

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

Кафедра «Электроснабжение»

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СРТИФИКАЦИЯ

**Методические указания к выполнению лабораторной работы
«Учет электрической энергии»
для студентов направления 640200 «Электроэнергетика»**

Бишкек 2015

«Рассмотрено»
На заседании кафедры
«Электроснабжение»
Прот. №3 от 15.10.2014г.

«Одобрено»
Методической комиссией
Энергетического факультета
Прот. №7 от 15.04.2015г.

Составители: Куржумбаева Р.Б., Попова И.Э.

Метрология, стандартизация и сертификация: Методические указания к выполнению лабораторной работы №4 для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» /КГТУ им. И. Раззакова; Сост.: Куржумбаева Р.Б., Попова И.Э./ - Б.: ИЦ «Текник», 2015. - 20 с.

В методических указаниях излагаются цель работы, теоретической материал, порядок выполнения лабораторной работы и контрольные вопросы к ней.

Предназначены для студентов направления «Электроэнергетика».

Рецензент: к.т.н.,проф. Суеркулов М.А.

Лабораторная работа № 4

Учет электрической энергии

Цель работы

Изучение схем включения счетчиков электрической энергии в системах электроснабжения промышленных и сельскохозяйственных предприятий при различных видах нагрузки, а также требований, предъявляемых к учету электрической энергии.

Практическая ценность: определение класса точности счетчиков.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Учет электрической энергии, потребляемой промышленными, сельскохозяйственными, коммунально-бытовыми потребителями, осуществляется счетчиками активной и реактивной энергии. При этом учет производится с целью: а) денежного расчета за потребленную электроэнергию (расчетный или коммерческий учет); б) контроля расхода электроэнергии внутри электроустановки потребителя (контрольный или технический учет).

Расчетный учет позволяет осуществлять: контроль за соблюдением потребителями плана и режима электропотребления в течение суток и месяца; контроль за соблюдением заявленной потребителем мощности в часы максимумов нагрузки энергосистемы; контроль за режимом работы компенсирующих устройств потребителя; снятие суточных графиков нагрузки потребителя.

Контрольный учет электроэнергии организуется в сетях потребителя для контроля, за соблюдением планов электропотребления и удельных норм расхода электроэнергии отдельными цехами, технологическими процессами и электроемкими агрегатами.

Счетчики электрической энергии классифицируются следующим образом: 1) по числу контролируемых фаз - однофазные и трехфазные; 2) по роду тока - счетчики переменного и постоянного тока; 3) по роду измеряемой энергии - счетчики активной и реактивной энергии; 4) по числу проводов - трехпроводные счетчики (САЗУ, СРЗУ), включаемые в сеть без нулевого провода, и четырехпроводные (СА4У, СР4У), с нулевым проводом; 5) по способу включения счетчики прямого включения (без применения измерительных трансформаторов), которые применяются в сетях 0,4/0,23 кВ на токи до 100А; счетчики полукосвенного включения, когда их токовые обмотки включаются через трансформаторы тока, а обмотки напряжения непосредственно в сеть напряжением до 1кВ; счетчики косвенного включения, включаемые в сеть через трансформаторы тока и напряжения (в сетях напряжением выше 1кВ). При этом они подразделяются на трансформаторные счетчики, которые включаются через трансформаторы тока и напряжения с заданными коэффициентами трансформации, и трансформаторные универсальные счетчики, которые включаются в сеть через измерительные трансформаторы с любыми коэффициентами трансформации. Показания таких счетчиков следует умножать на коэффициенты трансформации

трансформаторов тока и напряжения; 6) по классу точности счетчики активной энергии классов точности 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; счетчики реактивной энергии соответственно 1,5; 2; 3,0; 7) по наличию дополнительных устройств, относящих счетчики к специальному исполнению. К ним относят двухтарифные счетчики, счетчики с предварительной оплатой, с фиксацией максимума нагрузки, телеизмерительные счетчики и др.

Тип счетчика, схема его включения определяются целями учета, характером нагрузки, величинами номинального напряжения и тока потребителя. Установка счетчиков активной и реактивной энергии на различных ступенях системы электроснабжения производится в соответствии с рекомендациями, изложенными в [1,2]. Требования к классу точности счетчиков активной энергии и измерительных трансформаторов приводятся в [2].

УЧЕТ АКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ

1. При равномерной нагрузке фаз может использоваться один однофазный счетчик. Он может включаться по двум схемам: а) включение счетчика на линейный ток и фазное напряжение (рис.1); б) включение счетчика на разность двух фаз и линейное напряжение (рис.2). Первая схема применяется в четырехпроводной трехфазной симметричной сети напряжением до 1000 В. Скорость вращения диска счетчика согласно векторной диаграмме пропорциональна мощности одной фазы трехфазной сети, т.е.

$$P_{\phi} = U_A I_A \cos \varphi_A = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi \quad (1)$$

Для учета общего расхода активной энергии в трехфазной симметричной системе необходимо показания однофазного счетчика утроить. Данная схема может быть также применена для учета активной энергии в симметричной трехфазной трехпроводной сети при условии создания искусственной нулевой точки, которая получается применением трех добавочных сопротивлений.

