

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**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ  
по одноименной дисциплине для студентов  
специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические  
системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2010

УДК 621.38(075.8)  
ББК 32.85я73  
3-23

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 7 от 30.03.2010 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Автоматизированный электропривод» *А. В. Козлов*

**Зализный, Д. И.**

3-23      Электроника и информационно-измерительная техника : лаборатор. практикум по од-  
ноим. дисциплине для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические систе-  
мы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение» днев. и заоч. форм обучения / Д. И. Зализный,  
О. Г. Широков. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 74 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: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

Включены лабораторные работы, в которых рассмотрены основные методы измерения электрических и неэлектрических величин в системах электроснабжения с использованием как электромеханических, так и электронных измерительных приборов, а также измерительных преобразователей.

Для студентов специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 621.38(075.8)  
ББК 32.85я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2010

## 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.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 (4 часа)

### Измерительные трансформаторы напряжения и тока

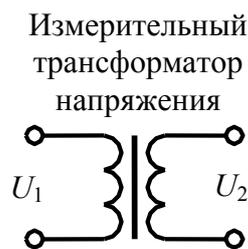
**Цель работы:** Ознакомиться с назначением и конструкцией измерительных трансформаторов напряжения и тока, изучить схемы подключения, а также методы измерения амплитудной и фазовой погрешностей измерительных трансформаторов.

#### 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  $K_T$ , номинальное первичное напряжение  $U_{1.н}$  (или ток  $I_{1.н}$ ), номинальное вторичное напряжение  $U_{2.н}$  (или ток  $I_{2.н}$ ), амплитудная  $f$  и угловая  $\delta$  погрешности. Условные обозначения, а также основные расчетные соотношения для измерительных трансформаторов приведены на рис. 1.1.



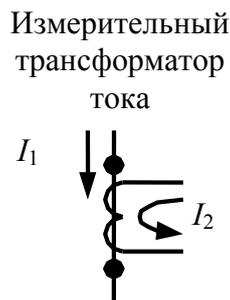
$$K_T = \frac{U_{1.н}}{U_{2.н}}$$

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

$$U_{2.р} = \frac{U_1}{K_T}$$

$$\delta = (U_{2.и} \wedge U_{2.р})$$

а)



$$K_T = \frac{I_{1.н}}{I_{2.н}}$$

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

$$I_{2.р} = \frac{I_1}{K_T}$$

$$\delta = (I_{2.и} \wedge I_{2.р})$$

б)

Рис. 1.1

На рис. 1.1 обозначено:  $U_{2.и}$  и  $U_{2.р}$  – соответственно измеренное и расчетное значение напряжения на вторичной обмотке трансформатора напряжения;  $I_{2.и}$  и  $I_{2.р}$  – 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  $U_{2.н} = 100\text{В}$ . Бывают также значения  $U_{2.н} = \frac{100}{\sqrt{3}}\text{В}$  и  $U_{2.н} = \frac{100}{3}\text{В}$ .

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  $I_{2.н} = 5\text{А}$ . Бывают также значения  $I_{2.н} = 1\text{А}$  и  $I_{2.н} = 2\text{А}$ .

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 $(0,8 \div 1,2) \cdot U_{1.н}$ , %	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
Угловая погрешность, мин.	$\pm 10$	$\pm 20$	$\pm 40$

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:

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

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

Аналогично для трансформаторов тока:

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

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.

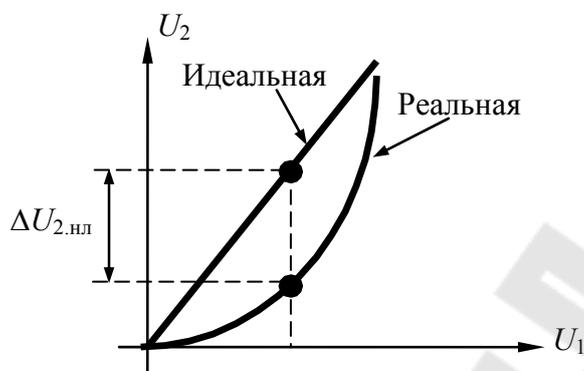


Рис. 1.2

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 ( $R_{н.тн}$ ,  $R_{н.тт}$ ), шунты ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ) 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 ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ ) необходимы для расширения диапазонов измерения амперметров, имеющих предел измерения 1 А.

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 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 под-

ключении измерителя разности фаз к электрической сети используйте только розетку с контактом заземления (типа «евро»).

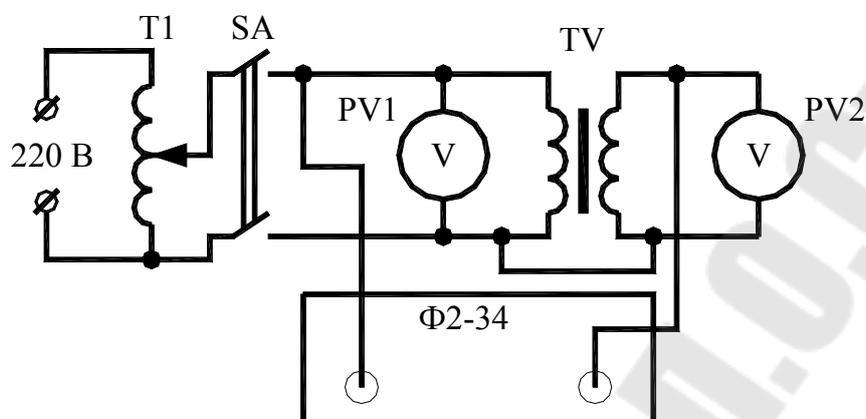


Рис. 1.3

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.
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  $R_{н.тн}$  (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 ТА2 (И54), используя образцовый трансформатор тока ТА1 (И515М), амперметры ПА1 и ПА2, 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.

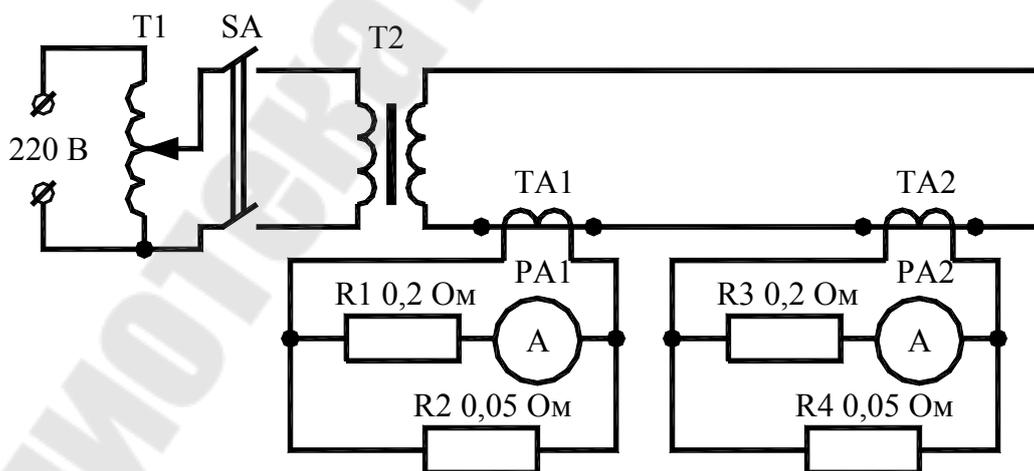


Рис. 1.4

2. Установите пределы измерения амперметров равными 1 А.

3. Продумайте, как работает эта схема и для чего нужен каждый из её 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  $K_{т.обр}$ .

10. Рассчитайте значения токов первичных обмоток трансформаторов тока для каждого из измерений по формуле:  $I_1 = I_{РА1} \cdot K_{т.обр}$ , где  $I_{РА1}$  – показания амперметра РА1 с учетом шунтов.

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

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 отчёта

1. Цель работы.
2. Схемы рис. 1.3 и рис. 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.

Литература [6], [7].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 (2 часа)

### Однофазный индукционный счётчик активной электроэнергии

**Цель работы:** Ознакомиться с конструкцией, теорией и методикой поверки однофазных индукционных счётчиков электрической энергии.

#### Краткие теоретические сведения

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

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

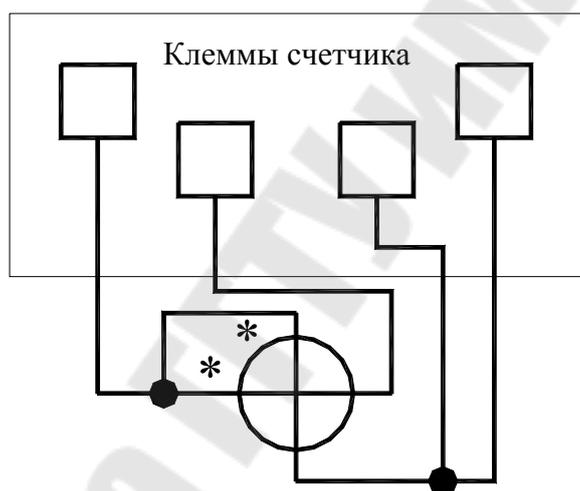


Рис.2.1

На рис. 2.1 обмотки тока и напряжения счётчика 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 счётчика 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 подключения: первая и третья клеммы подключаются к распределительному щитку, а вторая и четвертая клеммы – к нагрузке.

Основным параметром счётчика 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:

$$c_n = \frac{3600 \cdot 1000}{N_0}, \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{оборот}}. \quad (2.1)$$

Электроэнергия, учитываемая счетчиком, рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{сч}} = c_n \cdot N_{\text{ср}}, \text{Вт} \cdot \text{с}. \quad (2.2)$$

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

Сущность поверки индукционного счётчика заключается в сравнении его показаний с показаниями образцовых приборов – ваттметра и секундомера. Пусть  $P_d$  – показания образцового ваттметра, а  $t$  – показания секундомера. Тогда действительную электроэнергию, потребленную нагрузкой можно рассчитать по формуле:

$$W_d = P_d \cdot t, \text{Вт} \cdot \text{с}. \quad (2.3)$$

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:

$$\delta = \frac{W_d - W_{\text{сч}}}{W_{\text{сч}}}. \quad (2.4)$$

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

Счётчик пригоден к эксплуатации, если:

$$\delta \leq \delta_{\text{кл}}, \quad (2.5)$$

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

Важной характеристикой счетчика является **порог чувствительности**:

$$S_{\text{сч}} = \frac{I_{\text{min}}}{I_{\text{ном}}} \cdot 100, \% \quad (2.6)$$

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

### Описание лабораторной установки

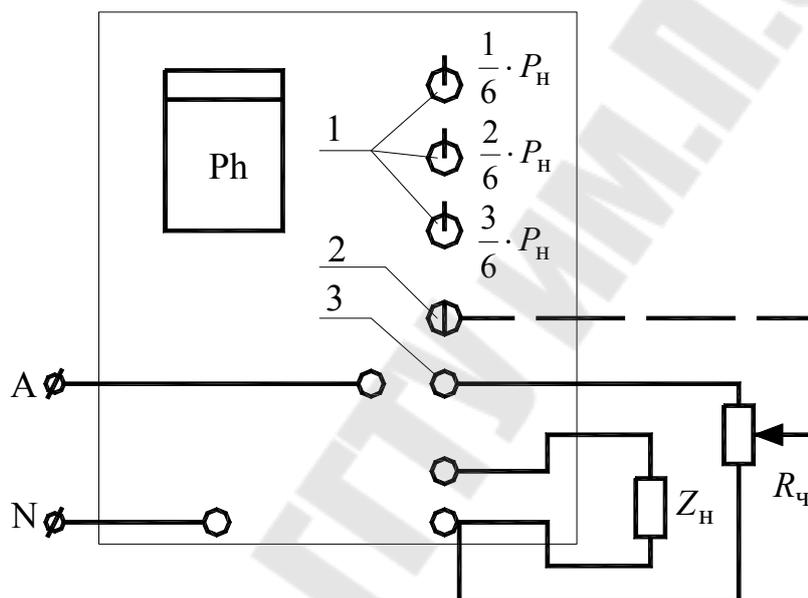


Рис.2.2. Конструкция лабораторной установки

Конструкция лабораторной установки приведена на рис. 2.2. Лабораторная установка состоит из стенда, на котором расположены клеммы напряжения 220 В, автоматический выключатель, индукционный счетчик Ph, переключатели мощности нагрузки 1, регулятор сопротивления порога чувствительности 2, клеммы для подключения схемы 3.

**Внимание !** Сопротивления  $Z_{\text{н}}$  и  $R_{\text{ч}}$  подключены стационарно, поэтому при сборке схемы их клеммами как промежуточными пользоваться не допускается!

