины.

Результаты вычислений сведите в таблицу, форма которой для варианта 30 приведена ниже (таблица 7.7). В графе 2 этой таблицы укажите исходные данные, полученные из таблицы 7.6.

Таблица 7.7 – Форма таблицы для варианта 30

Измеряемая величина	Показание	Погрешность		Результат
		$\delta, \%$	Δ	
Напряжение	191,7 мВ	0,672	1,3 мВ	$(191,7 \pm 1,3) \text{ мВ}$
	40,2 В	0,399	0,16 В	$(40,20 \pm 0,16) \text{ В}$
Сила тока	16,95 мА	0,740	0,12 мА	$(16,95 \pm 0,12) \text{ мА}$
	0,93 А	0,515	0,005 А	$(0,930 \pm 0,005) \text{ А}$
Сопротивление	10,18 кОм	0,132	0,12 кОм	$(10,180 \pm 0,12) \text{ кОм}$
	256,7 Ом	0,540	1,4 Ом	$(256,7 \pm 1,4) \text{ Ом}$
Частота	1210 Гц	0,093	1 Гц	$(1210 \pm 1) \text{ Гц}$
	853,5 кГц	0,022	0,18 кГц	$(853,50 \pm 0,18) \text{ кГц}$

Задача 5

Ветви нагрузки соединены треугольником (рисунок 7.2). Используя совокупные измерения, определите без «разрыва» ветвей их сопротивления R_1 , R_2 и R_3 , если при прямых измерениях сопротивлений на соответствующих клеммах получено: $R_{12} = (45,5 + 0,5 \cdot N) \text{ Ом}$, $R_{23} = (47,5 + 0,5 \cdot N) \text{ Ом}$ и $R_{13} = (58,5 - 0,5 \cdot N) \text{ Ом}$.

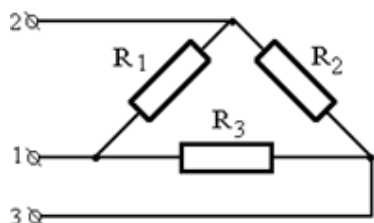


Рисунок 7.2 – Схема соединения резисторов

Существует несколько путей решения задачи, один из которых – метод подстановки. Составим систему уравнений:

$$R_{12} = R_1(R_2 + R_3) / (R_1 + R_2 + R_3); \quad (1.1)$$

$$R_{23} = R_2(R_1 + R_3) / (R_1 + R_2 + R_3); \quad (1.2)$$

$$R_{13}=R_3(R_1+R_2)/(R_1+R_2+R_3). \quad (1.3)$$

Вычитая (1.2) из (1.1) и подставляя результат в (1.3), находим

$$R_2=K_1R_1, \quad (1.4)$$

а затем, вычитая (1.3) из (1.1) и подставляя результат в (1.2), находим

$$R_3=K_2R_1, \quad (1.5)$$

где K_1 и K_2 вычисляются по соотношениям: $K_1=(R_{13}-$

$$R_{12}+R_{23})/(R_{13}+R_{12}-R_{23}); K_2=(R_{23}-R_{12}+R_{13})/(R_{23}+R_{12}-R_{13}).$$

Подставляя (1.4) и (1.5) в уравнение (1.1), получаем

$$R_1 = R_{12} \left[1 + \left(\frac{K_1 + K_2}{1} \right)^{-1} \right],$$

а далее по (1.4) и (1.5) определяем сопротивления R_2 и R_3 .

Задачу можно решить и методом эквивалентных преобразований, заменив «треугольник» «звездой», как показано на рисунке 7.3. В этом случае для определения сопротивлений можно использовать формулы Крамера.

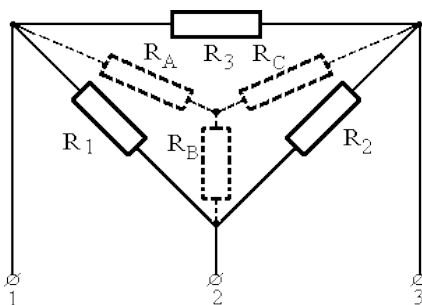


Рисунок 7.3 – Преобразование «треугольника» в эквивалентную «звезду»

Ответы по 30 вариантам задачи сведены в таблице 7.8.

Таблица 7.8 – Ответы

N	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	N	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом
1	62,80	67,29	104,7	16	80,52	87,16	72,26
2	63,98	68,60	101,5	17	81,69	88,50	70,80
3	65,18	69,92	98,60	18	82,86	89,84	69,38
4	66,36	71,24	95,86	19	84,03	91,18	68,02
5	67,55	72,56	93,29	20	85,19	92,52	66,70
6	68,74	73,88	90,86	21	86,36	93,87	65,42
7	69,92	75,19	88,57	22	87,52	95,22	64,18

8	71,10	76,52	86,39	23	88,68	96,57	62,98
9	72,29	77,85	84,33	24	89,84	97,92	61,80
10	73,47	79,17	82,37	25	91,00	99,27	60,67
11	74,64	80,50	80,50	26	92,15	100,6	59,56
12	75,82	81,83	78,71	27	93,31	102,0	58,47
13	77,00	83,16	77,00	28	94,46	103,4	57,42
14	78,17	84,50	75,36	29	95,61	104,7	56,38
15	79,35	85,83	73,78	30	96,75	106,1	55,37

Практическое занятие № 5 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Задача № 1

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока $I = 67$ мА, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1.0 и пределом измерения $A = 100$ мА.

Решение

Для магнитоэлектрического миллиамперметра класс точности определяется значением максимальной приведенной погрешности, т.е. $\gamma = \pm 1,0 \%$.

Так как

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100 \%,$$

то предел инструментальной абсолютной погрешности

$$\Delta = \pm \frac{\gamma X_N}{100 \%} \text{ (мА)}.$$

Миллиамперметр имеет равномерную шкалу с нулем в начале шкалы, и поэтому $X_N = A = 100$ мА:

$$\Delta = \pm \frac{1,0 \% \cdot 100 \text{ мА}}{100 \%} = \pm 1,0 \text{ (мА)}.$$

Предел инструментальной относительной погрешности

$$\delta = \pm \frac{1,0 \text{ мА}}{67 \text{ мА}} \cdot 100 \% \approx \pm 1,5 \%$$

Задача № 2

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения $U = 8,6$ В, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения $A = \pm 25$ В.

Решение

Как и в предыдущей задаче, предел абсолютной погрешности находится из формулы:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100 \%$$

Вольтметр имеет равномерную шкалу с нулем в середине шкалы. Поэтому

$$X_N = |-25| + |25| = 50 \text{ (В)},$$

$$\Delta = \pm(2,5 \cdot 50)/100 \% = \pm 1,25 \text{ (В)}.$$

Найдем предел относительной погрешности измерения:

$$\delta = \pm(\Delta/U) \cdot 100 \% = \pm(1,25 \cdot 100)/8,6 \approx \pm 15 \text{ (\%)}.$$

Задача № 3

Оценить инструментальные погрешности измерения тока двумя магнитоэлектрическими миллиамперметрами с классами точности 0,5 и 1.0 и указать, какой из результатов получен с большей точностью, а также, могут ли показания $I_1 = 19,0 \text{ мА}$ и $I_2 = 18,6 \text{ мА}$ исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Миллиамперметры имеют нули в начале шкалы и пределы $A_1 =$

$$= 50 \text{ мА и } A_2 = 20 \text{ мА}.$$

Решение

Инструментальные абсолютные погрешности можно найти из формул:

$$\Delta_1 = \pm(\gamma_1 X_{N1})/100 \% = \pm(\gamma_1 A_1)/100 \% = \pm(0,5 \cdot 50)/100 = \pm 0,25 \text{ (мА)},$$

$$\Delta_2 = \pm(\gamma_2 X_{N2})/100 \% = \pm(\gamma_2 A_2)/100 \% = \pm(1,0 \cdot 20)/100 = \pm 0,20 \text{ (мА)}.$$

Для определения, какое из измерений проведено с большей точностью, необходимо определить инструментальные относительные погрешности:

$$\delta_1 = \pm(\Delta_1/I_1) 100 \% = \pm(0,25/19,0) \cdot 100 \% \approx \pm 1,3 \%,$$

$$\delta_2 = \pm(\Delta_2/I_2) 100 \% = \pm(0,20/18,6) \cdot 100 \% \approx \pm 1,1 \%.$$

Видно, что второе измерение проведено с большей точностью, так как точность обратно пропорциональна модулю относительной погрешности.

В наихудшем случае (когда погрешности приборов будут иметь противоположные знаки) модуль разницы между результатами измерений $|\Delta| = |I_1 - I_2|$ не должен превышать сумму модулей абсолютных погрешностей, т.е.

$$|\Delta| < |\Delta_1| + |\Delta_2|.$$

Получаем

$$|\Delta| = 0,4 \text{ (мА)} < |\Delta_1| + |\Delta_2| = 0,45 \text{ (мА)}.$$

Таким образом, при исправных миллиамперметрах можно получить указанные значения I_1 и I_2 .

Задача № 4

Определить инструментальную абсолютную погрешность измерения сопротивления $R_x = 200 \text{ кОм}$ с помощью комбинированного прибора, если он имеет класс точности 4,0, длину рабочей части шкалы $L = 80 \text{ мм}$, отметке 200 кОм соответствует длина шкалы $l = 40 \text{ мм}$.

