Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

Д. И. Зализный, О. Г. Широков

ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ПРАКТИКУМ
по выполнению лабораторных работ по одноименной дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения

Гомель 2021

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

УДК 621.38(075.8)
ББК 32.85я73
З-23

Рекомендовано научно-методическим советом энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого (*протокол № 5 от 28.01.2020 г.*)

Рецензент: доц. каф. «Информационные технологии» ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *В. С. Захаренко*

Зализный, Д. И.

З-23 Электроника и информационно-измерительная техника : практикум по выполнению лаборатор. работ по одноим. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / Д. И. Зализный, О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2021. – 99 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: https://elib.gstu.by. – Загл. с титул. экрана.

Содержит лабораторные работы, в которых рассмотрены основные методы измерения электрических и неэлектрических величин в системах электроснабжения с использованием электромеханических, электронных измерительных приборов и измерительных преобразователей.

Для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.38(075.8)
ББК 32.85я73

© Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», 2021

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Меры по технике безопасности

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.

2. В процессе работы некоторые соединительные провода, а также клеммы, находятся под опасным для жизни напряжением: 380 или 220 В. Поэтому необходимо соблюдать максимальную осторожность при выполнении лабораторной работы. А именно: не дотрагиваться до клемм при включенном напряжении (даже одной рукой), не производить записи в черновик на столе лабораторной установки.

3. Перед началом работы убедиться, что все вилки вынуты из розеток, а тумблеры стенда и всех приборов находятся в положении «отключено».

4. В случае чрезвычайной ситуации (попадания под напряжение или при появлении дыма) последовательность действий такова:

А) Выключить тумблер стенда и вынуть все вилки из розеток.

Б) Позвать преподавателя.

5. При сборке схем плотно зажимать все контакты.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 (4 часа)

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

Цель работы: ознакомиться с назначением и конструкцией измерительных трансформаторов напряжения и тока, изучить схемы подключения, а также методы измерения амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов.

Краткие теоретические сведения

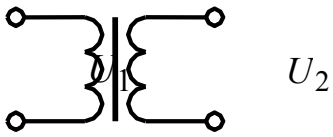
Измерительный трансформатор напряжения – это специальный понижающий трансформатор напряжения, предназначенный для измерения высоких значений напряжений (выше 220В) и осуществляющий гальваническое разделение цепей высокого напряжения от низковольтных измерительных приборов и реле. Наилучший режим для такого трансформатора – режим холостого хода. Аварийным является режим короткого замыкания. Измерительный трансформатор напряжения включается в цепь параллельно, а к его вторичной обмотке подключаются вольтметры, обмотки напряжения ваттметров, счетчиков электроэнергии, и другие приборы, имеющие *высокое* входное сопротивление.

Измерительный трансформатор тока – это специальный понижающий трансформатор тока, предназначенный для измерения высоких значений тока (выше 5А) и осуществляющий гальваническое разделение цепей высокого напряжения от низковольтных измерительных приборов и реле. Наилучший режим для такого трансформатора – режим короткого замыкания. Аварийным является режим холостого хода. Измерительный трансформатор тока включается в цепь последовательно, а к его вторичной обмотке подключаются амперметры, обмотки тока ваттметров, счетчиков электроэнергии, и другие приборы, имеющие *низкое* входное сопротивление.

Основными параметрами измерительных трансформаторов являются коэффициент трансформации $K_{\text{т}}$, номинальное первичное напряжение $U_{1.\text{н}}$ (или ток $I_{1.\text{н}}$), номинальное вторичное напряжение $U_{2.\text{н}}$ (или ток $I_{2.\text{н}}$), амплитудная f и угловая δ погрешности. Условные обозначения, а также основные расчетные соотношения для измерительных трансформаторов приведены на рис. 1.1.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Измерительный трансформатор напряжения



$$K_{\text{т}} = \frac{U_{1.\text{н}}}{U_{2.\text{н}}}$$

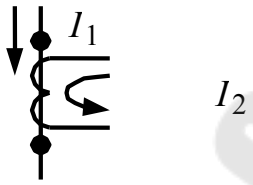
$$f = \frac{U_{2.\text{и}} - U_{2.\text{р}}}{U_{2.\text{р}}}$$

$$U_{2.\text{р}} = \frac{U_1}{K_{\text{т}}}$$

$$\delta = \left(U_{2.\text{и}} \wedge U_{2.\text{р}}\right)$$

а)

Измерительный трансформатор тока



$$K_{\text{т}} = \frac{I_{1.\text{н}}}{I_{2.\text{н}}}$$

$$f = \frac{I_{2.\text{и}} - I_{2.\text{р}}}{I_{2.\text{р}}}$$

$$I_{2.\text{р}} = \frac{I_1}{K_{\text{т}}}$$

$$\delta = \left(I_{2.\text{и}} \wedge I_{2.\text{р}}\right)$$

б)

Рис. 1.1

На рис. 1.1 обозначено: $U_{2.\text{и}}$ и $U_{2.\text{р}}$ - соответственно измеренное и расчетное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора напряжения; $I_{2.\text{и}}$ и $I_{2.\text{р}}$ - соответственно измеренное и расчетное значение тока вторичной обмотки трансформатора тока.

Амплитудная погрешность измеряется в относительных единицах или в процентах, а фазовая погрешность – в угловых минутах.

Номинальное вторичное напряжение для подавляющего большинства измерительных трансформаторов напряжения составляет $U_{2.\text{н}} = 100\,\text{В}$. Бывают также значения $U_{2.\text{н}} = \frac{100}{\sqrt{3}}\,\text{В}$ и $U_{2.\text{н}} = \frac{100}{3}\,\text{В}$. Значения номинального вторичного напряжения как правило равны классу напряжения электрической сети: 220В, 380В, 6кВ, 10кВ, и так далее.

Номинальный вторичный ток для подавляющего большинства измерительных трансформаторов тока составляет $I_{2.\text{н}} = 5\,\text{А}$. Бывают также значения $I_{2.\text{н}} = 1\,\text{А}$ и $I_{2.\text{н}} = 2\,\text{А}$.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Большая часть необходимой информации об измерительном трансформаторе находится на его щитке: схема подключения, номинальные значения величин, класс точности.

Значение амплитудной погрешности f измерительного трансформатора принимается равным его классу точности, если значения входных величин находятся в пределах от 80 до 120 % от номинальных значений. Соответствия между значениями амплитудных и фазовых погрешностей нормируются. Эти соответствия сведены для трансформаторов напряжения в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Соответствие амплитудных и фазовых погрешностей для измерительных трансформаторов напряжения

Класс точности	0,2	0,5	1
Амплитудная погрешность при напряжении $(0{,}8 \div 1{,}2)\cdot U_{1.н}$, %	±0,2	±0,5	±1,0
Угловая погрешность, мин.	±10	±20	±40

Измерительные трансформаторы являются измерительными преобразователями. И для них, как и для всех измерительных преобразователей, важной метрологической характеристикой является функция преобразования, или ***передаточная характеристика***, то есть зависимость выходного параметра от входного. В идеальном случае для измерительных трансформаторов эта зависимость должна быть линейной. Реально она несколько отличается от линейной. Поэтому нормируют ***погрешность нелинейности***, которая для измерительных трансформаторов напряжения определяется по формуле:

$$f_{\text{нл.тн}} = \frac{\Delta U_{2.\text{нл}}}{U_{2.\text{н}}}, \qquad (1.1)$$

где $\Delta U_{2.\text{нл}}$ – максимальная разность вторичных напряжений между идеальной и реальной передаточными характеристиками трансформатора напряжения.

Аналогично для трансформаторов тока:

$$f_{\text{нл.тт}} = \frac{\Delta I_{2.\text{нл}}}{I_{2.\text{н}}}, \qquad (1.2)$$

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

где $\Delta I_{2.нл}$ – максимальная разность вторичных токов между идеальной и реальной передаточными характеристиками трансформатора тока.

Пример определения погрешности нелинейности трансформатора напряжения приведен на рис. 1.2.

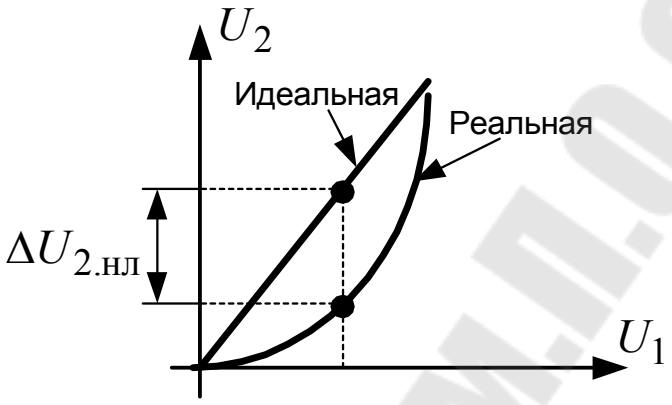


Рис. 1.2

Значение погрешности нелинейности передаточной характеристики не должно превышать значения класса точности трансформатора.

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из стенда, в состав которого входят: понижающий трансформатор (Т2), нагрузочные сопротивления (Rн.тн, Rн.тт), шунты (R1, R2, R3, R4) и клеммы для сборки схемы. Рядом со стендом находится лабораторный автотрансформатор – ЛАТР (Т1).

ЛАТР Т1 необходим для регулировки напряжения от 0 до 250 В. Понижающий трансформатор Т2 необходим для получения высоких значений тока при исследованиях трансформаторов тока и рассчитан на работу в режиме короткого замыкания (во сколько раз трансформатор понижает напряжение, во столько раз он повышает ток). Поэтому вторичную обмотку трансформатора Т2 можно рассматривать как источник тока.

Шунты (R1, R2, R3, R4) необходимы для расширения диапазонов измерения амперметров, имеющих предел измерения 1А.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

В процессе проведения измерений собственные погрешности средств измерения (кроме исследуемых трансформаторов) можно не учитывать.

Используемое оборудование

1. ЛАТР 220 В.
2. Измерительный трансформатор тока И515М - 1 шт.
3. Измерительный трансформатор тока И54 - 1 шт.
4. Измерительный трансформатор напряжения УТН-1 – 1 шт.
5. Вольтметр Э545 – 2 шт.
6. Амперметр Э537 с пределом 1А – 2 шт.
7. Электронный измеритель разности фаз Ф2-34 - 1 шт.
8. Измерительные кабели с делителями напряжения 1:350 – 2 шт.

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить лабораторную установку и найти на столе требуемое оборудование.
3. Выучить меры по технике безопасности.
4. Изучить инструкцию по эксплуатации электронного измерителя разности фаз: разделы «Указание мер безопасности», «Подготовка к работе» и «Порядок работы».
5. Изучить назначение выводов, изображенных на щитках измерительных трансформаторов напряжения и тока.

Порядок выполнения работы

Занятие 1
Исследование характеристик измерительного трансформатора напряжения

1. Соберите схему для исследования измерительного трансформатора напряжения TV, используя вольтметры PV1 и PV2, а также измеритель разности фаз Ф2-34, как показано на рис. 1.3. При этом номинальное значение напряжения первичной обмотки измерительного трансформатора установите 220 В, а номинальное значение напряжения вторичной обмотки установите в соответствии с заданием

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

преподавателя. **Внимание**! При подключении измерителя разности фаз к цепям измерения используйте специальные кабели с делителями напряжения 1:350, имеющие только один вывод. Второй контакт формируется посредством соединения корпуса прибора с нейтралью электрической сети непосредственно в розетке. **Внимание!** При подключении измерителя разности фаз к электрической сети используйте только розетку с контактом заземления (типа «евро»).

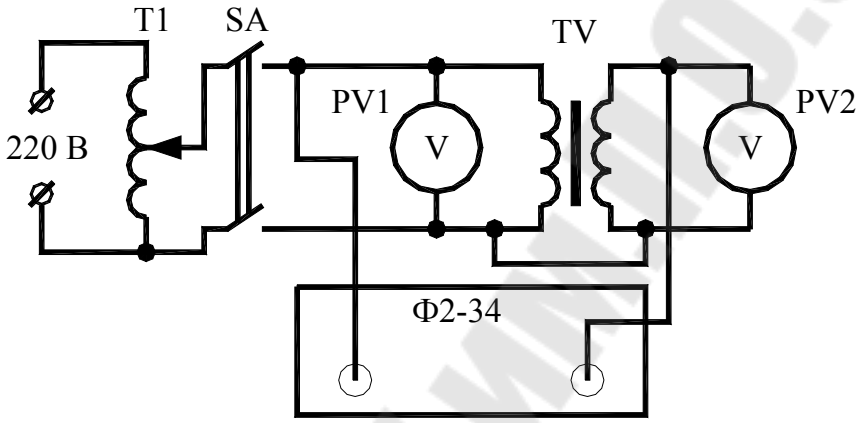


Рис. 1.3

2. Установите требуемые пределы измерения у вольтметров.

3. Убедитесь, что регулятор ЛАТРа находится в положении «Мин» и включите ЛАТР.

4. Включите стенд, установив тумблер SA в положение «Вкл».

Изменяя с помощью ЛАТРа значения входного напряжения от 0 до 250 В (не менее 12 значений!), записывайте показания вольтметров и измерителя разности фаз в режиме измерения абсолютной разности фаз.

5. Отключите стенд и ЛАТР, установив регулятор ЛАТРа в положение «Мин».

6. Рассчитайте коэффициент трансформации и амплитудную погрешность трансформатора для каждого из измерений, используя формулы, приведенные на рис. 1.1, а.

7. Определите класс точности трансформатора при изменении напряжения первичной обмотки от 80 до 120 % от номинального значения (220 В), приняв максимальное значение амплитудной погрешности в данном диапазоне.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

8. Аналогично определите класс точности трансформатора при изменении напряжения первичной обмотки ниже 80 % от номинального значения (220 В).

9. Таким же образом для обоих диапазонов (от 0 до 80 % от U_1 и от 80 до 120 % от U_1) определите угловые погрешности. Сравните их значения с данными в табл. 1.1.

10. Постройте передаточную характеристику измерительного трансформатора и определите погрешность нелинейности в соответствии с формулой (1.1).

11. Сделайте выводы о точности измерительного трансформатора.

12. Постройте графики зависимостей амплитудной и угловой погрешностей от напряжения первичной обмотки U_1 трансформатора. Объясните полученные зависимости.

13. Не разбирая ранее собранную схему, подключите к вторичной обмотке измерительного трансформатора напряжения TV сопротивление нагрузки $R_{\text{н.тн}}$ (100 Ом).

14. Включите ЛАТР и стенд, и проведите измерения и расчеты аналогично пунктам 3–13.

Занятие 2
Исследование характеристик измерительного трансформатора тока

1. Соберите схему для исследования измерительного трансформатора тока TA2 (И54), используя образцовый трансформатор тока TA1 (И515М), амперметры PA1 и PA2, а также шунты к ним R1–R4, как показано на рис. 1.4. При этом номинальные значения токов первичных обмоток измерительных трансформаторов установите в соответствии с заданием преподавателя.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

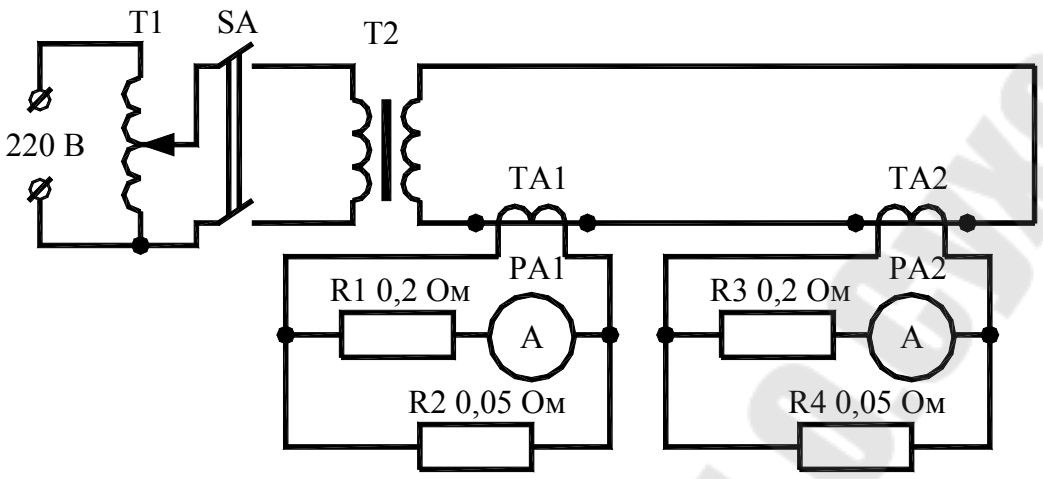


Рис. 1.4

2. Установите пределы измерения амперметров равными 1 А.

3. Продумайте, как работает эта схема и для чего нужен каждый из ее элементов. При необходимости проконсультируйтесь с преподавателем.

4. Рассчитайте предел измерения амперметров при токе вторичной обмотки трансформатора тока, равном 5А, с учетом шунтов, зная, что внутреннее сопротивление амперметра составляет 0,06 Ом.

5. Убедитесь, что регулятор ЛАТРа находится в положении «Мин» и включите ЛАТР.

6. Включите стенд, установив тумблер SA в положение «Вкл».

7. Изменяя с помощью ЛАТРа значения входного напряжения от 0 до 250 В (не менее 12 значений!), записывайте показания амперметров.

8. Отключите стенд и ЛАТР, установив регулятор ЛАТРа в положение «Мин».

9. Рассчитайте коэффициент трансформации образцового трансформатора тока $K_{\text{т.обр}}$.

10. Рассчитайте значения токов первичных обмоток трансформаторов тока для каждого из измерений по формуле: $I_1 = I_{\text{PA1}} \cdot K_{\text{т.обр}}$, где I_{PA1} - показания амперметра PA1 с учетом шунтов.

11. Рассчитайте коэффициент трансформации и амплитудную погрешность трансформатора для каждого из измерений, используя формулы, приведенные на рис. 1.1, *б*.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

12. Определите класс точности трансформатора при изменении тока первичной обмотки от 80 до 120 % от номинального значения (установлено на трансформаторе тока), приняв максимальное значение амплитудной погрешности в данном диапазоне.

13. Аналогично определите класс точности трансформатора при изменении тока первичной обмотки ниже 80 % от номинального значения.

14. Постройте передаточную характеристику измерительного трансформатора и определите погрешность нелинейности в соответствии с формулой (1.2).

15. Сделайте выводы о точности измерительного трансформатора.

16. Постройте график зависимости амплитудной погрешности от тока первичной обмотки I_1 трансформатора. Объясните полученные зависимости.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Схемы рис. 1.3 и 1.4.
3. Формулы, по которым велись расчеты, с подробными пояснениями.
4. Результаты измерений и выводы по ним.

Контрольные вопросы

1. Измерительные трансформаторы напряжения. Области применения, классы точности, особенности конструктивного исполнения и основные технические характеристики. Полная векторная диаграмма измерительного трансформатора напряжения.

2. Измерительные трансформаторы тока. Области применения, классы точности, особенности конструктивного исполнения и основные технические характеристики. Полная векторная диаграмма измерительного трансформатора тока.

3. Амплитудная и фазовая погрешности измерительных трансформаторов. Физический смысл, расчетные формулы, причины возникновения погрешностей.

4. Определение амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов тока и напряжения с помощью векторных диаграмм.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 (4 часа)

ОДНОФАЗНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ СЧЕТЧИК АКТИВНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы: ознакомиться с конструкцией, теорией и методикой поверки однофазных индукционных счетчиков электрической энергии.

Краткие теоретические сведения

Однофазный индукционный счетчик электроэнергии – это измерительный прибор, предназначенный для учета потребляемой электроэнергии однофазными электроприемниками.

Счетчик имеет две обмотки: обмотку напряжения и обмотку тока. Первая включается в цепь параллельно, а вторая – последовательно. Монтажная схема счетчика показана на рис. 2.1.

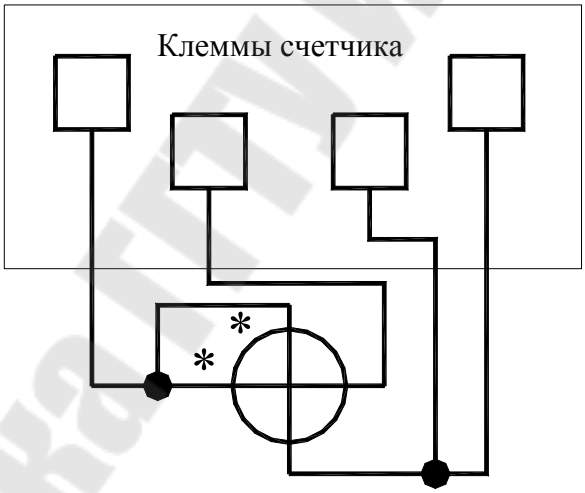


Рис. 2.1. Монтажная схема счетчика

На рис. 2.1 обмотки тока и напряжения счетчика показаны в виде ваттметра, то есть обмотка тока показана горизонтальным проводом ваттметра, а обмотка напряжения – вертикальным проводом. Символ «*» указывает на начало обмотки (полярность). Как видно из монтажной схемы, начало обмотки тока и обмотки напряжения соединены внутри счетчика и выведены на первую клемму. Вторая клемма – это конец (выход) обмотки тока. Третья и четвертая клеммы подключены к одной точке - концу обмотки напряжения. Это сделано для удобства

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

подключения: первая и третья клеммы подключаются к распределительному щитку, а вторая и четвертая клеммы – к нагрузке.

Основным параметром счетчика является его передаточное число N_0, которое указывается на его щитке как «1 кВт · час = N_0 оборотов диска». Зная N_0, можно рассчитать номинальную постоянную счетчика:

$$c_{\text{н}} = \frac{3600 \cdot 1000}{N_0}, \ \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{оборот}}. \qquad (2.1)$$

Электроэнергия, учитываемая счетчиком, рассчитывается по формуле

$$W_{\text{сч}} = c_{\text{н}} \cdot N_{\text{ср}}, \ \text{Вт} \cdot \text{с}. \qquad (2.2)$$

где $N_{\text{ср}}$ – среднее число оборотов диска счетчика за некоторый промежуток времени.

Сущность поверки индукционного счетчика заключается в сравнении его показаний с показаниями образцовых приборов – ваттметра и секундомера. Пусть $P_{\text{д}}$ - показания образцового ваттметра, а t показания секундомера. Тогда действительную электроэнергию, потребленную нагрузкой можно рассчитать по формуле

$$W_{\text{д}} = P_{\text{д}} \cdot t, \ \text{Вт} \cdot \text{с}. \qquad (2.3)$$

При этом поверка производится не менее чем при трех значениях мощности нагрузки с различными значениями коэффициента мощности $\cos\varphi$ и не менее трех раз при каждом значении мощности нагрузки. Результатом поверки является относительная погрешность счетчика:

$$\delta = \frac{W_{\text{д}} - W_{\text{сч}}}{W_{\text{сч}}}. \qquad (2.4)$$

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

В качестве величины δ принимают максимальное значение погрешности среди полученных значений этой погрешности в результате всех опытов.

Счетчик пригоден к эксплуатации, если:

$$\delta \le \delta_{кл}, \tag{2.5}$$

где $\delta_{кл}$ – класс точности счетчика (указывается на щитке).

Важной характеристикой счетчика является ***порог чувствительности***:

$$S_{сч} = \frac{I_{min}}{I_{ном}} \cdot 100, \%, \tag{2.6}$$

где: I_{min} – минимальный ток, при котором диск счетчика начинает безостановочно вращаться; $I_{ном}$ - номинальный ток счетчика (указывается на щитке). Значение порога чувствительности не должно превышать 0,5 % для счетчиков класса точности 1 и 2. В противном случае, счетчик можно считать не пригодным к эксплуатации.