## Используемое оборудование

1. Индукционный счётчик 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**

$P_d$	$t$	$W_d$	$N$	$W_{сч}$	$W_{сч} - W_d$	$\delta$	$U$	$I$	$\cos\varphi$
Вт	с	Вт·с	Обор.	Вт·с	Вт·с	%	В	А	
$P_{д.ср} =$	$t_{ср} =$		$N_{ср} =$						
Еще 8 строк									

В таблице обозначено:

$P_d$  – 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;  $W_d$  – 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 од-

ной и той же нагрузки;  $W_{сч}$  – активная энергия, учтенная счетчиком;  $\delta$  – погрешность учета активной энергии счетчиком;  $U$  – показания вольтметра;  $I$  – показания амперметра;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки.

## Порядок выполнения работы

### 1. Проверка счётчика

1.1 Соберите схему, изображенную на рис.1.3.

**Внимание!** Токковые 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.

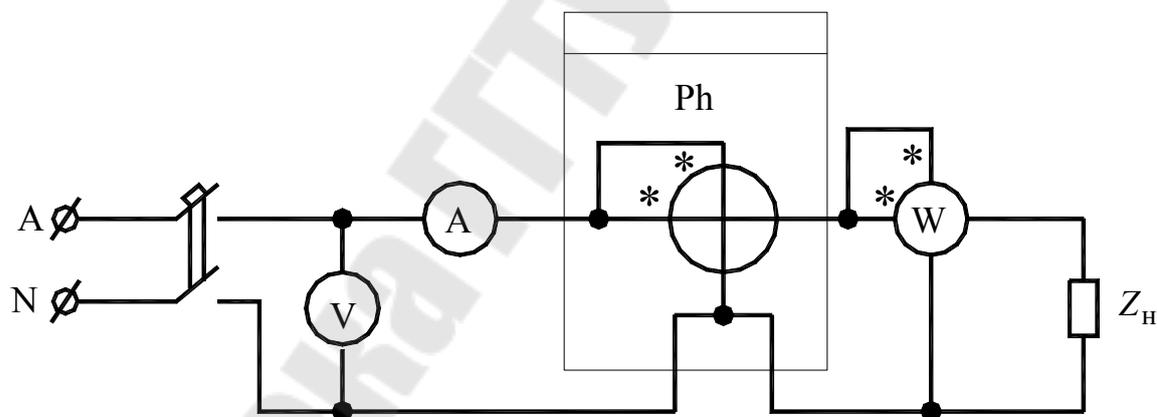


Рис.2.3. Схема для проверки однофазного индукционного счетчика

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

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

1.9 Занесите в табл. 2.1 значения величин  $t$ ,  $N$ ,  $P_d$ ,  $U$  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  $\cos \varphi = \frac{P_{д.ср}}{U \cdot I}$ .

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

## 2. Определение порога чувствительности счётчика

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.

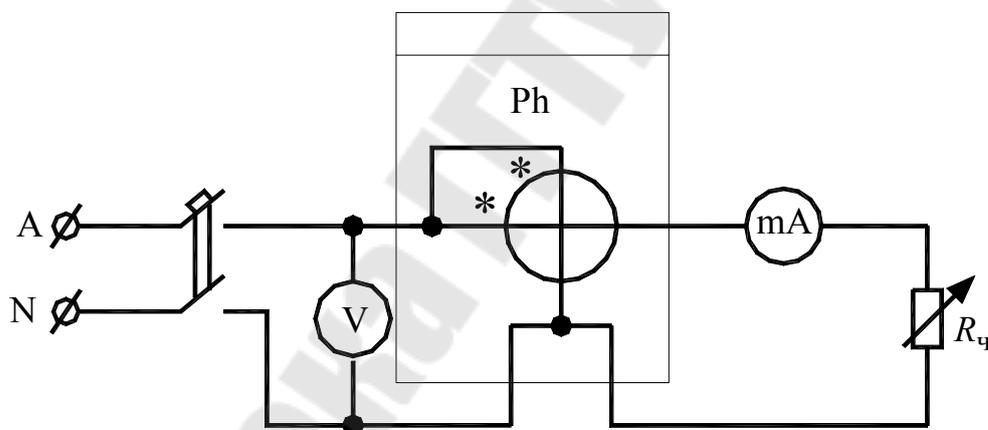


Рис.2.4. Схема для определения порога чувствительности однофазного индукционного счётчика

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  $R_{\text{ч}}$  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  $I_{\text{min}}$ .

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

2.12. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации.

### **Содержание отчёта**

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 счётчика.

2. Векторная диаграмма и физические основы работы однофазного индукционного счётчика.

3. Тормозной и компенсационный моменты однофазного индукционного счётчика. Назначение, реализация.

4. Самоход индукционного счётчика. Причины возникновения и способы устранения.

5. Регулировки однофазного индукционного счётчика. Виды, реализация.

6. Принципы поверки и определения порога чувствительности однофазного индукционного счётчика.

Литература [2], [7].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 (4 часа)

### Измерение активной мощности и энергии в трёхфазных цепях

**Цель работы:** Освоить принципы измерения активной мощности и энергии в трёхфазных цепях. Ознакомиться с конструкцией, теорией и методикой поверки трёхфазных индукционных счётчиков электроэнергии.

#### Краткие теоретические сведения

Для измерения активной энергии в трёхфазных четырёхпроводных сетях используют метод одного или трёх ваттметров. В случае трёхпроводных сетей используют метод двух ваттметров.

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

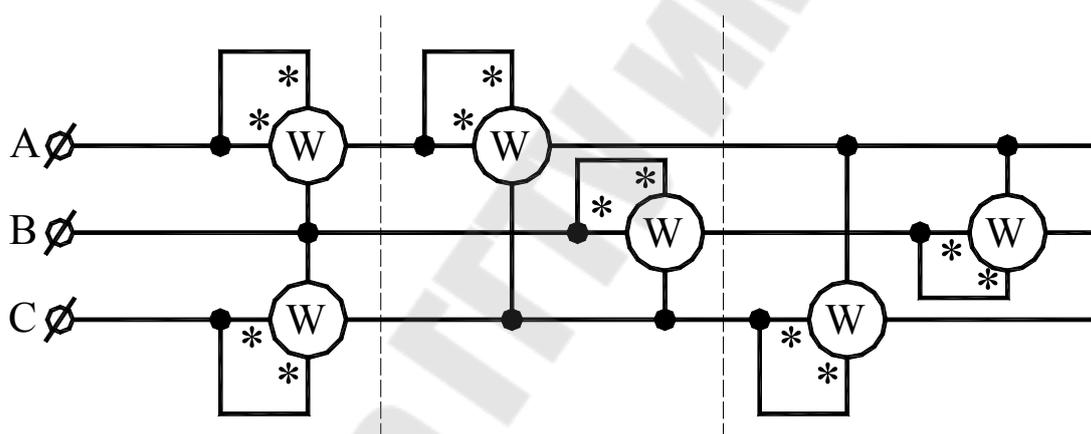


Рис. 3.1

**Трёхфазный индукционный счётчик электроэнергии** – это измерительный прибор, предназначенный для учета потребляемой электрической энергии трехфазными электроприемниками. Существуют трехфазные счетчики активной и реактивной энергии.

Трёхфазные счетчики бывают *двухэлементными* и *трёхэлементными*. Двухэлементный счетчик имеет две пары обмоток напряжения и тока и включается в трехфазную цепь по методу двух ваттметров. Трёхэлементный счетчик имеет три пары обмоток напряжения и тока и включается в трехфазную цепь по методу трёх ваттметров.

Обмотка напряжения включается в цепь параллельно, а обмотка тока – последовательно. Монтажная схема счетчика САЗУ – И670М показана на рис. 3.2.

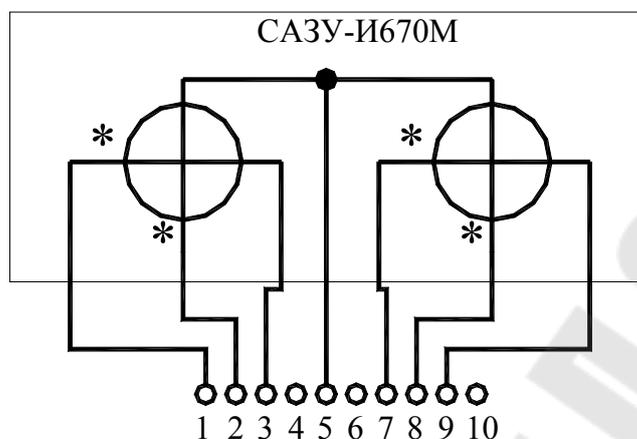


Рис.3.2. Монтажная схема подключения счетчика САЗУ – И670М

На рис. 3.2 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.

Проверка двухэлементного трёхфазного счетчика проводится аналогично проверке однофазного счетчика (см. лаб. работу №2). Однако при этом показания образцовых ваттметров суммируются.

### Описание лабораторной установки

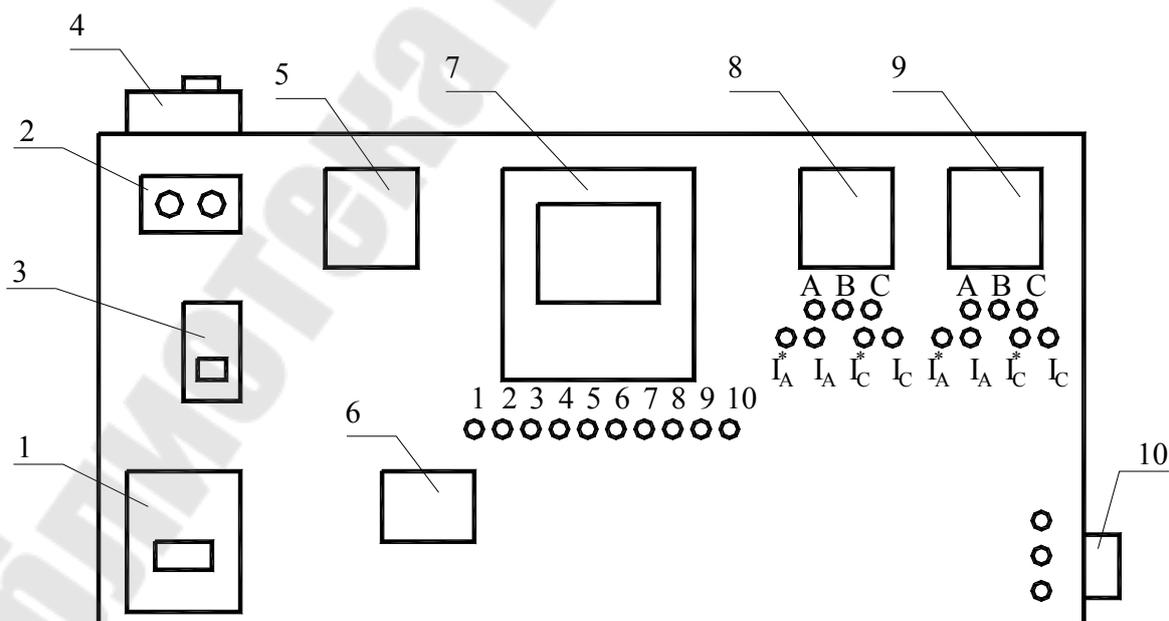


Рис.3.3. Конструкция лабораторной установки

Конструкция лабораторной установки показана на рис. 3.3. Лабораторная установка состоит из стенда, на котором расположены: клеммы трёхфазного напряжения с линейным значением 220 В, трёхфазный автоматический выключатель 1, электромагнитный пускатель 2, однофазный автоматический выключатель электромагнитного тормоза 3, регулятор тока через электромагнитный тормоз (регулируемый реостат) 4, вольтметр 5, амперметр 6, двухэлементный трёхфазный счётчик активной энергии 7 и его контакты, киловаттметр 8 и его контакты, розетка для подключения нагрузки 10.

Принципиальная схема лабораторной установки изображена на рис.3.4.

Трёхфазное сетевое напряжение 220 В поступает на схему лабораторной установки через автоматический выключатель  $QF_1$ . Наличие напряжения можно контролировать с помощью вольтметра.

Непосредственно на клеммы стенда напряжение подается через магнитный пускатель КМ, обмотка которого включается и становится на самоподпитку при нажатии кнопки  $SB_1$  «Пуск». При этом все контакты магнитного пускателя замыкаются.