Решение

В комбинированном приборе используется магнитоэлектрический омметр, причем шкала прибора при измерении сопротивлений неравномерная. Инструментальная относительная погрешность измерения сопротивления δ_{R_x} с помощью таких омметров вычисляется через их класс точности по формуле

$$\delta_{R_x} = \pm(\gamma \cdot L / l),$$

т.е.

$$\delta_{R_x} = \pm(4,0 \cdot 80 / 40) = \pm 8,0 (\%)$$

С другой стороны

$$\delta_{R_x} = \pm(\Delta_{R_x} / R_x) \cdot 100 \%,$$

где Δ_{R_x} - инструментальная абсолютная погрешность измерения сопротивления.

Тогда

$$\Delta_{R_x} = \pm(\delta_{R_x} \cdot R_x) / 100 = \pm(8,0 \cdot 200) / 100 = \pm 16 \text{ (кОм)}.$$

Задача № 5

Определить относительную и абсолютную погрешности воспроизведения сопротивлений $R_1 = 0,52 \text{ Ом}$; $R_2 = 120,00 \text{ Ом}$; $R_3 = 18412,00 \text{ Ом}$ с помощью образцового магазина сопротивлений, если его класс точности $0,05/4 \cdot 10^{-6}$, магазин содержит 7 декад и цена младшей декады $0,01 \text{ Ом}$.

Решение

Сначала определим наибольшее значение воспроизводимой данным магазином сопротивлений величины:

$$R_k = 9 \cdot 10^4 + 9 \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 9 \cdot 10^1 + 9 \cdot 10^0 + 9 \cdot 10^{-1} + 9 \cdot 10^{-2} \text{ (Ом)};$$

$$R_k = 99999,99 \text{ (Ом)} \approx 10^5 \text{ (Ом)}.$$

Для нормирования пределов погрешности магазинов мер одночленные формулы не применяются, поскольку они не отражают всегда имеющей место зависимости абсолютной или относительной погрешности меры от номинального значения воспроизводимой величины. Для них используются двухчленные формулы:

для абсолютной погрешности:

$$\Delta = \pm(a + b \cdot X),$$

для относительной погрешности:

$$\delta = \pm[c + d \cdot (|X_k/X| - 1)].$$

В нашем случае заданы величины c и d :

$$c = 0,05 \%; \quad d = 4 \cdot 10^{-6} \%.$$

Найдем относительные погрешности воспроизведения сопротивлений R_1, R_2, R_3 :

$$\delta_{R1} = \pm[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} (|10^5 / 0,52| - 1)] \approx \pm 0,3 \%,$$

$$\delta_{R2} = \pm[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} (|10^5 / 120| - 1)] \approx \pm 0,53 \%,$$

$$\delta_{R3} = \pm[0,05 + 4 \cdot 10^{-6} (|10^5 / 18412| - 1)] \approx \pm 0,050 \%.$$

Известно, что связь между a, b, c, d - следующая:

$$d = a/R_k, \quad c = b + d.$$

Для удобства выразим c и d в относительных единицах:

$$c = 5 \cdot 10^{-4}, \quad d = 4 \cdot 10^{-8}.$$

Тогда

$$a = d |R_k| = 4 \cdot 10^{-8} \cdot 10^5 = 0,004 \text{ (Ом)};$$

$$b = c - d = 5 \cdot 10^{-4} - 4 \cdot 10^{-8} \approx 5 \cdot 10^{-4}.$$

Теперь можно определить абсолютные погрешности воспроизведения сопротивлений R_1, R_2, R_3

$$\Delta_{R1} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,52) \approx \pm 0,0043 \text{ (Ом)},$$

$$\Delta_{R2} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 120) \approx \pm 0,0064 \text{ (Ом)},$$

$$\Delta_{R3} = \pm(0,004 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 18412) \approx \pm 9,2 \text{ (Ом)}.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача № 1

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения $U = 6,4 \text{ В}$, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1,5 и пределом измерения $A = 25 \text{ В}$.

Задача № 2

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока $I = 6,8 \text{ мА}$, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения $A = \pm 10 \text{ мА}$.

Задача № 3

Выбрать магнитоэлектрический вольтметр со стандартными пределами измерения и классом точности при условии, что результат измерения напряжения должен отличаться от действительного значения $U_d = 44 \text{ В}$ не более, чем на $\Delta =$

$$= \pm 0,4 \text{ В}.$$

Задача № 4

Оценить инструментальные погрешности измерения напряжения двумя магнитоэлектрическими вольтметрами с классом точности 0.2 и 1.5 и указать, какой из результатов получен с большей точностью, а также могут ли показания $U_1 = 21,7 \text{ В}$ и $U_2 = 20,8 \text{ В}$ исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Вольтметры имеют нули в начале шкалы и пределы $A_1 = 75 \text{ В}$ и $A_2 = 25 \text{ В}$.

Задача № 5

Определить относительную и абсолютную погрешности воспроизведения сопротивления $R = 25 \cdot 10^9 \text{ Ом}$ с помощью имитатора сопротивлений, если его класс точности $0,1/2,5 \cdot 10^{-9}$, диапазон воспроизводимых сопротивлений от $1 \cdot 10^5 \text{ Ом}$ до $9,9 \cdot 10^{14} \text{ Ом}$.

Литература

- 1 Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. - М.: Издательство стандартов, 1975. – 336 с.
- 2 Рабинович С.Г. Погрешности измерений. -Л.: Энергия, 1978. - 262 с.
- 3 Архипенко А.Г., Белошицкий А.П., Ляльков С.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное пособие. Ч.1. Основы метрологии. - Мн.: БГУИР, 1997. - 55 с.
- 4 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. - Мн.: Выш. шк., 1986. - 320 с.
- 5 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов/ Б.Я.Авдеев, Е.М.Антонюк и др.; Под ред. Е.М.Душина. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.
- 6 Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986. - 440 с.
- 7 Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения.: Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / Под ред. В.И. Винокурова. - М.: Высш. шк., 1986. - 351 с.
- 8 Новицкий М.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
- 9 ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов многократных наблюдений.
- 10 Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие для вузов/Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б.П. Хромого. - М.: Радио и связь, 1986. - 320 с.
- 11 ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
- 12 ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.

Практическое занятие № 6 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Задача № 1

В процессе однократного измерения емкости конденсатора измерено значение $C = 1,246$ нФ. Предварительно оценены СКО измерения емкости $\hat{\sigma}_{\bar{c}} = 0,037$ нФ и границы неисключенных остатков двух составляющих систематической погрешности $\Delta_{c_1} = 0,012$ нФ и $\Delta_{c_2} = 0,016$ нФ. Определить доверительные границы суммарной погрешности результата измерения ($P_d = 0,95$).

Решение

1 Рассчитываются доверительные границы случайной погрешности измерения

$$\Delta = t \cdot \hat{\sigma}_{\bar{c}} = 2 \cdot 0,037 = 0,074 \text{ (нФ)},$$

где коэффициент Стьюдента $t = 2$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.

2 Определяются доверительные границы неисключенных систематических погрешностей

$$\Delta_c = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^2 \Delta_{c_i}^2} = 1,1 \cdot \sqrt{\Delta_{c_1}^2 + \Delta_{c_2}^2} = 1,1 \cdot \sqrt{(0,012)^2 + (0,016)^2} = 0,022 \text{ (нФ)}.$$

Коэффициент k принимается равным 1,1 для доверительной вероятности $P = 0,95$ и количества неисключенных систематических погрешностей $m < 4$ (в данном случае $m = 2$).

Находится сумма неисключенных систематических погрешностей

$$\Delta'_c = \sum_{i=1}^2 \Delta_{c_i} = 0,012 + 0,016 = 0,028 \text{ (нФ)}.$$

Для $m \leq 4$ в качестве оценки границ неисключенной систематической погрешности принимается меньшее из значений Δ_c и Δ'_c :

$$\Delta_c = 0,022 \text{ нФ}.$$

3 Для оценки доверительных границ суммарной погрешности прямых однократных измерений необходимо вычислить отношение

$$\mu = \Delta_c / \hat{\sigma}_c = 0,022 / 0,037 \approx 0,59$$

Тогда

$$\Delta = 0,8 \cdot (\Delta_c + \overset{\circ}{\Delta}) = 0,8 \cdot (0,022 + 0,074) = 0,077 \text{ (нФ)},$$

так как μ лежит в интервале от 0,5 до 8. В данном случае коэффициент 0,8 учитывает малую вероятность того, что Δ_c и $\overset{\circ}{\Delta}$ будут одновременно иметь свои граничные значения. Если $\mu < 0,5$, можно пренебречь систематическими погрешностями Δ_c , и тогда $\Delta = \overset{\circ}{\Delta}$. Если $\mu > 8$, то можно пренебречь $\overset{\circ}{\Delta}$, и тогда $\Delta = \Delta_c$.

4 Результат измерения записываем в следующем виде:

$$C = (1,246 \pm 0,077) \text{ (нФ)}, \quad P = 0,95,$$

так как доверительный интервал симметричен.

Задача № 2

Резонансная частота колебательного контура определялась путем однократного измерения индуктивности $L = 0,346$ мГн и емкости $C = 6,5$ нФ входящих в него катушки индуктивности и конденсатора с последующим вычислением по формуле $f = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C})$. На основании предыдущих измерений частоты аналогичных контуров известна оценка СКО измерения частоты $\hat{\sigma}_f = 0,14$ кГц, границы неисключенных остатков систематической погрешности измерения индуктивности $\Delta_{cL} = 0,11$ мГн и емкости $\Delta_{cC} = 0,11$ нФ. Определить доверительные границы погрешности косвенного измерения частоты с доверительной вероятностью $P_d = 0,95$.