Описание лабораторной установки

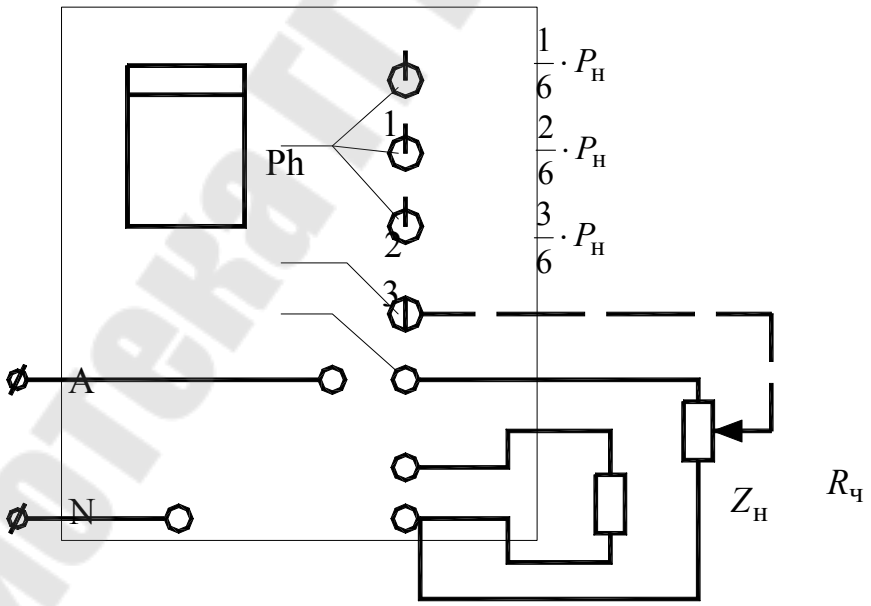


Рис. 2.2. Конструкция лабораторной установки

Конструкция лабораторной установки приведена на рис. 2.2. Лабораторная установка состоит из стенда, на котором расположены клеммы напряжения 220 В, автоматический выключатель, индукци-

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

онный счетчик Ph, переключатели мощности нагрузки 1, регулятор сопротивления порога чувствительности 2, клеммы для подключения схемы 3. **Внимание!** Сопротивления $Z_н$ и $R_ч$ подключены стационарно, поэтому при сборке схемы их клеммами как промежуточными пользоваться не допускается!

Используемое оборудование

1. Индукционный счетчик СО-И446.
2. Секундомер СТЦ-1 (или ручной в мобильном телефоне).
3. Амперметр Э539.
4. Вольтметр Э545.
5. Образцовый ваттметр Д5004.
6. Миллиамперметр Ц4311.

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить лабораторную установку и найти на столе требуемое оборудование.
2. Выучить меры по технике безопасности.
3. Изучить схему подключения индукционного счетчика, изображенную на его щитке, или на рис. 2.1.
4. Изучить назначение выводов и принцип определения цены деления образцового ваттметра, а также других приборов.
5. Изучить назначение органов управления секундомера.
6. Подготовить в черновике таблицу для результатов поверки счетчика, аналогичную табл. 2.1:

Таблица 2.1

Результаты поверки однофазного индукционного счетчика

t	$W_д$	N	$W_{сч}$	$W_{сч} - W_д$	δ	U	I
с	Вт · с	Обор.	Вт · с	Вт · с	%	В	А
$t_{ср}$ =		$N_{ср}$ =					
Еще 8 строк							

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

В таблице обозначено:

$P_д$ – показания образцового ваттметра; $P_{д.ср}$ – среднее значение показаний ваттметра, полученных за три измерения в рамках одной и той же нагрузки; t – время, за которое диск счетчика сделал целое число оборотов; $t_{ср}$ – среднее значение промежутков времени t, полученных за три измерения при одной и той же нагрузки; $W_д$ – действительная активная энергия, потребленная нагрузкой; N – количество полных оборотов диска счетчика за время t; $N_{ср}$ – среднее значение числа оборотов диска, полученное за три измерения в рамках одной и той же нагрузки; $W_{сч}$ – активная энергия, учтенная счетчиком; δ – погрешность учета активной энергии счетчиком; U – показания вольтметра; I – показания амперметра; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности нагрузки.

Порядок выполнения работы

1. Поверка счетчика

1.1 Соберите схему, изображенную на рис. 1.3. **Внимание!** Токовые цепи приборов необходимо подключать на предел 5 А.

1.2 Нажмите кнопку предела обмотки напряжения образцового ваттметра на уровень «300В».

1.3 Приготовьте секундомер.

1.4 Включите шнур питания трехфазной сети в розетку.

1.5 Выставьте с помощью тумблеров приближенное значение мощности нагрузки, в соответствии с заданием преподавателя.

1.6 Включите автоматический выключатель на стенде.

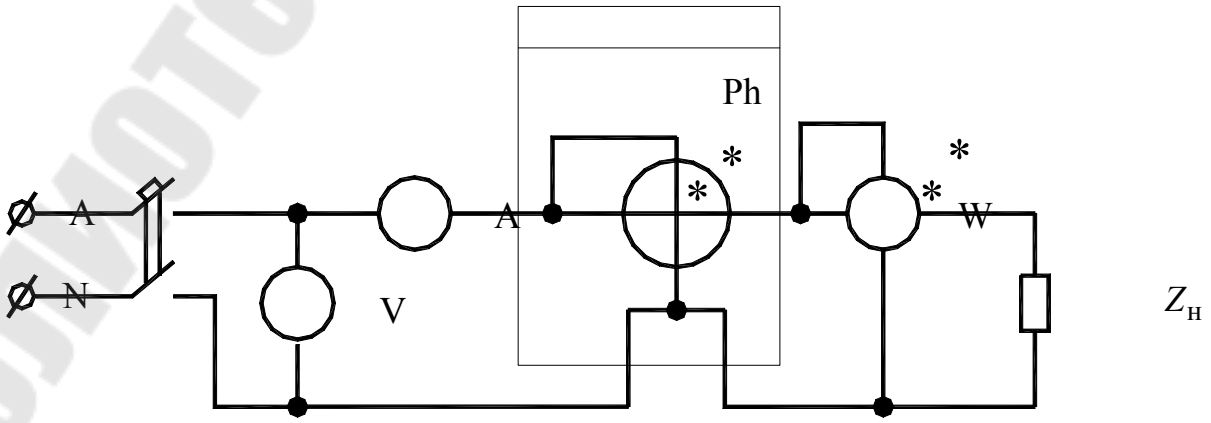


Рис. 2.3 Схема для поверки однофазного индукционного счетчика

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

1.7 Выберите целое число оборотов N диска счетчика, соответствующее времени t = 50 ... 60 секунд.

1.8 Отсчитайте точное значение времени t, соответствующее целому числу оборотов $\boldsymbol{N}$ диска счетчика, по секундомеру.

1.9 Занесите в табл. 2.1 значения величин t, N, $P_{д}$, U и I.

1.10 Повторите пункты 1.9–1.10 еще два раза для данной нагрузки.

1.11 Отключите автоматический выключатель на стенде.

1.12 Повторите пункты 1.6–1.12 еще два раза, в соответствии с значениями нагрузок, заданными преподавателем.

1.13 Рассчитайте необходимые величины по формулам (2.1)...(2.4), используя значения $P_{д.ср}$, $t_{ср}$ и $N_{ср}$. Результаты расчетов занесите в табл. 2.1.

1.14 Рассчитайте значения $\cos\varphi = \dfrac{P_{д.ср}}{U \cdot I}$.

1.15 Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации в соответствии с соотношением (2.5).

2. Определение порога чувствительности счетчика

2.1. Соберите схему, изображенную на рис. 2.4.

2.2. Продемонстрируйте собранную схему преподавателю.

2.3. Поверните регулятор сопротивления $R_{ч}$ в крайнее левое положение.

2.4. Включите автоматический выключатель на стенде.

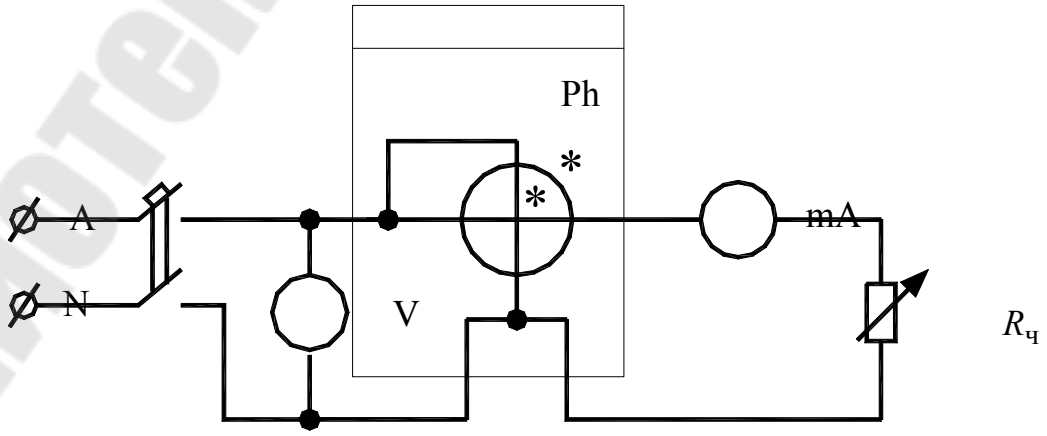


Рис. 2.4. Схема для определения порога чувствительности однофазного индукционного счетчика

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

2.5. Присмотритесь внимательно к диску счетчика. Если есть самоход, то дождитесь полной остановки диска (пока не произойдет взаимодействие крючка и флажка).

2.6. С помощью регулятора сопротивления $R_ч$ очень медленно повышайте ток нагрузки и следите за диском счетчика. В тот момент, когда диск начнет безостановочно вращаться, зафиксируйте значение тока I_{min}.

2.7. Поверните регулятор сопротивления $R_ч$ в крайнее левое положение.

2.8. Повторите пункты 2.5 ... 2.7 еще два раза.

2.9. Отключите автоматический выключатель на стенде.

2.10. Вычислите среднее значение тока I_{min}.

2.11. Рассчитайте значение порога чувствительности счетчика по формуле (2.6).

2.12. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации.

Содержание отчета

Отчет должен содержать цель работы, названия опытов, монтажную схему счетчика, исследуемые схемы, результаты измерений и расчетов, выводы.

Контрольные вопросы

1. Конструкция и принцип работы однофазного индукционного счетчика.
2. Векторная диаграмма и физические основы работы однофазного индукционного счетчика.
3. Тормозной и компенсационный моменты однофазного индукционного счетчика. Назначение, реализация.
4. Самоход индукционного счетчика. Причины возникновения и способы устранения.
5. Регулировки однофазного индукционного счетчика. Виды, реализация.
6. Принципы поверки и определения порога чувствительности однофазного индукционного счетчика.

Литература [2], [3].

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 (4 часа)

ИЗМЕРЕНИЕ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ В ТРЕХФАЗНЫХ ЦЕПЯХ

Цель работы: освоить принципы измерения активной мощности и энергии в низковольтных трехфазных цепях; ознакомиться с конструкцией, теорией и методикой испытаний трехфазных счетчиков электроэнергии.

Краткие теоретические сведения

Для измерения активной энергии в трехфазных четырехпроводных сетях используют метод одного или трех ваттметров. В случае трехпроводных сетей используют метод двух ваттметров.

Для метода двух ваттметров есть три варианта схем измерения. Они показаны на рис. 3.1.

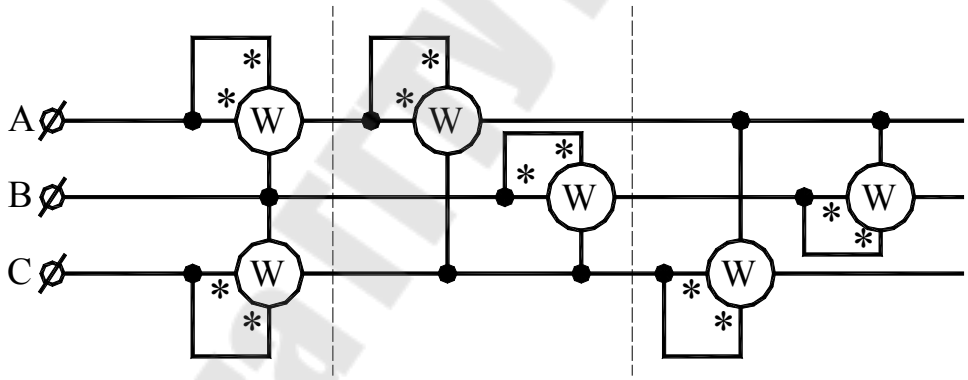


Рис. 3.1. Варианты схем измерения

Для получения результата в такой схеме показания ваттметров необходимо сложить.

Трехфазный счетчик электроэнергии – это измерительный прибор, предназначенный для учета потребляемой электрической энергии трехфазными электроприемниками. Существуют трехфазные счетчики активной и реактивной энергии, а также счетчики, измеряющие оба вида энергии.

По конструкции трехфазные счетчики бывают электромеханические (индукционные) и электронные (микропроцессорные).

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Электромеханический счетчик функционирует благодаря алюминиевым дискам, вращающимся в электромагнитном поле обмоток напряжения и тока.

Электронный счетчик работает путем измерения напряжений и токов аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и последующего выполнения математических расчетов в программном обеспечении своего микроконтроллера.

По типу схемы включения трехфазные счетчики бывают двухэлементными и трехэлементными.

Двухэлементный счетчик имеет две пары обмоток напряжения и тока и включается в трехфазную цепь по методу двух ваттметров.

Трехэлементный счетчик имеет три пары обмоток напряжения и тока и включается в трехфазную цепь по методу трех ваттметров.

Подавляющее большинство современных счетчиков электроэнергии являются трехэлементными, но могут быть использованы, как в двухпроводных, так и в трехпроводных электрических сетях.

Схема подключения трехэлементного счетчика электроэнергии к трехфазной трехпроводной электрической сети показана на рис. 3.2.

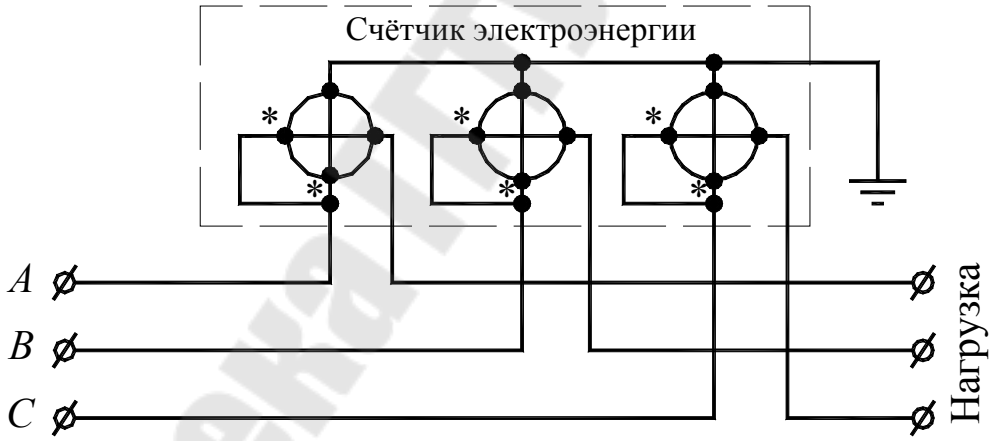


Рис. 3.2. Схема подключения трехэлементного счетчика электроэнергии к трехфазной трехпроводной электрической сети

Элементы счетчика изображены в виде окружностей, в которых горизонтальный провод – это обмотка тока, а вертикальный провод – обмотка напряжения.

Символом «*» на схеме показаны входы обмоток напряжения и тока элементов счетчика.

В схеме на рис. 3.2 входы обмоток напряжения и тока закорочены внутри счетчика специальными металлическими накладками. Та-

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

кая схема называется схемой прямого включения. Если же эти накладки из счетчика убрать, то получим схему трансформаторного включения, то есть схему, позволяющую подключать счетчик к высоковольтным линиям электропередачи через измерительные трансформаторы напряжения и тока.

Рассмотрим способы проверки правильности показаний электронного счетчика электроэнергии. Есть два основных способа:

– проверка с помощью сигнального светодиода;

– проверка с помощью средней мощности, вычисляемой счетчиком.

На лицевой панели счетчика имеется сигнальный светодиод, частота миганий которого пропорциональна потребляемой нагрузкой электроэнергии (активной или реактивной – в зависимости от типа счетчика) в соответствии с **передаточным числом**:

$$N_0 = \frac{N}{W_{\text{сч}}}, \tag{3.1}$$

где: N – количество миганий светодиода за интервал времени Δt; $W_{\text{сч}}$ – энергия, учтенная счетчиком за интервал времени Δt.

Значение N_0 указывается на лицевом щитке счетчика в размерности: имп./кВт · ч (импульсов на киловатт-час).

Зная N_0 и N, из формулы (3.1) можно найти значение $W_{\text{сч}}$.

Также на дисплее счетчика отображается среднее значение мощности $P_{\text{ср}}$, рассчитанное за некоторый интервал времени Δt. Чаще всего по умолчанию $\Delta t = 1$ мин. Тогда в первом приближении, то есть с точностью до 1 минуты, можно определить значение энергии, учтенной счетчиком:

$$W_{\text{сч1}} = P_{\text{ср}} \cdot \Delta t. \tag{3.2}$$

Сущность поверки трехфазного счетчика заключается в сравнении его показаний с показаниями образцовых приборов – ваттметров и секундомера. Пусть $P_{\text{д}}$ – сумма показаний образцовых ваттметров, а Δt показания секундомера. Тогда действительную электроэнергию, потребленную нагрузкой можно рассчитать по формуле

$$W_{\text{д}} = P_{\text{д}} \cdot \Delta t, \text{ Вт} \cdot \text{с}. \tag{3.3}$$

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

При этом поверка производится не менее чем при трех значениях мощности нагрузки с различными значениями коэффициента мощности $\cos\varphi$ и не менее трех раз при каждом значении мощности нагрузки. Результатом поверки является относительная погрешность счетчика:

$$\delta = \frac{W_{\text{д}} - W_{\text{сч}}}{W_{\text{сч}}}. \qquad (3.4)$$

Также величину δ можно рассчитать на основе формулы (3.2):

$$\delta = \frac{W_{\text{д}} - W_{\text{сч1}}}{W_{\text{сч1}}}. \qquad (3.5)$$

В качестве величины δ принимают максимальное значение погрешности среди полученных значений этой погрешности в результате всех опытов.

Счетчик пригоден к эксплуатации, если:

$$\delta \le \delta_{\text{кл}}, \qquad (3.6)$$

где $\delta_{\text{кл}}$ - класс точности счетчика (указывается на лицевой панели).

Поверка счетчика выполняется, если в испытательной установке имеется стабильное напряжение, стабильная нагрузка и достаточно точные образцовые приборы.

Описание лабораторной установки

Внешний вид лабораторного стенда показан на рис. 3.3.

Лабораторная установка состоит из лабораторного стенда и нагрузочного устройства в виде электродвигателя с электромагнитным тормозом, расположенных под стендом (найдите их).

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

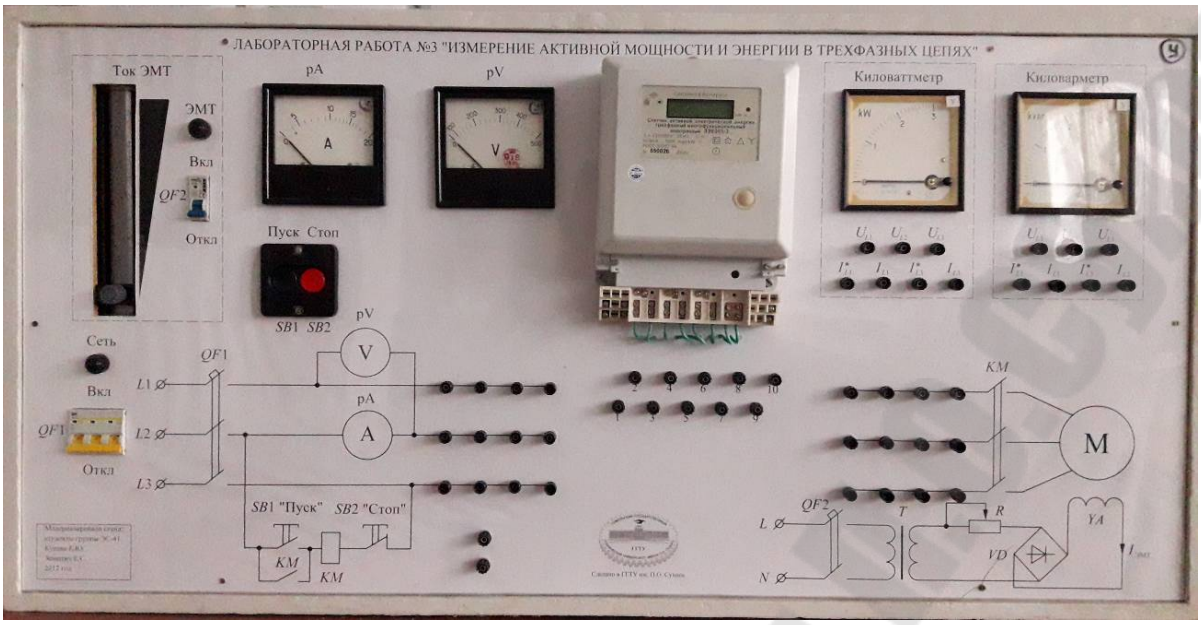


Рис. 3.3. Внешний вид лабораторного стенда

На лабораторном стенде расположены: клеммы трехфазного напряжения с линейным значением 220 В, трехфазный автоматический выключатель QF1, кнопки электромагнитного пускателя «Пуск» и «Стоп», однофазный автоматический выключатель электромагнитного тормоза QF2, регулятор тока через электромагнитный тормоз (регулировочный реостат «Ток ЭМТ»), вольтметр PV, амперметр PA, трехэлементный трехфазный счетчик активной энергии ЭЭ8005/2 и его контакты 1–10, киловаттметр и его контакты, киловарметр и его контакты.

Трехфазное сетевое напряжение с линейным значением 220 В поступает на схему лабораторной установки через автоматический выключатель QF_1. Наличие напряжения можно контролировать с помощью вольтметра и сигнальной лампы.

Непосредственно на зажимы стенда напряжение подается через магнитный пускатель КМ при нажатии кнопки SB_1 «Пуск». При этом все силовые контакты магнитного пускателя замыкаются.

В случае нажатия кнопки SB_2 «Стоп», подача напряжения на обмотку магнитного пускателя прекращается, и его контакты размыкаются. В данном положении пускателя напряжение на зажимы стенда не поступает.

В лабораторной работе в качестве нагрузки используется асинхронный трехфазный электродвигатель М, активная составляющая тока которого может регулироваться при помощи электромагнитного

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

тормоза (ЭМТ). Напряжение на ЭМТ подается через автоматический выключатель QF_2 и регулировочный реостат R.

Для реализации электромагнитного торможения на валу двигателя в зазоре катушек ЭМТ укреплен диск из электропроводящего материала. Вращаясь, диск пересекает магнитное поле ЭМТ. При этом, в диске наводятся вихревые токи (токи Фуко), значение которых пропорционально току ЭМТ. Вихревые токи, взаимодействуя с магнитным полем ЭМТ, создают тормозной момент, значение которого можно регулировать, изменяя ток ЭМТ.

Монтажная схема подключения счетчика электроэнергии ЭЭ8005/2 к клеммам лабораторного стенда показана на рис. 3.4.

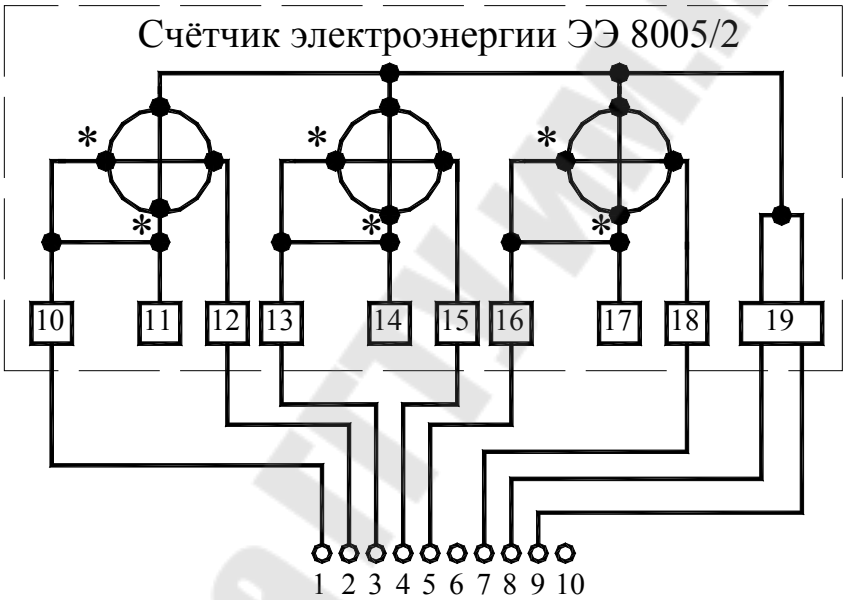


Рис. 3.4. Монтажная схема подключения счетчика

Внешнее питание на стенд подается с помощью автоматического выключателя, расположенного в отдельной коробке.