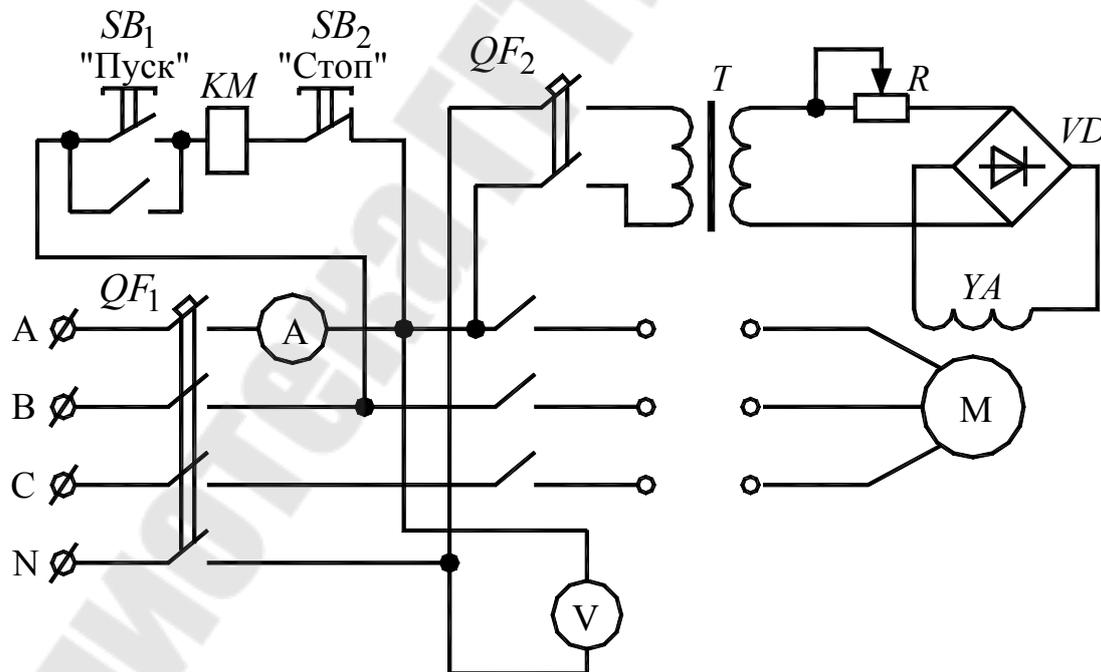


Рис.3.4. Принципиальная схема лабораторной установки

В случае нажатия кнопки  $SB_2$  «Стоп», подача напряжения на обмотку магнитного пускателя прекращается, и его контакты размы-

каются. В данном положении пускателя напряжение на зажимы стэнда не поступает.

В лабораторной работе в качестве нагрузки используется асинхронный трёхфазный электродвигатель  $M$ , активная составляющая тока которого может регулироваться при помощи электромагнитного тормоза (ЭМТ)  $YA$  и контролироваться с помощью амперметра. Напряжение на ЭМТ подается через автоматический выключатель  $QF_2$ , понижающий трансформатор  $T$ , регулировочный реостат  $R$  и двухполупериодный выпрямитель  $VD$ . Таким образом, реостат  $R$  позволяет регулировать постоянный (выпрямленный) ток в обмотке ЭМТ.

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.

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

**Внимание!** Внешнее питание на стенд подаёт только преподаватель!

### Используемое оборудование

1. Индукционный трехфазный счетчик САЗУ – И670М.
2. Секундомер СТЦ-1 (или ручной в мобильном телефоне).
3. Амперметр Э8030.
4. Вольтметр Э365-1.
5. Образцовый ваттметр Д5088 – 2 шт.
6. Киловаттметр Д365.
7. Киловарметр Д365.

### Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить теоретические сведения для данной работы и лабораторной работы №2.
2. Изучить лабораторную установку, принципы ее работы, и найти на столе требуемое оборудование.
3. Выучить меры по технике безопасности.
4. Изучить схему подключения индукционного счётчика, изображенную на его щитке, или на рис. 3.1.

5. Изучить назначение выводов и принцип определения цены деления образцовых ваттметров, а также других приборов.

6. Изучить назначение органов управления секундомера.

7. Изучить ход работы.

Подготовить в черновике таблицу для результатов поверки счетчика, аналогичную табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты поверки трехфазного индукционного счетчика

$P_{д1}$	$P_{д2}$	$t$	$W_{д}$	$N$	$W_{сч}$	$\delta_{сч}$	$Q$	$\cos \varphi$
Вт	Вт	с	Вт·с	Обор.	Вт·с	%	ВАР	
$P_{д1.ср} =$	$P_{д2.ср} =$	$t_{ср} =$		$N_{ср} =$				
Еще 8 строк								

В таблице обозначено:

$P_{д1}$ ,  $P_{д2}$  – соответственно показания первого и второго образцовых ваттметров (с учетом знака);  $P_{д1.ср}$ ,  $P_{д2.ср}$  – средние значения показаний ваттметров (с учетом знака), полученные за три измерения при одной и той же нагрузке;  $t$  – 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 нагрузке;  $W_{д}$  – действительная активная электроэнергия, потребленная нагрузкой;  $N$  – количество полных оборотов диска счетчика за время  $t$ ;  $N_{ср}$  – среднее значение числа оборотов диска, полученное за три измерения при одной и той же нагрузке;  $W_{сч}$  – активная энергия, учтенная счетчиком;  $\delta_{сч}$  – погрешность учета активной электроэнергии счетчиком;  $Q$  – показания киловарметра;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки.

## Порядок выполнения работы

### Занятие 1

#### Измерение активной мощности в трёхпроводной 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 фазы А и С.

**Внимание!** Токовые цепи приборов необходимо подключить на предел 5 А. Токовые цепи киловаттметра необходимо подключать только в фазы А и С.

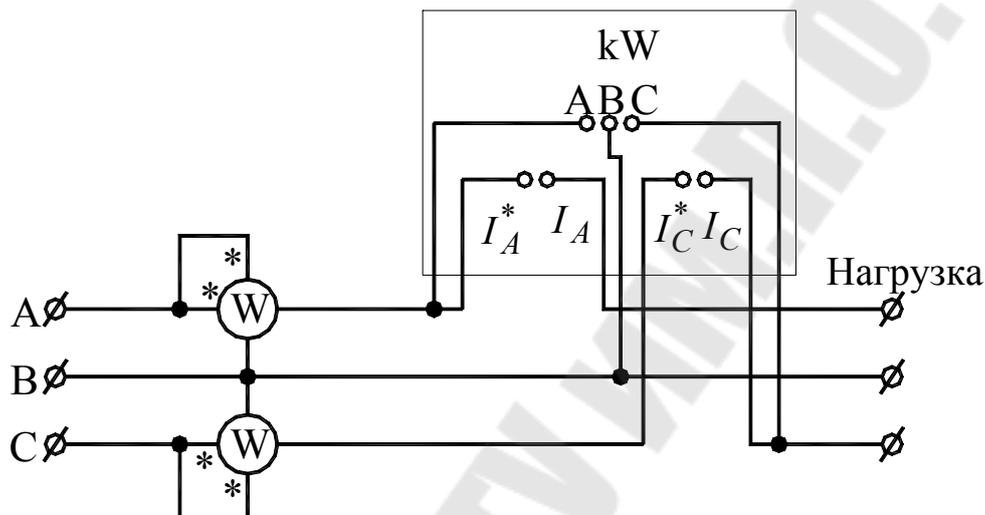


Рис. 3.5

3. Нажмите кнопки пределов обмоток напряжения образцовых ваттметров на уровень «450 В».

4. Включите питание образцовых ваттметров. В случае отсутствия светового пятна в окне ваттметра, при участии преподавателя, произведите настройку оптического блока ваттметра.

5. Установите регулировочный реостат в крайнее левое положение, соответствующее минимальной нагрузке (минимальному току 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).
11. Установите регулировочный реостат в крайнее правое положение, соответствующее максимальной нагрузке.
12. Нажмите кнопку «Стоп» магнитного пускателя и **дождитесь полной остановки двигателя.**
13. Установите регулировочный реостат в крайнее левое положение и отключите автоматический выключатель  $QF_2$ .
14. Отключите трехфазный автоматический выключатель.
15. Рассчитайте среднюю относительную погрешность для киловаттметра.

## Занятие 2

### Проверка трёхфазного счётчика электроэнергии

1. Соберите схему для проверки трёхфазного счётчика, включив образцовые ваттметры в фазы, заданные преподавателем. Пример схемы при включении ваттметров в фазы А и С приведен на рис. 3.6. Помимо образцовых ваттметров должны быть подключены счётчик, киловаттметр и киловарметр. Токосные цепи киловаттметра и киловарметра необходимо включать только в фазы А и С.
2. Повторите пункты 3...9 занятия №1.
3. По киловаттметру с помощью регулировочного реостата установите приближенное значение мощности нагрузки в соответствии с заданием преподавателя.
4. Выберите целое число оборотов  $N$  диска счётчика, соответствующее времени  $t = 50 \dots 60$  секунд.
5. Отсчитайте по секундомеру точное значение времени  $t$ , соответствующее целому числу оборотов  $N$  диска счётчика.
6. 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 в зависимости от положения кнопки «±» ваттметров.
7. Повторите измерения еще два раза для данной нагрузки.

8. Повторите пункты 3...7 еще два раза, в соответствии с значениями нагрузок, заданными преподавателем.

Установите регулировочный реостат в крайнее правое положение, соответствующее максимальной нагрузке.

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

10. Установите регулировочный реостат в крайнее левое положение и отключите автоматический выключатель  $QF_2$ .

11. Отключите трехфазный автоматический выключатель.

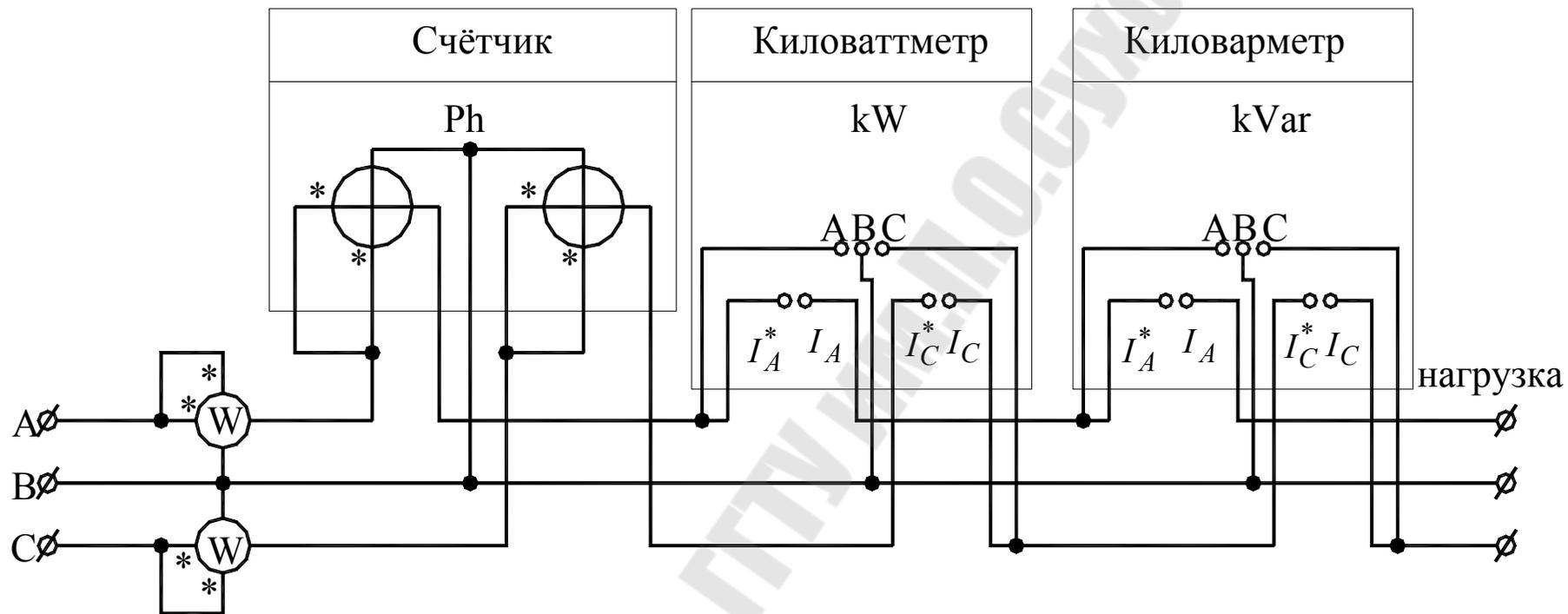


Рис. 3.6

12. Спишите значение передаточного числа  $N_0$  счетчика с его щитка, обозначенное, как «1 кВт·час =  $N_0$  оборотов диска».

13. Рассчитайте необходимые величины по формулам (2.1)...(2.4) из лабораторной работы №2. При этом вместо  $P_{д.ср}$  используйте сумму  $P_{д1.ср} + P_{д2.ср}$ . Результаты расчетов занесите в табл. 3.1.

14. Вычислите значения  $\cos \varphi$  по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P_{д1.ср} + P_{д2.ср}}{\sqrt{(P_{д1.ср} + P_{д2.ср})^2 + (Q)^2}}.$$

15. Занесите вычисленные значения в табл. 3.1.