Решение

1 Рассчитывается значение результата косвенного измерения частоты:

$$f = 1/(2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}) = 1/(2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{0,346 \cdot 6,5}) = 106,2 \text{ (кГц)}.$$

2 Рассчитываются оценки частных систематических погрешностей косвенного измерения индуктивности

$$\begin{aligned} \hat{E}_L &= (\partial f / \partial L) \cdot \Delta_{cL} = -\Delta_{cL} / (4\pi \cdot \sqrt{C \cdot L^3}) = \\ &= -0,01 \cdot 10^{-3} / (4 \cdot 3,14 \sqrt{6,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,041 \cdot 10^{-9}}) = -1,54 \text{ (кГц)}; \end{aligned}$$

емкости

$$\begin{aligned}\hat{E}_c &= (\partial f / \partial C) \cdot \Delta_{cC} = -\Delta_{cC} / (4\pi \cdot \sqrt{C^3} \cdot L) = \\ &= -0,01 \cdot 10^{-9} / (4 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{274,625 \cdot 10^{-27} \cdot 0,346 \cdot 10^{-3}}) = -0,28 \text{ (кГц)}.\end{aligned}$$

3 Находятся доверительные границы неисключенной систематической погрешности результата измерения. Поскольку данные о виде распределения не-исключенных систематических погрешностей отсутствуют, то их распределение принимается за равномерное. Тогда

$$\Delta_c = k \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^2 E_i^2} = 1,1 \sqrt{(1,54)^2 + (0,28)^2} = 1,72 \text{ (кГц)},$$

так как при доверительной вероятности $P_d = 0,95$ $k = 1,1$,

$$\Delta'_c = \hat{E}_L + \hat{E}_c = 1,54 + 0,28 = 1,82 \text{ (кГц)}.$$

4 За оценку границ неисключенных систематических погрешностей принимается меньшее из Δ_c и Δ'_c :

$$\Delta_c = 1,72 \text{ кГц}.$$

5 Оцениваются доверительные границы случайной погрешности измерения

$$\Delta = t \cdot \hat{\sigma}_j = 2 \cdot 0,14 = 0,28 \text{ (кГц)},$$

так как для однократных измерений и $P_d = 0,95$ коэффициент Стьюдента t принимают равным 2.

6 Оцениваются доверительные границы суммарной погрешности результата измерения

$$\Delta_f = \sqrt{\Delta_c^2 + \Delta^2} = \sqrt{(1,72)^2 + (0,28)^2} = 1,74 \text{ (кГц)}.$$

7 Результат измерения записывается в следующем виде:

$$f = (106,2 \pm 1,8) \text{ (кГц)}, \quad P = 0,95.$$

Задача № 3

Определить доверительные границы результирующей погрешности измерения напряжения $U=200$ мВ при однократном наблюдении с $P_d = 0,95$. Измерение осуществляется с помощью автоматического потенциометра класса точности 0,5. Изменение температуры вызывает

смещение нуля потенциометра на $\Psi_T = \pm 0,1 \% / 10^\circ\text{C}$. Нормальные условия эксплуатации потенциометра $20 \pm 2^\circ\text{C}$, потенциометр стоит в помещении, температура которого меняется от 8 до 32°C . Нормальные условия для напряжения питания $U_H = 200 \text{ В} \pm 2 \%$, а в реальных условиях эксплуатации напряжение может меняться на $\pm 10 \% U_H$. Напряжение наводки в линии связи частотой 50 Гц может достигать 1 мВ.

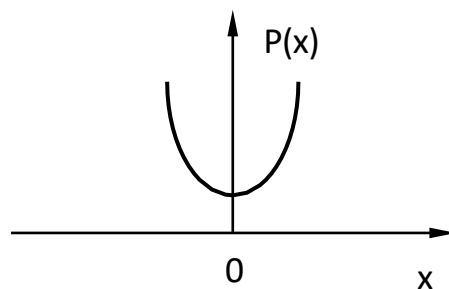
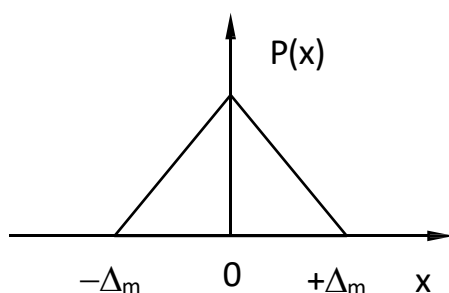
Решение

1 Основная погрешность аналогового регистратора определяется его классом точности. Погрешность всех электроизмерительных приборов согласно стандарту нормируется с 25 %-м запасом на старение, т.е. фактически погрешность нового прибора составляет не больше, чем $0,8\gamma$. Следовательно, $\gamma_{\text{рег}} =$

$$= 0,8 \times 0,5 = 0,4 (\%).$$

2 У потенциометра преобладающей является погрешность дискретности, обусловленная конечным числом витков обмотки датчика, по которым скользит подвижный контакт. Эта погрешность имеет равномерное распределение. В этом случае $\gamma_{\text{рег}} = 0,4 (\%)$ можно считать половиной ширины этого равномерного распределения, и тогда $\sigma_n = 0,4 / \sqrt{3} = 0,24 \%$.

3 Погрешность от колебаний напряжения питания распределена по треугольному закону с принятыми пределами $\pm 10 \%$. Поэтому максимальное значение этой погрешности $\sigma_{\text{нп}} = 10 / \sqrt{6} = 10 / 2,45 = 4,1 \%$. Параметры этого распределения: энтропийный коэффициент $k = 2,02$; эксцесс $\varepsilon = 2,4$; $\chi = 0,645$.



4 Погрешность наводки распределена арксинусоидально. Энтропийный коэффициент $k = 1,11$. Тогда

$$\sigma_{\text{нав.}} = \frac{1/200 \cdot 100}{1,11} \approx 0,450 (\%).$$

5 Погрешность смещения нуля потенциометра при колебании температуры является аддитивной, а закон ее распределения можно считать равномерным со средним значением 20°C и размахом $\pm 12^\circ\text{C}$ (так как температура в помещении меняется от 8 до 32°C). Максимальное значение

этой погрешности при $\Psi_T = \pm 0,1 \text{ \%} / 10^\circ\text{C}$ составляет $\sigma_T = \frac{0,1 \cdot 12}{10 \cdot \sqrt{3}} \approx 0,07 \text{ \%}$, так как k_3 для равномерного распределения равен $\sqrt{3}$.

6 Суммирование погрешностей сводится к вычислению приведенной погрешности при $x = 0$, которая складывается из всех аддитивных составляющих, и в конце диапазона, которая складывается из всех составляющих.

При $x=0$ погрешность будет складываться из трех составляющих:

$$\sigma_n = 0,24 \text{ \%}, \sigma_T = 0,07 \text{ \%}, \sigma_{\text{нп}} = 1,30 \text{ \%}.$$

Однако $\sigma_T = 0,07 \text{ \%}$ меньше $\sigma_{\text{нп}} = 1,3 \text{ \%}$ в 18,5 раз. Так как суммирование под корнем будет производиться над квадратами величин, то ее вклад в результат будет ничтожным. Отсюда ясно, что этой погрешностью можно пренебречь и опустить из дальнейшего рассмотрения. Тогда

$$\sigma_n = \sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_{\text{нп}}^2} = \sqrt{0,24^2 + 1,30^2} = 1,32 (\text{\%}).$$

Для расчета погрешности в конце диапазона к полученному значению σ_n надо добавить погрешность наводки $\sigma_{\text{нав.}} = 0,45 \text{ \%}$:

$$\sigma_k = \sqrt{\sigma_{\text{нав.}}^2 + \sigma_n^2} = \sqrt{0,45^2 + 1,32^2} = 1,39 (\text{\%}).$$

Для перехода к интервальной оценке в виде доверительного $\Delta_d = t_\Sigma \sigma_\Sigma$ или энтропийного $\Delta_e = k_\Sigma \sigma_\Sigma$ значений необходимо знание не самого закона распределения результирующей погрешности, а лишь его одного числового параметра в виде квантильного множителя t_Σ или энтропийного коэффициента k_Σ .

Зависимости энтропийного коэффициента k_Σ от соотношения суммируемых составляющих и их энтропийных коэффициентов могут быть представлены в виде семейства графиков (график 1 и график 2).

По оси абсцисс отложены значения относительного веса дисперсии σ_2^2 второго из суммируемых распределений в полной дисперсии $p = \sigma_2^2 / (\sigma_1^2 + \sigma_2^2)$, по оси ординат – значение энтропийного коэффициента k_Σ образующейся при этом композиции. Кривая 1 соответствует композиции двух нормальных распределений ($k_\Sigma = 2,066$ для любых значений веса p); кривая 2 – композиции

равномерно распределенной и нормально распределенной погрешностей; кривая 3 – композиции двух равномерных распределений; кривая 4 – композиции арксинусоидальной и равномерно распределенной погрешностей; кривая 5 – для двух арксинусоидально распределенных погрешностей.

Кривые 1-3 соответствуют суммированию равномерного, треугольного и нормального распределений с дискретным двузначным распределением, а кривые 4-6 – суммированию нормального распределения соответственно с арксинусоидальным, равномерным и экспоненциальным.