Вторая схема (рис. 2) применяется в трехпроводной трехфазной сети. Скорость вращения диска счетчика пропорциональна общей мощности трехфазной симметричной системы.

$$P = U_{AC} I_{AC} \cos \varphi = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3}U_{\wedge} I_{\wedge} \cos \varphi \quad (2)$$

где U_{AC} - линейное напряжение; I_{AC} - ток, проходящий через токовую обмотку счетчика.

Следовательно, показания однофазного счетчика, включенного по схеме, дают общий расход активной энергии в трехфазной системе.

2. Наиболее общим является случай несимметричной загрузки фаз. В этом случае потребляемая энергия измеряется с помощью двух или трех элементов (с двумя или тремя магнитными системами) счетчиков. На рис. 3 приведена схема и векторная диаграмма включения трехфазного двухэлементного счетчика для трехпроводной линии. Скорость вращения диска счетчика в этом случае пропорциональна сумме.

$$P = P_1 + P_2 \quad (3)$$

где P_1 - активная мощность, которой пропорциональна скорость вращения диска, создаваемая первым элементом счетчика; P_2 - активная мощность, которой пропорциональна скорость вращения диска, создаваемая вторым элементом счетчика.

Из векторной диаграммы (рис. 3,б) следует

$$\begin{aligned} \dot{P}_1 &= \dot{U}_{AB} \dot{I}_A = (\dot{U}_A - \dot{U}_B) \dot{I}_A; \dot{P}_2 = \dot{U}_{CB} \dot{I}_C = (\dot{U}_C - \dot{U}_B) \dot{I}_C; \\ P_1 &= U_A I_A \cos \varphi_A - U_B I_A \cos(120^\circ - \varphi_A) = P_A - U_B I_A \cos(120^\circ - \varphi_A); \\ P_2 &= U_C I_C \cos \varphi_C - U_B I_C \cos(120^\circ - \varphi_C) = P_C - U_B I_C \cos(120^\circ - \varphi_C); \\ P &= P_1 + P_2 = P_A + P_C + U_B [-I_A \cos(120^\circ - \varphi_A) - I_C \cos(120^\circ - \varphi_C)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Так как линия трехфазная трехпроводная, то сумма токов всех фаз равна нулю, т.е.

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0; \quad \dot{I}_B = -\dot{I}_A - \dot{I}_C$$

Проектируя все векторы токов на прямую, совпадающую с вектором U_B , получим:

$$I_B \cos \varphi = -I_A \cos(120^\circ - \varphi_A) - I_C \cos(120^\circ - \varphi_C).$$

Подставляя данное выражение в (4), получим:

$$P = P_A + P_C + U_B I_B \cos \varphi_B = P_A + P_B + P_C, \quad (5)$$

т.е. результирующая скорость вращения диска счетчика пропорциональна сумме мощностей трех фаз и, следовательно, будет учтена вся потребляемая активная энергия трехфазной системы. Очевидно, что в трехфазных четырехпроводных сетях в случае несимметричной загрузки фаз сумма токов фаз не равна нулю, поэтому двухэлементный счетчик непригоден. Для учета электроэнергии в таких сетях применяется трехэлементный счетчик (рис. 4). Скорость вращения счетчика пропорциональна мощности.

$$P = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C = P_A + P_B + P_C \quad (6)$$

Возможно также применение трех однофазных счетчиков для учета энергии в трехфазной четырехпроводной сети при несимметричной загрузке фаз. Расход электроэнергии в такой системе будет равен сумме показаний трех однофазных счетчиков.

Учет реактивной энергии

Учет реактивной энергии производится в случаях, когда на потребителя распространяется скидка или надбавка за поддержание режима потребления реактивной энергии из сети энергосистемы. Применяются следующие схемы учета: 1) включение трехфазного трехэлементного счетчика реактивной энергии с 90° -ным сдвигом между напряжением и током; 2) включение трехфазного двухэлементного счетчика реактивной энергии с разделенной последовательной обмоткой; 3) включение трехфазного двухэлементного счетчика реактивной энергии с 60° -ным сдвигом между напряжением и магнитным потоком; 4) включение трехфазного двухэлементного счетчика активной энергии; 5) включение трех однофазных счетчиков активной энергии.

Первая схема учета (рис. 5) применяется в трехфазных симметричных системах, в которых фазные и линейные напряжения и токи симметричны, или с простой асимметрией, в которых напряжения симметричны, а токи в фазах неодинаковы.

Как следует из векторной диаграммы (рис. 5б) 90° -ный сдвиг получается путем сопряжения тока нагрузки с "замененными" между фазными напряжениями. Момент вращения счетчика пропорционален

$$Q = I_A U_{BC} \cos(90^\circ - \varphi_A) + I_B U_{CA} (90^\circ - \cos \varphi_B) + I_C U_{AB} (90^\circ - \cos \varphi_C) = \sqrt{3}(Q_A + Q_B + Q_C) \quad (7)$$

Коэффициент $\sqrt{3}$ в (6) учитывается конструктивными решениями, поэтому отсчет реактивной энергии производится непосредственно по цифровому табло счетчика.