Внимание! Внешнее питание на стенд подает только преподаватель!

Внимание! В процессе работы запрещается открывать ограждение электродвигателя!

Внимание! Во время работы электродвигателя может наблюдаться достаточно сильный шум, но тихого низкого гула и металлического звона быть не должно. При обнаружении таких явлений нужно немедленно нажать кнопку «Стоп».

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Во время пуска электродвигателя показания амперметра могут выходить за пределы шкалы. Пуск должен длиться не более 5 с. Перед пуском необходимо убедиться, что ЭМТ отключен.

Порядок остановки работающего электродвигателя:

1. Включить ЭМТ и с помощью реостата установить максимальный ток ЭМТ.
2. Нажать кнопку «Стоп».
3. Дождаться полного останова ротора электродвигателя.

Используемое настольное оборудование

1. Образцовый ваттметр ЦЛ8516/2 – 2 шт.
2. Секундомер (можно в смартфоне).

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучите теоретические сведения.
2. Изучите лабораторную установку, принципы ее работы, и найдите на столе требуемое оборудование.
3. Изучите порядок пуска и остановки электродвигателя.
4. Выучите меры по технике безопасности.
5. Изучите монтажную схему подключения электронного счетчика, изображенную на обратной стороне крышки его зажимов, или на рис. 3.4.
6. Изучите ход работы.
7. Подготовьте в черновике таблицу для результатов исследования счетчика, аналогичную табл. 3.1.

Порядок выполнения работы

Занятие 1
Измерение активной мощности в трехпроводной низковольтной электрической сети

1. Получите у преподавателя требуемые фазы включения ваттметров.
2. Соберите схему по методу двух ваттметров, включив их в требуемые фазы в соответствии с рис. 3.1, а также подключив киловаттметр как показано на рис. 3.5 для случая включения ваттметров в

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

фазы А и С. **Внимание!** Токовые цепи киловаттметра необходимо подключать только в фазы А и С.

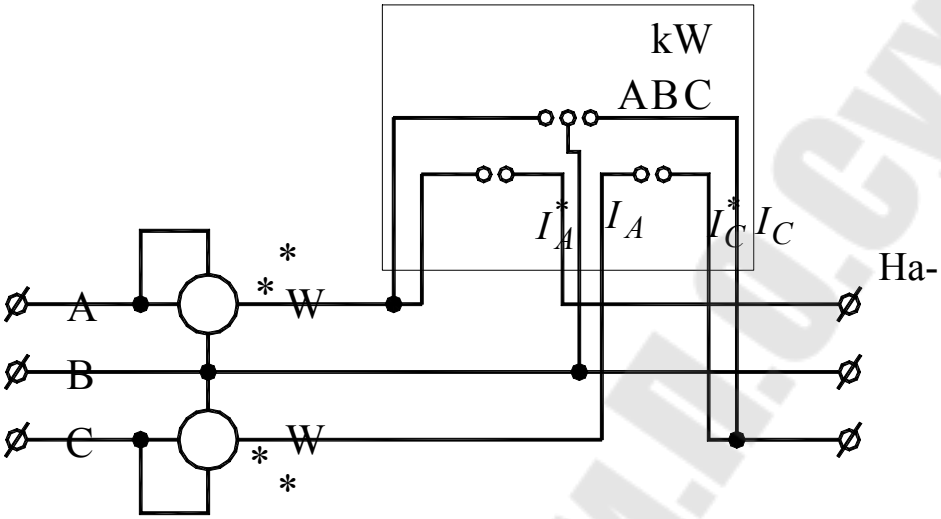


*Рис. 3.*5. Схема для измерения активной мощности

3. Включите питание образцовых ваттметров.

4. Нажимая кнопку «Режим», установите на ваттметрах режим «W».

5. Установите регулировочный реостат РМТ в положение минимального тока ЭМТ.

6. Убедитесь, что преподаватель подал внешнее питание на стенд.

7. Включите трехфазный автоматический выключатель QF_1. Убедитесь по вольтметру, что напряжение подано на схему стенда.

8. Нажмите кнопку «Пуск» магнитного пускателя. При этом должен запуститься асинхронный электродвигатель. Контролируйте процесс запуска по амперметру (пусковой ток двигателя превышает 10 А). Время запуска около 2 секунд. По окончании запуска ток не должен быть более 5 А. **Внимание!** Если после нажатия кнопки «Пуск» двигатель не запустился, а слышен низкочастотный гул, необходимо немедленно нажать кнопку «Стоп» и позвать преподавателя.

9. Включите автоматический выключатель QF_2.

10. Изменяя регулировочным реостатом мощность нагрузки электродвигателя, записывайте показания образцовых ваттметров и киловаттметра (не менее 5 измерений).

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

11. Установите регулировочный реостат в положение максимального тока ЭМТ.

12. Нажмите кнопку «Стоп» магнитного пускателя и дождитесь полной остановки двигателя.

13. Установите регулировочный реостат в положение минимального тока ЭМТ и отключите автоматический выключатель QF_2.

14.Отключите трехфазный автоматический выключатель.

15. Рассчитайте среднюю относительную погрешность для киловаттметра.

Занятие 2
Проверка правильности показаний электронного счетчика электроэнергии

16. Соберите схему для испытаний трехфазного счетчика, приведенную на рис. 3.5, используя его монтажную схему подключения на рис. 3.4.

17. Получите у преподавателя значения трех нагрузок для проведения измерений.

18. Включите питание образцовых ваттметров.

19. Нажимая кнопку «Режим», установите на ваттметрах режим «W».

20. Установите регулировочный реостат РМТ в положение минимального тока ЭМТ.

21. Убедитесь, что преподаватель подал внешнее питание на стенд.

22. Включите трехфазный автоматический выключатель QF_1. Убедитесь по вольтметру, что напряжение подано на схему стенда.

23. Нажмите кнопку «Пуск» магнитного пускателя. При этом должен запуститься асинхронный электродвигатель. Контролируйте процесс запуска по амперметру (пусковой ток двигателя превышает 10 А). Время запуска около 3 секунд. По окончании запуска ток не должен быть более 5 А. **Внимание!** Если после нажатия кнопки «Пуск» двигатель не запустился, а слышен низкочастотный гул, необходимо немедленно нажать кнопку «Стоп» и позвать преподавателя.

24. Убедитесь, что на дисплее счетчика появились циклически меняющиеся экраны, а сигнальный светодиод медленно мигает.

25. Запишите показания со всех экранов счетчика.

26. Включите автоматический выключатель QF_2 ЭМТ.

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

27. По киловаттметру с помощью регулировочного реостата установите приближенное значение мощности нагрузки в соответствии с заданием преподавателя.

28. Выберите целое число миганий N сигнального светодиода счетчика, соответствующее времени t = 50 ... 70 секунд.

29. Наблюдая за светодиодом, отсчитайте по секундомеру точное значение времени t, соответствующее целому числу миганий N светодиода.

30. Занесите в табл. 3.1 значения величин t, N, $P_{д1}$, $P_{д2}$ и Q. При этом значения $P_{д1}$ и $P_{д2}$ записывайте с учетом знака.

31. Запишите значение средней мощности (мощность за 1мин) $P_{ср}$ с дисплея счетчика.

32. Повторите пункты 29–31 еще два раза для данной нагрузки, не отключая стенд.

33. Повторите пункты 27–32 еще два раза, в соответствии с значениями нагрузок, заданными преподавателем.

34. Снова спишите показания со всех дисплеев счетчика и сравните их с предыдущими показаниями.

35. Установите регулировочный реостат в положение максимального тока ЭМТ.

36. Нажмите кнопку «Стоп» магнитного пускателя и дождитесь полной остановки двигателя.

37. Установите регулировочный реостат в положение минимального тока ЭМТ и отключите автоматический выключатель QF_2.

38. Отключите трехфазный автоматический выключатель.

39. Спишите значение передаточного числа N_0 счетчика с его лицевой панели.

40. Рассчитайте необходимые величины по формулам (3.1)–(3.5) и занесите их в табл. 3.1.

41. Вычислите значения $\cos\varphi$ по формуле

$$\cos\varphi = \frac{P_д}{\sqrt{P_д^2 + Q^2}}.$$

42. Занесите вычисленные значения в табл. 3.1.

43. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации в соответствии с соотношением (3.6).

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Таблица 3.1

Результаты испытаний трехфазного электронного счетчика электроэнергии

№ изм	$P_{д1}$	$P_{д2}$	$P_д = P_{д1} + P_{д2}$	Δt	$W_д$	N	$W_{сч}$	$\delta_{сч}$	$P_{ср}$	$W_{сч1}$	$\delta_{сч1}$	Q	$\cos\varphi$
	Вт	Вт	Вт	с	Вт · с	Имп.	Вт · с	%	Вт	Вт · с	%	ВАР	
1													
2													
3													
Средние значения $\delta_{сч}$, % и $\delta_{сч1}$, %													
4													
5													
6													
Средние значения $\delta_{сч}$, % и $\delta_{сч1}$, %													
7													
8													
9													
Средние значения $\delta_{сч}$, % и $\delta_{сч1}$, %													

В таблице обозначено: $P_{д1}$, $P_{д2}$ – соответственно показания первого и второго образцовых ваттметров; Δt – время, за которое светодиод сделал целое число миганий; $W_д$ – действительная активная электроэнергия, потребленная нагрузкой; N – количество миганий светодиода за время Δt; $W_{сч}$ – активная энергия, учтенная счетчиком; $\delta_{сч}$ - погрешность счетчика на основе показаний сигнального светодиода; $P_{ср}$ – значение средней мощности, отображаемое на дисплее счетчика; $W_{сч1}$ – активная энергия, учтенная счетчиком; $\delta_{сч1}$ - погрешность учета активной электроэнергии счетчиком на основе измерений средней мощности; Q – показания киловарметра; $\cos\varphi$ - коэффициент мощности нагрузки.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

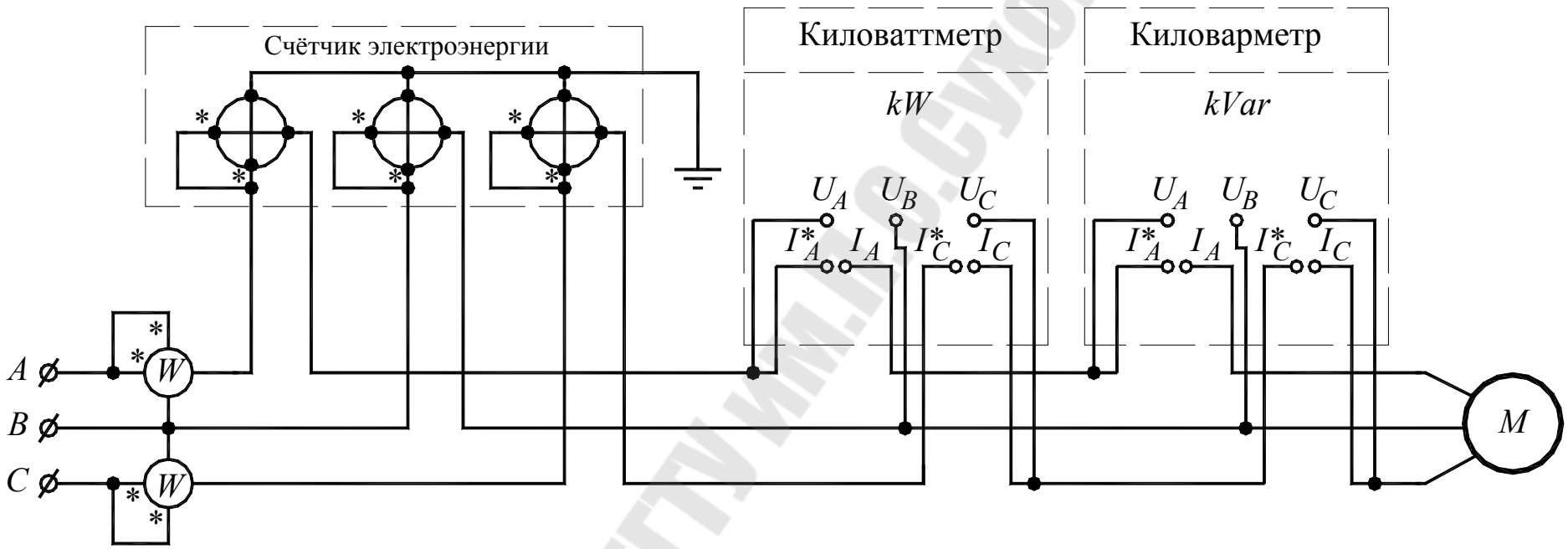


Рис. 3.5. Схема для исследований

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Структура отчета

Цель работы; название опыта; схема опыта; краткие комментарии к ходу работы; результаты измерений; расчетные формулы; результаты расчетов, выводы.

Контрольные вопросы

1. Измерение мощности в трехфазной трехпроводной электрической сети.
2. Измерение мощности в трехфазной четырехпроводной электрической сети.
3. Общие принципы функционирования электромеханических (индукционных) трехфазных счетчиков электроэнергии.
4. Общие принципы функционирования электронных (микропроцессорных) трехфазных счетчиков электроэнергии.
5. Непосредственное подключение трехфазного счетчика электроэнергии к трехфазной трехпроводной электрической сети.
6. Методика испытаний трехфазного электронного счетчика электроэнергии на основе контроля сигнального светодиода.
7. Методика испытаний трехфазного электронного счетчика электроэнергии на основе контроля средней мощности.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 (4 часа)

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Цель работы: Изучить схемы подключения, а также методы измерений сопротивлений обмоток и изоляции электрических машин.

Краткие теоретические сведения

Измерение сопротивления обмоток электрических машин и трансформаторов постоянному току рекомендуется проводить:

- методом вольтметра и амперметра;
- методом одинарного (Уинстона) или двойного (Томсона) моста; ГОСТ 11828
- методом омметра логометрической системы.

Для измерения сопротивлений обмоток трансформаторов используются первые два метода.

При проведении измерений обмотки должны находиться в практически холодном состоянии, при котором их отдельные части имеют близкие температуры, отличающиеся от температуры окружающей среды не более чем на 3 °С. У неподвижных обмоток измерения проводят непосредственно на их выводах, а у вращающихся - на коллекторе или контактных кольцах так, чтобы исключить из результата сопротивление скользящего контакта.

Схемы измерения сопротивления *методом вольтметра и амперметра* приведены на рис. 4.1. Если сопротивление вольтметра отличается от измеряемого сопротивления менее чем в 100 раз, то для исключения методической ошибки истинное значение сопротивления рассчитывается по формуле

$$r_и = U/(I - U/r_в), \qquad (4.1)$$

где U – измеренное падение напряжения, В; I – измеренный ток. А:

$r_в$ – входное сопротивление вольтметра, Ом.

Каждое сопротивление обмоток должно быть измерено не менее трех раз при различных значениях тока. Результаты измерения одного и того же сопротивления не должны отличаться от среднего значения более чем на 0,5 %.

Измерение сопротивления многофазных обмоток при наличии выводов начал и концов фаз производится пофазно, а при наличии отдельных выводов от частей фаз - отдельно для каждой части.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Если выводы начал и концов фаз отсутствуют, то сопротивление следует измерять между каждой парой линейных выводов. При соединении фаз в звезду (рис. 4.1, *б)* сопротивление фазы r_1 прилегающей к выводу C_1, определяется по формуле

$$r_1 = (r_{31} + r_{12} - r_{23})/2,$$

где r_{31} r_{12} r_{23} – сопротивления, измеренные соответственно между выводами C_3 и C_1, C_1 и C_2, C_2 и C_3, Ом.

При соединении фаз в треугольник сопротивление фазы г, между выводами C и C_2 (рис. 4.1, *в*) определяется по формуле

$$r_1 = \frac{2r_{12}r_{23}}{r_{12} + r_{23} - r_{31}} - \frac{r_{12} + r_{23} - r_{31}}{2}.$$

По аналогичным формулам с круговой перестановкой соответствующих индексов рассчитываются сопротивления других фаз.

Если расхождения в измеренных значениях сопротивлений r_{31} r_{12} r_{23} не превышают 2 % при соединении фаз в звезду или 1,5 % при соединении фаз в треугольник, то сопротивление фазы рекомендуется определять по упрощенным формулам: при соединении фаз в звезду $r_1 = r_и/2$; при соединении фаз в треугольник $r_1 = 3\ r_и/2$, где $r_и$ – среднее арифметическое значение трех сопротивлений, измеренных между линейными выводами, Ом.

В качестве источника питания измерительной схемы применяют батареи аккумуляторов или гальванических элементов, отдельный генератор постоянного тока, сеть постоянного тока неизменного напряжения или статический выпрямитель, питаемый от сети переменного тока неизменного напряжения.

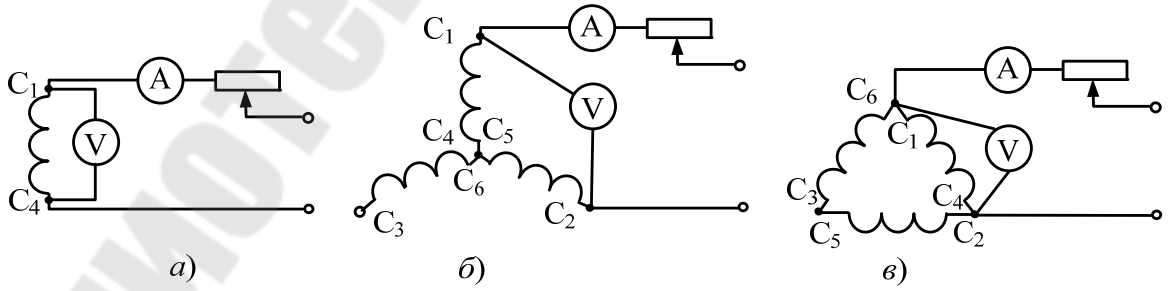


Рис. 4.1. Схемы измерения сопротивления обмоток методом вольтметра и амперметра:
а – отдельная обмотка; *б* – при схеме Y; *в* – при схеме Δ

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Значение постоянного тока выбирается таким образом, чтобы адиабатное повышение температуры проверяемой обмотки за время испытаний не превышало 1 °С. Скорость адиабатного повышения температуры

$$\Delta Q/\Delta t = j^2/k, \qquad (4.2)$$

где j – плотность тока в обмотке при измерении сопротивления, А/мм^2; k = 200 для обмоток из меди; k = 86 для обмоток из алюминия.

Если сечение провода обмотки неизвестно, то значение измеряемого тока не должно превышать 15–20 % от номинального, а время измерений – 1 мин.

Поскольку обмотки электрических машин обладают индуктивностью, ток при измерениях устанавливается не одновременно с подачей напряжения. Поэтому отсчет показаний приборов следует производить только после окончания переходного процесса, о чем можно судить по прекращению изменения показаний амперметра или моста. Если обмотка имеет большую постоянную времени, то используются схемы с форсированием тока.

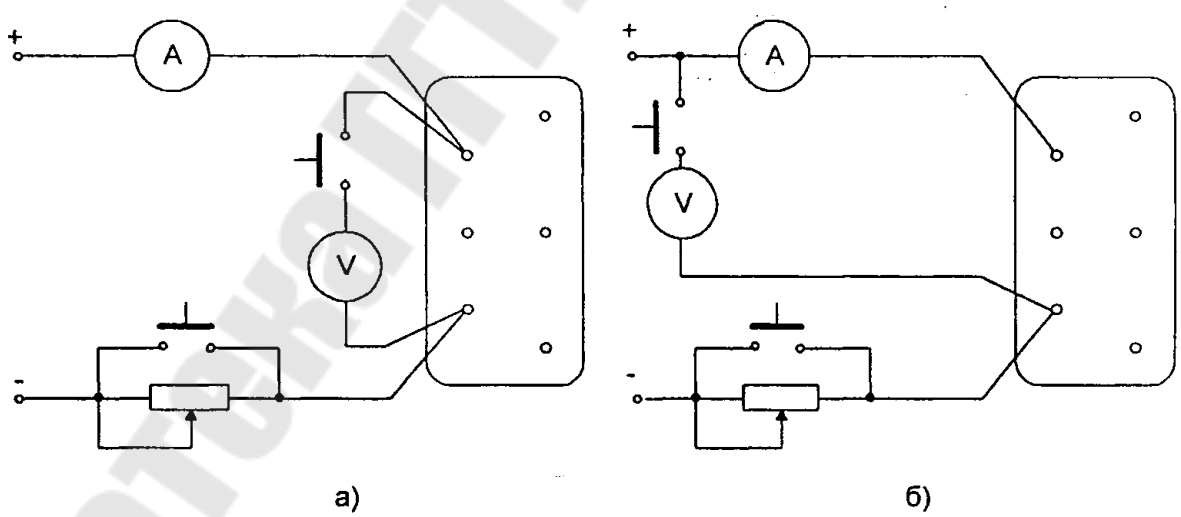


Рис. 4.2. Схема измерения сопротивления постоянному току обмоток трансформатора методом амперметра-вольтметра: *а* – для малых сопротивлений; *б* – для больших сопротивлений

Рекомендуется проводить 3–5 измерений при различных значениях тока. За результат, в данном случае, принимается среднее значение измеренных сопротивлений.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

При измерениях сопротивления в цепях, обладающих большой индуктивностью, вольтметр следует подключать после того как ток в цепи установится, а отключать до разрыва цепи тока. Это необходимо делать для того, чтобы исключить возможность повреждения вольтметра от ЭДС самоиндукции цепи измерения.

При использовании для измерений одинарного моста к искомому сопротивлению обмоток добавляется сопротивление контактов и соединительных проводов, в связи с чем одинарный мост рекомендуется применять при измерении сопротивлений, превышающих 1 Ом. Применение двойного моста обеспечивает наивысшую точность измерения сопротивления. Если тепловое состояние различных частей обмотки контролируется с помощью датчиков температуры, устанавливаемых на обмотку, то за температуру обмотки принимают среднеарифметическое значение показаний датчиков, если эти показания изменяются не более чем на 1 °С в час и отличаются от среднего значения не более чем на 2 °С.

Определение сопротивления обмоток постоянному току в практически холодном состоянии предусмотрено программой приемосдаточных испытаний, хотя большинство электрических машин не снабжаются датчиками температуры обмоток. В этом случае температуру обмоток определяют следующими способами:

в электрической машине, оборудованной датчиками температуры отдельных ее частей, за температуру обмотки принимают среднеарифметическое значение показаний датчиков, если оно не изменяется более чем на 1 °С за 4 ч при изменении сопротивления обмотки не более чем на 0,5 %;

в электрической машине, не оборудованной датчиками температуры, температуру обмотки принимают равной температуре поверхности машины (корпуса или подшипниковых щитов), если эта температура изменяется не более чем на 1 °С за 8 ч при изменении сопротивления обмотки за то же время не более чем на 0,5 %;

в электрической машине, не оборудованной датчиками температуры, температуру обмотки принимают равной температуре окружающей среды во время измерений, если перед этим машина находилась в нерабочем состоянии длительное время, в течение которого температура окружающей среды изменилась не более чем на 5 ^{o}С.

Результаты измерений сопротивления постоянному току должны сравниваться только при одной и той же температуре. Пересчет сопротивления на другую температуру производят по формуле

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{(K + t_2)}{(K + t_1)};$$

где R_1 – сопротивление, измеренное при температуре t_1; R_2 – сопротивление, приводимое к температуре t_2; K – коэффициент, равный 245 для обмоток из алюминия, и 235 – из меди.

За температуру обмотки масляных трансформаторов полностью собранных и за литых маслом принимается установившаяся температура верхних слоев масла. Для сухих трансформаторов и сердечников масляных трансформаторов, вынутых из масла, за температуру обмотки может быть принята температура окружающего воздуха, если трансформатор находился в данных условиях не менее 12 час.

Отметим, что в рассмотренных случаях направление изменения температуры и сопротивления обмотки должно совпадать. Применение последнего способа, хотя и достаточно широко распространено, не всегда правомерно, так как постоянная времени нагрева (охлаждения) электрических машин, как правило, составляет несколько часов, в то время как суточные колебания температуры могут существенно превышать допустимые 5 ^{o}C.

Измерение сопротивления изоляции обмоток выполняют относительно корпуса электрической машины и между обмотками. Измерение производится мегомметром, который представляет собой маломощный высоковольтный генератор постоянного тока. Выпускаются мегомметры класса напряжения 500, 1000 и 2500 В.