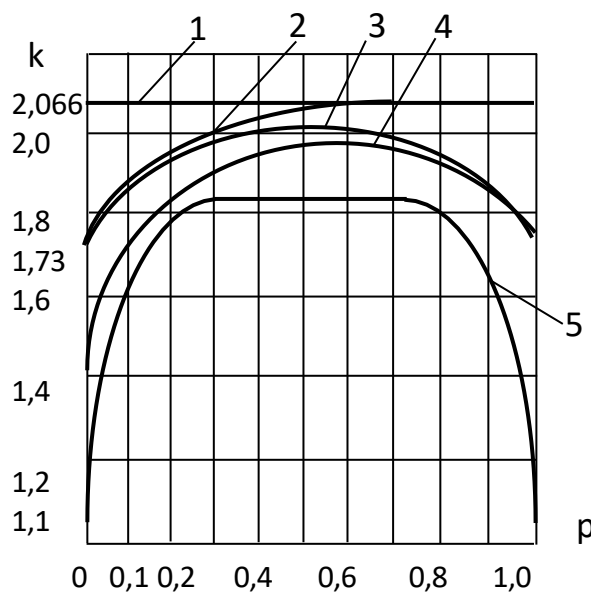


График 1

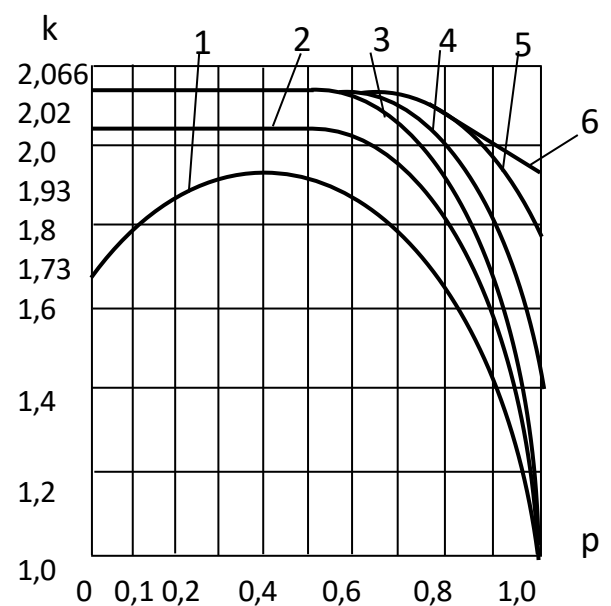


График 2

При $x=0$ относительный вес $\sigma_{\text{нп}}$ в полной дисперсии равен $p = \frac{\sigma_{\text{нп}}^2}{\sigma_{\text{нп}}^2 + \sigma_n^2} =$

$$= \frac{1,3^2}{1,3^2 + 0,24^2} = 0,98$$

. Так как $\sigma_{\text{нп}}$ распределена по треугольному закону, а σ_n – по равномерному (кривая 2 на графике 2). Отсюда $k_{\Sigma} = 1,25$.

Тогда при $x=0$ доверительные границы

$$\Delta_n = k_{\Sigma_n} \cdot \sigma_n = 1,25 \cdot 1,3 = 1,63 \text{ (\%)}$$

в конце диапазона весовой коэффициент $\sigma_{\text{нав.}}$ в полной дисперсии равен

$$p = \frac{\sigma_{\text{нав.}}^2}{\sigma_{\text{нав.}}^2 + \sigma_n^2} = \frac{0,45^2}{0,45^2 + 1,3^2} = 0,10$$

Поскольку $\sigma_{\text{нав.}}$ распределена по арксинусоидальному, а $\sigma_{\text{н}}$ – по нормальному законам, воспользуемся кривой 4 на графике 2.

$$k_{\Sigma_k} = 2,066$$

Тогда в конце диапазона доверительные границы $\Delta_k = k_{\Sigma_k} \cdot \sigma_k$
 $= 2,066 \cdot 1,39 =$
 $= 2,87 (\%).$

Задачи для самостоятельного решения

Задача № 1

В процессе однократного измерения индуктивности катушки получено значение $L = 154 \text{ мГн}$ и $\text{tg}\delta = 0,5$. Из технических характеристик прибора известно, что основная погрешность измерения индуктивности не превышает $\Delta = [(1 +$

$+ \text{tg}\delta) \cdot L_{\text{к}} \cdot 10^{-3} + 0,1 \text{ мГн} + L_{\text{к}} \cdot 10^{-3}]$, где $L_{\text{к}}$ - конечное значение предела измерения ($L_{\text{к}} = 1000 \text{ Гн}$). Прибор находится в помещении, где температура колеблется от 15°C до 25°C . Определить погрешность измерения индуктивности катушки при доверительной вероятности $P = 0,99$.

Задача № 2

На основании предварительных измерений напряжения известно среднеквадратическое отклонение результата измерения $\sigma_{\bar{U}} = 0,51 \text{ В}$; границы неисключенных остатков четырех составляющих систематической погрешности $\Delta_{c_1} = 0,39 \text{ В}$; $\Delta_{c_2} = 0,81 \text{ В}$; $\Delta_{c_3} = 0,24 \text{ В}$; $\Delta_{c_4} = 0,55 \text{ В}$. Определить доверительные границы погрешности измерения напряжения $U = 81,48 \text{ В}$ с однократным наблюдением. Доверительная вероятность $P = 0,95$.

Задача № 3

Для измерения энергии, потребляемой нагрузкой на постоянном токе за время t , использовался косвенный метод и выражение $U^2 t / R$. При этом в результате однократных измерений были получены следующие значения:

- напряжение $U = 146 \text{ В}$ с погрешностью 20 В ;
- сопротивление нагрузки $R = 415 \text{ Ом}$ с погрешностью 5 Ом ;
- время $t = 15 \text{ с}$ с погрешностью $0,04 \text{ с}$;

границы неисключенных остатков трех составляющих систематической погрешности $\Delta_{C_U} = 0,44 \text{ В}$; $\Delta_{C_R} = 0,15 \text{ Ом}$; $R_{C_t} = 0,48 \text{ с}$.

Оценить суммарную погрешность измерения энергии и записать результат с доверительной вероятностью $P_d=0,99$.

Литература

- 1 Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. - М.: Издательство стандартов, 1975. – 336 с.
- 2 Рабинович С.Г. Погрешности измерений. -Л.: Энергия, 1978. - 262 с.
- 3 Архипенко А.Г., Белошицкий А.П., Ляльков С.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное пособие. Ч.1. Основы метрологии. - Мн.: БГУИР, 1997. - 55 с.
- 4 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. - Мн.: Выш. шк., 1986. - 320 с.
- 5 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов/ Б.Я.Авдеев, Е.М.Антонюк и др.; Под ред. Е.М.Душина. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.
- 6 Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986. - 440 с.
- 7 Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения.: Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / Под ред. В.И. Винокурова. - М.: Высш. шк., 1986. - 351 с.
- 8 Новицкий М.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.
- 9 ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов многократных наблюдений.
- 10 Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие для вузов/Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б.П. Хромого. - М.: Радио и связь, 1986. - 320 с.
- 11 ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

12 ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений.
Общие требования.

Практическое занятие № 7 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Задача №4

Электромагнитные вольтметр V и амперметры A_1 и A_2 , включённые в схему (рисунок 1.3), дали соответственно показания: $U=(50+N)$ В, $I_1=(2+0,1 \cdot N)$ А и $I_2=(1+0,1 \cdot N)$ А при частоте питающего напряжения f , равной 0,5 (варианты 1–15) и 0,7 (варианты 16–30) кГц. При какой частоте f^* показания амперметров будут одинаковы? Что покажет амплитудный вольтметр, включённый вместо электромагнитного вольтметра и каковы будут показания магнитоэлектрического амперметра, включённого вместо электромагнитного амперметра A_1 ?

Задача №5

Определите показания амперметров электромагнитной системы, измеряющих токи, формы которых приведены на рисунке 1.4, а амплитудные значения этих токов одинаковы и равны $I_m=(2+0,2 \cdot N)$ А. Что покажут в этом случае амперметры магнитоэлектрической и электродинамической систем? Свой ответ обоснуйте.

Задача №6

Определите показания электромагнитных приборов, включённых в схемы, представленные на рисунке 1.5(а, б), если к входным клеммам этих схем приложено:

– синусоидальное напряжение, действующее значение которого $U=(5+N)$ В, а полные сопротивления цепей равны соответственно $\sqrt{2} \cdot e^{j45}$ и $\sqrt{2} \cdot e^{-j60}$;

– постоянное напряжение $U=(10+N)$ В.

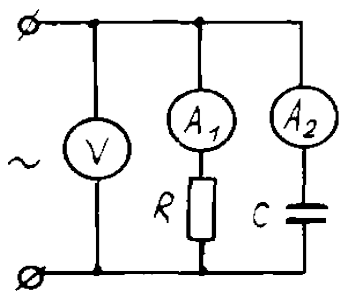
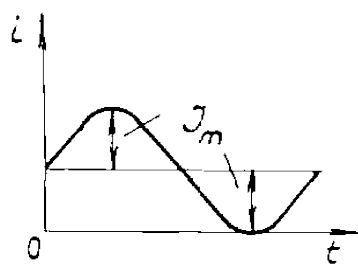
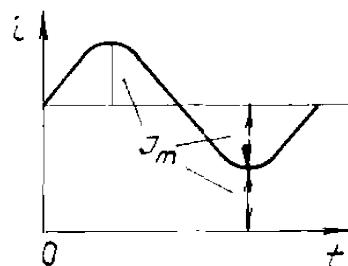


Рисунок 1.3 – Схема включения приборов



а)



б)

Рисунок 1.4 – Формы тока, протекающего приборов через приборы

Задача №7

Ток в цепи имеет форму отдельных периодически повторяющихся импульсов (рисунок 1.6), продолжительность каждого из которых составляет 0,1 мс, а период их повторения $T = 20$ мс. Определите показания магнитоэлектрического и электродинамического амперметров, включённых в эту цепь, если амплитуда импульса тока $I_m = (50 + 2 \cdot N)$ А.