16. Сделайте выводы о пригодности счетчика к эксплуатации в соответствии с соотношением (2.5) из лабораторной работы №2.

### **Содержание отчёта**

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

### **Контрольные вопросы**

1. Способы измерения активной энергии в трехфазных цепях. Схемы, расчёты.
2. Классификация и особенности подключения трехфазных индукционных счетчиков.
3. Измерение реактивной энергии в трехфазных цепях. Классификация и особенности подключения трехфазных индукционных счетчиков.
4. Физические основы работы трехфазных индукционных счетчиков.
5. Методика поверки трехфазного индукционного счетчика.

Литература [1], [2], [3], [7]

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 (2 часа)

### Регистрирующие приборы самопишущие

**Цель работы:** Изучение конструкции самопишущих регистрирующих приборов, методов регистрации изменения электрических сигналов и определения основной погрешности по записи времени и основной погрешности по записи напряжения самопишущего щитового вольтметра типа Н3093.

#### Краткие теоретические сведения

Большинство регистрирующих приборов независимо от метода регистрации используют носители, на которые нанесена диаграммная сетка. Поле записи диаграммной ленты (рис. 4.1) делится первичными линиями отсчёта измеряемого параметра (линии Б) на базовые блоки.

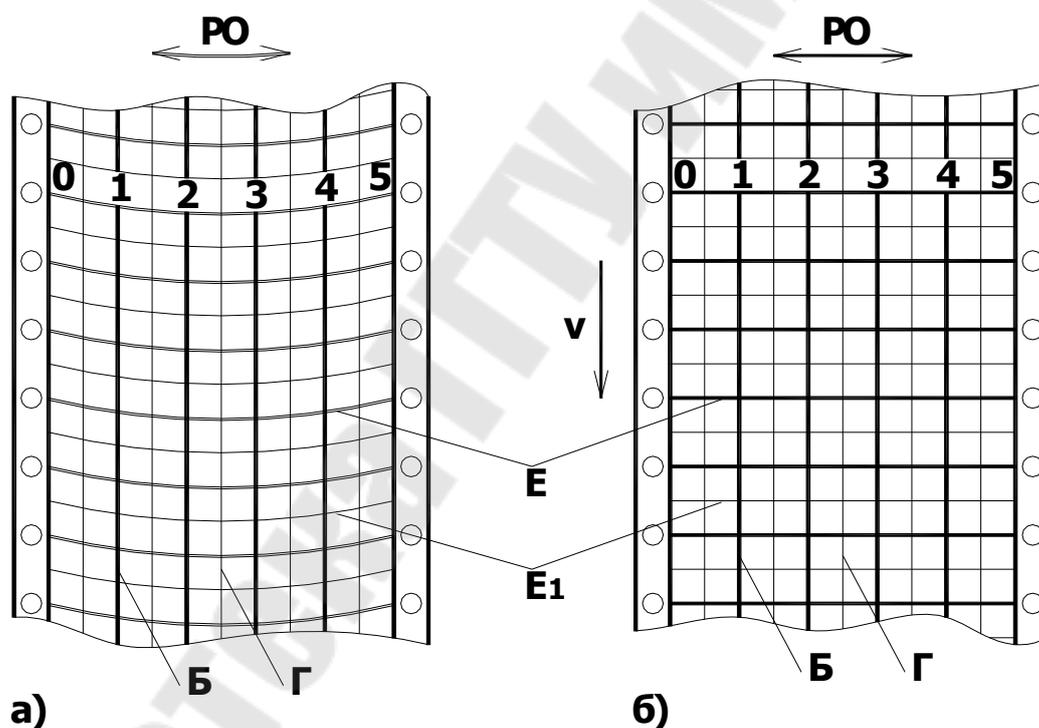


Рис. 4.1. Диаграммные ленты

Базовые блоки разделены на интервалы вторичными линиями отсчета (линии Г). Линии отсчета ленточных диаграмм обычно имеют условную оцифровку.

Для отсчета временных интервалов диаграммные ленты делятся на основные интервалы линиями времени (линии Е). Обычно каждый

основной интервал времени, ограниченный линиями  $E$ , делится на равные деления времени, ограниченные дополнительными линиями времени  $E_1$ .

Диаграммные ленты типа ЛР (рис. 4.1, *a*) используются в регистрирующих приборах, в которых регистрирующий орган перемещается по дуге окружности радиусом  $r$ . Поэтому регистрация измеряемой величины на диаграммных лентах типа ЛР производится в криволинейной системе координат. Отсчет значения измеряемой величины в каждый данный момент времени производится с помощью специальной масштабной линейки, нулевая отметка которой совмещается с нулевой линией диаграммной ленты.

Если диаграммная лента не имеет перфорации, то к наименованию типа ленты добавляются буквы БП. Диаграммная лента типа ЛР без перфорации имеет обозначение ЛРБП.

Диаграммные ленты типа ЛПГ (ЛПТБП) имеют диаграммную сетку с прямолинейными горизонтальными линиями времени (рис. 4.1, *б*), позволяющую производить регистрацию изменения измеряемой величины в прямоугольной системе координат. Отсчет значения измеряемой величины производится без применения специальной масштабной линейки. Регистрация на диаграммных лентах типа ЛПГ требует прямолинейного перемещения регистрирующего органа в горизонтальной плоскости.

Обычные регистрирующие приборы предназначены для регистрации изменения электрических сигналов в диапазоне частот до 1 Гц.

Самопишущий щитовой вольтметр типа Н3093 состоит из регистрирующего блока и блока преобразователя переменного напряжения.

По принципу действия измерительная часть регистрирующего блока представляет собой автоматический компенсатор. Структурная схема измерительной части регистрирующего блока представлена на рис. 4.2. В преобразователе А1 измеряемая величина преобразуется в сигнал постоянного тока с номинальным значением 2 мА. Этот сигнал поступает на вход предусилителя А2. Сигнал с предусилителя А2 подается на сервоусилитель А4, на выходе которого включен исполнительный механизм М. При перемещении каретки исполнительного механизма перемещается и экран емкостного датчика В, в результате чего изменяется емкость датчика.

Изменение емкости датчика В в усилителе-преобразователе А3 преобразуется в сигнал постоянного тока, обратный по знаку сигналу

с выхода предусилителя A2 (сигнал отрицательной обратной связи). Каретка исполнительного механизма М под воздействием алгебраической суммы входного сигнала и сигнала обратной связи будет перемещаться до тех пор, пока не наступит момент равновесия (компенсации) входного сигнала и сигнала с емкостного датчика В. В этот момент положение каретки исполнительного механизма М (пишущего устройства) будет соответствовать значению входного сигнала.

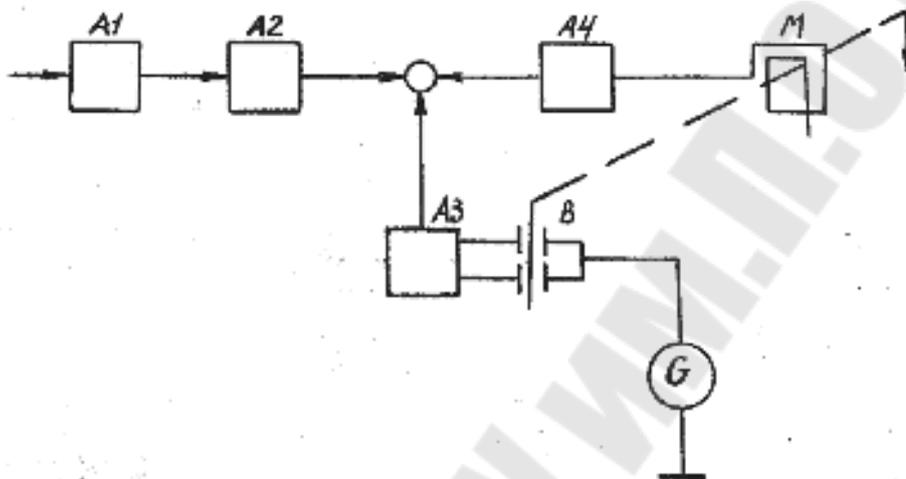


Рис. 4.2. Структурная схема измерительной части регистрирующего блока вольтметра типа Н3093:

A1 – преобразователь измеряемой величины в унифицированный сигнал; A2 – предусилитель; A3 – усилитель-преобразователь; A4 – сервоусилитель; В – емкостной датчик положения; М – исполнительный механизм; G – генератор переменного напряжения

В состав регистрирующего блока входят: линейный двигатель с емкостным датчиком положения; лентопротяжный механизм; сменное пишущее устройство.

Линейный двигатель с емкостным датчиком положения представляет собой прямоугольную замкнутую магнитную систему, в воздушном зазоре которой расположена рабочая сторона подвижной рамки – каретки. Каретка перемещается на шарикоподшипниках по направляющим боковых стенок магнитопровода, вдоль всей его длины.

Емкостной датчик положения (датчик обратной связи следящей системы) расположен вдоль всей длины магнитопровода и представляет собой воздушный конденсатор, выполненный из пластин фольгированного стеклотекстолита, внутри которых перемещается алюминиевый экран, связанный с кареткой.

Лентопротяжный механизм рассчитан на применение перфорированной диаграммной ленты. Принцип работы лентопротяжного механизма показан на рис. 4.3.

Диagramмная лента с рулона, надетого на лентоподающую катушку 2, через ведущий валик 1 и направляющий валик 4 концом закрепляется на приемной катушке 3. Ведущий валик 1 с помощью зубчатых колес соединен с механизмом привода. Привод лентопротяжного механизма осуществляется от синхронного электродвигателя через редуктор со сменными зубчатыми колесами, позволяющими изменять скорость перемещения диаграммной ленты.

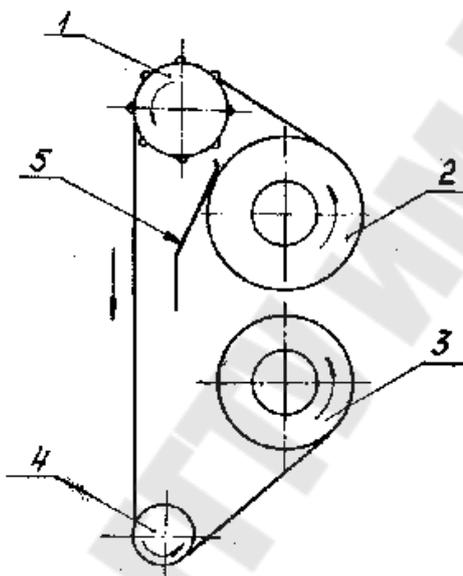


Рис. 4.3. Принцип работы лентопротяжного механизма:

1 – ведущий валик; 2 – лентоподающая катушка; 3 – приемная катушка;  
4 – направляющий валик; 5 – пружина

Сменное пишущее устройство для записи чернилами конструктивно представляет собой навесную чернильницу с капиллярным пером.

Для записи шариковым стержнем предусмотрено съемное устройство, устанавливаемое взамен чернильницы и позволяющее регулировать прижим наконечника шарикового стержня к диаграммной ленте.

Преобразователь входного сигнала размещен на задней стенке регистрирующего блока. Он определяет диапазон измерения напряжения.

Вольтметр самопишущий типа Н3093 предназначен для измерения и непрерывной записи величины напряжения в цепях однофазного переменного тока в диапазоне частот 45-65 Гц.

Конечные значения диапазонов измерений вольтметра 15, 25, 50, 150, 250, 500, 600 В.

Предел допускаемого значения основной погрешности по измерению и по записи измеряемой величины равен  $\pm 1,5\%$ .

Предел допускаемого значения полной погрешности по записи измеряемой величины равен  $\pm 1,5\%$ .

Предел допускаемого значения основной погрешности по записи времени равен  $\pm 0,5\%$ .

Предел допускаемого значения дополнительной погрешности приборов, вызванной изменением температуры окружающего воздуха от нормальной до любой температуры в пределах от 0 до 50 °С, равен пределу допускаемого значения основной погрешности на каждые 10 °С изменения температуры.

Предел допускаемого значения дополнительной погрешности приборов по измерению и по записи измеряемой величины, вызванной изменением положения приборов от нормального положения в любом направлении на  $\pm 5^\circ$ , равен пределу допускаемого значения основной погрешности.

Время установления показаний не превышает 2 с, а значение первого переброса указателя не превышает 7 % ширины поля записи.

Электропитание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением (220 $\pm$ 22) В, частотой (50 $\pm$ 1) Гц.

Потребляемая мощность прибора не превышает: измерительной цепи – 1 ВА; цепи питания – 12 ВА.

Номинальные значения скоростей перемещения диаграммной ленты: 20; 60; 180; 600; 1800; 5400 мм/час.