Трехэлементный счетчик реактивной энергии может быть также применен в трехфазных трехпроводных сетях. Схема включения счетчика в сеть при наличии двух трансформаторов тона приведена на рис. 6, где к среднему элементу счетчика вместо тока I_B подводится геометрическая сумма токов $I_A + I_C$ в обратной фазе.

Вторая схема включения двухэлементного счетчика реактивной энергии с разделенными последовательными обмотками применяется в четырех- и трехпроводных (симметричных и с простой асимметрией) трехфазных сетях (рис. 7). Как следует из векторной диаграммы (рис. 7б), вращающий момент, создаваемый первым элементом, пропорционален мощности

$$P_1 = U_{BC} [I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) - I_B \cos(30^\circ - \varphi_B)] = U_{BC} (I_A \sin \varphi_A - \frac{\sqrt{3}}{2} I_B \cos \varphi_B + \frac{1}{2} I_B \sin \varphi_B)$$

вторым элементом

$$P_2 = U_{AB} [I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) - I_B \cos(150^\circ - \varphi_B)] = U_{AB} (I_C \sin \varphi_C + \frac{\sqrt{3}}{2} I_B \cos \varphi_B + \frac{1}{2} I_B \sin \varphi_B)$$

Результирующий момент - пропорционален сумме

$$P = P_1 + P_2 = \sqrt{3}(U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C) = \sqrt{3}(Q_A + Q_B + Q_C),$$

следовательно, реактивная мощность равна

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = (P_1 + P_2) / \sqrt{3} \quad (8)$$

Коэффициент $\sqrt{3}$ учитывается конструктивными решениями в счетчике. Включение счетчика в трехпроводную сеть при наличии двух трансформаторов тока аналогично схеме включения (см. рис. 6).

В трехфазных сетях (симметричных и с простой асимметрией) для измерения реактивной энергии используют трехфазные двухэлементные счетчики с 60° -ным сдвигом фаз между магнитными потоками последовательной (Φ_I) и параллельной (Φ_{II}) цепи в каждом элементе. Сдвиг фаз осуществляется за счет введения в параллельную цепь добавочного сопротивления r_g . Схема включения счетчика и векторная диаграмма приведены на рис. 8.

В первом элементе напряжение U_{BC} опережает магнитный поток Φ_{uBC} на 60° и напряжение U_{AC} опережает на 60° магнитный поток Φ_{uBC} .

Суммарный момент счетчика пропорционален реактивной мощности

$$Q = M = K_1 \Phi_{IA} \Phi_{UBC} \sin \alpha + K_1 \Phi_{IC} \Phi_{UAC} \sin b =$$

$$= K_1 \Phi_{IA} \Phi_{UDC} \sin(150^\circ - \varphi_A) + K_1 \Phi_{IC} \Phi_{UAC} (210^\circ - \varphi_C), (9)$$

или, перейдя от магнитных потоков к токам и напряжениям, имеем (для случая симметричной системы):