Задача №8

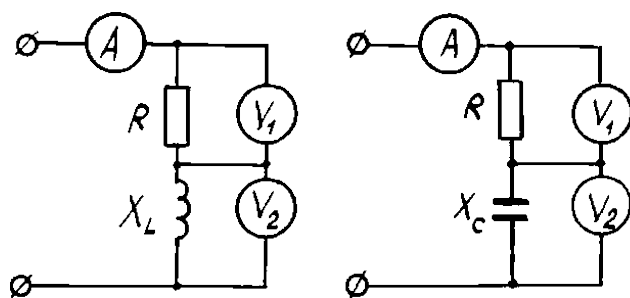
Питание схемы, показанной на рисунке 1.7, осуществляется синусоидальным напряжением промышленной частоты. Определите показания амперметров A_2 и A_3 , если показания амперметров A_1 , A_4 и A_5 соответственно равны $(6 + 0,1 \cdot N)$, $(5 + 0,1 \cdot N)$ и $(2 + 0,2 \cdot N)$ А. Приборы каких систем можно использовать в данном случае? По каталогам проведите выбор приборов, укажите их типы, классы точности и диапазоны измерения.

Задача №9

1.9 Для определения параметров катушки (R и L) собрана схема, показанная на рисунке 1.8. Проведены измерения напряжения U на катушке и силы тока I , протекающего по её обмотке:

а) при частоте $f_1 = 0$, $U_1 = (60 + N)$ В, $I_1 = (0,5 + 0,1 \cdot N)$ А;

б) при частоте $f_2 = 500$ Гц, $U_2 = (60 + N)$ В, $I_2 = (0,1 + 0,01 \cdot N)$ А.



а)

б)

Рисунок 1.5 – Схемы включения приборов

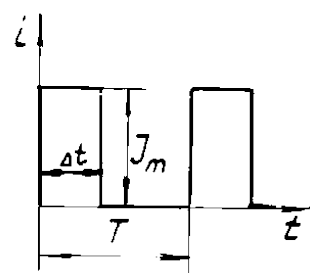


Рисунок 1.6 – Форма тока в цепи

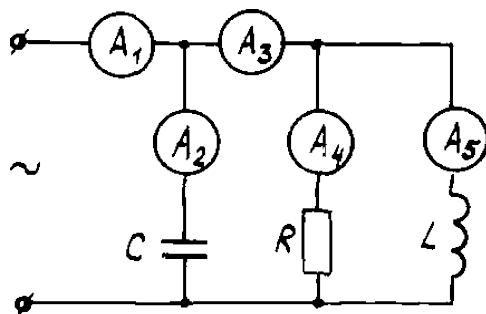


Рисунок 1.7 – Схема включения амперметров

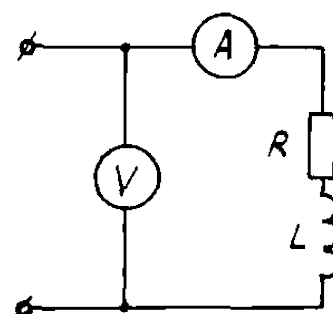


Рисунок 1.8 – Схема для определения параметров катушки

По результатам выполненных измерений найдите активное сопротивление R и индуктивность катушки L ; определите показания амперметра, если частота $f = 1$ кГц, а напряжение $U = 100$ В; подберите по справочникам или каталогам приборы с нужными диапазонами измерений.

При решении задач 4 – 9 примите допущение, что включение электроизмерительных приборов в цепь не изменяет её режима, т.е. сопротивления амперметров считайте равными нулю, а вольтметров – бесконечно большими. Следует учитывать также, что амперметры и вольтметры в зависимости от их системы показывают разные значения измеряемых величин:

– показания приборов магнитоэлектрической системы соответствуют среднему за период значению измеряемой величины, т.е. с их помощью измеряются постоянные составляющие тока или напряжения;

– показания приборов тепловой, электромагнитной и электродинамической систем соответствуют действующему значению измеряемой величины.

При решении задачи 1.4 необходимо, прежде всего, выразить активное и ёмкостное сопротивления через известные величины U , I_1 , I_2 и f , а затем, приравняв R и X_C (т.е. выполнив условие $I_1 = I_2$) при частоте f^* , найти соотношение между частотами f и f^* , которое имеет вид $f^* = f \cdot I_1 / I_2$. Ответы по 30 вариантам этой задачи сведены в таблице 1.8 (округление сделано до единиц герц).

Таблица 1.8 – Ответы по 30 вариантам задачи № 1.4

N	f^* , Гц	N	f^* , Гц	N	f^* , Гц	N	f^* , Гц	N	f^* , Гц
1	955	7	794	13	717	19	941	25	900
2	917	8	778	14	708	20	933	26	894
3	885	9	763	15	700	21	926	27	889
4	857	10	750	16	969	22	919	28	884
5	833	11	738	17	959	23	912	29	879
6	813	12	727	18	950	24	906	30	875

Для решения задачи 5 следует вычислить действующие значения измеряемых токов по формуле:

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_{\sim}^2},$$

где I_0 – постоянная составляющая тока, а $I_{\sim}$ – действующее значение переменной составляющей тока, определяемое по соотношению $I_m / \sqrt{2}$ А. Показания амперметров будут соответственно равны $I_m \sqrt{1,5}$ и $3 \cdot I_m / \sqrt{2}$ А.

При решении задачи 6, когда питание цепи производится синусоидальным током, необходимо воспользоваться известными соотношениями:

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2};$$

$$\varphi = \arctg(X / R),$$

где R и X – активное и реактивное сопротивления соответствующей ветви.

Амперметр и вольтметры в схеме рисунке 5(а) покажут соответственно $I = U / \sqrt{2}$ А и $U_1 = U_2 = U / \sqrt{2}$ В, а в схеме рис. 5(б) –

$I = U/\sqrt{2}$ А, $U_1 = 0,5 \cdot U$ В и $U_2 = 0,5 \cdot \sqrt{3} \cdot U$ В. Если питание схем производится постоянным напряжением, то показания приборов следующие: в схеме рисунка 5(а) – $I = U$ А, $U_1 = 10$ В, $U_2 = 0$; в схеме рис. 5(б) – $I = 0$, $U_1 = 0$, $U_2 = U$ В.

Показания магнитоэлектрического и электродинамического амперметров по задаче 7 соответственно равны $(0,25 + 0,01 \cdot N)$ и $(5 + 0,2 \cdot N)/\sqrt{2}$ А.

Решение задачи 8 начните с построения векторной диаграммы токов в ветвях схемы. Ответы по 30 вариантам этой задачи (округление сделано до десятых долей ампера) приведены в таблице 1.9.

При решении задачи 9 следует учесть, что сопротивление катушки $R = U_1/I_1$, а её индуктивность

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2 \cdot \pi \cdot f_2},$$

где $Z = U_2/I_2$.

Показания амперметра при значениях f и U , указанных в условии задачи, вычисляются по формуле:

$$I = U / \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}.$$

Ответы по 30 вариантам задачи сведены в таблице 1.10, где значения сопротивлений округлены до десятых долей ома, а индуктивности и силы тока – до единиц миллигенри и миллиампера.

Таблица 1.9 – Ответы к задаче № 8

N	Показания приборов, А		N	Показания приборов, А		N	Показания приборов, А	
	A ₂	A ₃		A ₂	A ₃		A ₂	A ₃
1	5,5	5,6	11	7,8	7,4	21	10,1	9,4
2	5,8	5,7	12	8,1	7,6	22	10,3	9,6
3	6,0	5,9	13	8,3	7,8	23	10,5	9,8
4	6,2	6,1	14	8,5	8,0	24	10,8	10,1
5	6,5	6,3	15	8,7	8,2	25	11,0	10,3
6	6,7	6,4	16	9,0	8,4	26	11,2	10,5
7	6,9	6,6	17	9,2	8,6	27	11,4	10,7
8	7,1	6,8	18	9,4	8,8	28	11,7	10,9
9	7,4	7,0	19	9,6	9,0	29	11,9	11,1

10	7,6	7,2	20	9,9	9,2	30	12,1	11,3
----	-----	-----	----	-----	-----	----	------	------

Таблица 1.10 – Ответы к задаче № 9

N	R, Ом	L, мГн	I, мА	N	R, Ом	L, мГн	I, мА
1	101,7	174	91	16	36,2	92	172
2	88,6	162	98	17	35,0	90	176
3	78,8	152	104	18	33,9	88	180
4	71,1	144	110	19	32,9	86	185
5	65,0	136	116	20	32,0	84	189
6	60,0	130	122	21	31,2	83	192
7	55,8	124	128	22	30,4	81	196
8	52,3	119	133	23	29,6	80	200
9	49,3	115	139	24	29,0	78	203
10	46,7	110	144	25	28,3	77	207
11	44,4	107	149	26	27,7	76	210
12	42,4	103	154	27	27,2	74	214
13	40,6	100	159	28	26,7	73	217
14	38,9	97	163	29	26,2	72	220
15	37,5	95	168	30	25,7	71	223

Практическое занятие № 8 Измерение напряжения, сопротивления, индуктивности

Задача №1

Выведите формулы для расчёта сопротивлений резисторов R_1 , R_2 и R_3 многопредельного шунта для расширения пределов измерения магнитоэлектрического микроамперметра (см. схему на рисунке 1.1) с током полного отклонения I_A и внутренним сопротивлением R_A . Новые пределы измерения токов: I_1 , I_2 и I_3 ($I_1 < I_2 < I_3$). Рассчитайте значения сопротивлений шунтирующих резисторов R_1 , R_2 и R_3 . Исходные данные для расчёта приведены в табл. 1.1. Сопротивление R_A примите равным 200N Ом. Определите цену деления C и чувствительность S прибора на каждом пределе измерения.