## Описание лабораторной установки

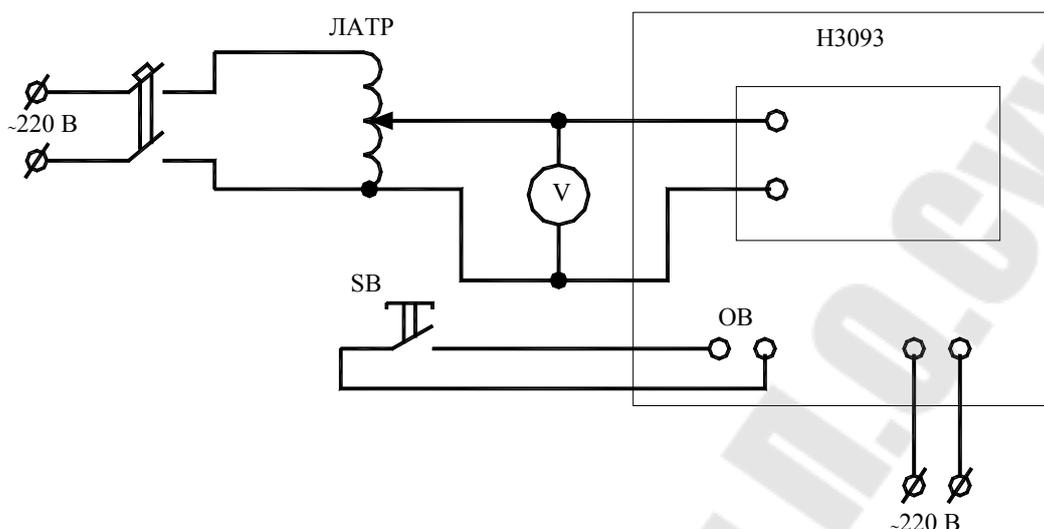


Рис.4.4. Принципиальная схема лабораторной установки

Лабораторная установка включает лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), самопишущий прибор НЗ093, вольтметр и кнопку для выставления меток времени SB.

### Используемое оборудование

1. Самопишущий щитовой вольтметр НЗ093.
2. Секундомер СТЦ-1 (или ручной в сотовом телефоне).
3. Образцовый вольтметр Д566.
4. ЛАТР.
5. Миллиметровая линейка.

### Задание на допуск к лабораторной работе

1. Изучить назначение органов управления, конструкцию и принцип работы самопишущего щитового вольтметра НЗ093, используя теоретические сведения или его паспорт.
2. Изучить лабораторную установку и найти на столе требуемое оборудование.
3. Выучить меры по технике безопасности.

### Порядок выполнения работы

1. Убедитесь, что схема рис.4.4 собрана правильно.
2. Установите регулятор ЛАТРа в крайнее левое положение, соответствующее минимуму напряжения.

**Внимание!** Регулятор ЛАТРа запрещено вращать с усилием!

3. Включите самопишущий вольтметр в сеть и запустите лентопротяжный механизм. В течение 5-7 минут дождитесь появления на диаграммной ленте линии, соответствующей входному напряжению 0 В.

4. Установите на переключателях секундомера регистрируемый промежуток времени в соответствии с заданием преподавателя. При этом, кнопку «Контр» необходимо нажать.

5. Включите секундомер.

6. В присутствии преподавателя включите ЛАТР.

7. Выставьте регулятором ЛАТРа по образцовому вольтметру напряжение  $U$  в соответствии с заданием преподавателя.

**Внимание!** Следите за тем, чтобы напряжение не превысило 150 В! Убедитесь, что каретка самопишущего вольтметра отклоняется.

8. Поставьте метку на диаграммной ленте, нажав кнопку SB. Одновременно с этим запустите секундомер.

9. Дождитесь окончания промежутка времени, следя за секундомером. В течение измерений следите также за отклонениями показаний образцового вольтметра, вызванными нестабильностью сетевого напряжения. Запишите максимальное  $U_{\max}$  и минимальное  $U_{\min}$  значения напряжений, которые имели место в течение данного промежутка времени.

10. По окончании промежутка времени снова поставьте метку, нажав кнопку SB.

11. Повторите пункты 8...11 еще 5-8 раз, в соответствии с заданием преподавателя.

12. В присутствии преподавателя сведите регулятор ЛАТРа на минимум и выключите ЛАТР. А затем отключите остальные приборы.

13. Извлеките лентопротяжный механизм из самопишущего вольтметра.

14. С помощью линейки для каждого временного промежутка измерьте расстояния перемещения диаграммной ленты (между метками), а также средние расстояния перемещения каретки относительно линии, соответствующей входному напряжению 0 В.

15. Учитывая масштаб шкалы самопишущего вольтметра, переведите расстояния перемещения каретки в соответствующие им напряжения  $U_{с.в.}$ . Обратите внимание, что на начальном участке шкала

самопишущего вольтметра нелинейна. Разработайте самостоятельно методику учета данной нелинейности в процессе расчета напряжений.

16. Для каждого временного промежутка рассчитайте основную погрешность по записи времени:

$$\delta_t = \left( \frac{S_D}{v_{\text{НОМ}} \cdot t} - 1 \right) \cdot 100[\%],$$

где  $S_D$  – расстояние, на которое переместилась диаграммная лента за время измерения, мм;  $v_{\text{НОМ}}$  – номинальная скорость перемещения диаграммной ленты, мм/час ( $v_{\text{НОМ}} = 180$  мм/час);  $t$  – промежуток времени, час.

17. Для каждого временного промежутка рассчитайте основную погрешность по записи напряжения:

$$\delta_U = \left( \frac{\frac{U_{\text{min}} + U_{\text{max}}}{2} - U_{\text{с.в}}}{\frac{U_{\text{min}} + U_{\text{max}}}{2}} \right) \cdot 100[\%],$$

где  $U_{\text{min}}$  и  $U_{\text{max}}$  – соответственно, минимальное и максимальное значения показаний образцового вольтметра в течение измеряемого промежутка времени;  $U_{\text{с.в}}$  – среднее значение напряжения, рассчитанное по показаниям самопишущего вольтметра на диаграммной ленте в течение измеряемого промежутка времени.

18. Сведите все результаты измерений и расчетов в таблицу, сформированную самостоятельно.

### Выводы по работе

1. В качестве погрешности по записи времени необходимо принять максимальное из полученных значений погрешности  $\delta_t$ . Если  $\delta_t < 0,5$  %, то можно сделать вывод, что погрешность по записи времени не превышает максимально допустимую.

2. Погрешность  $\delta_U$  не является метрологической характеристикой самопишущего вольтметра, так как измерения проводились в условиях нестабильного входного напряжения. Основное назначение данной погрешности – оценка правильности расчетов напряжения на основе показаний самопишущего вольтметра  $U_{\text{с.в}}$ . Если величина  $\delta_U$  не превышает максимально допустимое отклонение напряжения в се-

ти ( $\pm 10\%$ ), то можно утверждать, что напряжение  $U_{c.в}$  рассчитано верно.

### **Содержание отчёта**

1. Цель работы.
2. Структурная схема измерительной части регистрирующего блока самопишущего вольтметра Н3093.
3. Схема рис.4.4.
4. Формулы, по которым велись расчеты, с подробными пояснениями.
5. Результаты измерений, расчетов и выводы по ним.

### **Контрольные вопросы**

1. Типы носителей для самопишущих регистрирующих приборов.
2. Принцип действия и структурная схема измерительной части регистрирующего блока вольтметра Н3093.
3. Принцип работы и схема лентопротяжного механизма вольтметра Н3093.
4. Пределы погрешностей, номинальные значения скоростей перемещения диаграммной ленты и значения диапазонов измерений вольтметра Н3093.

Литература [1], [2], [3], [7]

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 (4 часа)

### Виртуальные измерительные приборы

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

#### Краткие теоретические сведения

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

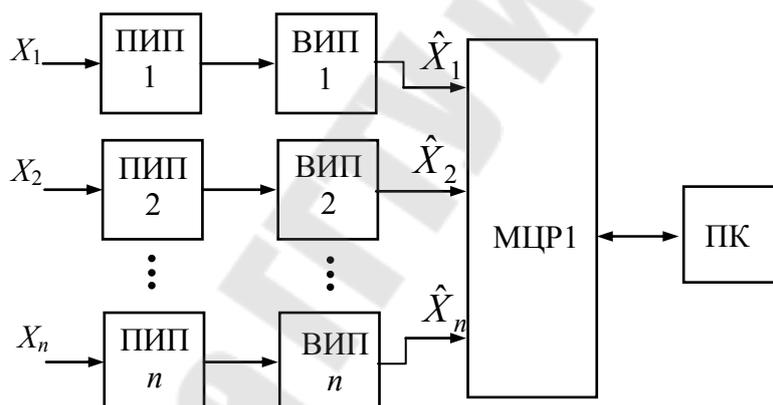


Рис. 5.1. Структурная схема виртуального измерительного прибора

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  $\hat{X}_i(t)$  в ПК. 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 ПК. 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 «физическая величина – электрический сигнал».

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.

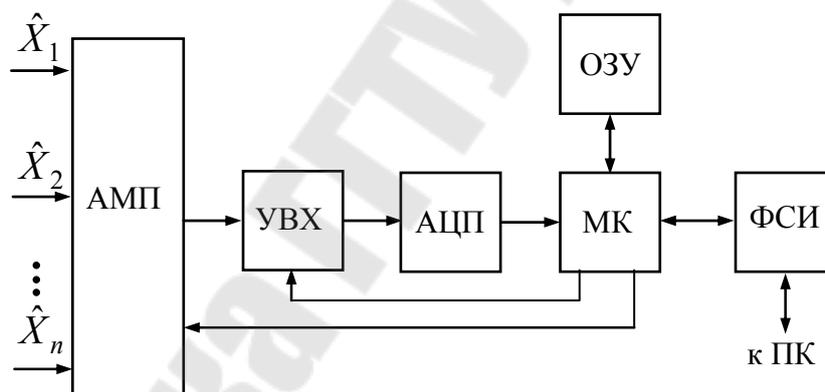


Рис. 5.2. Структурная схема многоканального цифрового регистратора

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 стандартную микропроцессорную систему.

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 ПК. 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  $j$  – ом 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.

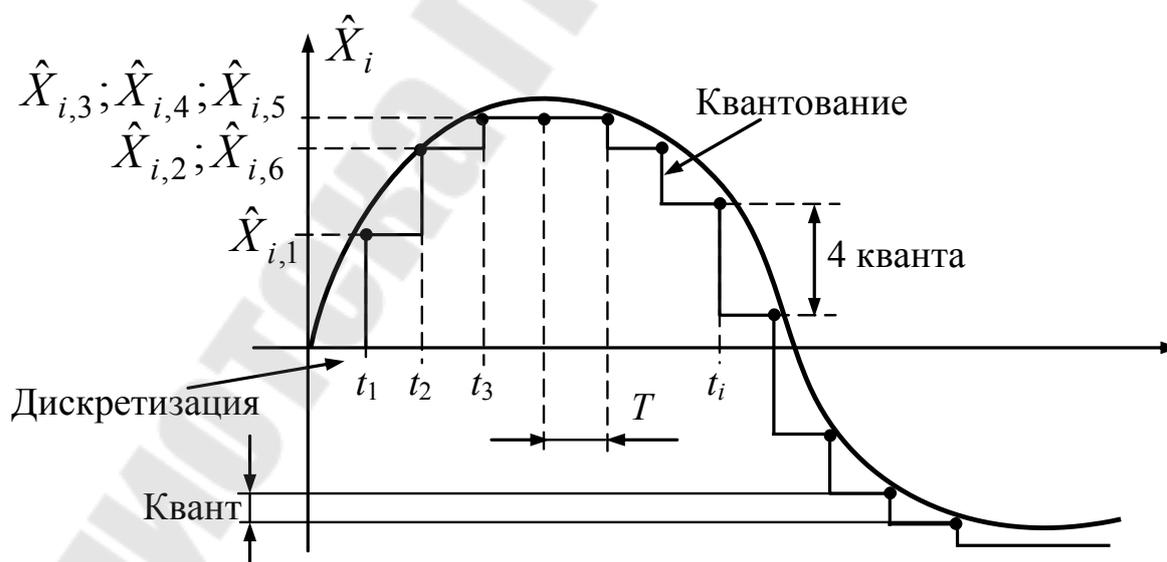


Рис. 5.3. Процессы квантования и дискретизации аналогового сигнала

**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.

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

$$\begin{cases} T_{\min} > t_{\text{АЦП}} \\ T_{\min} > \frac{t_{\text{рег}} \cdot k \cdot n}{V} \end{cases} \quad (5.1)$$

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

Максимальное значение периода дискретизации  $T_{\max}$  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:

$$T_{\max} \leq \frac{1}{2 \cdot f_{\max}},$$

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

**Частота дискретизации** – это величина, обратная периоду дискретизации:

$$f_d = \frac{1}{T}. \quad (5.2)$$

Зная частоту, дискретизации можно рассчитать максимальное время регистрации:

$$t_{\text{reg}} = \frac{V}{k \cdot n \cdot f_d}. \quad (5.3)$$

В результате взаимного действия процессов дискретизации и квантования (первый первичен по отношению ко второму) получают 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 ПК выполняет обратную нормализацию каждого отсчета по формуле:

$$X_{i,j} = A_i \cdot \hat{X}_{i,j} + B_i, \quad (5.4)$$

где  $A_i$  и  $B_i$  – нормирующие коэффициенты, учитывающие действительные функции преобразования измерительных преобразователей. В случае необходимости линеаризации этих функций, значения величин  $A_i$  и  $B_i$  могут быть заменены соответствующими дискретными функциями  $A_{i,j}$  и  $B_{i,j}$ .