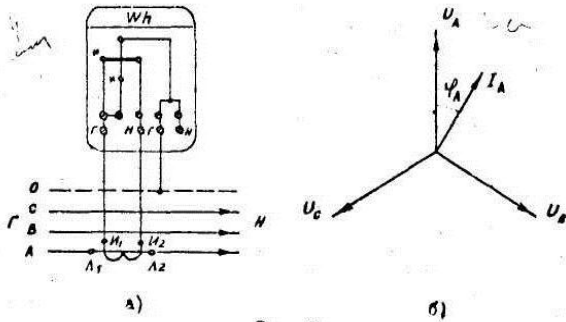


Рис. 1

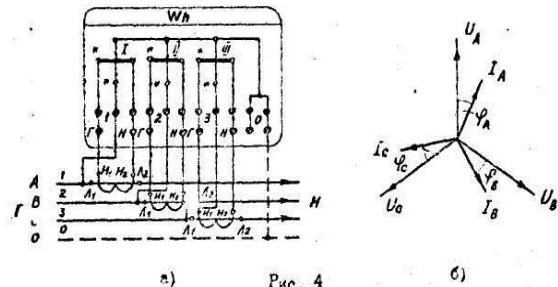


Рис. 4

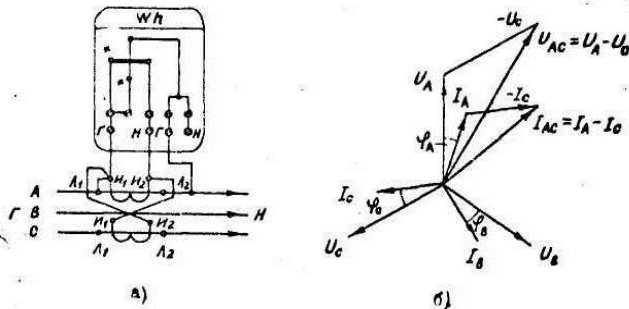


Рис. 2

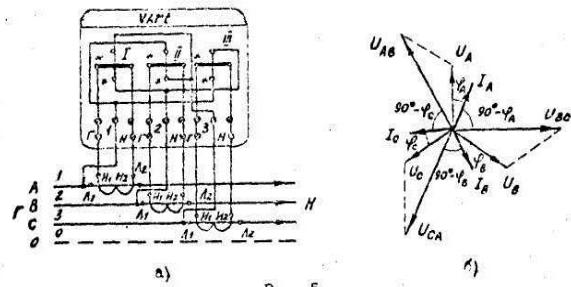


Рис. 5

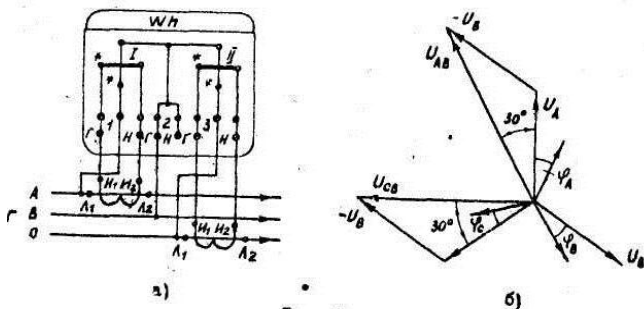


Рис. 3

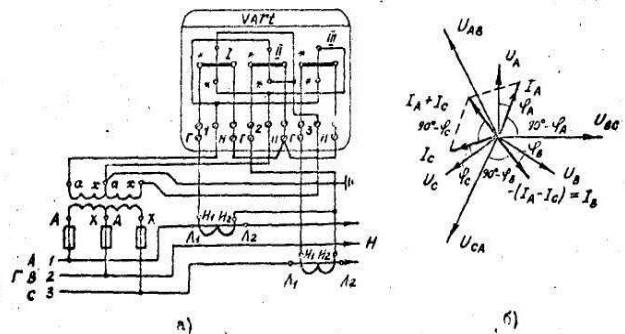


Рис. 6

$$Q \equiv Q_1 + Q_2 = U_{BC} I_A \sin(150^\circ - \varphi_A) + U_{AB} I_C \sin(210^\circ - \varphi_C) =$$

$$= U_{\perp} I_{\perp} \left(\frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi - \frac{1}{2} \cos \varphi + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \right) = \sqrt{3} U_{\perp} I_{\perp} \sin \varphi. (10)$$

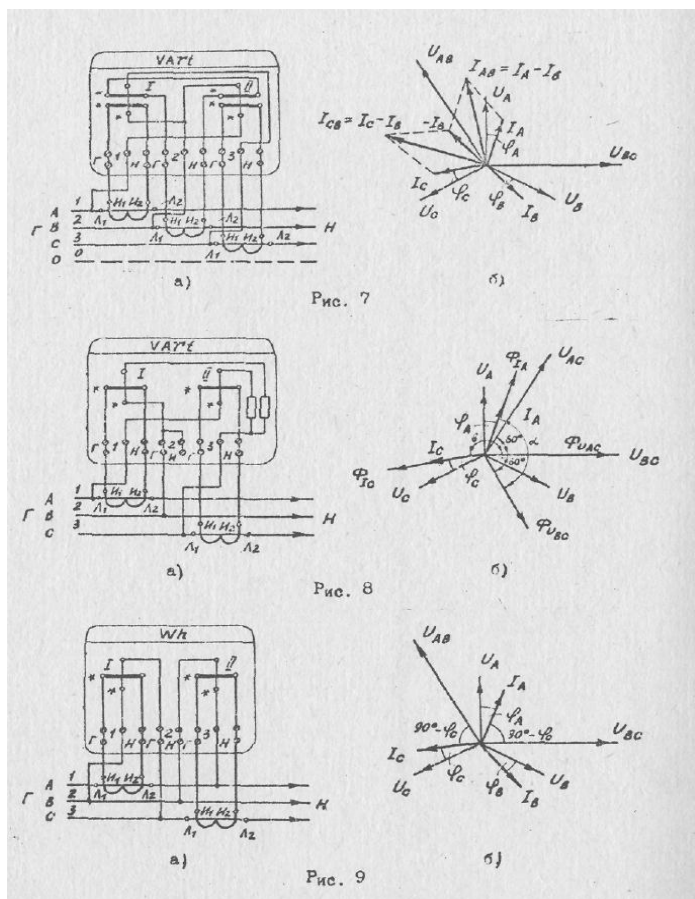
Таким образом, счетчик учитывает суммарную реактивную энергию трехфазной системы без введения поправочных коэффициентов. Данная схема включения удобна в эксплуатации тем, что не отличается от схемы включения счетчика активной энергии (см. рис. 3).