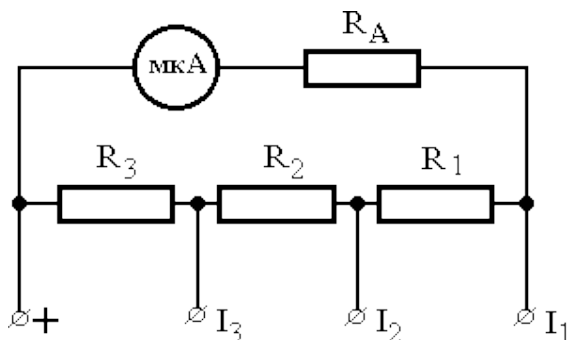


Рисунок 1.1 – Схема многопредельного амперметра

Таблица 1.1 – Исходные данные для расчёта.

Параметр	Номер варианта			
	1–	6–	11–	16–
I_A , мкА	1	10	25	50
I_1 , мкА	10	50	100	200
I_2 , мА	1	5	10	20
I_3 , А	0,5	1	2,5	5
Число делений шкалы	10	50	100	200

Формулы для расчёта имеют вид:

$$R_1 = R_A(k_2 - k_1)/k_2(k_1 - 1);$$

$$R_2 = R_A k_1(k_3 - k_2)/k_2 k_3(k_1 - 1);$$

$$R_3 = R_A k_1/k_3(k_1 - 1),$$

где k_1 , k_2 и k_3 – коэффициенты шунтирования, соответственно равные I_1/I_A , I_2/I_A и I_3/I_A .

Задача №2

Определите сопротивления шунтирующего и добавочного резисторов, которые необходимо подключить к магнитоэлектрическому миллиамперметру с током полного отклонения I_0 , внутренним сопротивлением R_0 и числом делений шкалы α , чтобы измерять ток I и напряжение U . Вычислите постоянные амперметра и вольтметра, а также их чувствительности. Данные для расчётов сведены в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Исходные данные для расчёта.

N	I_0 , мА	R_0 , кОм	I , А	U , В	α , дел
1	50	3	2	600	200
2		2,8	2	600	200
3		2,6	1	400	100
4		2,4	1	400	100
5		2,2	0,5	200	50
6	100	2,1	5	500	50
7		2,0	4	500	50
8		1,9	2	400	100
9		1,8	2	400	100
10		1,7	1	400	100
11	150	1,6	6	600	150
12		1,4	6	600	150
13		1,2	3	600	150
14		1,0	3	400	100
15		0,8	1,5	400	100
16	200	0,7	5	500	100
17		0,6	4	500	100
18		0,5	2	500	100

19		0,4	1	200	50
20		0,3	0,5	200	50

Чтобы расширить предел измерения миллиамперметра, необходимо к его рамке подключить шунтирующий резистор, сопротивление которого рассчитывается по формуле $R_{ш} = R_0(k-1)$, где k – коэффициент шунтирования, показывающий во сколько раз расширяется предел измерения прибора ($k = I/I_0$). Для создания на базе миллиамперметра вольтметра необходимо включить последовательно с рамкой прибора добавочный резистор с сопротивлением $R_d = R_0(m-1)$, где $m = U/(I_0 R_0)$.

Задача №3

Определите значения сопротивлений добавочных резисторов $R_1, \dots, R_4$ в цепи многопредельного магнитоэлектрического вольтметра (см. рисунок 1.2), который предназначен для измерения напряжения в четырех диапазонах с верхними пределами $U_1 = 30$ В, $U_2 = 50$ В, $U_3 = 100$ В и $U_4 = 200$ В, если ток полного отклонения рамки измерительного механизма вольтметра равен $(10+N)$ мА., а сопротивление рамки $(400+10N)$ Ом. Чему равна мощность P_i , потребляемая вольтметром на указанных пределах? ($N = 1 \dots 30$)

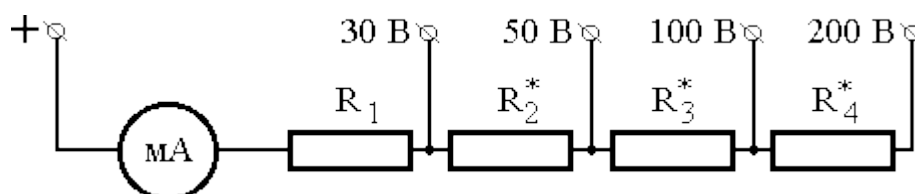


Рисунок 1.2 – Схема многопредельного вольтметра

Практическое занятие № 9 Погрешности средств измерений

Задача № 1.1

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока $I = 67$ мА, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1.0 и пределом измерения $A = 100$ мА.

Задача № 1.2

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения $U = 8,6$ В, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения $A = \pm 25$ В.

Задача № 1.3

Оценить инструментальные погрешности измерения тока двумя магнитоэлектрическими миллиамперметрами с классами точности 0,5 и 1.0 и указать, какой из результатов получен с большей точностью, а также, могут ли показания $I_1 = 19,0$ мА и $I_2 = 18,6$ мА исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Миллиамперметры имеют нули в начале шкалы и пределы $A_1 = 50$ мА и $A_2 = 20$ мА.

Задача № 1.4

Определить инструментальную абсолютную погрешность измерения сопротивления $R_X = 200$ кОм с помощью комбинированного прибора, если он имеет класс точности 4,0, длину рабочей части шкалы $L = 80$ мм, отметке 200 кОм соответствует длина шкалы $l = 40$ мм.

Задача № 1.5

Определить относительную и абсолютную погрешности воспроизведения сопротивлений $R_1 = 0,52$ Ом; $R_2 = 120,00$ Ом; $R_3 = 18412,00$ Ом с помощью образцового магазина сопротивлений, если его класс точности $0,05/4 \cdot 10^{-6}$, магазин содержит 7 декад и цена младшей декады 0,01 Ом.

Задачи для самостоятельного решения

Задача № 1.6

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения напряжения $U = 6,4$ В, если измерения проводились магнитоэлектрическим вольтметром с нулем в начале шкалы, классом точности 1,5 и пределом измерения $A = 25$ В.

Задача № 1.7

Определить пределы инструментальных абсолютной и относительной погрешностей измерения тока $I = 6,8$ мА, если измерения проводились магнитоэлектрическим миллиамперметром с нулем в середине шкалы, классом точности 2,5 и пределами измерения $A = \pm 10$ мА.

Задача № 1.8

Оценить инструментальные погрешности измерения напряжения двумя магнитоэлектрическими вольтметрами с классом точности 0.2 и 1.5 и указать, какой из результатов получен с большей точностью, а также могут ли показания $U_1 = 21,7$ В и $U_2 = 20,8$ В исправных приборов отличаться так, как задано в условии? Вольтметры имеют нули в начале шкалы и пределы $A_1 = 75$ В и $A_2 = 25$ В.

Рекомендуемая литература: [1, с.230-248], [3, с.15-19] [4, с.49-55], [5, с.51-61], [6, с.11-20, 32-36], [7, с.13-15], [11], [12]

Методические указания

При изучении темы необходимо особо обратить внимание на следующее:

- формы представления погрешностей средств измерений;
- правила выбора нормирующего значения X_N ;
- способы нормирования и формы выражения пределов допускаемых погрешностей;
- обозначение классов точности средств измерений.

Контрольные вопросы

1 Что такое погрешность средства измерений?

2 Что такое основная и дополнительная погрешности средств измерений?

3 Какие существуют формы представления погрешностей средств измерений?

4 Какие существуют правила выбора нормирующего значения X_N ?

5 Как регламентируются способы нормирования и формы выражения пределов допускаемых погрешностей?

6 Что такое класс точности средства измерения и чем он определяется?

7 Как обозначаются классы точности?

Литература

1 Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. - М.: Издательство стандартов, 1975. – 336 с.

2 Рабинович С.Г. Погрешности измерений. -Л.: Энергия, 1978. - 262 с.

3 Архипенко А.Г., Белошицкий А.П., Ляльков С.В. Метрология, стандартизация и сертификация: Учебное пособие. Ч.1. Основы метрологии. - Мн.: БГУИР, 1997. - 55 с.

4 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения. - Мн.: Выш. шк., 1986. - 320 с.

5 Основы метрологии и электрические измерения: Учебник для вузов/ Б.Я.Авдеев, Е.М.Антонюк и др.; Под ред. Е.М.Душина. - Л.: Энергоатомиздат, 1987. - 480 с.

6 Мирский Г.Я. Электронные измерения. - М.: Радио и связь, 1986. - 440 с.

7 Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин И.Г. Электрорадиоизмерения.: Учебное пособие для радиотехнических специальностей вузов / Под ред. В.И. Винокурова. - М.: Высш. шк., 1986. - 351 с.

8 Новицкий М.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. - Л.: Энергоатомиздат, 1985. - 248 с.

9 ГОСТ 8.207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов многократных наблюдений.

10 Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие для вузов/Б.П. Хромой, А.В. Кандинов, А.Л. Сенявский и др.; Под ред. Б.П. Хромого. - М.: Радио и связь, 1986. – 320 с.