В соответствии с требованиями ГОСТ 11828 измерение сопротивления изоляции вращающихся электрических машин следует производить мегомметрами класса 500 В, если напряжение обмотки до 500 В включительно, и мегомметрами класса не ниже 1000 В, если номинальное напряжение обмотки выше 500 В. Для измерения сопротивления изоляции обмоток трансформаторов используются мегомметры класса 1000 В для трансформаторов класса до 35 кВ и мощностью менее 16 МВ А и класса 2500 В для остальных трансформаторов.

При измерении сопротивления изоляции обмоток крупных вращающихся электрических машин и трансформаторов, которые обладают значительной емкостью (между обмотками и на корпус), следует применять электронные мегомметры или мегомметры с моторным приводом, поскольку время переходного процесса, определяемое значением емкости, может достигать нескольких минут. Отсчет сопро-

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

тивления изоляции следует производить дважды: через 15 и 60 с после появления на обмотках напряжения, при котором производятся измерения. Измерение сопротивления изоляции производится как в практически холодном, так и в нагретом состоянии при температуре обмоток, близкой к рабочей, а также до и после испытаний изоляции обмоток на электрическую прочность. В результате измерений помимо сопротивления изоляции, соответствующему измерению через 60 с ($R_{60''}$), определяют коэффициент абсорбции

$$К_{аб} = R_{60''}/R_{15''}. \qquad (4.3)$$

Сопротивление изоляции относительно корпуса машины и между фазами следует измерять поочередно для каждой цепи. имеющей отдельные выводы, при электрическом соединении всех прочих цепей с корпусом машины. По окончании измерений сопротивления изоляции каждой цепи ее следует разрядить, соединив с заземленным корпусом машины. Длительность такого соединения для машин с обмотками на номинальное напряжение 3000 В и выше составляет 15 с или 1 мин для машин мощностью до 1 МВт или более 1 МВт соответственно. При использовании мегомметра класса 2500 В длительность соединения обмоток с корпусом составляет не менее 3 мин.

При измерении сопротивления изоляции обмоток электрических машин относительно корпуса (рис. 4.3, *а*) нулевой вывод мегомметра соединяется с заземленным корпусом машины (через болт заземления), а высоковольтный вывод – с одним из выводов обмотки. Обмотки фаз, не участвующие в измерении, заземляются. При измерении сопротивления изоляции между обмотками (рис. 4.3, *б*) порядок присоединения выводов мегомметра к выводам обмотки произвольный. Аналогичная схема используется для измерения сопротивления изоляции трансформаторов.

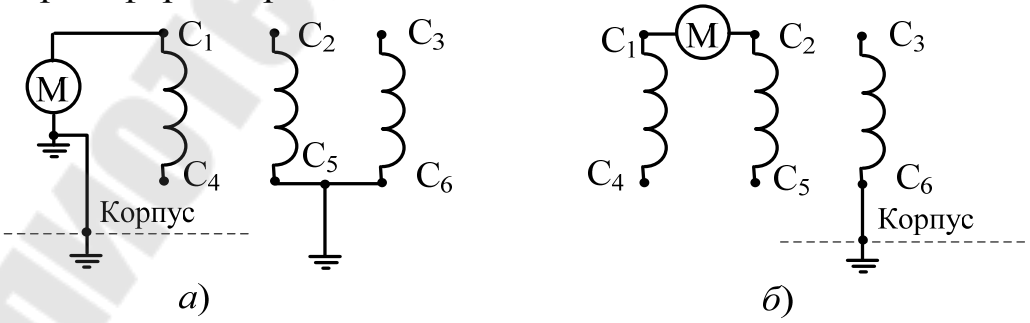


Рис. 4.3. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток электрических машин: *а* – на корпус; *б* – между обмотками

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Значение сопротивления изоляции обмоток (в мегаомах) при рабочей температуре Q должна быть не менее значения, вычисленного по формуле

$$r = U/(1000 + 0{,}01\,P), \qquad (4.4)$$

где U – номинальное напряжение обмотки, В; P- номинальная мощность машины, кВ А или кВт.

Если полученное по формуле (4.4) значение сопротивления не превышает 0,5 МОм, то в качестве минимально допустимого принимается r = 0,5 МОм.

Поскольку измерения сопротивления изоляции при рабочей температуре затруднительны (даже при измерении сразу после окончания испытаний на нагревание температура обмоток может существенно снизиться), допускается проведение измерений при более низкой температуре. При этом минимально допустимое сопротивление изоляции при температуре $Q < Q_{раб}$ следует определять по формуле

$$r_Q = r_{min} \cdot 2^k, \qquad (4.5)$$

где $k = (Q_{раб} - Q)/20$ с округлением до большего целого; r_{min} – минимально допустимое сопротивление изоляции, рассчитанное по формуле (4.4), но не менее 0,5 МОм.

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить схемы подключения, а также методы измерения сопротивлений обмоток и изоляции электрических машин.
2. Выучить меры по технике безопасности.
3. Подготовить в отчете схемы подключения и таблицы для результатов измерения сопротивлений обмоток и изоляции электрических машин.

Порядок выполнения работы

1. Измерение сопротивления обмоток электрических машин и трансформаторов постоянному току

1.1 Соберите схему, изображенную на рис. 4.1, *а*, для измерения сопротивления отдельной обмотки предложенной электрической машины методом вольтметра и амперметра.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

1.2 Включите источник питания постоянного тока и выставьте значение напряжения, в соответствии с заданием преподавателя, запишите значения измеряемых величин.

1.3 Запишите температуру окружающей среды.

1.4 Отключите источник питания постоянного тока.

1.5 Определите значение сопротивления постоянному току предложенной электрической машины. Пересчитайте сопротивление на другую температуру в соответствии с заданием преподавателя.

1.6 Соберите схему, изображенную на рис. 4.1, *б* для измерения сопротивления обмоток соединенных по схеме Y предложенной электрической машины методом вольтметра и амперметра.

1.7 Включите источник питания постоянного тока и выставьте значение напряжения, в соответствии с заданием преподавателя, запишите значения измеряемых величин.

1.8 Запишите температуру окружающей среды.

1.9 Отключите источник питания постоянного тока.

1.10 Определите значение сопротивления постоянному току предложенной электрической машины. Пересчитайте сопротивление на другую температуру в соответствии с заданием преподавателя.

1.11 Соберите схему, изображенную на рис. 4.1, *в* для измерения сопротивления обмоток соединенных по схеме Δ предложенной электрической машины методом вольтметра и амперметра.

1.12 Включите источник питания постоянного тока и выставьте значение напряжения, в соответствии с заданием преподавателя, запишите значения измеряемых величин.

1.13 Запишите температуру окружающей среды.

1.14 Отключите источник питания постоянного тока.

1.15 Определите значение сопротивления постоянному току предложенной электрической машины. Пересчитайте сопротивление на другую температуру в соответствии с заданием преподавателя.

1.16 Соберите схему, изображенную на рис. 4.2 для измерения сопротивления постоянному току обмоток трансформатора методом амперметра-вольтметра.

1.17 Включите источник питания постоянного тока и выставьте значение напряжения, в соответствии с заданием преподавателя, запишите значения измеряемых величин.

1.18 Запишите температуру окружающей среды.

1.19 Отключите источник питания постоянного тока.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

1.20 Определите значение сопротивления постоянному току трансформатора. Пересчитайте сопротивление на другую температуру в соответствии с заданием преподавателя.

1.21 Сформулируйте выводы по результатам измерений сопротивлений обмоток электрической машины и трансформатора постоянному току.

2. Измерение сопротивления изоляции обмоток электрических машин и трансформаторов

2.1. Выберите мегомметр класса соответствующего электрической машине подвергаемой измерению сопротивления изоляции.

2.2. Запишите температуру окружающей среды.

2.3. Измерьте сопротивление изоляции дважды: через 15 и 60 с после появления на обмотках напряжения, при котором производятся измерения, для каждой из схем по рис. 4.3.

2.3. Определите коэффициент абсорбции.

2.4. Определите минимально допустимое значение сопротивления изоляции обмоток (в мегаомах) электрической машины подвергаемой измерению сопротивления изоляции при температуре выполнения измерений.

2.5. Сформулируйте выводы по результатам измерений сопротивления изоляции обмоток электрической машины

Содержание отчета

Отчет должен содержать титульный лист, цель работы, названия опытов, схемы измерения сопротивлений обмоток и изоляции электрических машин и трансформатора, типы и характеристики применяемых средств измерения и средств измерительной техники, результаты измерений и расчетов, выводы.

Контрольные вопросы

1. Какими методами проводится измерение сопротивления обмоток электрических машин постоянному току?

2. Какими методами проводится измерение сопротивления обмоток трансформаторов постоянному току?

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

3. По какой формуле рассчитывается значение сопротивления обмоток постоянному току при измерениях методом вольтметра и амперметра?

4. По каким схемам выполняют измерения сопротивления обмоток электрических машин методом вольтметра и амперметра?

5. По каким схемам выполняют измерения сопротивления обмоток трансформаторов методом вольтметра и амперметра?

6. По какой формуле определяется сопротивление фазы при соединении фаз в звезду?

7. По какой формуле определяется сопротивление фазы при соединении фаз в треугольник?

8. Каким должно быть значение постоянного тока при измерении сопротивления обмоток электрических машин постоянному току?

9. Как пересчитать сопротивление постоянному току на другую температуру?

10. Как выбрать мегомметр для измерения сопротивления изоляции обмоток?

11. Что такое коэффициент абсорбции и как его определить?

12. Схемы измерения сопротивления изоляции обмоток электрических машин.

13. Значение сопротивления изоляции обмоток (в мегаомах) при рабочей температуре.

14. Как определить минимально допустимое сопротивление изоляции при температуре меньше рабочей?

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 (4 часа)

ВИРТУАЛЬНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Цель работы: изучить принципы функционирования, основные характеристики и особенности применения виртуальных измерительных приборов.

Краткие теоретические сведения

Компьютер как универсальное устройство способен выполнять функции измерительного прибора, но при этом непосредственно им не является. Работа реальных измерительных приборов имитируется в компьютере с помощью программного обеспечения, то есть проходит в виртуальном режиме, и такие приборы можно называть виртуальными. Они характеризуются определенным однообразием в аппаратной части. Обобщенная структурная схема виртуального измерительного прибора приведена на рис. 5.1.

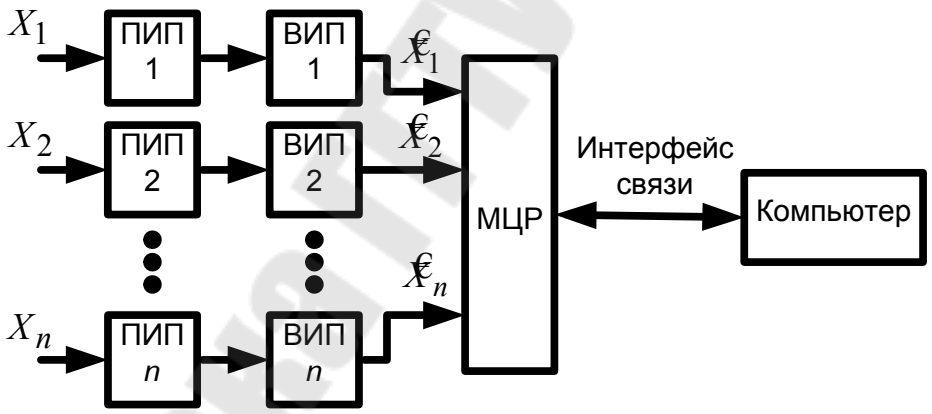


Рис. 5.1. Структурная схема виртуального измерительного прибора:
ПИП – первичный измерительный преобразователь;
ВИП – вторичный измерительный преобразователь;
МЦР – многоканальный цифровой регистратор

Измеряемые величины $X_i(t)$ (где t – время) через первичные измерительные преобразователи (ПИП) поступают на вторичные измерительные преобразователи (ВИП), где нормализуются до необходимых значений $\hat{X}_i(t)$ и далее подаются на многоканальный цифровой регистратор (МЦР), который, в свою очередь, посредством интерфейса связи осуществляет передачу оцифрованных значений

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

$\hat{X}_i(t)$ в компьютер. Такая структура весьма условна и зависит от конкретной области применения в энергетике. Например, ВИП могут входить в состав МЦР, или же МЦР может являться частью компьютера. Однако вне зависимости от конфигурации системы функциональное назначение элементов остается прежним.

В случае измерения электрических величин в качестве первичных измерительных преобразователей используют, как правило, понижающие измерительные трансформаторы тока и напряжения. В случае измерения неэлектрических величин (температуры, давления и т. д.) используют соответствующие измерительные преобразователи – датчики.

Вторичные измерительные преобразователи представляют собой дополнительные понижающие трансформаторы тока и напряжения в случае измерения электрических величин и электронные линейные усилители напряжения в случае измерения неэлектрических величин.

На выходах вторичных измерительных преобразователей формируются напряжения одного диапазона, необходимые для работы многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП), входящего в состав цифрового регистратора.

Обобщенная структурная схема многоканального цифрового регистратора приведена на рис. 5.2.

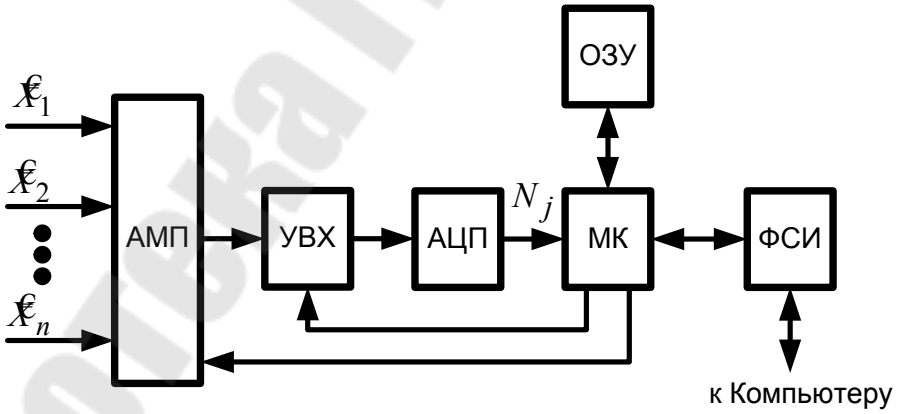


Рис. 5.2. Структурная схема многоканального цифрового регистратора:
АМП – аналоговый мультиплексор; УВХ – устройство выборки-хранения; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МК – микроконтроллер; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; ФСИ – формирователь сигналов интерфейса связи

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Входные аналоговые величины $\hat{X}_i(t)$ поступают на входы аналогового мультиплексора (АМП), выполняющего функцию коммутатора, электронного переключателя. Выход АМП через устройство выборки-хранения (УВХ) подключен к входу аналого-цифрового преобразователя (АЦП), цифровые выходы которого, в свою очередь, соединены с соответствующими цифровыми входами микроконтроллера (МК). МК представляет собой микросхему, содержащую микропроцессорную систему и ряд дополнительных элементов.

Регистратор работает следующим образом. В начальный момент времени на вход АЦП подается первый сигнал $\hat{X}_1$. УВХ с помощью конденсатора сохраняет текущее значение этого сигнала $\hat{X}_{1,1}$ (отсчет) на время, необходимое для преобразования АЦП. По окончании времени преобразования АЦП формирует двоичный код N_1, пропорциональный значению отсчета $\hat{X}_{1,1}$. Этот двоичный код передается в МК. МК, в свою очередь, либо записывает этот код в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), либо через формирователь сигналов интерфейса (ФСИ) передает его в компьютер. Таким образом осуществляется процесс регистрации одного отсчета.

Далее МК переключает АМП на следующий канал и аналогично осуществляет регистрацию первого отсчета второго сигнала $\hat{X}_{2,1}$. Процесс повторяется в циклическом режиме по всем необходимым каналам в течение заданного времени регистрации. В результате формируется на каждом j-м интервале времени матрица отсчетов $\hat{X}_{i,j}$, где i – номер канала; j – номер отсчета.

При преобразовании измеряемого аналогового сигнала в АЦП параллельно проходят процессы квантования и дискретизации этого сигнала, что условно отображено на рис. 5.3.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

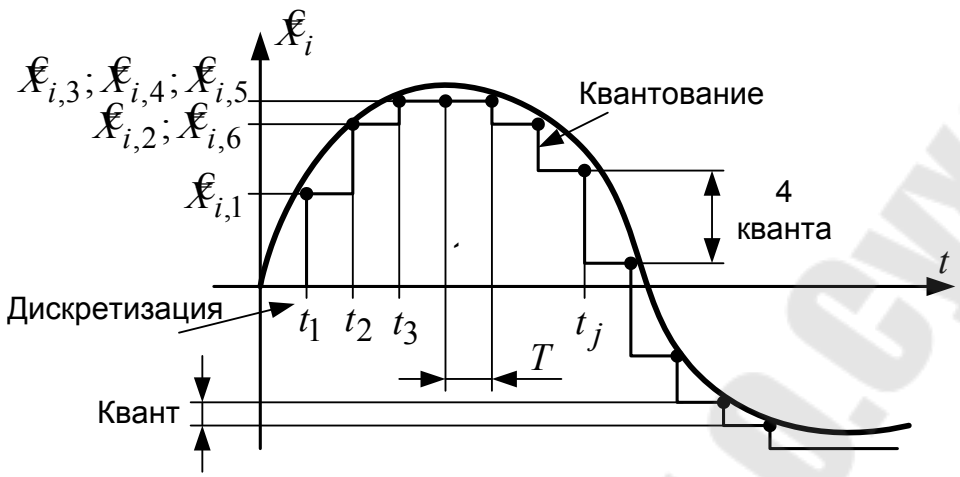


Рис. 5.3. Процессы квантования и дискретизации аналогового сигнала

Квантование – это процесс преобразования аналогового сигнала в ступенчатый сигнал с заданным значением ступени - квантом. Чем меньше размер кванта, тем точнее исходный аналоговый сигнал представлен в цифровой форме. Минимальный размер кванта ограничен разрядностью АЦП. Чем выше разрядность АЦП, тем меньше размер кванта. В общем случае размер кванта q рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{2^m},$$

где $X_{\max}$ и $X_{\min}$, соответственно, максимальное и минимальное значения, которые может принимать измеряемая величина для конкретного АЦП; m – разрядность АЦП.

Дискретизация – это процесс преобразования аналогового сигнала в последовательность мгновенных значений этого сигнала, соответствующих моментам времени t_j. Промежуток времени $T = t_j - t_{j-1}$ называется периодом дискретизации аналогового сигнала. Чем меньше значение периода дискретизации, тем точнее исходный аналоговый сигнал представлен в цифровой форме.

Если в приборе более одного регистрируемого аналогового канала, то необходимо различать общий период дискретизации T и период дискретизации по одному каналу T_d. Эти величины связаны формулой:

$$T_d = T \cdot n, \tag{5.1}$$

где n – количество регистрируемых каналов.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Минимальное значение периода дискретизации по одному каналу $T_{d.\min}$ ограничено быстродействием АЦП и максимальным объемом памяти ОЗУ регистратора или компьютера. Ведь чем больше регистрируется отсчетов, тем больше требуется памяти для их хранения. То есть для $T_{d.\min}$ должны выполняться соотношения:

$$\begin{cases} T_{d.\min} > t_{\text{АЦП}}; \\ T_{\text{d.min}} > \dfrac{t_{reg} \cdot k \cdot n}{V}, \end{cases} \tag{5.2}$$

где: $t_{\text{АЦП}}$ – время преобразования АЦП (быстродействие АЦП); t_{reg} – время регистрации; k – количество байт памяти, затрачиваемых на один отсчет (определяется разрядностью АЦП); V – объем памяти в байтах; n – количество аналоговых каналов.

Максимальное значение периода дискретизации $T_{d.\max}$ ограничено точностью дискретизации аналогового сигнала и определяется в соответствии с теоремой Котельникова: «Период дискретизации аналогового сигнала должен быть не более половины периода наиболее высокой гармонической составляющей этого сигнала», или:

$$T_{d.\max} \le \frac{1}{2 \cdot f_{\max}},$$

где $f_{\max}$ – частота наиболее высокой гармонической составляющей аналогового сигнала.

Частота дискретизации – это величина, обратная периоду дискретизации по одному каналу:

$$f_d = \frac{1}{\alpha \cdot T_d}, \tag{5.3}$$

где α – дополнительный коэффициент деления частоты.

Зная частоту, дискретизации можно рассчитать максимальное время регистрации:

$$t_{reg} = \frac{V}{k \cdot n \cdot f_d}. \tag{5.4}$$

В результате взаимного действия процессов дискретизации и квантования (первый первичен по отношению ко второму) получают

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

отсчеты или выборки $\hat{X}_{i,j}$ измеряемого сигнала $\hat{X}_i(t)$, которые обозначены жирными точками на рис. 5.3. Каждый такой отсчет записывается в память цифрового регистратора.

Как видно из рис. 5.3, каждый отсчет $\hat{X}_{i,j}$ имеет некоторую погрешность по отношению к соответствующему мгновенному значению измеряемого сигнала. Эта погрешность имеет две составляющие: погрешность квантования и погрешность дискретизации.

Итак, процесс регистрации аналоговых сигналов является важнейшим промежуточным этапом для работы виртуальных измерительных приборов.

После получения матрицы отсчетов $\hat{X}_{i,j}$ программное обеспечение компьютера выполняет обратную нормализацию каждого отсчета по формуле

$$X_{i,j} = A_i \cdot \hat{X}_{i,j} + B_i, \tag{5.5}$$

где A_i и B_i – нормирующие коэффициенты, учитывающие действительные функции преобразования измерительных преобразователей.

Таким образом, вначале исходная информация о значениях измеряемых величин представлена в компьютере в виде матрицы $X_{i,j}$. Далее программное обеспечение осуществляет непосредственную реализацию функций виртуального измерительного прибора. При достаточно высокой частоте дискретизации f_d потенциально возможна реализация любого измерительного прибора. Например, если имеется массив отсчетов напряжения U_j, то можно рассчитать среднее значение напряжения за промежуток времени Δt по формуле:

$$U_{\text{ср}} = \frac{1}{\Delta t \cdot f_d} \cdot \sum_j U_j$$

или действующее значение напряжения по формуле

$$U_{\text{д}} = \sqrt{\frac{1}{\Delta t \cdot f_d} \cdot \sum_j \left(U_j\right)^2}\,.$$

А это, соответственно, эквивалентно вольтметрам среднего и действующего значения. Точно также можно реализовать виртуальный осциллограф, частотомер, и так далее.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Помимо расчетов, программное обеспечение компьютера осуществляет визуализацию измеренных величин в виде стандартных окон Windows, имитируя работу того или иного прибора, что очень удобно для пользователя.

Описание лабораторной установки

Функциональная схема лабораторной установки приведена на рис. 5.4.

Схема работает следующим образом. Лабораторный стенд подключается к трехфазной сети с линейным напряжением 380 В через автоматический выключатель *QF*. При включении выключателя начинает светиться сигнальная лампа *HLR*, подключенная через ограничительный конденсатор *C*. В специальной установке, вынесенной за пределы стенда (найдите ее), находятся лампы накаливания *HL1* и *HL3*, а также дуговая ртутная люминесцентная лампа (ДРЛ) *HL2*. Лампы включаются на фазные напряжения посредством тумблеров *SA1*, *SA2*, *SA3*, расположенных на лицевой панели стенда. Параллельно лампам посредством тумблеров *SA4*, *SA5*, *SA6* могут подключаться конденсаторы *C1*, *C2*, *C3*. Лампы и конденсаторы используются в качестве трехфазной нагрузки. При отключенных тумблерах *SA1–SA6* ток в цепи отсутствует.