В симметричных трехфазных трехпроводных сетях учет реактивной энергии может осуществляться при помощи трехфазного двухэлементного счетчика активной энергии (рис. 9). Скорость вращения диска пропорциональна мощности

$$P = P_1 + P_2 = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) + U_{AB} I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) = 2U_{\Delta} I_{\Delta} \sin \varphi. \quad (11)$$

При полной симметрии трехфазной сети

$$Q = 3U_{\phi} I_{\phi} = \sqrt{3} U_{\Delta} I_{\Delta} \sin \varphi. \quad (12)$$



Следовательно, при использовании счетчика активной энергии для измерения реактивной мощности необходимо показания счетчика умножить на коэффициент $\sqrt{3/2}$, либо отрегулировать его так, чтобы показания счетчика соответствовали величина учитываемой реактивной энергии.

Реактивную энергию можно измерить также при помощи трех однофазных счетчиков активной энергии, включенных по схеме с "заменными" напряжениями (рис. 10). Сумма показаний трех счетчиков активной энергии пропорциональна сумме мощностей

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = U_{BC} I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) + U_{CA} I_B \cos(90^\circ - \varphi_B) + U_{AB} I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) = \sqrt{3}(U_{\phi} I_A \sin \varphi_A + U_{\phi} I_B \sin \varphi_B + U_{\phi} I_C \sin \varphi_C) = \sqrt{3}(Q_A + Q_B + Q_C) = \sqrt{3}Q. \quad (13)$$

Отсюда следует, что сумму показаний счетчиков активной энергии при измерении реактивной мощности необходимо разделить на $\sqrt{3}$. Данный способ измерения реактивной энергии применим в трехфазных трех- и четырехпроводных (симметричных и с простой асимметрией) сетях.

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

На стенде (рис. II) проводятся исследования ряда схем учета активной и реактивной энергии. Питание в моделируемую трехфазную сеть подается пакетным выключателем ПВ₁.

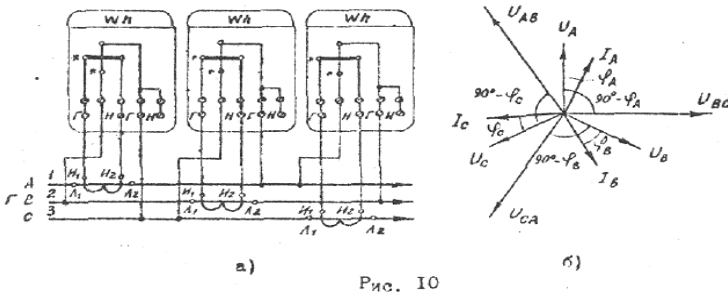


Рис. 10

Активной нагрузкой служат реостаты, с помощью которых можно создавать как равномерную, так и неравномерную загрузку фаз активным током. Реостаты включаются пакетным выключателем ПВ₂. В качестве реактивной нагрузки используется трехфазный асинхронный двигатель, работающий в режиме холостого хода. Он включается пакетным выключателем ПВ₃. Несимметрия реактивной нагрузки создается отключением одной фазы после разворота двигателя выключателем ПВ₄.

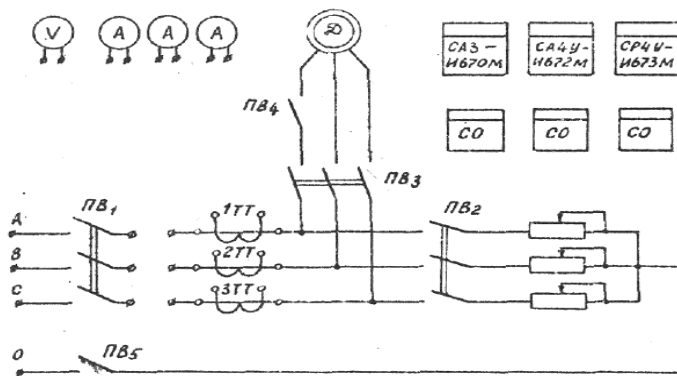


Рис. 11

Измерительные приборы, смонтированные на стенде, указаны на рис. 11. Для проверки показаний счетчиков используются ваттметры, фазометры, секундомер.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Изучить порядок работы на лабораторном стенде, применяемые измерительные приборы. По указанию преподавателя исследовать:

1. Схему учета электрической энергии при включении однофазного счетчика типа СО на линейный ток и фазное напряжение (рис.1), и выполнить его поверку.
2. Схему учета активной энергии при включении однофазного счетчика типа СО на разность токов двух фаз и линейное напряжение (рис.2).
3. Схему учета активной энергии в трехпроводной сети при помощи трехфазного счетчика типа САЗУ-И672М (рис. 3) и выполнить его поверку.
4. Схему учета активной энергии в четырехпроводной трехфазной сети при помощи трехфазного счетчика типа СА4У-И670М (рис. 4) и выполнить его поверку.
5. Схему учета реактивной энергии при помощи трехфазного счетчика реактивной энергии типа СР4У-И673М (рис. 5) и выполнить его поверку.
6. Схему учета реактивной энергии при помощи однофазных счетчиков активной энергии типа СО (рис. 10).

Характер нагрузки указывается преподавателем.

Для выполнения заданий п. 1-6 необходимо собрать схемы включения счетчиков, указанные в данных пунктах. Так как напряжение моделируемой сети составляет 220/127 В, то цепи напряжения счетчиков включаются непосредственно в сеть 220/127 В.