11 ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

12 ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к контрольной работе по дисциплине
«Измерения и интеллектуальный учет
электроэнергии»
для студентов направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Ставрополь, 2025

Темы контрольных работ по дисциплине
Измерения и учёт электроэнергии
2025 год обучения

Контрольная работа выполняется в виде аналитико-систематизирующей исследовательской работы по одной из тем:

Тема работ	Буква
Новейшие технологии измерений, применяемые в электроэнергетике (методы выполнения измерений, технологии измерений, датчики, приборы, системы, комплексы)	А, П
Требования к качеству электроэнергии за рубежом и в РФ. Способы анализа и нормирования показателей качества электроэнергии. Приборы измерения качества электроэнергии	Б, Р
Технологии автоматизированного расчета и учета потерь электроэнергии в сетях. Методики расчета потерь. Виды потерь и их нормирование	В, С
Виды хищений электроэнергии и методы борьбы с хищениями. Автоматизация борьбы с хищениями электроэнергии	Г, Т
Цифровые каналы связи, применяемые для передачи данных в автоматизированных системах в электроэнергетике. Их преимущества, недостатки. Перспективные каналы связи	Д, У
Автоматизированные системы и технологии обнаружения устранения аварийных ситуаций в электрической сети (линий электропередач, основного и вспомогательного оборудования подстанций). Автоматизированные системы и технологии оптимизации и обеспечения нормальных режимов работы электрической сети	Е, Ф
Автоматизированные системы учета электроэнергии (АСКУЭ, Smart Metering)	Ж, Х
Активно-адаптивные электрические сети (Smart Grid)	Щ, Ц
Системы релейной защиты и автоматики, противоаварийной автоматики	И, Ч
Системы телемеханики, SCADA-системы в электроэнергетике	К, Ш
Зарядные станции электромобилей и проблемы их интеграции в электрические распределительные сети	Л, Щ
Распределенные и автономные источники электроэнергии и децентрализованное электроснабжение. Микросети. Персональная энергетика и потребительские сервисы. Альтернативные и возобновляемые источники электроэнергии	М, Э
Энергоаудит. Энергоменеджмент. Энергоэффективность и энергосбережение. Энергосервисные контракты	Н, Ю
Оптовый и розничный рынок электроэнергии в РФ. Участники, особенности функционирования, требования, перспективы развития	О, Я

В работе по каждой теме должны быть раскрыты вопросы (рекомендуемый перечень разделов):

1) Общая характеристика предмета (назначение, область применения, типовые характеристики);

2) Обзор существующих в РФ и за рубежом продуктов, технических решений, потребительских требований (не менее 3-х разных продуктов, выпущенных или введенных в эксплуатацию в последние 5 лет); Сравнительный анализ продуктов;

3) Тенденции развития, прогнозы развития на ближайшие годы.

Требования:

А) Каждый заимствованный в работе текст должен иметь обязательную ссылку на источник (книгу или интернет-сайт). Запрещается копировать информацию без ссылок

Б) Разделы работы должны быть логически связанными между собой;

В) Все сокращения и специфические термины должны иметь пояснения;

Г) Сравнительный анализ должен быть выполнен студентом самостоятельно;

Д) Не допускается совпадение более 30% текста работ разных студентов;

Е) Работа должна иметь научную новизну и практическую значимость;

Ж) Студент должен глубоко понимать и иметь возможность объяснить содержание работы.

Работа должна быть оформлена по ЕСКД. Шрифт Times New Roman, 14, межстрочный интервал 14, отступ первой строки абзаца 15 мм. Выравнивание по ширине. Поля слева 25 мм, сверху снизу, справа 15 мм. Нумерация листов внизу справа. Объем работы 12-20 листов.

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к самостоятельной работе по дисциплине
«Измерения и интеллектуальный учет
электроэнергии»
Направление подготовки
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Ставрополь, 2025

Содержание

Общие сведения

1. Структура самостоятельной работы

2. Методика самостоятельной работы

2.1. Методика самостоятельной работы по теоретическому курсу

2.2. Методика самостоятельной работы при решении задач

2.3. Методика самостоятельной работы при выполнении контрольной работы

Библиографический список

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Дисциплина «Измерения и интеллектуальный учет электроэнергии» является основной, специальной, призванной формировать профессиональную подготовку по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования. Самостоятельная работа, наряду с аудиторными занятиями, составляет основу успешного освоения учебного курса, приобретения профессионализма и повышения компетентности.

В соответствии с целями основной образовательной программы и задачами профессиональной деятельности бакалавр по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» должен обладать следующими компетенциями:

а) универсальными:

социально-личностными и общекультурными (СЛК):

- готовность к кооперации с коллегами и работе в коллективе, знакомство с методами управления, умение организовать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения в условиях различных мнений (СЛК-1);
- готовность к самостоятельной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (СЛК-2);
- способность и умение осуществлять свою деятельность в различных сферах общественной жизни с учётом принятых в обществе моральных и правовых норм (СЛК-3);
- способность и умение к самосовершенствованию, саморегулированию, самореализации (СЛК-6);
- способность в условиях развития науки и изменяющейся социальной практики к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, умение приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (СЛК-7);

- способность и умение понимать и анализировать экономические проблемы и общественные процессы, быть активным субъектом экономической деятельности (СЛК-10);

инструментальными (ИК):

- способность пользоваться Интернетом, электронной почтой и другими средствами оперативного обмена информацией, воспринимать и анализировать информацию (ИК-2);

- способность самостоятельно работать с современными измерительными приборами (ИК-3);

- умение использовать основные компьютерные технологии в сфере профессиональной деятельности (ИК-6);

- способность использовать элементы экономического анализа в своей профессиональной деятельности (ИК-11);

общенаучными (ОНК):

- способность использовать основные понятия и методы математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, векторного анализа и элементов теории поля, гармонического анализа, теории вероятностей, физики, химии, информатики, теоретических основ электротехники (ОНК-2);

- способность самостоятельно использовать средства компьютерной техники и основные компьютерные технологии в сфере своей профессиональной деятельности (ОНК-7);

б) профессиональными (ПК):

проектно-конструкторская деятельность:

- умение разрабатывать проекты электроэнергетических и электротехнических систем и отдельных их компонентов (ПК-1);

- способность разрабатывать простые конструкции электроэнергетических и электротехнических объектов (ПК-2);

- умение применять способы графического отображения геометрических образов изделий и объектов электрооборудования, схем и систем (ПК-5);

- умение обосновать принятие конкретного технического решения при создании электроэнергетического и электротехнического оборудования (ПК-7);

- способность рассчитывать схемы и элементы электрооборудования (ПК-8);

- способность рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических объектов (ПК-9);

производственно-технологическая деятельность:

- способность использовать технические средства для измерения основных параметров электроэнергетических объектов и систем и происходящих в них процессов (ПК-11);

- способность использовать современные информационные технологии; использовать сетевые компьютерные технологии, базы данных и пакеты прикладных программ в своей предметной области (ПК-12);

- способность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, элементы экономического анализа в практической деятельности (ПК-13);

- умение обосновывать технические решения при разработке технологических процессов и выбирать технические средства и технологии с учётом экологических последствий их применения (ПК-14);

- умение определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса по заданной методике (ПК-16);

- умение осуществлять оперативные изменения схем, режимов работы энергообъектов (ПК-18);

- способность составлять и оформлять оперативную документацию, предусмотренную правилами эксплуатации оборудования и организации работы (ПК-19);

- умение участвовать в монтажных, наладочных, ремонтных и профилактических работах на объектах электроэнергетики (ПК-20);

организационно-управленческая деятельность:

- способность анализировать технологический процесс как объект управления (ПК-21);

- способность организовывать работу исполнителей, находить и принимать управленческие решения в области организации и нормирования труда (ПК-23);

- умение обеспечивать соблюдение заданных параметров технологического процесса и качество вырабатываемой продукции (ПК-30);

научно-исследовательская деятельность:

- способность применять современные методы исследования объектов и систем электроэнергетики и электротехники (ПК-31);

- умение изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-32);

- умение спланировать необходимый эксперимент, получить адекватную модель и исследовать её (ПК-33);

- способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде научно-технического отчёта с его публикацией и публичной защитой (ПК-35);

- способность применять современные методы исследования и испытаний электрооборудования и объектов электроэнергетики и электротехники (ПК-36);

- способность выполнять экспериментальные исследования по заданной методике, обрабатывать результаты экспериментов (ПК-37);

В ходе изучения дисциплины студент должен:

ЗНАТЬ	- основы метрологии электрических измерений; - технические и программные средства реализации информационных процессов; - основы стандартизации и сертификации продукции; - методы выполнения измерений в электрических цепях; - технологии учета электроэнергии; - назначение, виды и функции систем АСКУЭ; - принцип работы программных и технических компонентов АСКУЭ; - структура и особенности функционирования электронных счетчиков электроэнергии; - особенности проектирования систем АСКУЭ
УМЕТЬ	– пользоваться каталогами в библиотеке, Internet-ресурсами; – применять базовые знания в области естественнонаучных дисциплин к вопросам электроэнергетики; – устанавливать общность и различия систем электроэнергетики и применяемого оборудования с целью формирования условий для понимания путей энергосбережения и повышения энергоэффективности; – анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт в области электроэнергетики.
ВЛАДЕТЬ	– навыками самостоятельной работы с литературой; – общими понятиями об энергетике в Российской Федерации и мире; – основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; – понятиями о техническом, экологическом, социально-экономическом и политическом аспектах энергетики.

1. СТРУКТУРА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Общий объём самостоятельной работы составляет 63 часа

Самостоятельная работа распределена следующим образом:

№	Наименование разделов и тем дисциплины, их краткое содержание	Форма контроля	Зачетные единицы (часы)
1	Подготовка к практическим занятиям	Защита практических работ	38
2	Выполнение контрольной работы	Промежуточный контроль, защита контрольной работы	25
	Итого		1,75 (63)

2. МЕТОДИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

2.1. Методика самостоятельной работы по теоретическому курсу

На самостоятельную проработку выносят следующие вопросы теоретического курса:

- Измерения в электрических цепях. Методы и средства измерения электрических величин:

Измерения в электрических цепях [9. С.37-60];

Качество электроэнергии [2. С.58-64];

Измерительные приборы [4. С.45-52];

Счетчики электроэнергии [8. С.6-32];

- Организация учета электроэнергии

Виды учета электроэнергии [1. С.120-151];

Потери электроэнергии [3. С.21-30];

Хищения электроэнергии [9. С.37-60];

- Общие сведения о системах АСКУЭ. Проектирование и эксплуатация систем АСКУЭ:

Назначение, виды и функции АСКУЭ [5. С.20-77];

Компоненты АСКУЭ [5. С.80-95];

Проектирование АСКУЭ [1. С.32-34];

Контроль качества проработки тем самостоятельной подготовки – предоставление преподавателю конспекта объёмом 3–6 страниц по каждой теме.