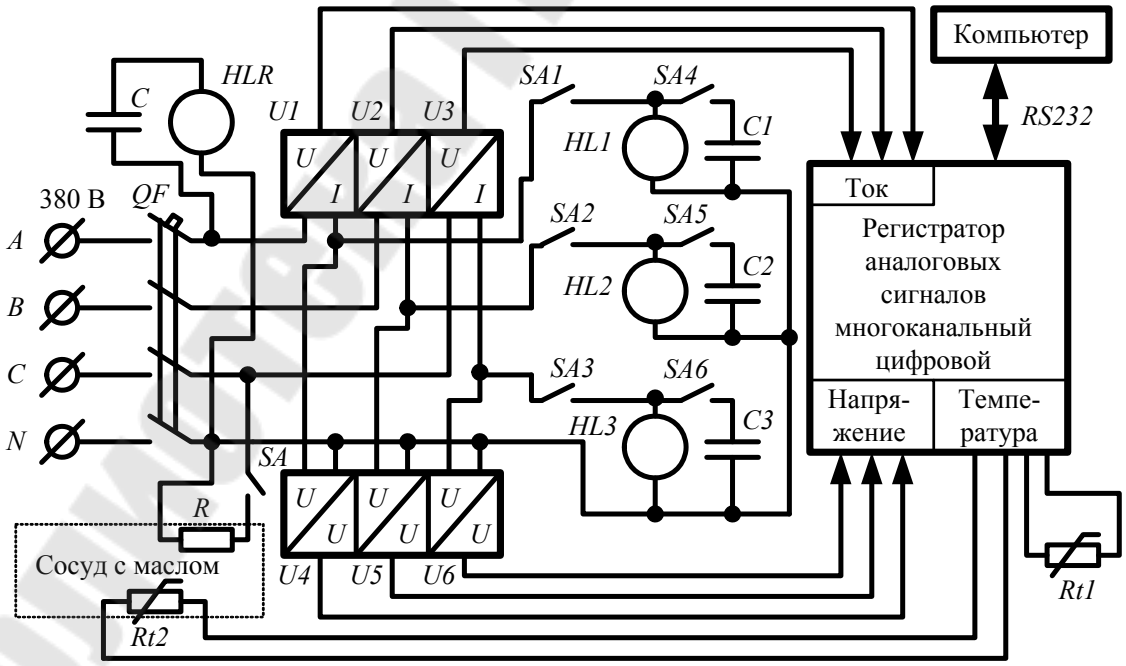


Рис. 5.4. Функциональная схема лабораторной установки

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Внимание! Нагрузка является достаточно мощной и должна быть непрерывно включена не более 3 минут! Перерыв перед следующим включением нагрузки должен составлять не менее 3 минут!

Последовательно в каждую фазу нагрузки подключены измерительные преобразователи тока, входящие в состав четырехканального измерительного преобразователя тока типа ЭП8527/15, расположенного на лицевой панели стенда. Параллельно каждому фазному напряжению подключены измерительные преобразователи напряжения, входящие в состав четырехканального измерительного преобразователя напряжения типа ЭП8527/13, расположенного на лицевой панели стенда. Измерительные преобразователи тока выполнены на основе понижающих трансформаторов тока, а измерительные преобразователи напряжения выполнены на основе понижающих трансформаторов напряжения.

Выходы всех измерительных преобразователей подключены к соответствующим входам многоканального цифрового регистратора аналоговых сигналов (далее цифрового регистратора), расположенного на лицевой панели стенда.

На лицевой панели стенда находятся также термометры сопротивления *Rt1* и *Rt2*. Термометр сопротивления *Rt1* предназначен для измерения температуры воздуха, а *Rt2* – для измерения температуры трансформаторного масла, залитого в стеклянный сосуд, который закреплен на лицевой панели стенда. Выходы термометров сопротивления подключены к соответствующим входам цифрового регистратора.

В сосуд помещен также нагревательный резистор *R*, подключаемый к фазному напряжению тумблером *SA*.

Внимание! Перед включением стенда в работу нужно убедиться, что все тумблеры находятся в положении «отключено».

Цифровой регистратор посредством интерфейсного кабеля подключен к *COM*-порту компьютера. Обмен данными между цифровым регистратором и компьютером осуществляется посредством последовательно асинхронного интерфейса *RS*232.

Основные технические характеристики цифрового регистратора:

– количество аналоговых каналов напряжения: 3;
– количество аналоговых каналов тока: 3;
– количество аналоговых каналов температуры: 2;
– разрядность АЦП: 10 ($k = 2$ байта на один отсчет);
– общий период дискретизации: $T = 69{,}33 \cdot 10^{-6}$ с;
– объем собственного ОЗУ: $V = 131072$ байт.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

На лицевой панели цифрового регистратора имеются два сигнальных светодиода. Светодиод «Питание» светится, когда питание цифрового регистратора включено переключателем, расположенным на его боковой стенке. Светодиод «Режим» непрерывно светится в процессе регистрации измеряемых величин и мигает в процессе обмена данными с компьютером.

Внимание! Перед включением стенда в работу нужно убедиться, что переключатель питания цифрового регистратора находится в положении «отключено».

Внимание! Перед включением стенда в работу нужно убедиться, что все сигнальные кабели подключены к соответствующим разъемам цифрового регистратора.

Меры по технике безопасности

В лабораторном стенде используется высокое напряжение 380В, что потенциально опасно для жизни. При работе со стендом необходимо выполнять следующие меры по технике безопасности.

1. В случае обнаружения неисправностей или повреждения проводов отключить питание стенда и позвать преподавателя.
2. Не прикасаться к установке с лампами и ничего не ставить на нее, так как она нагревается в процессе работы.
3. Не прикасаться к клеммам измерительных преобразователей и термометрам сопротивления.

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями.
2. Внимательно изучите описание лабораторной установки.
3. Выучите меры по технике безопасности.
4. Ознакомьтесь с ходом работы и приготовьте необходимые таблицы для измерений.

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Включите компьютер и загрузите программу *Virtual Device 5*.
2. Используя пункт меню СПРАВКА→РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ, прочитайте все разделы руководства пользователя.
3. Включите питание лабораторного стенда, а затем питание цифрового регистратора.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

4. Установите связь с цифровым регистратором в соответствии с разделом «Начало работы» руководства пользователя.

5. Получите номер варианта от преподавателя и введите в *Virtual Device* необходимые настройки цифрового регистратора в соответствии с разделом «Настройки цифрового регистратора» руководства пользователя и табл. 5.1, пока не сохраняя их.

6. Рассчитайте значение частоты дискретизации на один канал с учетом выбранного коэффициента деления по формулам (5.1) и (5.3) и максимальное время регистрации по формуле (5.4), взяв необходимые сведения из технических характеристик цифрового регистратора, приведенных в описании лабораторной установки.

7. Выберите в настройках цифрового регистратора ближайшее меньшее значение времени регистрации по сравнению с расчетным значением и сохраните введенные настройки.

8. Убедитесь, что расчетные значения совпадают со значениями, отображаемыми в главном окне программы.

Таблица 5.1

№ варианта	Кол-во каналов тока и напряжения	Коф-т деления частоты дискретизации	Период дискретизации каналов температуры, с
1	6	1	1
2	6	2	2
3	6	4	3
4	6	1	4
5	6	2	5

9. Введите в *Virtual Device* значения требуемых нормирующих коэффициентов для измерительных каналов цифрового регистратора в соответствии с табл. 5.2 (при отделении дробной части вводите запятую) и формулой (5.5).

Таблица 5.2

	Ua	*Ia*	*Ub*	*Ib*	*Uc*	*Ic*	*t1*	
A_i	333,5	13,8	337,2	14,57	344,5	13,74	46,33	
B_i	-517,4	-20,55	-523,2	-22,1	-520,5	-21,62	-38,88	17

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

10. При отключенной нагрузке запишите показания виртуальных вольтметров, проведя измерения не менее трех раз при различных количествах периодов сетевой частоты. Сделайте выводы по результатам измерений.

11. Включите все элементы нагрузки и запустите один раз в работу виртуальные амперметры. Затем выключите все элементы нагрузки. Запишите показания амперметров при различных количествах периодов сетевой частоты, не включая нагрузку. Сделайте выводы по результатам измерений.

12. Аналогично п. 11 изучите работу виртуальных измерителей мощности.

13. Аналогично п. 11 изучите работу виртуальных частотомеров.

14. Аналогично п. 11 изучите работу виртуальных фазометров.

Занятие 2

1. Повторите пункты 1, 3, 4, 5, 7, 9 из занятия № 1.

2. Запустите в работу виртуальный осциллограф реального времени в соответствии с разделом «Виртуальный осциллограф реального времени» руководства пользователя и убедитесь, что осциллограммы напряжений отображаются верно. Включите все элементы нагрузки и в течение 1 минуты проследите за изменением осциллограмм. Затем выключите все элементы нагрузки.

3. Зарисуйте осциллограммы.

4. Проделайте все действия, необходимые для запуска регистрирующего виртуального осциллографа в соответствии с разделом «Виртуальный регистрирующий осциллограф» руководства пользователя. При этом сразу после пуска регистратора включите все элементы нагрузки и затем выключите их, не ожидая завершения процесса регистрации (необходима одновременная работа двух человек).

5. Запустите регистрирующий виртуальный осциллограф.

6. Зарисуйте на одном графике осциллограммы напряжений по всем фазам. Сделайте выводы.

7. Используя элементы управления осциллограммами, определите значение пускового тока и длительность переходного процесса тока для всех фаз нагрузки. Сделайте выводы.

8. Зарисуйте переходный процесс для тока любой из фаз. Сделайте выводы.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

9. Запишите в настройки цифрового регистратора количество каналов тока и напряжения равное 2, а коэффициент деления частоты дискретизации равный 1.

10. Повторите пункты 4, 5. Сравните результаты измерений по фазе «А» с результатами, полученными ранее. Объясните полученные результаты.

11. Передвигаясь по осциллограммам, получите на экране осциллографа установившиеся значения по обоим каналам.

12. Проведите Фурье-анализ осциллограмм напряжения и тока по фазе «А» для количества гармоник, заданных преподавателем. Зарисуйте АЧХ и ФЧХ спектра сигналов. Сделайте выводы по результатам измерений.

13. Запустите в работу виртуальный регистрирующий термометр в соответствии с разделом «Виртуальный регистрирующий двухканальный термометр» руководства пользователя. Запишите значения температур.

14. Включите нагреватель и в течение 4 минут каждые 20 секунд записывайте показания температур.

15. Выключите нагреватель и в течение 10 минут каждые 20 секунд записывайте показания температур. Постройте соответствующие графики и сделайте выводы по результатам измерений.

16. Отключите питание цифрового регистратора, а затем питание лабораторного стенда.

Содержание отчета

1. Цель работы и краткое описание лабораторной установки.
2. Результаты расчетов.
3. Результаты измерений в виде таблиц с выводами по каждому виду измерений.
4. Полученные осциллограммы и выводы по ним.
5. Результаты Фурье-анализа.
6. Графики температуры масла и температуры воздуха.

Контрольные вопросы

1. Что такое виртуальный измерительный прибор? В чем достоинства и недостатки виртуальных измерительных приборов?

2. Какие основные элементы входят в состав виртуальный измерительный прибора?

3. Что такое цифровой регистратор? Как он работает?

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

4. В чем суть процессов дискретизации и квантования аналоговых сигналов? Какими величинами эти процессы характеризуются?

5. В чем суть теоремы Котельникова? Что будет, если в процессе измерений эта теорема не выполняется?

6. В чем суть процесса нормализации измеряемых параметров?

7. Что такое время регистрации и как оно рассчитывается? Что нужно для того, чтобы получить время регистрации, равное 24 часа?

8. Почему при увеличении изображения осциллограмм линии напряжения и тока являются ломаными?

9. Как влияет значение частоты дискретизации на результаты измерений?

10. Почему показания виртуальных приборов изменяются при каждом измерении?

11. Перечислите возможные области применения виртуальных измерительных приборов в энергетике.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 (2 часа)

ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Цель работы: получить навыки проведения измерений с помощью цифрового осциллографа.

Краткие теоретические сведения

Цифровой осциллограф – это электронный измерительный прибор, предназначенный для визуализации, исследования формы и измерения параметров периодических и непериодических электрических сигналов.

Цифровой осциллограф работает по принципу цифрового регистратора (см. лабораторную работу № 5), имеет от 2 до 6 измерительных каналов и высокую частоту дискретизации.

Структурная схема цифрового осциллографа, приведенная на рис. 6.1, содержит следующие блоки: аттенюаторы АТТ1, АТТ2; аналого-цифровые преобразователи АЦП1, АЦП2; блок синхронизации БС; микропроцессорную систему МПС; дисплей Д; органы управления ОУ; блок интерфейсов связи БИС и блок питания БП.

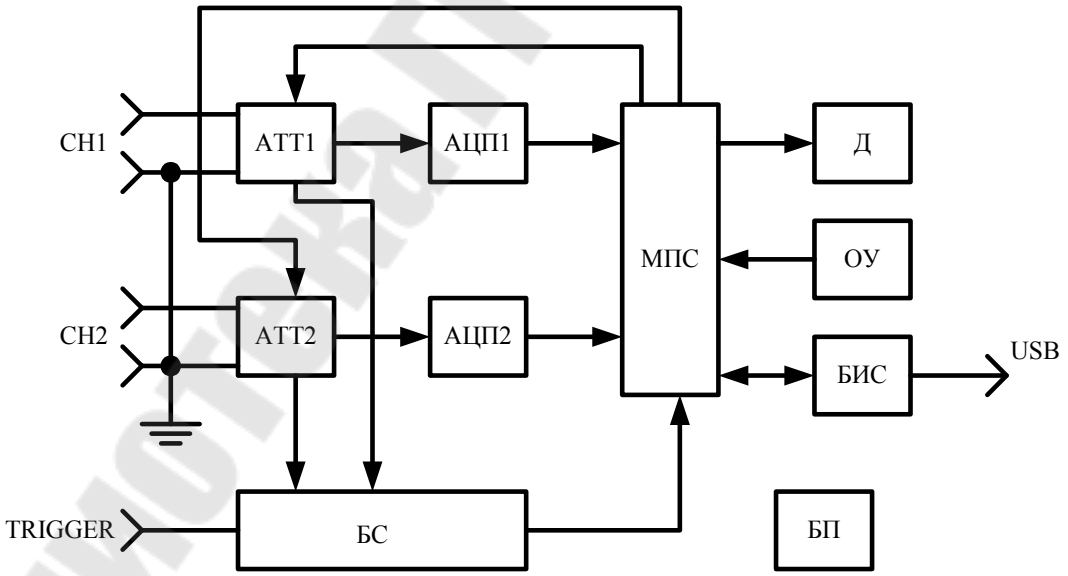


Рис. 6.1. Структурная схема цифрового осциллографа

Измеряемые напряжения двух каналов CH1 и CH2 подаются на входы аттенюаторов – аналоговых измерительных преобразователей

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

с изменяемым коэффициентом усиления, который может быть как больше, так и меньше единицы. Напряжения, формируемые на выходах аттенюаторов, не превышают 10...12 В.

АЦП преобразуют мгновенные значения аналоговых напряжений в соответствующие двоичные коды, поступающие в память микропроцессорной системы, где они умножаются на требуемые масштабные коэффициенты.

Микропроцессорная система выводит временные диаграммы сигналов на дисплей совместно с управляющими импульсами, поступающими с блока синхронизации, который, в свою очередь, формирует эти импульсы по напряжениям, приходящим с первого или второго аттенюаторов (синхронизация по первому или второму каналу), или от внешнего сигнала TRIGGER. Если синхронизирующие импульсы приходят в один и тот же момент по отношению к измеряемому периодическому сигналу, то на дисплее появляется неподвижное изображение сигналов в режиме реального времени. Переходные процессы в таком режиме увидеть невозможно, за исключением очень медленных процессов.

Важной особенностью цифровых осциллографов является то, что они позволяют исследовать переходные процессы. Для этого в течение некоторого времени регистрации происходит запись в память мгновенных значений измеряемых сигналов, а затем диаграммы полученных переходных процессов отображаются на дисплее.

Пользователь может изменять масштабы изображений на дисплее с помощью органов управления – кнопок и ручек, - находящихся на лицевой панели осциллографа, либо на экране сенсорного дисплея (при его наличии).

Современные цифровые осциллографы оснащаются интерфейсом *USB* для записи данных во внешнюю *Flash*-память с целью дальнейшего их анализа на компьютере.

Краткое руководство по эксплуатации осциллографа *UTB-TREND*

Осциллограф *UTB-TREND* 722-100-6 выполняет следующие основные функции:

– отображение осциллограмм по двум каналам в реальном времени;

– фиксация осциллограмм на экране;

– математическая обработка осциллограмм;

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

– выполнение курсорных измерений;

– отображение расчетных значений величин;

– запись осциллограмм во внутреннюю память или на внешний носитель.

Лицевая панель осциллографа *UTB-TREND* показана на рис. 6.2.

В табл. 6.1 приведено назначение органов управления этого осциллографа.

Рис. 6.2. Лицевая панель осциллографа *UTB-TREND* 722-100-6

Таблица 6.1

Назначение органов управления осциллографа

F1-F5	Кнопки выбора опций меню
MULTI PURPOSE	Ручка многофункционального контроля и одновременно кнопка «Ввод»
MEASURE	Вход в меню измерений
CURSOR	Вход в меню курсорных измерений
DISPLAY	Вход в меню настроек параметров изображения
UTILITY	Вход в меню дополнительных функций
RUN/STOP	Запуск/остановка отображения информации на дисплее
CH1	Включение–отключение канала 1
CH2	Включение–отключение канала 2
MATH	Вход в меню математических функций
POSITION	Ручки для смещения изображений сигналов по вертикали и горизонтали
LEVEL	Ручка уровня синхронизации
SET TO ZERO	Установка смещения луча в нулевое положение
SCALE	Ручки для изменения масштабов по напряжению и времени

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

При нажатии на какую-либо из кнопок (кроме F1-F5, SET TO ZERO) происходит вход в меню соответствующего режима. В правой части дисплея отображаются пункты меню. Выбор пунктов меню осуществляется с помощью кнопок F1-F5, расположенных напротив этих пунктов. Так, нажав на кнопку CH1, можно установить настройки по каналу CH1:

Coupling – вид измерения (DC – с постоянной составляющей; AC – без постоянной составляющей);

BW Limit – ограничение полосы пропускания до 20 МГц;

Volts/Div – тип изменения масштаба по вертикали (Coarse – грубо; Fine – плавно);

Probe – коэффициент деления внешнего делителя;

Invert – режим инверсного отображения осциллограммы.

При нажатии на кнопку MATH открывается меню математических функций. В первом подменю Type можно выбрать следующие функции:

FFT – быстрое преобразование Фурье;

Math – алгебраические операции с осциллограммами (сложение, вычитание, умножение и деление).

В режиме математических функций на экране осциллографа появляется дополнительная кривая красного цвета, отображающая результат выбранной операции. Так при работе с функцией FFT красная кривая изображает АЧХ спектра сигнала.

В режиме FFT можно выбирать типы цифровых фильтров, ограничивающих спектр измеряемого сигнала. Этот выбор осуществляется в подменю *Window* (окно). Доступны следующие цифровые фильтры:

Rectange – прямоугольник;

Hanning – окно Хэннинга;

Hamming – окно Хэмминга;

Blackman – окно Блэкмана.

Масштаб для режима математических функций отображается отдельно красными буквами внизу экрана.

Описание лабораторной установки

На рис. 6.3 показан внешний вид лабораторного стенда.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

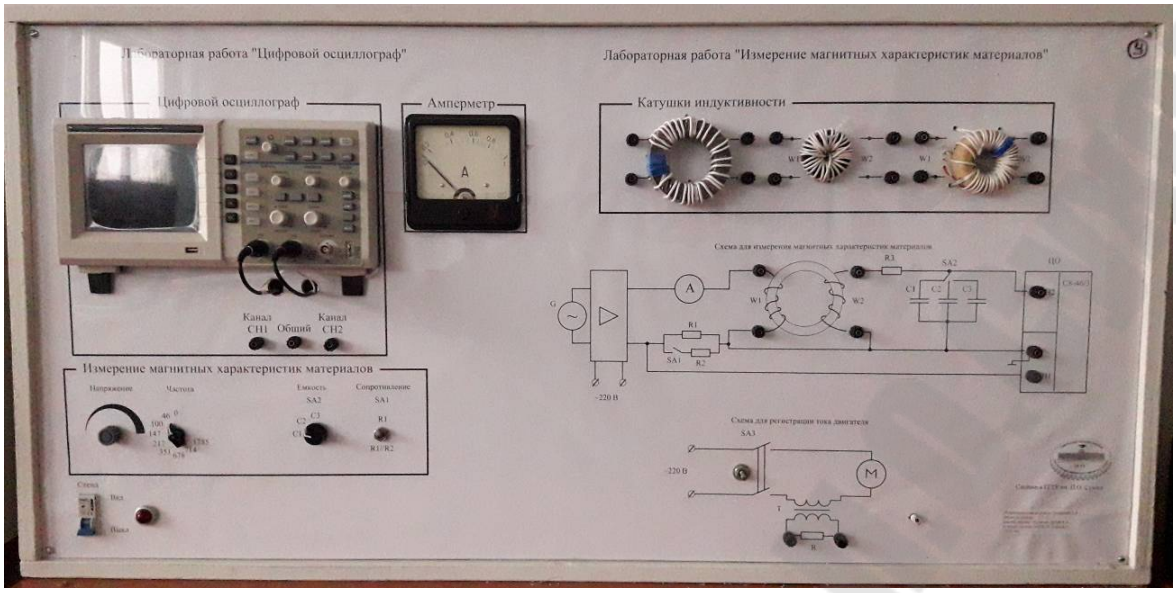


Рис. 6.3. Внешний вид лабораторного стенда

На лабораторном стенде выполняются две лабораторные работы: «Цифровой осциллограф» и «Измерение магнитных характеристик материалов».

Осциллограф *UTB-TREND* 722-100-6 закреплен непосредственно в корпусе стенда. Сигнальные контакты измерительных щупов подключены изнутри стенда в зажимным клеммам CH1 и CH2, общий контакт измерительных щупов (земля) подключен к зажимной клемме «Общий». На измерительных щупах установлен коэффициент деления 1:10.

В нижней правой части установки располагается электродвигатель, в цепь тока которого включен трансформатор тока *T*, нагруженный на резистор *R* с сопротивлением 3,9 кОм. В результате на резисторе формируется напряжение U, пропорциональное току двигателя I в соответствии с формулой:

$$U = \frac{I \cdot R}{K_I} = \frac{I \cdot 3900}{22{,}5} = 173{,}3 \cdot I\,, \qquad (6.1)$$

где: K_I – коэффициент трансформации трансформатора тока.

Меры по технике безопасности

Внимание! Значение напряжения на зажимах сопротивления *R* составляет около 40 В!

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить лабораторную установку и найти на ней требуемое оборудование.
3. Изучить руководство пользователя осциллографа *UTB-TREND* 722-100-6.

Порядок выполнения работы

1. С помощью экранированных проводов подключите контакты канала осциллографа CH1 параллельно резистору R. Канал CH2 закоротите на «Общий» обычным проводом.
2. Включите стенд. При этом должен включиться осциллограф.
3. Если изображение в виде прямой линии на экране отсутствует, то обратитесь к помощи преподавателя для перехода в режим «*YT*».
4. Если канал CH2 включен, то отключите его, нажав кнопку «CH2» до ее погасания.
5. Войдите в меню настроек канала CH1, нажав кнопку «CH1».
6. С помощью функциональных клавиш «*F*1»-«*F*5» установите следующие настройки: *Coupling – DC*; *BW Limit* – ON; *Volts/Div* – Coarse; *Probe* – 10*x*; *Invert – OFF*.
7. Вращая левую ручку «*SCALE*» влево, установите максимальный масштаб по каналу CH1.
8. С помощью тумблера SA3 включите двигатель.
9. Изменяя масштабы по осям напряжения и времени с помощью ручек «SCALE», добейтесь оптимального изображения формы тока двигателя на экране осциллографа. Зафиксируйте текущее изображение на экране, нажав «RUN/STOP». Отключите двигатель.
10. Используя текущий масштаб по оси напряжения осциллографа, а также формулу (6.1), зарисуйте в масштабе полученное изображение **тока** $I(t)$.
11. Войдите в режим курсорных измерений, нажав кнопку «CURSOR», а затем последовательным нажатием кнопки «F1» выберите тип курсора «Напряжение».
12. Нажимая и вращая ручку «MULTI PURPOSE», измерьте максимальное и минимальное мгновенные значения тока, а также разность между ними.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

13. Выберите тип курсора «Время», измерьте период и частоту тока.

14. Выйдите из курсорного режима нажатием кнопки «F1» и подменю «OFF».

15. Войдите в режим измерений, нажав «MEASURE». Дважды нажмите «F5», в результате откроется таблица с измеренными параметрами.

16. Запишите измеренные значения частоты, периода, среднего значения напряжения (*Average*), действующего значения напряжения (*RMS*), максимального и минимального значений напряжения (Max и Min).

17. Закройте таблицу, нажав «F5». Переведите все измеренные значения напряжений в соответствующие значения тока двигателя с помощью формулы (6.1). Объясните полученные результаты.