При включении счетчиков электрической энергии необходимо соблюдать полярность зажимов счетчиков и измерительных трансформаторов. Начало последовательной обмотки счетчика обозначается буквой "Г" (генератор) или меньшим - цифровым индексом, конец - буквой «Н» (нагрузка) или большим цифровым индексом. Однополярный зажим параллелей обмотки счетчика располагается рядом с соответствующим токовым зажимом и обозначается цифрами 1, 2, 3 (для трехфазных счетчиков). Начала первичной и вторичной обмоток трансформатора тока обозначаются соответственно L_1 и U_1 , концы L_2 и U_2 .

Проверка работы счетчиков электрической энергии осуществляется путем сравнения мощности нагрузки, определяемой одновременно по показаниям счетчика и ваттметров, токовые обмотки которых включаются последовательно с соответствующими токовыми обмотками счетчика, а обмотки напряжения с соответствующими фазами (рис. 12). Схемы измерения активной и реактивной

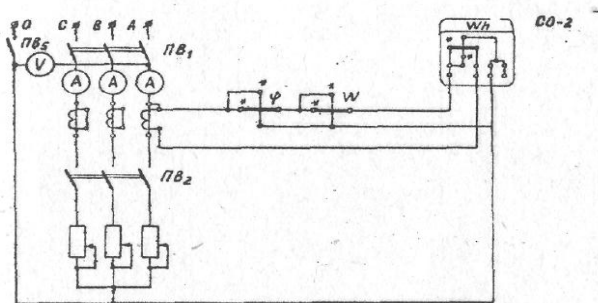


Рис. 12

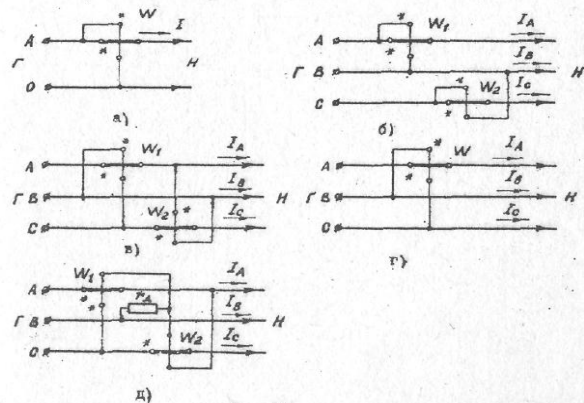


Рис. 13

мощности приведены на рис. 13. Активная мощность однофазной нагрузки измеряется по схеме (рис. 13а). Мощность по ваттметру определяется по формуле

$$P_{BT} = K_{TT} K_{TH} C_{BT} \alpha, \quad (14)$$

где K_{TT} , K_{TH} - коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения; C_{BT} - постоянная ваттметра; α - показания стрелки в делениях шкалы ваттметра.

Активная мощность трехфазной нагрузки измеряется по схеме двух ваттметров (рис. 13б) сложением показаний обоих приборов, т.е.

$$P_{BT} = P_{BT1} + P_{BT2} = K_{TT} K_{TH} C_{BT} (\alpha_{BT1} + \alpha_{BT2}). \quad (15)$$

Реактивная мощность трехфазной симметричной нагрузки может определяться по схеме двух ваттметров (рис. 13 в) по формуле

$$Q_{BT} = \sqrt{3} (Q_{BT1} + Q_{BT2}) = \sqrt{3} K_{TT} K_{TH} C_{BT} (\alpha_{BT1} + \alpha_{BT2}). \quad (16)$$

(16) или по схеме одного прибора (рис. 13г) согласно выражению

$$Q_{BT} = \sqrt{3} P_{BT} = \sqrt{3} K_{TT} K_{TH} C_{BT} \alpha. \quad (17)$$

Реактивная мощность нагрузки трехфазной системы с асимметрией может быть определена по схеме двух ваттметров с искусственной нулевой точкой (рис. 13,д) согласно выражению

$$Q_{BT} = \sqrt{3} (Q_{BT1} + Q_{BT2}) = \sqrt{3} K_{TT} K_{TN} C_{BT} (\alpha_{BT1} + \alpha_{BT2}). \quad (18)$$

Потребляемая мощность по счетчику электрической энергии и секундомеру определяется по формуле

$$P_{с.ч} = \frac{K_{TT} K_{TN}}{K_{TTH} K_{TNN}} \cdot \frac{3600 \cdot 1000 \cdot n}{c \cdot t}, \quad (19)$$

где K_{TT} , K_{NN} - коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения (указываются преподавателем); K_{mnn} , K_{mnn} - номинальные коэффициенты трансформации счетчика (при отсутствии этих данных следует принять $K_{mnn}=1$, $K_{mnn}=1$); n - число отсчитанных оборотов диска счетчика за время t ; c - передаточное число счетчика, указывающее, сколько оборотов диска приходится на один кВтч.