Таким образом, вначале исходная информация о значениях измеряемых величин представлена в ПК в виде матрицы  $X_{i,j}$ . Далее программное обеспечение ПК осуществляет непосредственную реализацию функций виртуального измерительного прибора. При достаточно высокой частоте дискретизации  $f_d$  потенциально возможна реализация любого измерительного прибора.

Помимо расчетов программное обеспечение ПК 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.

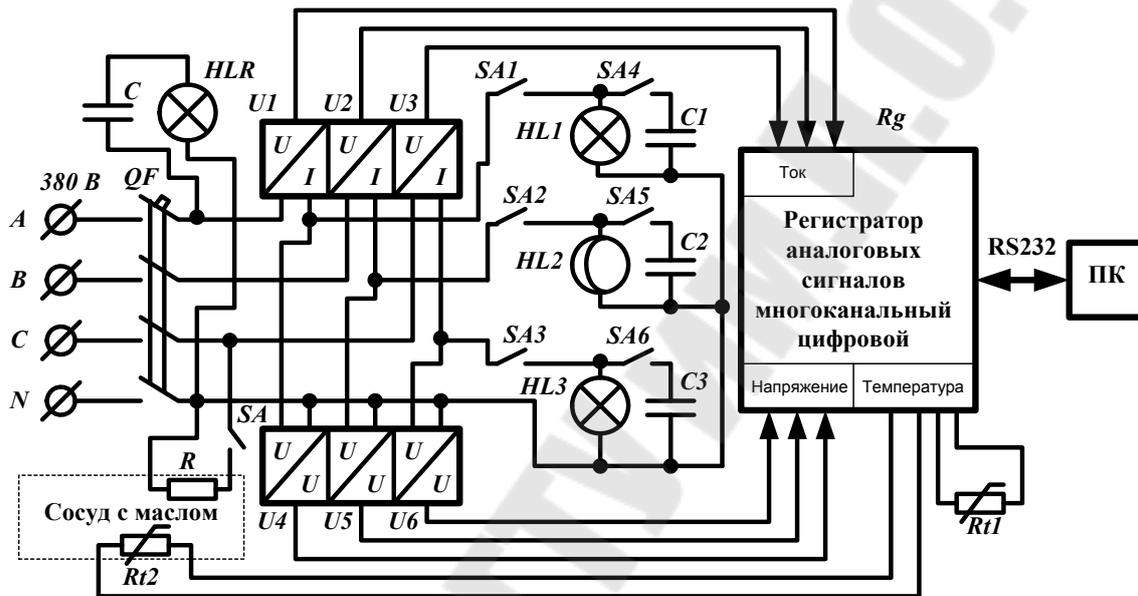


Рис. 5.4. Функциональная схема лабораторной установки

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 С. 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, SA2, SA3 ток в цепи отсутствует.

**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  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ , входящие в состав четырехканального измерительного преобразователя тока типа ЭП8527, расположенного на лицевой панели стенда. Параллельно каждому фазному напряжению подключены измерительные преобразователи напряжения  $U_4$ ,  $U_5$ ,  $U_6$ , входящие в состав четырехканального измерительного преобразователя напряжения типа ЭП8527, расположенного на лицевой панели стенда. Измерительные преобразователи тока  $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$  выполнены на основе понижающих трансформаторов тока, а измерительные преобразователи напряжения  $U_4$ ,  $U_5$ ,  $U_6$  выполнены на основе понижающих трансформаторов напряжения.

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

На лицевой панели стенда находятся также термометры сопротивления  $R_{t1}$  и  $R_{t2}$ . Термометр сопротивления  $R_{t1}$  предназначен для измерения температуры воздуха, а  $R_{t2}$  – 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 СОМ – порту персонального компьютера (ПК). Обмен данными между цифровым регистратором и ПК осуществляется посредством последовательно асинхронного интерфейса RS232.

Технические характеристики регистратора аналоговых сигналов многоканального цифрового:

1. Количество аналоговых каналов напряжения: 3.
2. Количество аналоговых каналов тока: 3.
3. Количество аналоговых каналов температуры: 2.
4. Разрядность АЦП: 10. (2 байта на один отсчет).
5. Максимальная частота дискретизации: 14400 Гц.

6. Объем собственного ОЗУ: 131072 байт.
7. Интерфейс связи: RS232.
8. Скорость обмена данными через интерфейс связи: 14400 Бод.

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 ПК.

**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.

### **Задание на допуск к лабораторной работе**

1. Ознакомьтесь с теоретическими сведениями.
2. Внимательно изучите описание лабораторной установки, 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. Включите ПК и загрузите программу Virtual Device.
2. Используя пункт меню СПРАВКА→РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ, прочитайте все разделы руководства пользователя.
3. Включите питание лабораторного стенда и питание цифрового регистратора.
4. Установите связь с цифровым регистратором.
5. Получите номер варианта от преподавателя и введите в Virtual Device необходимые настройки цифрового регистратора в соответствии с табл. 5.1, пока не сохраняя их.
6. Рассчитайте значение полученной частоты дискретизации с учетом коэффициента деления и максимальное время регистрации по формуле (5.3), взяв необходимые сведения из технических характеристик цифрового регистратора.

7. Выберите в настройках цифрового регистратора ближайшее меньшее значение времени регистрации и сохраните введенные настройки.

8. 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 соотношением (5.4).

Таблица 5.1

№ варианта	Количество каналов тока и напряжения	Коэффициент 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

Таблица 5.2.

	$U_a$	$I_a$	$U_b$	$I_b$	$U_c$	$I_c$	$t_1$	$t_2$
$A_i$	333,5	13,8	337,2	14,57	344,5	13,74	46,33	47,25
$B_i$	-517,4	-20,55	-523,2	-22,1	-520,5	-21,62	-38,88	-17,84

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

## Занятие 2

1. Повторите пункты 3 ... 8 занятия № 1.
2. 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. Сделайте выводы по результатам измерений.
3. Аналогично п. 2 изучите работу виртуальных измерителей мощности.
4. Аналогично п. 2 изучите работу виртуальных частотомеров.
5. Аналогично п. 2 изучите работу виртуальных фазометров.
6. Запустите в работу виртуальный осциллограф реального времени 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.

7. Зарисуйте осциллограммы.

8. Прodelайте все действия, необходимые для запуска регистрирующего виртуального осциллографа. При этом сразу после пуска регистратора включите элементы нагрузки, заданные преподавателем. После окончания времени регистрации выключите все элементы нагрузки.

9. Запустите регистрирующий виртуальный осциллограф. Используя элементы управления осциллограммами, определите значение пускового тока и длительность переходного процесса для всех фаз нагрузки. Зарисуйте осциллограммы. Сделайте выводы по результатам измерений.

10. Получите на экране осциллографа установившиеся значения по всем каналам.

11. Проведите Фурье-анализ осциллограмм для количества гармоник, заданных преподавателем. Зарисуйте АЧХ и ФЧХ спектра сигналов. Сделайте выводы по результатам измерений.

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

13. Повторите п.п. 8, 9. Сравните результаты измерений по фазе А с результатами, полученными ранее.

14. Запустите в работу виртуальный регистрирующий термометр. Запишите значения температур.

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

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

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

### **Содержание отчёта**

1. Цель работы и краткое описание лабораторной установки.
2. Результаты расчетов.
3. Результаты измерений в виде таблиц, осциллограмм с выводами по каждому виду измерений.

## 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?
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.

Литература [1], [2], [3], [4], [5]

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 (2 часа)

### Цифровые регистраторы аварийных событий

**Цель работы:** Изучение устройства и принципа действия микропроцессорного комплекса регистрации параметров электрических сигналов, методов регистрации аварийных нарушений электроснабжения.

#### Краткие теоретические сведения

Напряжение электрической сети имеет синусоидальную форму с некоторым содержанием высших гармонических составляющих. Однако часто возникают такие явления как провалы напряжения и перенапряжения.

**Провал напряжения** – внезапное понижение напряжения в точке электрической сети ниже 90% от его номинального значения, за которым следует восстановление напряжения до первоначального или близкого к нему уровня через промежуток времени от десяти миллисекунд до нескольких десятков секунд.

**Длительность провала напряжения**  $\Delta t_{\text{пров}}$  – интервал времени между начальным моментом понижения напряжения и моментом восстановления напряжения до первоначального или близкого к нему уровня.

**Глубина провала напряжения**  $\delta_{\text{пров}}$  – отношение разности амплитудных значений номинального напряжения сети и минимального измеренного значения напряжения при провале к амплитудному значению номинального напряжения сети (по аналогии с формулой относительной погрешности).

**Временное перенапряжение** – повышение напряжения в точке электрической сети выше 10% от его номинального значения продолжительностью более 10 мс, возникающее в системах электроснабжения при коммутациях или коротких замыканиях.

**Коэффициент временного перенапряжения**  $K_{\text{пер}}$  – величина, равная отношению максимального значения огибающей амплитудных значений напряжения за время существования временного перенапряжения к амплитуде номинального напряжения сети.

**Длительность временного перенапряжения**  $\Delta t_{\text{пер}}$  – интервал времени между начальным моментом возникновения временного перенапряжения и моментом его исчезновения.

Получение информации о фактических значениях перечисленных параметров возможно с помощью быстродействующих регистрирующих измерительных средств на основе цифровых регистраторов.

Рассматриваемый в лабораторной работе **комплекс регистрации параметров электрических сигналов** (КРПЭС) предназначен для регистрации мгновенных значений напряжений в распределительных устройствах в нормальных и аварийных режимах работы электрических сетей, а так же для последующего анализа параметров регистрируемых электрических величин, вывода информации в виде осциллограмм, текстовых сообщений на экран дисплея и на печать, а также для передачи зарегистрированной и обработанной информации на любые уровни контроля.

КРПЭС имеет следующие технические характеристики:

- 16 аналоговых входов;
- частота опроса каждого канала 1000, 2500, 5000 Гц (20, 50, 100 раз за период (сигнал 50 Гц));
- длительность регистрации одного события: 1000 Гц – 8 с, 2500 Гц – 3,2 с, 5000 Гц – 1,6 с;
- количество регистрируемых событий не ограничено;
- продолжительность регистрации доаварийного режима устанавливается оператором (как правило, 100 ... 200 мс);
- продолжительность регистрации поставарийного режима устанавливается оператором (как правило, 100 ... 200 мс);
- переход на регистрацию аварийного режима происходит при выходе за уставки любых сигналов или при внешнем пуске.

Специальное программное обеспечение КРПЭС выполняет следующие функции:

- формирование массивов аварийной информации;
- фиксацию начала аварийной ситуации;
- ведение журнала аварийных событий;
- просмотр всего файла события в виде осциллограммы на мониторе компьютера;
- оперативный доступ к любому участку осциллограммы для детального его рассмотрения;
- вывод на печать рассматриваемой осциллограммы;
- измерение мгновенных или действующих величин сигналов на любом участке осциллограммы с отображением измеренных значений на экране дисплея и на печати;

- измерение интервалов времени между любыми точками осциллограммы с отображением измеренных значений на экране дисплея и печати;

- обеспечивает возможность просмотра и передачи регистрируемых событий на удаленный (головной) компьютер.

Специальное программное обеспечение КРПЭС разработано для использования в среде Windows 95, 98 и содержит интуитивно понятный интерфейс. Для специального программного обеспечения КРПЭС разработана встроенная справочная система.

В работе прибора можно выделить два основных временных интервала:

- на первом интервале производится дискретизация и аналого-цифровое преобразование входного сигнала с записью кодов, отражающих значения входного сигнала, в ОЗУ;

- на втором, при превышении сигналом уставки, производится извлечение кодов из ОЗУ и формирование файла события в ПЗУ с помощью специального программного обеспечения и, при необходимости, их дальнейшая визуализация.