18. Получите на экране осциллографа амплитудо-частотную характеристику (АЧХ) спектра измеряемого тока с помощью быстрого преобразования Фурье. Для этого войдите в режим математических функций, нажав «MATH». С помощью функциональных клавиш «F1»-«F5» установите следующие настройки: *Type – FFT* (Быстрое преобразование Фурье); *Source* – CH1; *Window* – прямоугольник (Rectangle); *Vertical* – Vrms.

19. Кнопкой «CH1» отключите канал CH1. При этом на экране осциллографа должна остаться только красная линия АЧХ спектра сигнала.

20. С помощью ручек «SCALE» изменяйте масштаб АЧХ спектра сигнала таким образом, чтобы хорошо была видна первая гармоника.

21. Используя значение масштаба, отображаемое красными буквами внизу экрана, измерьте действующее значение первой гармоники. Переведите это значение в значение тока по формуле (6.1).

22. Зарисуйте в масштабе полученную АЧХ спектра сигнала.

23. Уменьшайте масштаб по напряжению до тех пор, пока не станут видны высшие гармоники. При этом первая гармоника выйдет за пределы экрана. Измерьте частоты и действующие значения гармоник, которые видны на экране. Переведите эти значения в значения тока по формуле (6.1).

24. Зарисуйте в масштабе полученную АЧХ спектра сигнала.

25. Зарисуйте в масштабе АЧХ спектра тока для всех остальных видов цифровых фильтров быстрого преобразования Фурье: Хэннинга, Хэмминга, Блэкмана. Объясните полученные результаты.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

26. Отключите режим математических функций, нажав кнопку «MATH» до ее погасания.

27. Вновь запустите отображение в реальном времени, нажав кнопки «CH1» и «RUN/STOP» (зеленое свечение кнопки).

28. Установите максимальный масштаб 50 В на клетку по оси напряжения и масштаб 50 мс на клетку по оси времени.

29. Произведите запись в память осциллографа переходных процессов включения и отключения двигателя. Для этого войдите в меню дополнительных параметров, нажав «UTILITY». Далее выберите подпункты «Recorder» (Запись) и «Operation» (Операции).

30. Нажав на подпункт «Record» (Записать), несколько раз включите и выключите двигатель. Затем нажмите на подпункт «Stop» (Остановка).

31. Нажмите на подпункт «RePlay» (Повтор) и убедитесь, что на дисплее циклически отображаются все записанные экраны.

32. Вращая ручку “MULTI PURPOSE», научитесь просматривать экраны по отдельности.

33. Зарисуйте в масштабе тока переходные процессы включения и отключения двигателя.

34. Отключите стенд.

Содержание отчета

Цель работы, комментарии к ходу работы, результаты измерений, осциллограммы на клетчатой бумаге с выводами по ним.

Контрольные вопросы

1. Перечислите преимущества цифрового осциллографа перед электронно-лучевым осциллографом.
2. Как работает цифровой осциллограф?
3. Какие органы управления имеются в осциллографе *UTB-TREND* 722-100-6?
4. Какие виды измерений реализует осциллограф *UTB-TREND* 722-100-6?
5. Что такое курсорные измерения?
6. В чем смысл измерений с помощью быстрого преобразования Фурье?

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 (4 часа)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы: Ознакомиться с эксплуатацией электронного однофазного многотарифного счетчика активной электроэнергии ЭЭ8003/2.

Краткие теоретические сведения

Индукционные счетчики электроэнергии на сегодняшний день – это морально устаревший вид оборудования. Вместо них вводят в эксплуатацию электронные цифровые (микропроцессорные) счетчики электроэнергии.

Однофазный многотарифный электронный счетчик активной электрической энергии ЭЭ8003/2 предназначен для измерения потребления активной электрической энергии в однофазных цепях переменного тока по одному, двум, трем или четырем тарифам в шести временных зонах на объектах предприятий промышленности, энергетики и сельского хозяйства, а также в бытовом секторе, в т.ч. в составе автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ).

Счетчик подключается непосредственно в сеть переменного тока в закрытых помещениях. Монтажная схема подключения полностью аналогична индукционному счетчику и приведена на рис. 7.1.

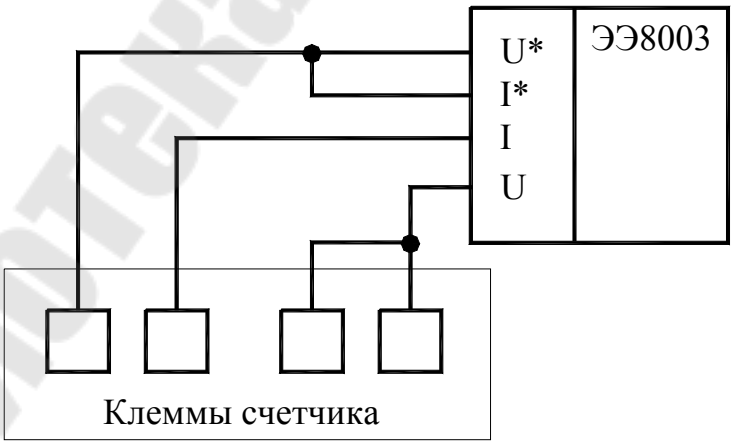


Рис. 7.1

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Счетчик обеспечивает возможность:

• учета потребленной электроэнергии в многотарифном режиме от одного до четырех тарифов и от одной до шести тарифных зон в течение суток (тарифная зона – это промежуток времени суток, в течение которого действует один из четырех тарифов), причем тарифные зоны могут быть независимо установлены для рабочих дней и воскресений, от одного до четырех тарифных сезонов в году;

• автоматического перехода с летнего времени на зимнее и обратно с возможностью отключения этого перехода;

• дистанционного учета потребленной электроэнергии с помощью передающего устройства;

• управления включением-отключением нагрузки с помощью устройства управления нагрузкой по превышению установленного пользователем лимита мощности нагрузки, либо независимо от времени суток, либо во время действия выбранной пользователем тарифной зоны;

• обмен информацией с персональным компьютером по интерфейсу RS-485.

На лицевой панели счетчика расположены две кнопки «Выбор» и «Установка», позволяющие работать с меню. Каждый элемент меню называется сообщением и имеет свой номер. Более подробная информация содержится в техническом руководстве к счетчику.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на том же стенде, что и л/р № 2. Поэтому принципы работы лабораторной установки те же.

Используемое оборудование

1. Электронный счетчик ЭЭ8003/2.
2. Ручной секундомер (в мобильном телефоне).
3. Амперметр Э539.
4. Вольтметр Э545.
5. Образцовый ваттметр Д5004.

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

2. Изучите руководство по эксплуатации счетчика ЭЭ8003/2.

3. Внимательно изучите описание лабораторной установки, приведенное в л/р № 2 и найдите требуемое оборудование.

4. Выучите меры по технике безопасности.

5. Ознакомьтесь с ходом работы.

6. Подготовьте в черновике таблицы, аналогичные табл. 7.1 и табл. 7.2.

Таблица 7.1

Протокол измерений №1

№ нагрузки	*U*, В	*I*, А	*P*, Вт	*t*, с	*cos(φ)*
...	...	...	...	...	...
(10 строк)					
Сумма	-	-	$P_{сум}$	$t_{сум}$	

В таблице обозначено:

№ нагрузки – номер ступени графика нагрузки; *U* – показание вольтметра; *I* – показание амперметра; *P* – показание образцового ваттметра; $P_{сум}$ – суммарное значение мощности в рамках всего интервала измерений; *t* – длительность ступени нагрузки; $t_{сум}$ – временной интервал всего измерения; cos(φ) – коэффициент мощности нагрузки.

Таблица 7.2

Протокол измерений № 2

W_p, кВт·ч	W_{T1}, кВт·ч	W_{T2}, кВт·ч	W_{Σ}, кВт·ч	δ, %

В таблице обозначено:

$W_р$ – активная энергия, потребленная приемником; W_{T1} – значение энергии для первого тарифного интервала; W_{T2} – значение энергии для второго тарифного интервала; W_{Σ} – суммарное значение энергии по обоим интервалам; δ – относительная погрешность счетчика.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Соберите схему, приведенную на рис. 7.2, используя монтажную схему счетчика, приведенную на его щитке, или схему на рис. 7.1. **Внимание!** Токовые цепи приборов необходимо подключать на предел 5 А.

2. Нажмите кнопку предела обмотки напряжения образцового ваттметра на уровень «300В».

3. Установите все переключатели нагрузки в положение «0» и включите стенд.

4. Задайте текущую дату и текущее время счетчика с точностью до секунд по отношению к внешним часам.

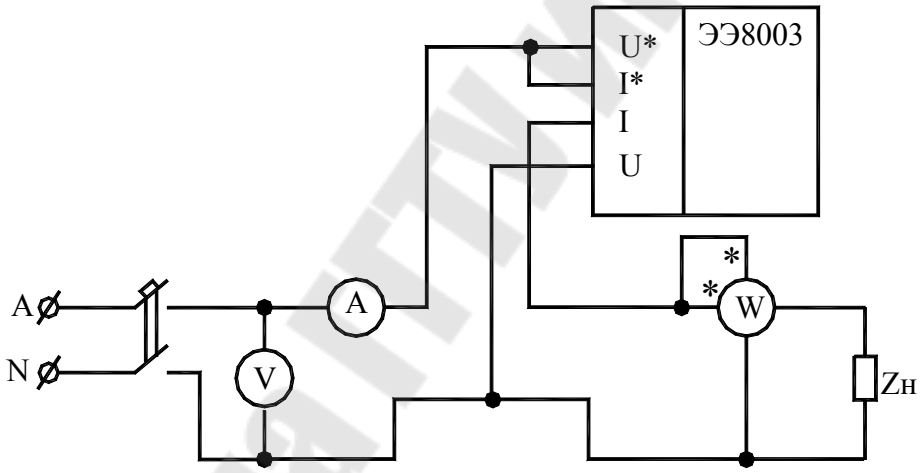


Рис. 7.2

5. Обнулите показания счетчика по тарифам 1–4.

6. Выполните параметризацию счетчика согласно табл. 7.3. (кроме сообщения 202.02).

7. Отключите стенд и разберите схему.

Таблица 7.3

Таблица параметризации

№ сообщения*	Параметр	Значение
1200	Количество сезонов	1
1201	Количество тарифов	2

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

№ сообщения*	Параметр	Значение
202	Начало сезона 1	01.01
1202	Количество тарифных зон в рабочие дни сезона 1	2
202.01	Начало зоны 1 в рабочие дни сезона 1 тариф 1	00:00
202.02	Начало зоны 2 в рабочие дни сезона 1 тариф 2	*t***
1203	Количество тарифных зон в воскресенья сезона 1	0
1211	Количество фиксированных дат	0
1212	Переход «лето-зима»	Да
1215	Вывод на дисплей окна основного режима	Да
1215	Вывод на дисплей потребления по тарифу 1	Да
1215	Вывод на дисплей потребления по тарифу 2	Да
1215	Вывод на дисплей потребления по тарифу 3	Нет
1215	Вывод на дисплей потребления по тарифу 4	Нет
1215	Вывод на дисплей мощности	Да
1215	Вывод на дисплей текущей даты и времени	Да
801	Отображение текущего значения максимума 3-хминутной мощности	-

Примечания:

* № сообщения в таблице соответствует номеру сообщения на блок-схеме алгоритма ввода-вывода данных (см. Руководство по эксплуатации);

** $t = t_{тек} + 20$ мин. + Δt,

где $t_{тек}$ – текущее время,

Δt = 4..5 мин. – время, необходимое для подготовки студента к началу выполнения основной части лабораторной работы; по истечении времени Δt необходимо перейти к этапу измерений.

Занятие 2

1. Получите 40-минутный график нагрузки у преподавателя (длительность одной ступени нагрузки – 4 минуты).

2. Повторите пункты 1...6 занятия 1. При параметризации счетчика изменяйте значения по мере необходимости. Сообщения 202.01 и 202.02 установите в обязательном порядке.

3. Установите при помощи переключателей мощности первую ступень нагрузки.

4. Занесите в табл. 7.1 значения величин *U, I, P, t* (длительность одной ступени нагрузки – 4 минуты). Убедитесь, что значение мощности, определяемое по ваттметру, соответствует значению мощности, отображаемому на дисплее счетчика.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

5. По истечению времени t задайте значение мощности второй ступени нагрузки и снова занесите в табл. 7.1 значения U, I, P, t.

6. Повторите п.5 для всех оставшихся ступеней нагрузки.

7. По истечении 40 минут все переключатели нагрузки выведите в положение «0».

8. Снимите показание электронного счетчика для каждого тарифного интервала (W_{T1}, W_{T2}) и суммарное значение по обоим тарифам (W_{Σ}). Данные значения занесите в табл. 7.2.

9. Отключите стенд и разберите схему.

10. Рассчитайте суммарное значение активной энергии, потребленной приемником $W_{р}$, через показания образцового ваттметра:

$$W_{р} = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot t_i = P_{сум} \cdot t_{сум}.$$

11. Рассчитайте коэффициент мощности по формуле:

$$\cos(\varphi) = \frac{P_{Д}}{U \cdot I}.$$

12. Рассчитайте значение погрешности δ по формуле:

$$\delta = \frac{W_{\Sigma} - W_{р}}{W_{р}} \cdot 100\%.$$

13. Вычисленные значения $\cos(\varphi)$ занесите в табл. 7.1. Остальные значения занесите в табл. 7.2.

14. Сравните значение δ с классом точности электронного счетчика, указанного на его лицевой панели. Если значение δ не превышает класса точности счетчика более, чем в 2 раза, то можно сделать вывод, что счетчик пригоден к эксплуатации.

Содержание отчета

1. Цель работы и схема испытаний счетчика.
2. Результаты измерений и расчетов в виде таблиц.
3. Выводы по результатам измерений.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Контрольные вопросы

1. Достоинства и недостатки электронных счетчиков электрической энергии по сравнению с индукционными счетчиками.
2. Принципы работы микропроцессорных счетчиков электрической энергии.
3. Перечислите технические характеристики электронного счетчика ЭЭ8003/2.
4. Каковы основные особенности работы и возможности электронного счетчика ЭЭ8003/2?
5. Каким образом настраивается ввод-вывод данных на дисплей счетчика ЭЭ8003/2?
6. Что такое сезоны, зоны и тарифы?

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Лабораторная работа № 8 (4 часа)

ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: ознакомиться с методикой проведения измерений магнитных характеристик материалов.

Краткие теоретические сведения

В электротехнике магнитными называют материалы, интенсивно взаимодействующие с внешним магнитным полем. Основной вид магнитных материалов – это ферромагнетики. К ним относят чистые металлы (железо, никель и кобальт), железо-никелевые сплавы (пермаллои). Существуют магнитные материалы со сложной внутренней структурой, которые называют ферримагнетики. К ним относят керамические материалы – ферриты. Ферромагнетики предназначены для работы в условиях высоких значений напряженности и низких значений частоты магнитного поля. Ферримагнетики применяют при низких значениях напряженности и средних и высоких частот магнитного поля.

Главным параметром магнитных материалов является относительная магнитная проницаемость, которая характеризует их способность намагничиваться во внешнем поле. Различают статическую и динамическую относительные магнитные проницаемости. Статическая магнитная проницаемость рассчитывается для постоянного магнитного поля по формуле:

$$\mu_{\text{ст}} = \frac{B}{\mu_0 \cdot H},$$

где B – внутренняя магнитная индукция материла; H – напряженность внешнего магнитного поля; μ_0 – магнитная постоянная.

Динамическая магнитная проницаемость определяется в переменном магнитном поле следующим образом:

$$\mu_{\text{дин}} = \frac{B_m}{\mu_0 \cdot H_m}, \qquad (8.1)$$

где B_m – амплитуда внутренней магнитной индукции материала; H_m – амплитуда напряженности внешнего магнитного поля.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

При изменении внешнего магнитного поля внутренняя магнитная индукция материала изменяется с запаздыванием, образуя петлю магнитного гистерезиса, показанную на рис. 8.1.

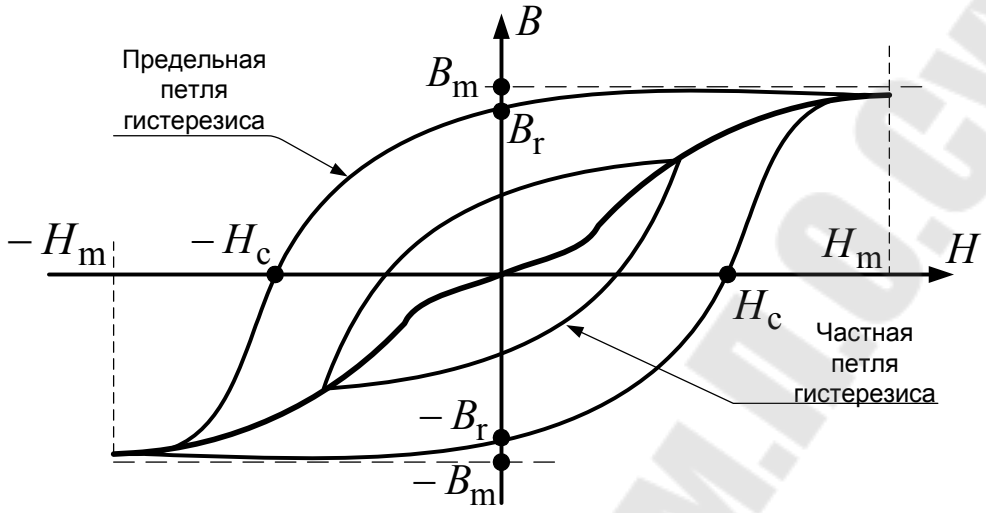


Рис. 8.1. Петля гистерезисного цикла перемагничивания

Значения величин B_m и H_m определяют размах петли гистерезиса, которая называется частной. Однако при некотором максимальном значении H_m внутренняя магнитная индукция материала перестает изменяться, то есть наступает его магнитное насыщение. В этих условиях петлю гистерезиса называют предельной и по ней определяют дополнительные характеристики магнитного материала, такие как остаточная намагниченность B_r и коэрцитивная сила H_c.

Относительная магнитная проницаемость материала зависит как от напряженности внешнего поля (рис. 8.2, *а*), так и от его частоты (рис. 8.2, *б*).

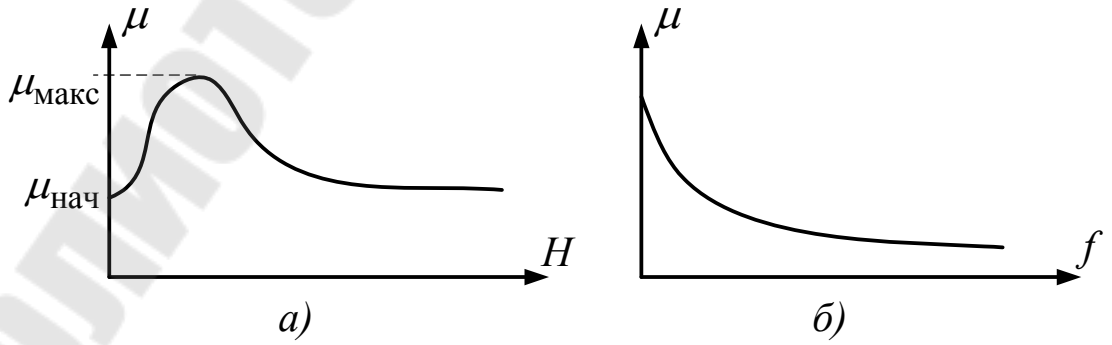


Рис. 8.2. Зависимости магнитной проницаемости от напряженности внешнего магнитного поля и его частоты

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

При отсутствии внешнего магнитного поля магнитная проницаемость называется начальной $\mu_{нач}$. При некотором значении поля наблюдается ее максимум $\mu_{макс}$, а затем она снижается.

При росте частоты поля магнитная проницаемость снижается. Особенно сильно этот процесс выражен у ферромагнетиков, поэтому они не рассчитаны для работы на высоких частотах.

Описание и принцип работы лабораторной установки

На рис. 8.3 показана лицевая панель лабораторной установки.

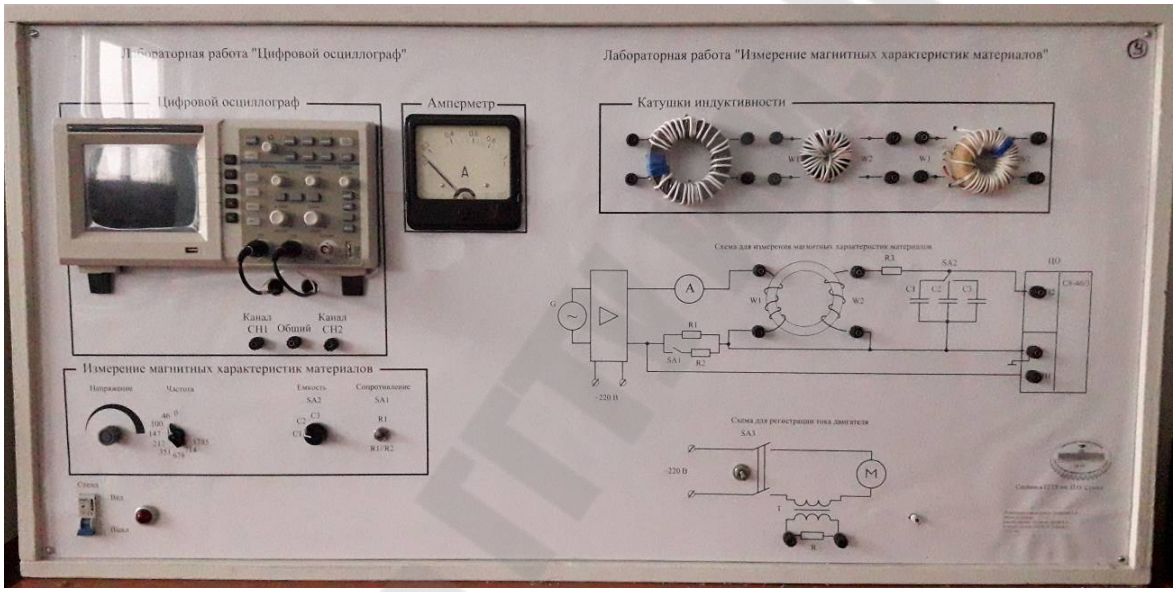


Рис. 8.3. Внешний вид лабораторного стенда

На ней совмещены две лабораторные работы: «Цифровой осциллограф» и «Измерение магнитных характеристик материалов». Осциллограф С8-46 закреплен непосредственно в корпусе установки. Сигнальные контакты измерительных щупов подключены изнутри установки в зажимным клеммам CH1 и CH2, общий контакт измерительных щупов (земля) подключен к зажимной клемме «Общий». На измерительных щупах установлен коэффициент деления 1:10.

Исследуемые магнитные материалы расположены в верхней части установки и выполнены в виде замкнутых сердечников, имеющих первичную и вторичную обмотки, которые позволяют измерять магнитные характеристики.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

На лицевой панели лабораторной установки изображена схема для проведения измерений (рис. 8.4).

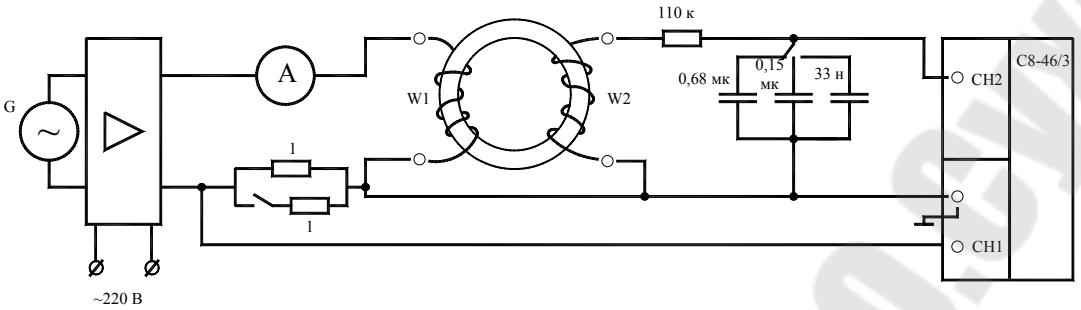


Рис. 8.4. Схема измерения магнитных характеристик материалов

Схема состоит из генератора сигнала синусоидальной формы, амплитуду которого можно плавно изменять с помощью регулятора «Напряжение» в левом нижнем углу установки. Рядом с этим регулятором находится переключатель «Частота» для ступенчатого изменения частоты сигнала. Значения частоты в герцах нанесены рядом с переключателем.