Число оборотов выбирается кратным 20 и таким, чтобы время замера t было не менее 1 минуты. Контроль за отсчетом числа оборотов и показаниями ваттметров производится двумя лицами. Один из них отсчитывает заданное количество оборотов диска счетчика, другой через равные промежутки времени (примерно 5 секунд) записывает показания ваттметров (не менее 10 измерений). По результатам измерений определяется среднее арифметическое значение мощности по ваттметру P_{BT} .

Проверка правильности работы счетчика производится путем сравнения мощности нагрузки, определяемой одновременно по показаниям счетчика и ваттметров.

Результаты измерений по п. 1,2 записываются в табл. 1. Данные измерения по п. 3,4 записываются в табл. 2. Результаты опыта по п. 5 записываются в табл. 3. Данные измерения по п. 6 записываются в табл. 4.

Погрешность счетчика определяется по формуле

$$\Delta P_{сч} = \frac{P_{сч} - P_{вт}}{P_{вт}} \cdot 100\%; \quad \Delta Q_{сч} = \frac{Q_{сч} - Q_{вт}}{Q_{вт}} \cdot 100\%; \quad (20)$$

При определении погрешности счетчика необходимо сделать не менее трех замеров при нагрузках 40-100% и не менее двух замеров при нагрузках 10-20% номинальной мощности счетчика. По результатам замеров определяется средняя погрешность и сопоставляется с допустимой погрешностью для поверяемого счетчика.

Таблица I

№ опыта	Вид нагрузки	Показания прибор при							Время п оборотов диска, с	Потребляемая мощность по счетчику, $P_{сч}$, Вт	Погрешность, %
		$K_{TT} =$		$K_{TN} =$		$C_{BT} =$					
		$I_A,$ А	$I_B,$ А	$I_C,$ А	$U_A,$ В	$U_B,$ В	$U_C,$ В	P_{BT} Вт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Таблица 2

№ опыта	Вид нагрузки	Показания прибор при									Время оборотов диска, с	Потребляемая мощность по счетчику, $P_{сч}$, Вт	Погрешность, %
		$K_{TT} =$			$K_{TH} =$			$C_{BT} =$					
		I_A , А	I_B , А	I_C , А	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	P_{BT1} , Вт	P_{BT2} , Вт	P_{BT3} , Вт			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Таблица 3

№ опыта	Вид нагрузки	Показания прибор при										Время оборотов диска, с	Потребляемая мощность по счетчику, $Q_{сч}$, Вт	Погрешность, %
		$K_{TT} =$			$K_{TH} =$			$C_{BT} =$						
		I_A , А	I_B , А	I_C , А	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	Q_{BT1} Вар	Q_{BT2} Вар	Q_{BT3} Вар	Q_{BT} Вар			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Таблица 4

№ опыта	Вид нагрузки	Показания прибор при										Время оборотов диска, с			Потребляемая мощность по счетчику, $Q_{сч}$, Вт				Погрешность, %
		$K_{TT} =$			$K_{TH} =$			$C_{BT} =$											
		I_A , А	I_B , А	I_C , А	U_A , В	U_B , В	U_C , В	Q_{BT1} Вар	Q_{BT2} Вар	Q_{BT3} Вар	Q_{BT} Вар								
		t_A	t_B	t_C	$Q_{сч1}$	$Q_{сч2}$	$Q_{сч3}$	$Q_{сч4}$											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть определены цели работы, представлены схемы включения счетчиков активной и реактивной энергии, а также их векторные диаграммы, таблицы результатов эксперимента (табл. 1-4) и выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие контрольно-измерительные приборы устанавливаются на подстанциях, распределительных устройствах потребителей, и где их устанавливают?
2. Укажите места установки счетчиков активной и реактивной энергии.
3. С какой целью производится учет электрической энергии?
4. Какие требования предъявляются к классу точности счетчиков и измерительных трансформаторов?
5. Какие схемы применяются для учета активной и реактивной энергии, векторные диаграммы и их область применения?
6. Каков принцип работы индукционных счетчиков, а также счетчиков с указателями максимума нагрузки?
7. Какие применяются типы счетчиков активной и реактивной энергии?

Задача

Подсчет мощности должен производиться по следующим формулам.

Если на табличке счетчика обозначено 1 кВтч= A оборотов диска, то величина мощности P равна:

$$P = \frac{3600n}{At}, \text{ кВт}, \quad (8)$$

где n - число полных оборотов диска счетчика;

t — время, показанное секундомером, с.