Специальное программное обеспечение постоянно контролирует уровень сигналов по каналам измерения. При снижении (повышении) величины сигнала по одному из каналов ниже (выше) значения уставки на жестком диске регистратора (винчестере) формируется файл события, содержащий предысторию процесса и сам процесс в виде осциллограммы по всем каналам измерения, которые затем можно подвергнуть анализу с помощью специального программного обеспечения. В комплексе реализована возможность гибкого изменения пусковых уставок по любому каналу программным путем.

Основное специальное программное обеспечение КРЭПС состоит из следующих программных продуктов: регистратор аналоговых сигналов – обеспечивает формирование массивов измерительной информации (фалов событий); журнал событий – служит для управления файлами событий; редактор событий – служит для детального просмотра и печати файлов событий.

### **Описание лабораторной установки**

Лабораторная установка состоит из КРПЭС и устройства моделирования кратковременных нарушений электроснабжения (УМК-НЭ). Функциональная схема установки приведена на рис. 6.1.

Установка работает следующим образом. Напряжение электрической сети с номинальным действующим значением 220 В через тумблер SA1 подаётся на понижающий трансформатор Т. К вторичной обмотке трансформатора подключен резистивный делитель напряжения на резисторах R1...R4 с изменяемым коэффициентом деления. При нажатии кнопки SB1 «Провал» нормально замкнутый контакт этой кнопки размыкается и напряжение на выходе делителя, то есть на резисторе R4 снижается. Дополнительно значение выходного напряжения можно регулировать с помощью переменного резистора R1 «Глубина провала».

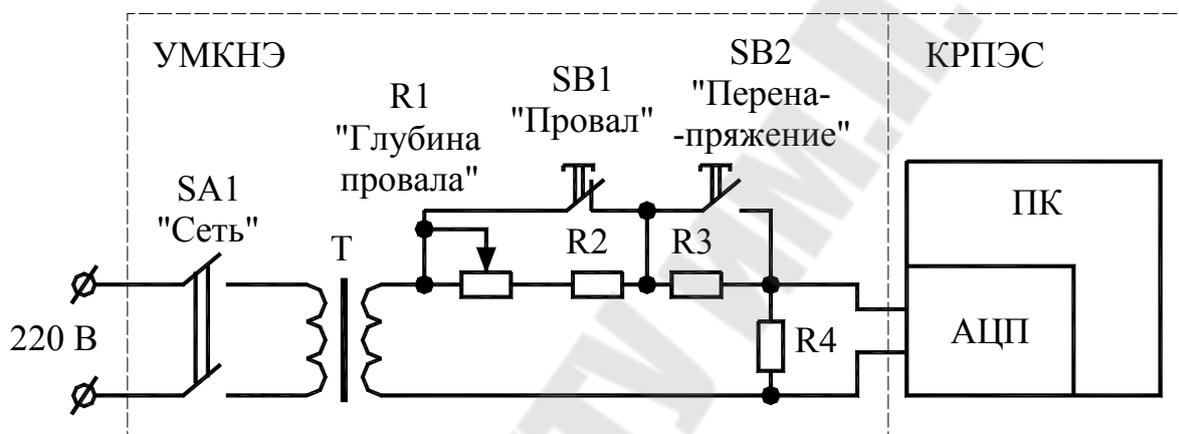


Рис. 6.1

При нажатии кнопки SB2 «Перенапряжение» контакт этой кнопки замыкается, и напряжение на выходе делителя повышается. Все перечисленные элементы входят в состав УМКНЭ.

Аппаратная часть КРПЭС представляет собой персональный компьютер ПК и встроенный в него модуль многоканального аналого-цифрового преобразователя АЦП.

**Внимание!** Вначале необходимо включать КРПЭС, а затем УМКНЭ.

### 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.

## Порядок выполнения работы

1. Включите ПК и загрузите программу «Регистратор аналоговых сигналов».

2. Нажмите кнопку «Помощь» и прочитайте раздел «Специальное программное обеспечение», пропуская разделы, посвящённые анализу работы РПН.

3. Задействуйте первый канал и введите частоту опроса одного канала, заданную преподавателем. Укажите путь и имя файла данных.

4. Проведите операцию замера уровня шума.

5. Включите УМКНЭ.

6. Нажмите кнопку «Пуск» и в течение времени регистрации сформируйте различные события, нажимая в произвольном порядке на кнопки «Провал» и «Перенапряжение», а также изменяя глубину провалов путём произвольного вращения регулятора переменного резистора. По окончании регистрации нажмите кнопку «Стоп».

7. Отключите УМКНЭ.

8. Загрузите программу «Регистратор событий» и откройте сохранённый файл событий.

9. В меню НАСТРОЙКА→КАНАЛЫ установите множитель по первому каналу, равный 1 для отображения на экране значений напряжения на входе АЦП.

10. С помощью инструментов масштабирования и указателей определите амплитудное значение напряжения на входе АЦП в нормальном режиме  $U_{н.АЦП}$ , то есть при отсутствии провалов и перенапряжений.

11. Рассчитайте масштабный коэффициент для первого канала:  
$$K = \frac{220 \cdot \sqrt{2}}{U_{н.АЦП}}$$
 и установите его в меню НАСТРОЙКА→КАНАЛЫ.

12. Дайте номера всем событиям, то есть провалам и перенапряжениям.

13. С помощью инструментов масштабирования и указателей определите длительность и глубину всех имеющихся на диаграмме провалов напряжения, а также длительность и коэффициент перенапряжения для всех имеющихся на диаграмме перенапряжений в соответствии с определениями, приведенными в теоретических сведениях. Результаты сведите в таблицу.

14. Зарисуйте всю имеющуюся диаграмму с провалами и перенапряжениями.

15. Зарисуйте любой переходный процесс, увеличив его на экране.

### **Содержание отчёта**

1. Цель работы и краткое описание лабораторной установки.
2. Результаты измерений и расчётов в виде диаграмм и таблиц.
3. Выводы по результатам измерений.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие виды аварийных событий по отношению к напряжению электрической сети вы знаете?
2. Что такое КРПЭС и как он работает?
3. Как работает программное обеспечение КРПЭС?
4. В чем смысл масштабного коэффициента для канала измерения?

Литература [1], [2], [3], [4], [5]

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 (4 часа)

### Электронные счётчики электроэнергии

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

#### Краткие теоретические сведения

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

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

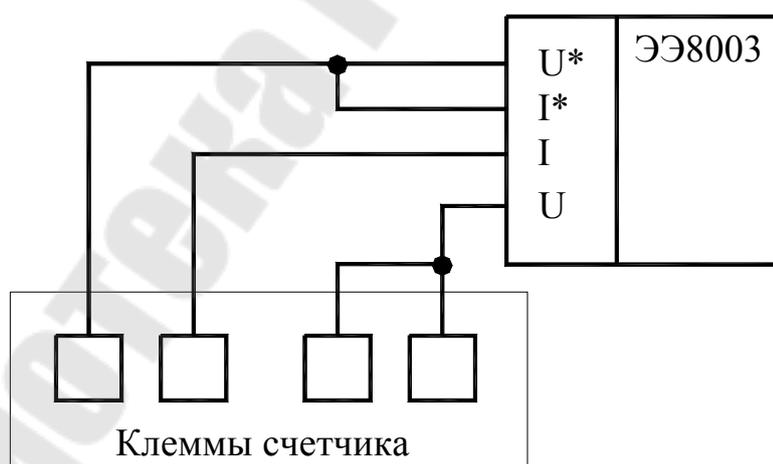


Рис. 7.1

Счётчик обеспечивает возможность:

- учёта 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 учёта 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 счётчика 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 счётчику.

### **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 счётчик 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.
2. Изучите руководство по эксплуатации счётчика 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	$\cos \varphi$
...	...	...	...	...	...
(10 строк)					
Сумма	-	-	$P_{\text{сум}}$	$t_{\text{сум}}$	

В таблице обозначено:

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

Таблица 7.2

Протокол измерений № 2

$W_p$ , кВт·ч	$W_{T1}$ , кВт·ч	$W_{T2}$ , кВт·ч	$W_{\Sigma}$ , кВт·ч	$\delta$ , %

В таблице обозначено:

$W_p$  – активная энергия, потреблённая приемником;  $W_{T1}$  – значение энергии для первого тарифного интервала;  $W_{T2}$  – значение энергии для второго тарифного интервала;  $W_{\Sigma}$  – суммарное значение энергии по обоим интервалам;  $\delta$  – относительная погрешность счётчика.

## Порядок выполнения работы

### Занятие 1

1. Соберите схему, приведенную на рис. 7.2, используя монтажную схему счётчика, приведенную на его щитке, или схему на рис.

**Внимание!** Токовые цепи приборов необходимо подключать на предел 5 А.

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

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

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

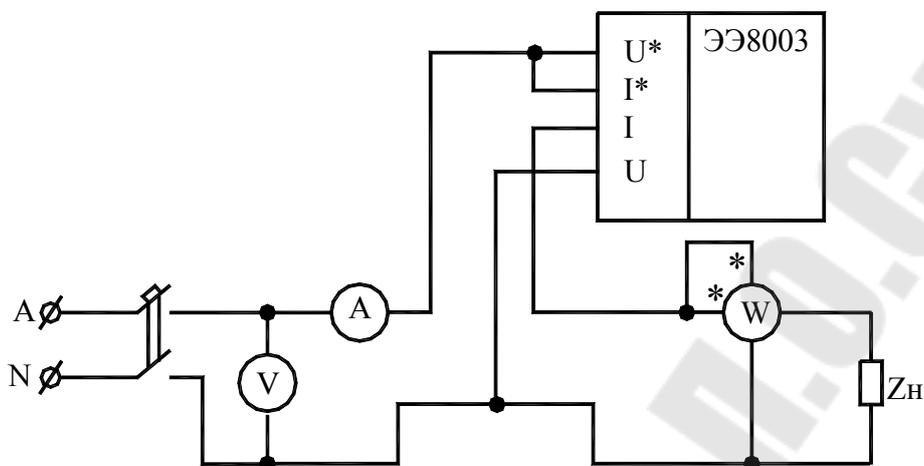


Рис. 7.2

5. Обнулите показания счётчика по тарифам 1 – 4.
6. Выполните параметризацию счётчика 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
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 воскресенье 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-х минутной мощности	-

*Примечания:*

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

\*\*  $t = t_{\text{тек}} + 20 \text{ мин} + \Delta t$ ,

где  $t_{\text{тек}}$  – текущее время,  $\Delta t = 4 \dots 5 \text{ мин}$  – время, необходимое для подготовки студента к началу выполнения основной части лабораторной работы; по истечении времени  $\Delta t$  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 счётчика 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 счётчика.

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 счётчика для каждого тарифного интервала ( $W_{T1}$ ,  $W_{T2}$ ) и суммарное значение по обоим тарифам ( $W_{\Sigma}$ ). Данные значения занесите в табл. 7.2.

9. Отключите стенд и разберите схему.

10. Рассчитайте суммарное значение активной энергии, потреблённой приемником  $W_p$ , через показания образцового ваттметра:

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

11. Рассчитайте коэффициент мощности по формуле:

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

12. Рассчитайте значение погрешности  $\delta$  по формуле:

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

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

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

### **Содержание отчёта**

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

### **Контрольные вопросы**

1. Достоинства и недостатки электронных счетчиков электрической энергии по сравнению с индукционными счётчиками.
2. Принципы работы микропроцессорных счётчиков 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?