Генератор подключен к электронному усилителю мощности, выход которого через амперметр и резистивные шунты R_1, R_2 соединен с первичной обмоткой, имеющей w_1 витков и намотанной непосредственно на исследуемый магнитный материал. Тумблер SA_1, расположенный в левом нижнем углу установки, позволяет подключать или отключать шунт R_2, формируя общее сопротивление шунта $R_ш$. Амперметр располагается в верхней части установки.

Шунты R_1, R_2 предназначены для измерения тока I_1, протекающего по первичной обмотке. Падение напряжения на этих шунтах U_1 измеряется с помощью канала CH1 цифрового осциллографа, как показано на рис. 8.4. Тогда, в соответствии с законом Ома:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_ш}. \qquad (8.2)$$

Из закона полного тока следует, что напряженность магнитного поля можно рассчитать по формуле

$$H = \frac{w_1 \cdot I_1}{2 \cdot \pi \cdot r_{ср}}, \qquad (8.3)$$

где $r_{ср}$ – средний радиус магнитного сердечника.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Подставив (8.2) в (8.3), получим:

$$H = \frac{w_1 \cdot U_1}{2 \cdot \pi \cdot r_{ср} \cdot R_ш} = k_1 \cdot U_1, \qquad (8.4)$$

где $k_1 = \dfrac{w_1}{2 \cdot \pi \cdot r_{ср} \cdot R_ш}$ – масштабный коэффициент.

Таким образом, с помощью канала CH1 осциллографа можно измерять напряженность внешнего магнитного поля вокруг магнитного материала, а тумблер SA_1 позволяет изменять значение этой напряженности.

На каждом из исследуемых магнитных материалов имеется вторичная обмотка с количеством витков w_2. В ней наводится ЭДС индукции ε_i при пропускании тока через первичную обмотку w_1 в соответствии с законом Фарадея:

$$\varepsilon_i = -w_2 \cdot \frac{d\Phi}{dt} = -w_2 \cdot S \cdot \frac{dB}{dt}, \qquad (8.5)$$

где Φ – магнитный поток в материале; S – площадь сечения материала вдоль магнитного потока; B - магнитная индукция в материале.

К вторичной обмотке подключена цепь, состоящая из резистора R_3 и конденсаторов $C_1 \ldots C_3$, которые подключаются к резистору с помощью переключателя SA_2, расположенного в левом нижнем углу установки.

Если выводы вторичной обмотки поменять местами, то знак «-» в формуле (8.5) исчезнет.

При выполнении условия, что сопротивление резистора R_3 намного больше емкостных сопротивлений любого из конденсаторов $C_1 \ldots C_3$ ток I_2 во вторичной обмотке приблизительно равен:

$$I_2 = \frac{\varepsilon_i}{R_3}. \qquad (8.6)$$

Тогда с учетом формулы (8.6) падение напряжения U_2 на каком-либо из конденсаторов равно:

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

$$U_2 = \frac{1}{C} \cdot \int I_2 \cdot dt = \frac{1}{C} \cdot \int \frac{\varepsilon_i}{R_3} \cdot dt, \qquad (8.7)$$

где C – емкость одного из конденсаторов, подключенного к цепи.

Подставив (8.5) в (8.7), и взяв ε_i с обратным знаком, имеем:

$$U_2 = \frac{1}{C} \cdot \int \frac{w_2 \cdot S \cdot \frac{dB}{dt}}{R_3} \cdot dt = \frac{w_2 \cdot S \cdot B}{C \cdot R_3}. \qquad (8.8)$$

Выразив B из (8.8), окончательно получим:

$$B = \frac{C \cdot R_3 \cdot U_2}{w_2 \cdot S} = k_2 \cdot U_2, \qquad (8.9)$$

где $k_2 = \frac{C \cdot R_3}{w_2 \cdot S}$ – масштабный коэффициент.

Таким образом, напряжение U_2, взятое с обратным знаком, пропорционально магнитной индукции материала *B*. Это напряжение измеряется с помощью канала CH2 осциллографа.

Если включить осциллограф в режим отображения фигур Лиссажу, то есть когда развертка луча по горизонтали осуществляется каналом CH1, а развертка по вертикали – каналом CH2, то на экране можно увидеть гистерезисный цикл перемагничивания материала (зависимость B от H).

Значения величин, необходимых для расчетов, приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Исходные данные для расчетов

Параметр	Значение
Сопротивление резистора R_1	1,7 Ом
Сопротивление резистора R_2	1 Ом
Сопротивление резистора R_3	110 кОм
Емкость конденсатора C_1	0,68 мкФ
Емкость конденсатора C_2	0,15 мкФ
Емкость конденсатора C_3	33 нФ

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

Количество витков w_1 магнитного сердечника № 1	26
Средний радиус $r_{ср}$ магнитного сердечника № 1	33 мм
Количество витков w_2 магнитного сердечника № 1	51
Сечение S магнитного сердечника № 1	450 мм^2
Количество витков w_1 магнитного сердечника № 2	33
Средний радиус $r_{ср}$ магнитного сердечника № 2	23 мм
Количество витков w_2 магнитного сердечника № 2	
Сечение S магнитного сердечника № 2	144 мм^2
Количество витков w_1 магнитного сердечника № 3	32
Средний радиус $r_{ср}$ магнитного сердечника № 3	23 мм
Количество витков w_2 магнитного сердечника № 3	850
Сечение S магнитного сердечника № 3	200 мм^2

Меры по технике безопасности

1. Строго запрещается включать что-либо без разрешения преподавателя.
2. Перед началом работы убедиться, что лабораторная установка находится в положении «отключено».
3. Стенд подключать только к розетке с заземлением (типа «евро»).
4. При сборке схем плотно зажимать все контакты.
5. **Внимание!** При любых видах измерений показания амперметра не должны превысить 1 А!

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения.
2. Изучить лабораторную установку и ее принципы работы.
3. Выучить меры по технике безопасности.
4. Изучить инструкцию по эксплуатации осциллографа *UTB-TREND* 722-100-6.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Задание на предварительный расчет

Для катушки индуктивности, заданной преподавателем, рассчитайте масштабные коэффициенты k_1 и k_2 по формулам (8.4) и (8.9), а также в соответствии с табл. 8.1. В качестве сопротивления шунта используйте R_1, а в качестве емкости C используйте емкость C_1. Все расчеты делайте в единицах СИ!

Рассчитайте также масштабный коэффициент k_2 для емкостей C_2 и C_3.

Если в процессе проведения измерений эти значения будут изменяться тумблерами SA_1 и SA_2, то масштабные коэффициенты необходимо будет пересчитать.

Порядок выполнения работы

1. Подключите с помощью проводов магнитный материал, заданный преподавателем, и осциллограф к схеме измерений, соблюдая полярность. **Внимание!** Осциллограф подключать только через экранированные провода, входящие в комплект стенда. Для остальных соединений используйте обычные провода, но как можно короче.
2. Установите регулятор «Напряжение» в положение «Минимум».
3. Установите регулятор «Частота» в положение «46 Гц».
4. Переключатель SA1 установите в положение «R1».
5. Переключатель SA2 установите в положение «C1».
6. Включите стенд, при этом должен включиться осциллограф.
7. Войдите в меню настроек канала CH1 осциллографа, нажав кнопку «CH1». Вращая левый регулятор «SCALE», установите масштаб по напряжению 200 мВ/дел.
8. С помощью функциональных клавиш «*F*1»-«*F*5» установите следующие настройки: *Coupling – DC*; *BW Limit* – ON; *Volts/Div* – Coarse; *Probe* – 10*x*; *Invert – OFF*.
9. Сделайте то же самое для канала CH2, предварительно нажав кнопку «CH2».
10. Убедитесь, что оба канала осциллографа совмещены в центре экрана. В противном случае нажмите кнопку «SET TO ZERO».
11. Войдите в меню настроек дисплея осциллографа, нажав кнопку «DISPLAY». Установите «Режим XY» для отображения фигур

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Лиссажу (когда по обеим осям на экране осциллографа откладывается напряжение), нажав функциональную кнопку F2. В результате в центре экрана должна появиться точка.

12. Медленно повышая напряжение генератора регулятором «Напряжение», наблюдайте за появлением петли гистерезиса. **Внимание!** При любых видах измерений показания амперметра не должны превысить **1 А**!

13. Зарисуйте 5 частных петель гистерезиса и одну предельную. При этом сразу пересчитывайте напряжение по горизонтальной оси в напряженность магнитного поля с помощью масштабного коэффициента k_1, а напряжение по вертикальной оси – в магнитную индукцию помощью масштабного коэффициента k_2. Для удобства измерений можно увеличить гистерезис на экране, изменяя масштабы по каналам CH1 и CH2 с помощью соответствующих кнопок и левого регулятора «SCALE».

14. Определите по предельной петле гистерезиса коэрцитивную силу, остаточную намагниченность и индукцию насыщения магнитного материала при обеих полярностях поля.

15. Для каждой из полученных петель гистерезиса в точке с максимальной напряженностью магнитного поля определите амплитуду внутренней магнитной индукции материала B_m и амплитуду напряженности внешнего магнитного поля H_m.

16. Рассчитайте динамическую магнитную проницаемость $\mu_{дин}$ материала для каждой из петель гистерезиса по формуле (8.1). Постройте график зависимости $\mu_{дин}$ от H_m. Найдите по нему $\mu_{макс}$.

17. Установите предельную петлю гистерезиса на частоте 46 Гц и, изменяя положение переключателя «Частота», зарисуйте петли гистерезиса на разных частотах. При этом для увеличения изображения петли на частотах 147, 217 и 351 Гц включайте конденсатор C_2, а на частотах 678 и 714 Гц – конденсатор C_3.

18. Повторите п. 15, учитывая значения использованных емкостей на соответствующих частотах при выборе масштабного коэффициента k_2.

19. Рассчитайте динамическую магнитную проницаемость $\mu_{дин}$ материала для каждой из петель гистерезиса по формуле (8.1). Постройте график зависимости $\mu_{дин}$ от f.

20. На основе рассчитанных величин по таблицам, приведенным в Приложении, определите тип магнитного материала.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Содержание отчета

Цель работы, предварительный расчет, комментарии к ходу работы, петли гистерезиса с обозначениями масштабов, требуемые расчеты и графики с выводами по ним.

Контрольные вопросы

1. Виды и области применения в энергетике магнитных материалов.
2. Основные характеристики магнитных материалов.
3. Параметры предельной петли гистерезиса магнитного материала.
4. Принцип работы лабораторной установки.
5. Назначение конденсаторов в схеме лабораторной установки.
6. Назначение двух катушек на каждом из исследуемых магнитных материалов.
7. Вывод расчетных формул для масштабных коэффициентов.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Марка, вид продукции, ГОСТ или ТУ	Класс	Толщина или диаметр, мм	Относительная магнитная проницаемость, не менее		Коэрцитивная сила, А/м, не более	Индукция насыщения, Тл, не менее	К п н г г А
			начальная	максимальная			
Сплавы с наивысшей магнитной проницаемостью в слабых полях							
79НМ, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	II	0,005	10 000	35 000	6,4	0,73	
	III	0,01	20 000	120 000	2,4		
		0,02	25 000	150 000	1,6		
	III	0,05	30 000	200 000	1,2		
	II	0,08	20 000	120 000	1,6		
	III	0,10	30 000	200 000	1,2		
	II	0,15	22 000	150 000			
79НМ, холоднокатаные листы и ленты	III	0,20...0,25	30 000	220 000	1,8		
		0,35	35 000	250 000			
	II	0,50; 0,80; 1,00	30 000	220 000			
79НМ, холоднокатаные листы и ленты	II	1,50; 2,00	25 000	180 000	1,2	0,73	
	I	2,50	22 000	130 000	1,6		
79НМ, горячекатаные листы	I	3,00...22,00	20 000	80 000	3,2	0,75	
79НМ, холоднотянутая проволока	I	0,05; 0,10	5000	40 000	6,4		
79НМ, горячекатаные прутки	I	8,00...100,00	20 000	80 000	3,2		
80НХС, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,005	8000	30 000	8,0	0,63	
	III	0,01	25 000	90 000	3,2		
		0,02	30 000	120 000	1,6		
		0,05; 0,08	40 000	200 000	1,0		
		0,10	45 000				
	II	0,15	32 000	160 000	1,2		
		0,20; 0,25	35 000				
	III	0,35; 0,50	50 000	250 000	0,8		
80НХС, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,8; 1,0	30 000	170 000	1,0	0,63	
		1,5; 2,0; 2,5	25 000	150 000	1,2		
80НХС, горячекатаные листы	I	3,00...22,00	20 000	70 000	3,2		
80НХС, горячекатаные прутки	I	8,00...100,00					
81НМА, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75,	III	0,02	70 000	170 000	1,6	0,50	
		0,05	100 000	300 000	0,56		

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Марка, вид продукции, ГОСТ или ТУ	Класс	Толщина или диаметр, мм	Относительная магнитная проницаемость, не менее		Коэрцитивная сила, А/м, не более	Индукция насыщения, Тл, не менее	Ко пр но ги пр А/м
			начальная	максимальная			
ТУ 14-1-1281—75	III	0,10; 0,20 0,35 0,50	120 000	350 000 400 000	0,4	0,50	
81НМА, холоднокатаные ленты и листы, ГОСТ 10160—75, ТУ 14-1-2672—79, ТУ 14-1-2333—79	II	0,80; 1,00	70 000	300 000	0,6		
	I	1,00; 1,50; 2,00	50 000	200 000	1,2		
81НМА, холоднотянутая проволока	III	0,05	20 000	75 000	3,2		
81НМА, прутки	I	10,00...50,00	40 000	150 000	1,6	0,50	
83НФ, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	III	0,02 0,05 0,10	50 000 60 000 70 000	—	—	0,60	
80НМ, холоднокатаные ленты, ТУ 14-1-1708—76	—	0,05 0,10 0,15 0,20 0,35	40 000 50 000 60 000 80 000 100 000	140 000 160 000 200 000 250 000 300 000	2,4 1,6 1,2 0,8	0,70	
77НМД, холоднокатаные ленты, ТУ 14-1-1708—76		0,05 0,10 0,20 0,35	40 000 50 000 30 000	150 000 200 000 100 000	2,4 1,6 2,4	0,60	
76НХД, холоднокатаные ленты, ТУ 14-1-2722—79		0,05...0,08 0,10...0,18 0,20...0,30	13 000 15 000 18 000	100 000 120 000 150 000	2,0 1,6	0,75	
74НМД, холоднокатаные ленты, ТУ 14-1-231—72	—	0,20; 0,35; 1,00	10 000	35 000	4,8	—	
72НМДХ, холоднокатаные ленты, ТУ 14-1-2557—78		0,10...1,00		—	1,6	0,31	
78Н, горячекатаные листы, ТУ 14-1-309—72		5,00...18,0	7000	35 000	5,6	1,00	
Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенным электрическим сопротивлением							
50НХС, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,005 0,01 0,02; 0,05	1000 1000 3000	8000 10 000 25 000	56 40 12	1,00	
	II	0,10; 0,20; 0,25	3100	28 000	10		

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Марка, вид продукции, ГОСТ или ТУ	Класс	Толщина или диаметр, мм	Относительная магнитная проницаемость, не менее		Коэрцитивная сила, А/м, не более	Индукция насыщения, Тл, не менее	Коэ пря нос гис при А/м
			начальная	максимальная			
50 НХС, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	II	0,35; 0,50	3500	35 000	8	1,00	
	I	0,80; 1,00	3000	20 000	10		
12Ю, горячекатаные прутки, ТУ 14-1-729—73	—	20...80	1000	—	24	1,00	
12ЮВИ, горячекатаные листы, прутки, ТУ 14-1-2233—77		10...20 30...90	—	10 000		0,90	
Сплавы с высокой магнитной проницаемостью и повышенной индукцией насыще							
45Н, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,10; 0,15 0,20; 0,25; 0,35; 0,50 0,80; 1,00; 1,50; 2,00; 2,50	2000 2500 2800	20 000 23 000 25 000	24 20 16	1,50	
45Н, горячекатаные листы		3,00...22,00	2000	18 000	24		
45Н, горячекатаные прутки		8,00...100,00					
50Н, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	III	0,05; 0,10; 0,20	10 000	60 000	4	1,52	
	II	0,15 0,25 0,35; 0,50 0,80; 1,00 1,50; 2,00	3000 3500 4000 3000	30 000 35 000 45 000 40 000 35 000	14 12 10 12	1,50	
	I	2,50	2800	25 000	13		
50Н, горячекатаные листы		3,00...22,00	2500	20 000	24		
50Н, горячекатаные прутки		8,00...100,00					
50Н-ВИ холоднокатаные ленты, ТУ 14-222-58—75		0,10 0,20 0,35	20 000 25 000	90 000 100 000	4	1,53	

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Марка, вид продукции, ГОСТ или ТУ	Класс	Толщина или диаметр, мм	Относительная магнитная проницаемость, не менее		Коэрцитивная сила, А/м, не более	Индукция насыщения, Тл, не менее	Коэффициент прямоугольности петли гистерезиса при $H=800$, А/м, не менее
			начальная	максимальная			
Сплавы с прямоугольной петлей гистерезиса							
50НП, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,005		15 000	40	1,50	0,80
	III	0,01		60 000	15		0,91
		0,02		75 000	13		0,94
		0,05		80 000	11,0	1,52	0,94
	II	0,10		60 000	15,0		0,90
34НКМП, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,005		15 000	80,0		0,90
	II	0,01		40 000	16,0		0,92
		0,02		65 000	11,0	1,50	0,94
		0,05		75 000	10,0		0,92
		0,10		125 000	6,4		
		0,20; 0,25; 0,35; 0,50	—	180 000	6,4		0,90
35НКХСП, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,005		15 000	80,0		
	II	0,01		50 000	16,0		
		0,02		80 000	8,0		
		0,05		200 000	4,8	1,30	0,92
		0,10; 0,20; 0,25; 0,35; 0,50		300 000	4,0		
40НКМП, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	II	0,01		200 000	4,8		
		0,02		400 000	2,4	1,35	0,94
		0,05		500 000	1,6		
		0,10		600 000			
68НМП, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	III	0,02		300 000	3,2		0,92
		0,05		600 000	2,4	1,15	
		0,10; 0,20	—	800 000	1,6		0,93
65НП, холоднокатаные ленты, ГОСТ 10160—75	I	0,02		70 000	6,4		
		0,05		100 000	3,2		
		0,10		200 000	2,8	1,30	0,90
		0,20		250 000	2,4		
		0,35; 0,50		300 000			
37НКДП, холоднокатаные ленты, ТУ 14-222-3—71	—	0,02; 0,04		100 000	9,6		0,93
		0,05; 0,08		250 000	4,0	1,5	0,95
		0,10; 0,18			3,2		0,93
82НМП ВИ, холоднокатаные ленты, ТУ 14-1-2340—78	—	0,02			1,8	0,65	0,90
		0,10			1,6		0,85

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Таблица 3.3. **Дополнительные параметры ферритов I группы**

Марка	$f_{кр}$, МГц, при $tg\delta_м$		μ_{max}	H_0, А/м, при μ_{max}	B, Тл	B_r, Тл	H_c, А/м	$D_F \cdot 10_6$	$\frac{d_h}{\mu_н^2} \cdot 10^9$ при $f = 1$МГц	ρ, Ом·м	θ_K, °С не менее	Конфигурация изделий
	0,02	0,1										
100НН	15,00	30,0	850	120	0,44	0,29	56		–	10^8	300	Кольцевые, стержневые
400НН	1,50	3,5	1100	64	0,25	0,12	64		10,0	10^4	120	
400НН1	3,90	6,0	1400	100	0,28	0,16	48		3,8	10^3	300	Стержневые
600НН	0,70	1,5	1600	56	0,31	0,14	32	–	11,7	10^4	110	Кольцевые, стержневые, Ш-образные, раструбы
1000НН		0,4	3000	32	0,27	0,15	20		14,0			Кольцевые, П-образные
2000НН	–	0,1	7000	12	0,25	0,12	8			10,0	70	Кольцевые
1000НМ	0,20	0,6	1800	40	0,35	0,11	20	14	4,7	0,5	200	
1500НМ	0,10		2500	–			24	12	2,9			
2000НМ	0,05	0,5	3500	20	0,38	0,13		10	2,1			Кольцевые, броневые; Ш-образные, пластинчатые
3000НМ	0,02	0,1			0,35	0,12	12	3	1,6		140	Кольцевые

Примечание. Значения B, B_r, H_c указаны при $H_0 = 800$ А/м.

Таблица 3.8. **Дополнительные параметры ферритов II группы**

Марка	$f_{кр}$, МГц, при $tg\delta_м$		μ_{max}	H_0, А/м, при μ_{max}	B, Тл	B_r, Тл	H_c, А/м	$\frac{d_h}{\mu_н^2} \cdot 10^9$ при $f = 0,1$ МГц	ρ, Ом·м	θ_K, °С, не менее	Конфигурация сердечников
	0,02	0,1									
7ВН	150	220	15	4400	0,07	0,06	2240	–	10^6	450	Кольцевые, стержневые
20ВН	65	120	45	2000	0,20	0,10	1000	53,0			Кольцевые, броневые, стержневые
30ВН	110	200	90	1600	0,26	0,07	520	3,8	10^5		Кольцевые, броневые, стержневые, двухотверстные
50ВН	40	70	170	800	0,30	0,20	360	20,2	10^4		Кольцевые, броневые
100ВН	25	35	280	480	0,36	0,15	280	1,3	10^5	400	Антенные
150ВН	15	25	330	520	0,35		240	3,4	10^4		»
700НМ	2	5	1900	128	0,38	0,05		0,5	20	240	Кольцевые, броневые, антенные
1000НМ3	0,6	1,8	2000	80	0,33	0,10	28	1,4	10	200	Кольцевые, броневые, П-образные
1500НМ1	0,1	0,6	3000	32	0,35		16	2,9	5		Кольцевые, П-образные
1500НМ3	0,3	1,5		48	0,38	0,08		1,0	20		Кольцевые, броневые, стержневые
2000НМ1	0,05	0,5	3500	32		0,12		2,1	5		Кольцевые, броневые, стержневые, Ш-образные
2000НМ3				48	0,36		25	1,6	0,5		Кольцевые, броневые

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 (4 часа)

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИМ ВЫХОДОМ

Цель работы: изучить принципы функционирования, основные характеристики и особенности применения измерительных преобразователей с телеметрическим выходом.

Краткие теоретические сведения

В системах контроля и учета электроэнергии крайне важной является задача передачи измеренных величин на некоторое расстояние. Один из способов – использование интерфейса связи типа «токовая петля», или ИРПС – интерфейс радиальный последовательный. Под интерфейсом подразумевается совокупность аппаратных и программных средств для передачи данных. Устройства, реализующие ИРПС, представляют собой измерительные преобразователи или измерительные приборы с унифицированным токовым выходом, то есть выходом таких устройств является источник постоянного тока, и этот выход называют телеметрическим. Схема соединения устройств посредством ИРПС приведена на рис. 9.1.

Рис. 9.1

Линия связи представляет собой свитый провод (так называемая «витая пара»), что сделано для обеспечения помехозащищенности. На стороне принимающего прибора подключается нагрузочное сопротивление требуемого номинального значения.

Измеряемые величины X_i (напряжение, ток) преобразуются в соответствии с требуемой функциональной зависимостью в некоторую величину Y. На выходе измерительного преобразователя формируется постоянный ток $I_{\text{вых}}$, значение которого пропорционально Y:

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

$$I_{\text{вых}} = \alpha_{\text{ном}} \cdot Y + I_0 = \alpha_{\text{ном}} \cdot f(X_i) + I_0, \qquad (9.1)$$

где $\alpha_{\text{ном}}$ – номинальный коэффициент пропорциональности; I_0 – ток смещения.

Значение $\alpha_{\text{ном}}$ рассчитывают, зная диапазоны изменения величин Y и $I_{\text{вых}}$:

$$\alpha_{\text{ном}} = \frac{I_{\text{вых.макс}} - I_{\text{вых.мин}}}{Y_{\text{макс}} - Y_{\text{мин}}}. \qquad (9.2)$$

Как правило, $I_{\text{вых.мин}} = 0$ мА и $Y_{\text{мин}} = 0$ ед и, соотвественно, $I_0 = 0$. В противном случае ток смещения рассчитываю по формуле:

$$I_0 = I_{\text{вых.мин}} - \alpha_{\text{ном}} \cdot Y \qquad (9.3)$$

Реально коэффициент пропорциональности α несколько отличается от своего номинального значения $\alpha_{\text{ном}}$ в соответствии с классом точности измерительного преобразователя $\gamma_{\text{кл}}$:

$$\alpha = \alpha_{\text{ном}} \cdot (1 \pm \gamma_{\text{кл}}). \qquad (9.4)$$

Существуют следующие основные виды измерительных преобразователей: напряжения, тока, активной и реактивной мощности, частоты, и другие.