2.2. Методика самостоятельной работы при решении задач

Для лучшего усвоения практических вопросов, рассматриваемых на практических занятиях, в разделе самостоятельной работы предусмотрено самостоятельное решение задач. Задачи распределены следующим образом:

модуль 1 – 5 задач по теме 1.1;

модуль 2 – 4 задачи по темам 3.2.

Примерный перечень задач:

1.1. Имеется резистор сопротивлением 5,1 МОм, через который протекает ток, равный 200 мкА. Максимальное значение мощности рассеяния P для резистора $P_{\max} = 250$ мВт. Рассчитать значение P для данного тока и сравнить с $P_{\max}$, а также рассчитать с точностью до единиц микроампер максимально возможное значение тока $I_{\max}$, соответствующее $P_{\max}$.

1.2. Имеется конденсатор емкостью 100 пФ. В начальный момент опыта конденсатор разряжен, затем его в течение 20 мкс заряжают постоянным током, значение которого требуется определить. После этого измеряют напряжение на конденсаторе, которое оказывается равным 1 мВ. Определите выраженное в наноамперах значение тока.

1.3. Верхняя граница рабочей полосы частот электронно-лучевого осциллографа определяется спадом его амплитудно-частотной характеристики (т.е. уменьшением чувствительности канала вертикального отклонения S_y при увеличении частоты входного напряжения относительно значения чувствительности на постоянном токе $S_{y,0}$) на 3дБ. Выразите соответствующее изменение чувствительности δ_{S_y} в процентах.

1.4. Часто при вычислении относительной погрешности δ пользуются приближенной формулой, при этом в знаменатель вместо истинного или действительного значения измеряемой величины подставляют измеренное значение. Полученное в результате такого расчета значение относительной погрешности δ' отличается от δ на «погрешность погрешности» $\delta_{\text{погр}}$. Выразите $\delta_{\text{погр}}$ через δ .

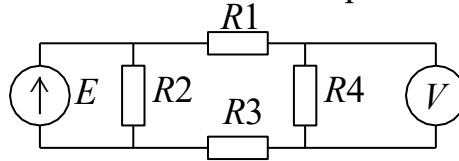
1.5. При измерении величины x возникает систематическая погрешность, относительное значение которой δ остается постоянным во всем диапазоне измерений. Полагая, что значение δ известно, выведите формулу для расчета скорректированного (свободного от указанной погрешности) значения измеряемой величины x' .

1.6. Измеренное значение сопротивления $R = 100,0$ Ом. Предел допускаемой относительной погрешности измерения $\delta_{\text{п}} = 1,0$ %. Найдите интервал, в котором должно находиться $R_{\text{н}}$ — истинное значение сопротивления.

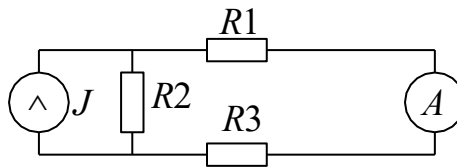
1.7. Резистор, сопротивление которого требуется измерить, соединен последовательно с мерой сопротивления. Номинальное значение меры — $R_0 = 1$ кОм. Образовавшаяся цепь подключена к источнику стабильного тока I . Вольтметром, входное сопротивление которого $R_V = 100$ кОм, поочередно измеряют падения напряжения на обоих резисторах. Полученные значения — соответственно для измеряемого сопротивления и сопротивления меры, $U = 3,5$ В и $U_0 = 0,5$ В. Искомое значение вычисляют по формуле $R = R_0 U / U_0$, в которой не учитывается конечное

значение R_V , из-за чего возникает методическая погрешность δ_m . Рассчитайте значение δ_m .

1.8. Выразите абсолютную погрешность взаимодействия для представленной ниже схемы через сопротивления резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 , показание вольтметра U и его входное сопротивление R_V .



1.9. Выразите абсолютную погрешность взаимодействия для представленной ниже схемы через сопротивления резисторов R_1, R_2, R_3 , показание амперметра I и его входное сопротивление R_A .



1.10. Имеется три средства измерений: СИ1, СИ2, СИ3. Обозначения их классов точности, соответственно — 1,0; 0,2 ; 0,1/0,05. Представьте для каждого из этих средств измерений выражения предельных значений основной абсолютной, основной относительной и основной приведенной погрешностей. При этом значение измеряемой величины обозначьте как x , а нормирующее значение как x_N .

1.11. Какой поддиапазон измерений моста — (0...100) Ом, (0...1000) Ом, (0...10000) Ом, следует выбрать для наиболее точного измерения сопротивления R , значение которого близко к 50 Ом, если предел допускаемой инструментальной составляющей относительной погрешности измерений $\delta_{и.п} = [1,0 + (2,0 / R)] \%$, длина шкалы (число делений) $a_k = 1000$, а показания при отсчете округляются до целого числа делений?

1.12. Требуется выбрать один из двух поддиапазонов измерений магнитоэлектрического вольтметра класса точности 1,0 — (0...15)В и (0...30)В, так чтобы минимизировать максимальную, без учета знака, погрешность измерения напряжения, значение которого близко к 10 В. Измерения проводятся при нормальных условиях, погрешность отсчитывания пренебрежимо мала, выходное сопротивление источника напряжения $R_{и}$ не превышает 20 Ом (вариант 1) или 200 Ом (вариант 2), ток полного отклонения для указанных поддиапазонов измерений $I_{п.о} = 3$ мА?

1.13. Номинальная функция преобразования цифроаналогового преобразователя (ЦАП) имеет следующий вид: $I_{ном} = 4 \text{ мА} + 16 \text{ мА} (N / N_{max})$, где N — код на входе ЦАП, $N_{max} = 2^m - 1$, $m = 16$ — число двоичных разрядов входного кода ЦАП. Нормирующее значение для входа — $N_N = N_{max}$, для выхода — $I_N = 20 \text{ мА}$. После подачи на вход ЦАП кода $N = 2^{14}$

определено действительное значение выходного тока $I_d = 8,002$ мА. Рассчитайте $\Delta_{вх}$, $\delta_{вх}$, $\gamma_{вх}$, $\Delta_{вых}$, $\delta_{вых}$, $\gamma_{вых}$.

1.14. Вольтметр $V1$ класса точности 1,0 с диапазоном показаний (0...100) В и вольтметр $V2$ класса точности 2,0 с диапазоном показаний (–50...50) В подключены к одному источнику напряжения. Измерения проводятся при нормальных условиях, погрешности отсчитывания пренебрежимо малы. $U_1 = 45,6$ В и $U_2 = 47,5$ В — показания $V1$ и $V2$ соответственно. Можно ли утверждать, что хотя бы один из вольтметров не отвечает указанному для него классу точности?

Задачи выдает преподаватель в конце практического занятия согласно графику учебного процесса. Для самостоятельного решения следует использовать литературу [3,4,7]. Форма отчётности – наличие решённых задач, представленных в рукописном виде, правильность выполнения которых проверяет преподаватель и делает соответствующие пометки в журнале.

2.3. Методика самостоятельной работы при контрольной работы

В структуре самостоятельной работы предусмотрено выполнение контрольной работы. Примерные тематики контрольных работ:

Вариант А

- Типовая схема производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии

- Тарифы, тарифные политики

Вариант Б

- Электроэнергия как товар, структура цены на электроэнергию

- Параметры счетчиков электроэнергии

Вариант В

- Общие требования к учету электроэнергии

- Устройство и работа счетчиков электроэнергии

Вариант Г

- Учет электроэнергии на промышленных предприятиях и в бытовой сфере

- Преимущества электронных счетчиков электроэнергии

Вариант Д

- Субъекты взаимоотношений в сфере коммерческого учета электроэнергии

- Установка и подключение счетчиков, наладка цепей учета. Схемы включения счетчиков активной и реактивной электроэнергии. Порядок и способы пломбирования счетчиков

Вариант Е

- Оптовый и розничный рынки электроэнергии

- Эксплуатация счетчиков электроэнергии, порядок поверки

Номер варианта выдаёт преподаватель на первой неделе обучения в 13 семестре.

При выполнении контрольной используют литературу [4, 7, 8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андреева Л., Осика Л.К. Коммерческий учет электроэнергии на оптовом и розничном рынках. М.: АВОК-Пресс, 2010;
2. Комков В., Тимахова Н. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве. М.: Инфра-М., 2010
3. Макоклюев Б. Анализ и планирование электропотребления. М.: Энергоатомиздат, 2008.
4. Осика Л.К. Промышленные потребители на рынке электроэнергии. Принципы организации деловых отношений. М.: [НЦ ЭНАС](#), 2010
5. Осика Л.К. Коммерческий и технический учет электрической энергии на оптовом и розничном рынках. – М.: Издательство Политехника, 2006. – 360 с.
6. Осика Л.К. Операторы коммерческого учета на рынках электроэнергии. Технология и организация деятельности. М.: [НЦ ЭНАС](#), 2007
7. Правила устройства электроустановок / 6-е и 7-е изд. перераб. и доп. с изменениями. М.: ЗАО «Энергосервис», 2006.
8. Рощин В. Схемы включения счетчиков электроэнергии. Издательство: М.: [НЦ ЭНАС](#), 2007
9. Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений. – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. – 189 с.