Литература [1], [2], [3], [4], [5]

## 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 учёта 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 помехозащищённости. 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  $Y$ :

$$I_{\text{ВЫХ}} = \alpha_{\text{НОМ}} \cdot Y + I_0 = \alpha_{\text{НОМ}} \cdot f(X_i) + I_0, \quad (9.1)$$

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

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

$$\alpha_{\text{НОМ}} = \frac{I_{\text{ВЫХ.макс}} - I_{\text{ВЫХ.мин}}}{Y_{\text{макс}} - Y_{\text{мин}}}. \quad (9.2)$$

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

$$I_0 = I_{\text{ВЫХ.МИН}} - \alpha_{\text{НОМ}} \cdot Y. \quad (9.3)$$

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

$$\alpha = \alpha_{\text{НОМ}} \cdot (1 \pm \gamma_{\text{КЛ}}). \quad (9.4)$$

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 расчётной величины. В идеальном случае эта зависимость должна быть линейной. Реально она несколько отличается от линейной. Поэтому нормируют **погрешность нелинейности**, которая определяется по формуле:

$$\gamma_{\text{НЛ.ТН}} = \frac{\Delta I_{\text{ВЫХ.НЛ}}}{I_{\text{ВЫХ}}}, \quad (9.5)$$

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

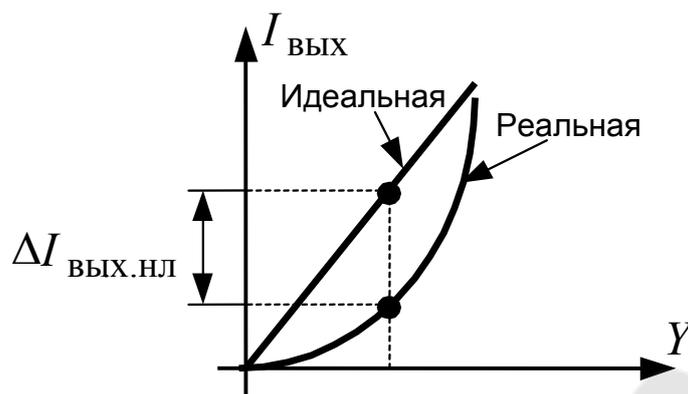


Рис. 9.2

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	$Y$	$Y_{\max}$	$Y_{\min}$	$I_{\text{вых.max}}$	$I_{\text{вых.min}}$
E828НЗ	$U$	Частота	51 Гц	49 Гц	5 мА	0 мА
E848НП	$U_A, U_B, U_C,$ $I_A, I_B, I_C,$ (метод трёх ваттметров)	Активная мощность	$\frac{3 \cdot U_n \cdot I_n}{\sqrt{3}}$ , Вт	0 Вт	5 мА	0 мА
E849/9	$U_{AB}, U_{CB}, I_A,$ $I_C,$ (метод двух ваттметров)	Активная мощность	$2 \cdot U_n \cdot I_n \times$ $\times \cos(30^\circ)$ Вт	0 Вт	5 мА	0 мА
E855/1	$U$	Напряж.	125 В	0 В	5 мА	0 мА
E842	$I$	Ток	5 А	0 А	5 мА	0 мА

### Описание лабораторной установки

Лабораторная установка включает измерительные преобразователи частоты E828НЗ, активной мощности трёхфазного тока E848НП, активной и реактивной мощности трёхфазного тока E849/9, напряжения переменного тока E855/1, переменного тока E842, а также энергетический мультиметр МЭ-01, миллиамперметр, регуляторы тока и

многопозиционный переключатель. Внешний вид лабораторного стенда приведен на рис. 9.3

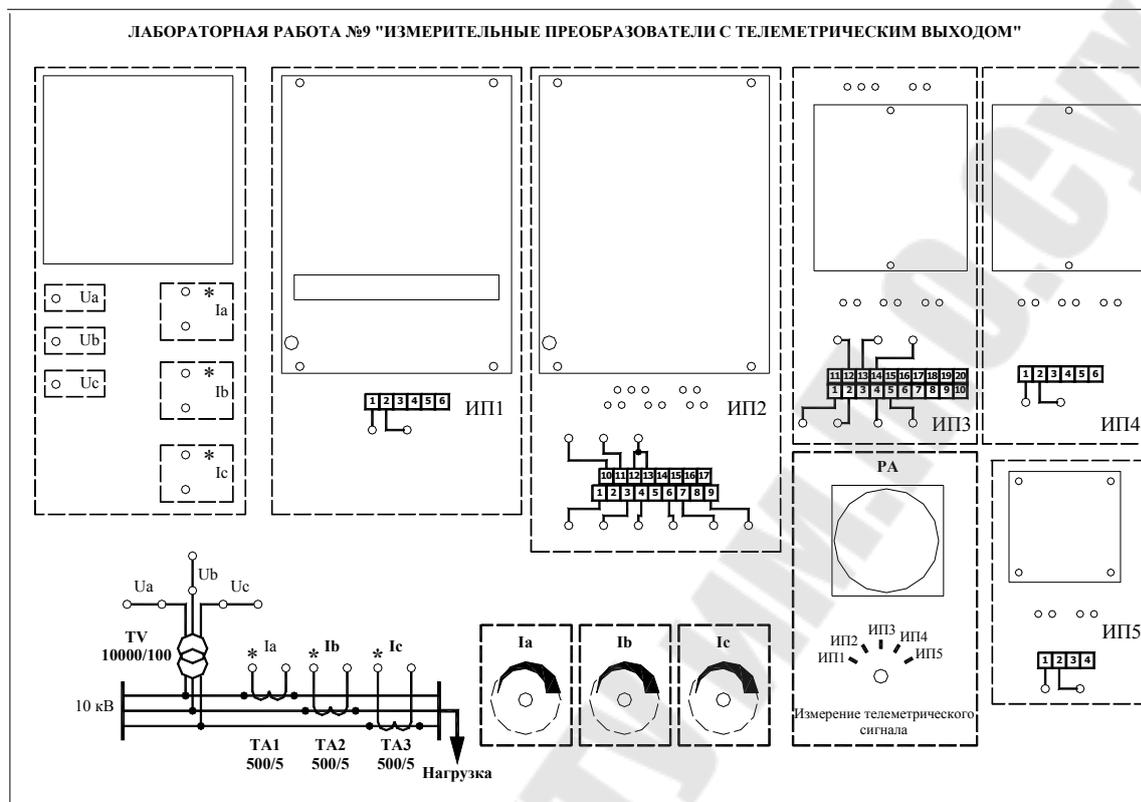


Рис. 9.3

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 трёхфазного измерительного трансформатора напряжения TV (100 В) с коэффициентом трансформации

$$k_{\text{ТН}} = \frac{10000}{100}$$

и измерительных трансформаторов тока ТА (5 А) с ко-

$$k_{\text{ТТ}} = \frac{500}{5}$$

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 подаётся с помощью автоматического выключателя, расположенного в отдельной коробке.

**Внимание!** Внешнее питание на стенд подаёт только преподаватель!

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

Включение трёхфазного напряжения 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 характеристик 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 выдаёт 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:

$$U_{AB} = U_A^2 + U_B^2 - 2 \cdot U_A \cdot U_B \cdot \cos(120^\circ) = U_A^2 + U_B^2 + U_A \cdot U_B. \quad (9.6)$$

Таблица 9.2

Отображение на дисплее	Величины
$U$ $I$	текущие значения напряжений и токов по трём фазам
$U\%$ $I\%$	текущие отклонения напряжений и токов по трём фазам
$K_m$ $Cf$	текущие значения коэффициента мощности по каждой фазе текущие значения $\cos\phi$ 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 трём фазам по первой гармонике

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

$$10к5 = 10500.$$

$$к20 = 200.$$

### 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 (Е828НЗ). 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 учётом коэффициента трансформации измерительного трансформатора напряжения (см. л/р №1).

10. 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. Определите расчётное 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.

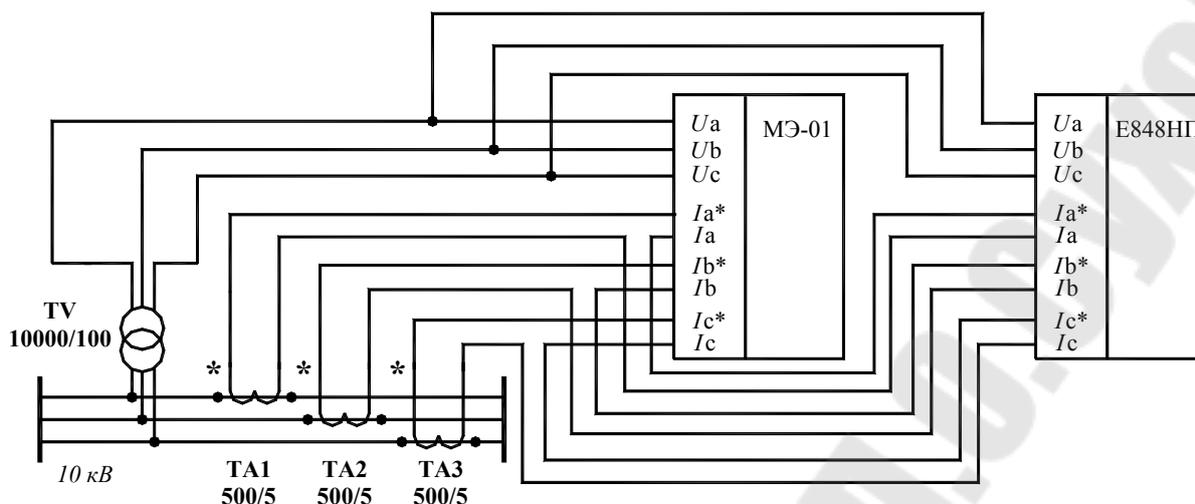


Рис. 9.4

12. Приготовьте таблицу в соответствии с табл. 9.3.

Таблица 9.3

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

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.

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 трёхфазной нагрузки в соответствии с методом трёх ваттметров для каждого из измерений по формуле:

$$P = k_{\text{ТН}} \cdot (U_A \cdot I_A \cdot \cos \varphi_1 + U_B \cdot I_B \cdot \cos \varphi_2 + U_C \cdot I_C \cdot \cos \varphi_3),$$

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 учётом коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов ( $k_{\text{ТН}}$  и  $k_{\text{ТТ}}$ ) для каждого из измерений определите расчётные 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 расчётов 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	$\gamma,$ %
--------------	--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	---------------------------------------	--	----------------

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.

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 трёхфазной нагрузки в соответствии с методом двух ваттметров для каждого из измерений по формуле:

$$P = k_{\text{ТТ}} \cdot (U_{\text{AB}} \cdot I_{\text{A}} \cdot \cos(30^\circ + \varphi_1) + U_{\text{CB}} \cdot I_{\text{C}} \cdot \cos(30^\circ - \varphi_3)),$$

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

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

Таблица 9.5

$U_{\text{AB}}$ , кВ	$U_{\text{CB}}$ , кВ	$I_{\text{A}}$ , А	$I_{\text{C}}$ , А	$P$ , МВт	$I_{\text{ВЫХ}}^{\text{расч}}$ , мА	$I_{\text{ВЫХ}}^{\text{измер}}$ , мА	$\gamma$ , %
-------------------------	-------------------------	-----------------------	-----------------------	--------------	--	---	-----------------

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).

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

17. С учётом 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 расчётные значения выходного тока ИП4 в соответствии с формулой (9.1), подставляя в качестве  $U$  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 учётом коэффициента трансформации измерительного трансформатора тока рассчитайте соответствующие токи электрической сети и занесите в таблицу.
25. Рассчитайте номинальное значение коэффициента  $\alpha_{\text{ном}}$ . Определите расчётные значения выходного тока ИП5 в соответствии с формулой (9.1), подставляя в качестве  $Y$  измеренные с помощью МЭ-01 токи, и сравните их с измеренными значениями, определив среднюю относительную погрешность.

### **Содержание отчёта**

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

### **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.

Литература [1], [2], [3], [4], [5]

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атамальян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин. / Э.Г. Атамальян. – Москва: ООО «Дрофа», 2005. – 415 с.
2. Панфилов, В.А. Электрические измерения / В.А. Панфилов. – Москва: Издат. центр «Академия», 2004. – 288 с.
3. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений / Г.Г. Раннев, А.П. Тарасенко. – Москва: Издат. центр «Академия», 2003. – 336 с.
4. Афонский, А.А. Измерительные приборы и массовые измерения / А.А. Афонский, В.П. Дьяконов. – Москва: Солон-Пресс, 2007. – 544 с.
5. Приборы и средства диагностики электрооборудования и измерений в системах электроснабжения. Справочное пособие. / Под ред. В.И. Григорьева, – Москва: Колос, 2006. – 272 с.
6. Брускин Д.Э., Зохорович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины. – Москва: Высшая школа, – ч. 1, – 1987, – с.137 – 141.
7. Электрические измерения / под ред. А.В. Фремке. – Ленинград: Энергия, 1980. – 252 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Меры по технике безопасности	3
Лабораторная работа 1. Измерительные трансформаторы напряжения и тока	4
Лабораторная работа 2. Однофазный индукционный счётчик активной электроэнергии	13
Лабораторная работа 3. Измерение активной мощности и энергии в трёхфазных цепях	20
Лабораторная работа 4. Регистрирующие приборы самопишущие	30
Лабораторная работа 5. Виртуальные измерительные приборы	39
Лабораторная работа 6. Цифровые регистраторы аварийных событий	50
Лабораторная работа 7. Электронные счётчики электроэнергии	56
Лабораторная работа 9. Измерительные преобразователи с телеметрическим выходом	62
Литература	73

**Зализный Дмитрий Иванович  
Широков Олег Геннадьевич**

**ЭЛЕКТРОНИКА  
И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
ТЕХНИКА**

**Лабораторный практикум  
по одноименной дисциплине для студентов  
специальностей 1-43 01 02 «Электроэнергетические  
системы и сети» и 1-43 01 03 «Электроснабжение»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано в печать 29.09.10.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,26.

Изд. № 31.

E-mail: [ic@gstu.by](mailto:ic@gstu.by)

<http://www.gstu.by>

Отпечатано на цифровом дуплекаторе  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

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

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.