Основные параметры измерительных преобразователей: номинальный измеряемый ток $I_{\text{н}}$, номинальное измеряемое напряжение $U_{\text{н}}$, номинальный выходной ток. Практически вся требуемая информация по измерительному преобразователю приводится на его щитке.

Для измерительных преобразователей важной метрологической характеристикой является функция преобразования, или ***передаточная характеристика***, то есть зависимость выходного тока от расчетной величины. В идеальном случае эта зависимость должна быть линейной. Реально она несколько отличается от линейной. Поэтому нормируют ***погрешность нелинейности***, которая определяется по формуле:

$$\gamma_{\text{нл.тн}} = \frac{\Delta I_{\text{вых.нл}}}{I_{\text{вых}}}, \qquad (9.5)$$

где $\Delta I_{\text{вых.нл}}$ – максимальная разность между идеальной и реальной передаточными характеристиками измерительного преобразователя.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

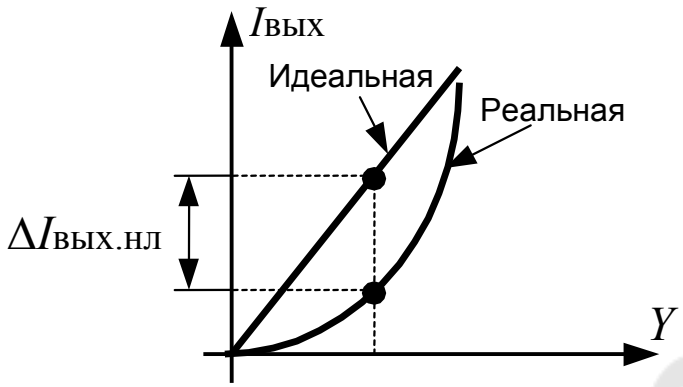


Рис. 9.2

Пример определения погрешности нелинейности измерительного преобразователя приведен на рис. 9.2.

Значение погрешности нелинейности передаточной характеристики не должно превышать значения класса точности измерительного преобразователя.

В табл. 9.1 приведены основные параметры измерительных преобразователей, исследуемых в работе.

Таблица 9.1

Параметры измерительных преобразователей

Тип	Измеряемые величины	Y	$Y_{макс}$	$Y_{мин}$	$I_{вых.макс}$	$I_{вых.мин}$
Е828Н3	U	Частота	51 Гц	49 Гц	5 мА	0 мА
Е848НП	U_A, U_B, U_C, I_A, I_B, I_C, (метод трех ваттметров)	Активная мощность	$\frac{3 \cdot U_н \cdot I_н}{\sqrt{3}}$, Вт	0 Вт	5 мА	0 мА
Е849/9	U_{AB}, U_{CB}, I_A, I_C, (метод двух ваттметров)	Активная мощность	$2 \cdot U_н \cdot I_н \times$ $\times \cos(30°)$ Вт	0 Вт	5 мА	0 мА
Е855/1	U	Напряж.	125 В	0 В	5 мА	0 мА
Е842	I	Ток	5 А	0 А	5 мА	0 мА

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает измерительные преобразователи частоты Е828Н3, активной мощности трехфазного тока Е848НП, активной и реактивной мощности трехфазного тока Е849/9, напряжения переменного тока Е855/1, переменного тока Е842, а также энергетический мультиметр МЭ-01, миллиамперметр, регуляторы тока и многопозиционный переключатель. Внешний вид лабораторного стенда приведен на рис. 9.3.

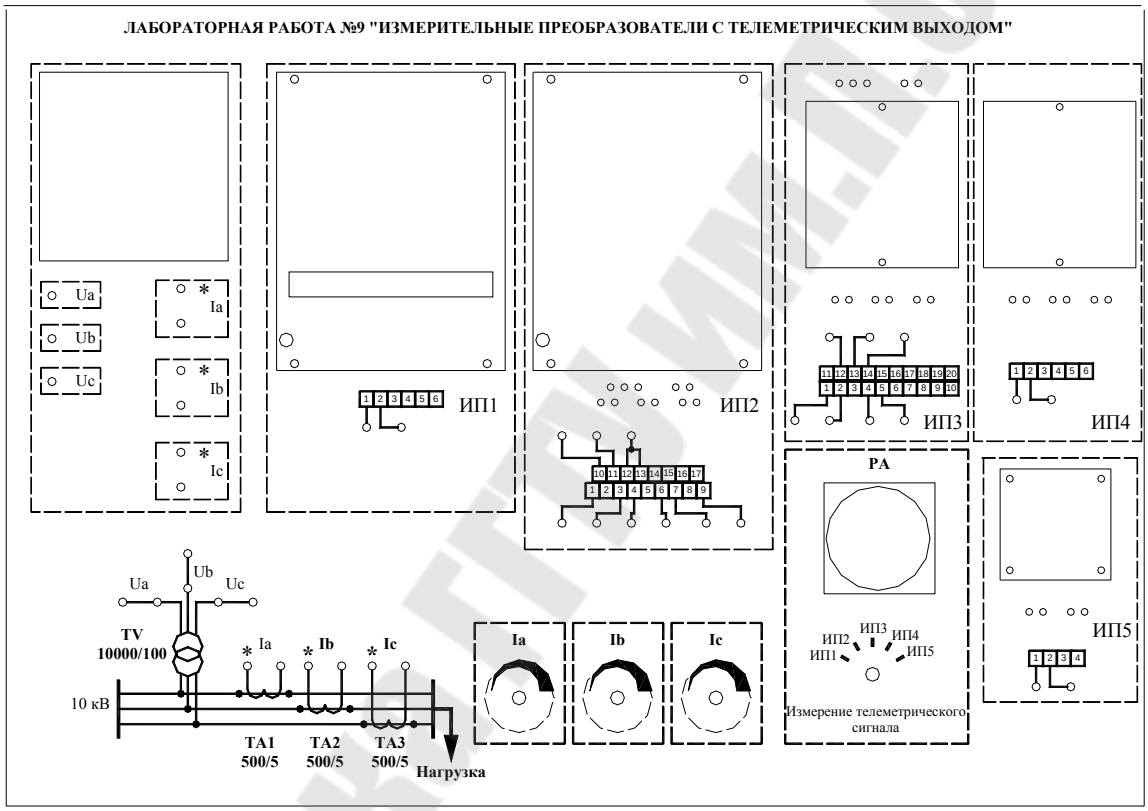


Рис. 9.3

Стенд работает следующим образом. В нижнем левом углу приведен фрагмент схемы электроснабжения. Параметры номинальных линейных напряжений (10 кВ) и токов (500 А) этой схемы на стороне питающего напряжения даны лишь условно. В стенде формируются реальные значения напряжений и токов, соответствующие номинальным линейным напряжениям трехфазного измерительного трансформатора напряжения TV (100 В) с коэффициентом трансформации $k_{\text{ТН}} = \dfrac{10000}{100}$ и измерительных трансформаторов тока ТА (5 А) с ко-

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

эффициентом трансформации $k_{\text{тт}} = \frac{500}{5}$. Значения напряжений U_{a}, U_{b} и U_{c} можно изменять с помощью ЛАТРа, установленного под стендом. *Максимальное значение линейного напряжения на выходе ЛАТРа ограничено 100 В.*

Внимание! Проконсультируйтесь у преподавателя как правильно регулировать напряжение.

Внимание! Не применяйте чрезмерных усилий при регулировке ЛАТРа!.

Значения токов I_{a}, I_{b} и I_{c} можно изменять с помощью соответствующих регуляторов на лицевой панели стенда.

Цепи подключения энергетического мультиметра и измерительных преобразователей выведены на клеммы стенда. Значком «*» отмечены зажимы, соответствующие условному положительному направлению тока. Снизу под измерительными преобразователями показаны номера клемм для подключения цепей измерения напряжения и тока в соответствии со схемами, приведенными на щитках этих измерительных преобразователей.

Телеметрические выходы всех измерительных преобразователей подключены к миллиамперметру через многопозиционный переключатель «Измерение телеметрического сигнала».

Внимание! Не применяйте чрезмерных усилий при переключении многопозиционного переключателя!

Внешнее питание на стенд подается с помощью автоматического выключателя, расположенного в отдельной коробке.

Внимание! Внешнее питание на стенд подает только преподаватель!

Включение питания мультиметра МЭ-01 осуществляется соответствующим тумблером в левой части стенда.

Включение трехфазного напряжение осуществляется автоматическим выключателем в левой нижней части стенда.

Описание энергетического мультиметра МЭ-01

Энергетический мультиметр МЭ-01 – это микропроцессорный многофункциональный измерительный прибор для измерения параметров электрической сети.

В лабораторном стенде энергетический мультиметр используется в качестве образцового прибора для определения всех характери-

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

стик исследуемых измерительных преобразователей. В табл. 9.2 приведены измеряемые прибором величины и их обозначения на дисплее.

Переключение между измеряемыми параметрами осуществляется с помощью кнопок «влево» и «вправо».

Мультиметр выдает на дисплей значения **фазных** измеряемых напряжений. *Значения токов умножаются на 100.*

В измерительных преобразователях, исследуемых в работе, номинальными параметрами являются значения **линейных** измеряемых напряжений. Чтобы получить эти значения на основе показаний мультиметра, необходимо воспользоваться теоремой косинусов. Например:

$$U_{\text{AB}} = U_{\text{A}}{}^2 + U_{\text{B}}{}^2 - 2 \cdot U_{\text{A}} \cdot U_{\text{B}} \cdot \cos(120°) = U_{\text{A}}{}^2 + U_{\text{B}}{}^2 + U_{\text{A}} \cdot U_{\text{B}} \qquad (9.6)$$

Таблица 9.2

Отображение на дисплее	**Величины**
U *I*	текущие значения напряжений и токов по трем фазам
U% *I%*	текущие отклонения напряжений и токов по трем фазам
Km *Cf*	текущие значения коэффициента мощности по каждой фазе текущие значения $\cos\varphi$ по каждой фазе
Q' *F*	текущие значения реактивной мощности по каждой фазе по первой гармонике частота напряжения по первой гармонике
P *P'*	текущие значения активной мощности по каждой фазе то же по первой гармонике
S *S'*	текущие значения полной мощности по каждой фазе то же по первой гармонике
U *I*	текущие значения напряжений и токов по трем фазам по первой гармонике

При выводе на дисплей в МЭ-01 приняты следующие обозначения:

10к5 = 10500.

к20 = 200.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Задание на допуск к лабораторной работе

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями.
2. Внимательно изучите описание лабораторной установки, описание прибора МЭ-01, а также паспорт к лабораторному стенду.
3. Выучите меры по технике безопасности.
4. Ознакомьтесь с ходом работы и приготовьте необходимые таблицы для измерений.

Порядок выполнения работы

Занятие 1

1. Убедитесь, что автоматический выключатель и тумблер питания МЭ-01 находятся в положении «Откл.». Установите все регуляторы тока в положение «Минимум».
2. Соберите схему для исследования ИП1 (Е828Н3). Для этого подключите выходы вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения к соответствующим входам МЭ-01. К входу ИП1 подключите линейное напряжение, заданное преподавателем. Затем установите многопозиционный переключатель «Измерение телеметрического сигнала» в положение «ИП1».
3. Установите ЛАТР в положение «минимум». Для этого поворачивайте его регулятор до упора по направлению стрелки.
4. Убедитесь, что преподаватель подал внешнее питание на стенд.
5. Включите тумблер «Питание МЭ-01» и убедитесь, что дисплей прибора работает.
6. Включите автоматический выключатель стенда.
7. Установите ЛАТРом максимально возможное напряжение, вращая его регулятор до упора. Запишите значения требуемых фазных напряжений и значение частоты с МЭ-01 и показания миллиамперметра.
8. Выключите автоматический выключатель стенда и тумблер «Питание МЭ-01».
9. Рассчитайте значение линейного напряжения сети по аналогии с формулой (9.6) и с учетом коэффициента трансформации измерительного трансформатора напряжения (см. л/р № 1).

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

10. Рассчитайте значения коэффициента $\alpha_{ном}$ и тока смещения I_0 в соответствии с формулами (9.2) и (9.3), табл. 9.1 или данными на щитке измерительного преобразователя. Определите расчетное значение выходного тока ИП1 в соответствии с формулой (9.1), подставляя в качестве Y измеренное с помощью МЭ-01 значение частоты, и сравните его с измеренным значением, определив относительную погрешность. Если эта погрешность не превышает значение класса точности ИП1 более, чем в два раза, то ИП1 можно считать пригодным к эксплуатации.

11. Соберите схему для исследования ИП2 (Е848НП), приведенную на рис. 9.4.

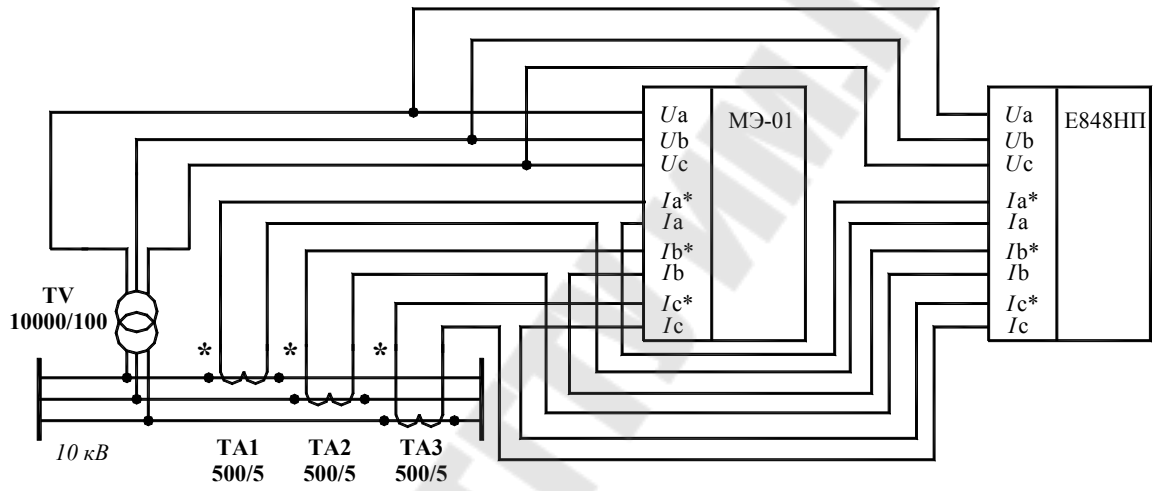


Рис. 9.4

12. Приготовьте таблицу в соответствии с табл. 9.3.

Таблица 9.3

U_A, В	U_B, В	U_C, В	I_A, А	I_B, А	I_C, А	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$\cos\varphi_3$	$I_{вых}$, мА

13. Переключите многопозиционный переключатель в положение «ИП2».

14. Включите МЭ-01 и стенд.

15. Установите ЛАТРом значение напряжения, заданное преподавателем (не менее 80% от максимального), а регуляторами токов – максимальные токи.

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

16. Заносите показания в табл. 9.3, снижая в произвольном порядке токи. Количество строк в таблице должно быть не менее 10.

17. Выключите автоматический выключатель стенда и тумблер «Питание МЭ-01».

18. Считая измерительные трансформаторы идеальными, рассчитайте реальные значения **фазных** напряжений сети и активную мощность трехфазной нагрузки в соответствии с методом трех ваттметров для каждого из измерений по формуле:

$$P = k_{\text{тн}} \cdot \left(U_{\text{A}} \cdot I_{\text{A}} \cdot \cos\varphi_1 + U_{\text{B}} \cdot I_{\text{B}} \cdot \cos\varphi_2 + U_{\text{C}} \cdot I_{\text{C}} \cdot \cos\varphi_3\right),$$

учитывая, что МЭ-01 показывает значения токов, уже умноженные на 100 (то есть на $k_{\text{тт}}$).

19. Рассчитайте значения коэффициента $\alpha_{\text{ном}}$ и тока смещения I_0 в соответствии с формулами (9.2) и (9.3), табл. 9.1 или данными на щитке измерительного преобразователя. С учетом коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов ($k_{\text{тн}}$ и $k_{\text{тт}}$) для каждого из измерений определите расчетные значения выходного тока ИП2 в соответствии с формулой (9.1), подставляя в качестве Y рассчитанные значения мощности, и сравните их с измеренными значениями выходного тока, определив среднюю относительную погрешность. Если эта погрешность не превышает значение класса точности ИП2 более, чем в два раза, то ИП2 можно считать пригодным к эксплуатации. Результаты расчетов занесите в табл. 9.4.

Таблица 9.4

U_{A}, кВ	U_{B}, кВ	U_{C}, кВ	I_{A}, А	I_{B}, А	I_{C}, А	P, МВт	$I_{\text{вых}}^{\text{расч}}$, мА	$I_{\text{вых}}^{\text{измер}}$, мА	γ, %

20. Постройте передаточную характеристику ИП2 и определите погрешность нелинейности в соответствии с формулой (9.5) и рис. 9.2.

Занятие 2

1. Убедитесь, что автоматический выключатель и тумблер питания МЭ-01 находятся в положении «Откл.». Установите все регуляторы тока в положение «Минимум».

2. Соберите схему для исследования ИП3 (Е849/9), аналогичную рис. 9.4., но ток фазы В подключите только к МЭ-01.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

3. Приготовьте таблицу в соответствии с табл. 9.3.

4. Переключите многопозиционный переключатель в положение «ИП3».

5. Включите МЭ-01 и стенд.

6. Установите ЛАТРом значение напряжения, заданное преподавателем (не менее 80% от максимального), а регуляторами токов – максимально возможные приблизительно **равные** по значению токи.

7. Заносите показания в табл. 9.3, снижая токи и соблюдая их приблизительное равенство. Количество строк в таблице должно быть не менее 5.

8. Выключите автоматический выключатель стенда и тумблер «Питание МЭ-01».

9. Считая измерительные трансформаторы идеальными, рассчитайте реальные значения **линейных** напряжений сети и активную мощность трехфазной нагрузки в соответствии с методом двух ваттметров для каждого из измерений по формуле:

$$P = k_{\text{тн}} \cdot \left(U_{\text{АВ}} \cdot I_{\text{А}} \cdot \cos\left(30° + \varphi_1\right) + U_{\text{СВ}} \cdot I_{\text{С}} \cdot \cos\left(30° - \varphi_3\right)\right),$$

учитывая, что МЭ-01 показывает значения токов, уже умноженные на 100 (то есть на $k_{\text{тт}}$).

10. Повторите пункт 19 занятия №1. Результаты расчетов занесите в табл. 9.5.

Таблица 9.5

$U_{\text{АВ}}$, кВ	$U_{\text{СВ}}$, кВ	$I_{\text{А}}$, А	$I_{\text{С}}$, А	P, МВт	$I_{\text{вых}}^{\text{расч}}$, мА	$I_{\text{вых}}^{\text{измер}}$, мА	γ, %

11. Повторите пункт 20 занятия №1.

12. Соберите схему для исследования ИП4 (Е855/1). Для этого подключите выходы вторичной обмотки измерительного трансформатора напряжения к соответствующим входам МЭ-01. К входу ИП4 подключите линейное напряжение, заданное преподавателем. Затем установите многопозиционный переключатель в положение «ИП4».

13. Включите МЭ-01 и стенд.

14. Установите ЛАТРом максимальное значение напряжения.

15. Снижая напряжение, снимите зависимость выходного тока ИП4 от подаваемого напряжения, занося данные в соответствующую таблицу (не менее 10 измерений).

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

16. Выключите автоматический выключатель стенда и тумблер «Питание МЭ-01».

17. С учетом коэффициента трансформации измерительного трансформатора напряжения для каждого из измерений рассчитайте соответствующие напряжения электрической сети и занесите в таблицу.

18. Рассчитайте значения коэффициента $\alpha_{\text{ном}}$ и I_0. Определите расчетные значения выходного тока ИП4 в соответствии с формулой (9.1), подставляя в качестве Y измеренные с помощью МЭ-01 напряжения, и сравните их с измеренными значениями выходного тока, определив среднюю относительную погрешность.

19. Соберите схему для исследования ИП5 (Е842). Для этого подключите **последовательно** выходы вторичной обмотки измерительного трансформатора тока фазы, заданной преподавателем, к соответствующим входам МЭ-01 и ИП5. Затем установите многопозиционный переключатель в положение «ИП5».

20. Включите МЭ-01 и стенд.

21. Установите ЛАТРом максимальное значение напряжения и соответствующим регулятором тока максимальный ток.

22. Снижая значение тока, снимите зависимость выходного тока ИП5 от входного тока, занося данные в соответствующую таблицу (не менее 10 измерений).

23. Выключите автоматический выключатель стенда и тумблер «Питание МЭ-01».

24. С учетом коэффициента трансформации измерительного трансформатора тока рассчитайте соответствующие токи электрической сети и занесите в таблицу.

25. Рассчитайте номинальное значение коэффициента $\alpha_{\text{ном}}$. Определите расчетные значения выходного тока ИП5 в соответствии с формулой (9.1) и сравните их с измеренными значениями, определив среднюю относительную погрешность.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Собранные схемы измерений (по аналогии с рис. 9.4).
3. Результаты измерений и расчетов в виде таблиц с выводами по каждому виду измерений.

Библиотека ГГТУ им. П.О.Сухого

Контрольные вопросы

1. Что такое измерительный преобразователь?

2. Что такое телеметрический выход измерительного преобразователя?

3. В соответствии с какими формулами работают измерительные преобразователи напряжения и тока?

4. В соответствии с какими формулами работают измерительные преобразователи активной мощности?

5. Перечислите возможные области применения измерительных преобразователей с телеметрическим выходом.

Библиотека ГГТУ им.П.О.Сухого

ЛИТЕРАТУРА

1. Зализный, Д. И. Электроника и информационно-измерительная техника : учеб. пособие / Д. И. Зализный, О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2017. – 177 с.

2. Брускин, Д. Э. Электрические машины / Д. Э. Брускин, А. Е. Зохорович, В. С. Хвостов. – М. : Высш. шк. – ч. 1, – 1987. – С. 137–141.

3. Электрические измерения / под ред. В. Н. Малиновского. – М. : Энергоатомиздат. – 1985.

4. Атамалян, Э. Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э. Г. Атамалян. – М. : Дрофа, 2005. – 415 с.

5. Панфилов, В. А. Электрические измерения / В. А. Панфилов. – М. : Академия, 2004. – 288 с.

6. Раннев, Г. Г. Методы и средства измерений / Г. Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – М. : Академия, 2003. – 336 с.

7. Афонский, А. А. Измерительные приборы и массовые измерения / А. А. Афонский, В. П. Дьяконов. – М. : Солон-Пресс, 2007. – 544 с.

8. Приборы и средства диагностики электрооборудования и измерений в системах электроснабжения : справочн. пособие. / под ред. В. И. Григорьева. – М. : Колос, 2006. – 272 с.

9. Электрические измерения / под ред. А. В. Фремке. – Ленинград : Энергия, 1980. – 252 с.

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Измерительные трансформаторы напряжения и тока…….... 4
Лабораторная работа № 2. Однофазный индукционный счетчик активной электроэнергии…… 13
Лабораторная работа № 3. Измерение активной мощности и энергии в трехфазных цепях…… 20
Лабораторная работа № 4. Измерение электрических сопротивлений…….. 33
Лабораторная работа № 5. Виртуальные измерительные приборы……. 43
Лабораторная работа № 6. Цифровой осциллограф……. 56
Лабораторная работа № 7. Электронные счетчики электроэнергии……. 64
Лабораторная работа № 8. Измерение магнитных характеристик материалов…… 71
Лабораторная работа № 9. Измерительные преобразователи с телеметрическим выходом…… 84
Литература …….. 98

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого

Д. И. Зализный, О. Г. Широков

ЭЛЕКТРОНИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

ПРАКТИКУМ
по выполнению лабораторных работ по одноименной дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», 1-43 01 03 «Электроснабжение» и 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 20.01.21.

Рег. № 13Е.
http://www.gstu.by

Библиотека ГГТУ им. П.О. Сухого