Если на табличке счетчика обозначено 1 кВтч= A оборотов диска, то

$$P = \frac{360n}{At}, \text{ кВт}.$$

(8.1) Если на табличке счетчика обозначено 1 оборотдиска = C Втч, то

$$P = \frac{3,6Cn}{t}, \text{ кВт}.$$

(8.2) Если на табличке счетчика обозначено 100 Вт = Соб/мин, то

$$P = \frac{6n}{Ct}, \text{ кВт}. \quad (8.3)$$

Если на табличке счетчика обозначено A'' оборотов якоря в секунду, то

$$P = \frac{A''n}{1000t}, \text{ кВт}. \quad (8.4)$$

Пример 2. Электроприемники предприятия питаются от двух силовых трансформаторов мощностью 160 кВА и 400 кВА. На первом трансформаторе имеется трансформаторный счетчик активной энергии, отградуированный на ТТ 25/5 А и ТН 6000/100 В, который присоединен к ТТ 75/5 А и ТН 10 000/100 В. На табличке счетчика указано 1 кВтч = 50 оборотов диска. На втором трансформаторе имеется счетчик активной энергии 3х5 А, 100 В, который присоединен к ТТ 50/5 А и ТН 6000/100 В. На табличке счетчика указано 1 кВтч = 1000 оборотов диска. Определить общую нагрузку электроприемников предприятия.

Решение.

1. Секундомером замеряем время оборотов дисков обоих счетчиков. Замеры показали: на первом счетчике 2 с при 8 оборотах диска, на втором счетчике - 30 с при 4 оборотах диска.

2. Так как на табличке первого счетчика указано 1 гВтч = 50 оборотов диска, то по формуле (8.1) определяем показанную мощность:

$$P'_1 = \frac{360 \cdot 8}{50 \cdot 2} = 28,8 \text{ кВт}.$$

3. С учетом общего расчетного коэффициента, определяемого для первого трансформатора по формуле (5), находим фактическую мощность электроприемников, подключенных к первому трансформатору:

$$P_1 = 28,8 \cdot \frac{\frac{75}{5} \cdot \frac{10000}{6000}}{\frac{100}{100}} = 144 \text{ кВт.}$$

4. Так как на табличке второго счетчика указано 1 кВтч = 1000 оборотов диска, то по формуле (8) определяем показанную им мощность:

$$P'_2 = \frac{3600 \cdot 4}{1000 \cdot 30} = 0,48 \text{ кВт.}$$

5. С учетом общего расчетного коэффициента, определяемого для второго трансформатора по формуле (8.1), находим фактическую мощность электроприемников, подключенных к этому трансформатору:

$$P_2 = P'_2 K_I K_U = 0,48 \cdot \frac{50}{5} \cdot \frac{6000}{100} = 288 \text{ кВт.}$$

6. Определяем общую нагрузку электроприемников предприятия:

$$P = P_1 + P_2 = 144 + 288 = 432 \text{ кВт.}$$

Из приведенного расчета видно, что фактический расход электроэнергии с учетом расчетных коэффициентов значительно отличается от разницы показаний счетчиков.

Так, на первом трансформаторе расчетный коэффициент равен 5 и определяется параметрами счетчика, а на втором трансформаторе он равен 600 и определяется коэффициентами ТТ и ТН.

Если предположить, что на первом трансформаторе фактический расход электроэнергии будет принят равным только разнице показаний счетчика, то оплата за потребленную электроэнергию снизится в 5 раз. В этом случае очевидно явное несоответствие между установленной (потребляемой) мощностью и разницей показаний счетчика. Однако если бы в данном примере на первом трансформаторе счетчик был бы отградуирован на ТТ 75/5 А и ТН 6000/100 В, то расчетный коэффициент в соответствии с формулой (5) стал бы равен:

$$K_p = \frac{\frac{75}{5} \cdot \frac{10000}{6000}}{\frac{100}{100}} = 1,67.$$

При этом разницу обнаружить было бы уже труднее, а недоплата в этом случае составила бы 67 %.

Что касается коэффициентов трансформации измерительных ТТ и ТН, то на практике имели место случаи замены таких трансформаторов без согласования и без оповещения энергоснабжающей организации. Такая замена приводит к изменению расчетных коэффициентов, что влечет за собой соответствующее изменение размера оплаты за потребленную электроэнергию.

Так, если ТТ 75/5 А заменить на ТТ 100/5 А, то фактический расход электросчетчика снизится в $100/75 = 1,33$ раза в то время, как расчетный коэффициент, указанный в приложении к договору энергоснабжения, останется прежним ($75/5=15$). В этом случае разница показаний счетчика вместо умножения на коэффициент 20 (т. е. 100/5), будет умножаться на коэффициент 15 (т. е. 75/5), что приведет к недоплате за потребленную электроэнергию в 1,33 раза.

Таким образом, учет окажется «загубленным» и в некоторых случаях не соответствующим порогу чувствительности счетчиков, нормируемые значения которого указаны в соответствующих стандартах (например, для индукционных счетчиков - в ГОСТ 6570-75).

При этом важно, что при установке индукционных счетчиков допускается применение ТТ с завышенным коэффициентом трансформации (по условиям электродинамической и термической стойкости или защиты шин) в случае, если при максимальной нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке трансформатора будет составлять не менее 40 % номинального тока счетчика, а при минимальной рабочей нагрузке - не менее 5 %.

Для снижения величины последнего сомножителя в формуле (7) -разницы показаний счетчика - с целью хищения электроэнергии существует множество так называемых технологических способов, рассмотренных в следующем разделе.

2. Занижение расчетных потерь активной мощности в абонентских трансформаторах

К расчетным способам хищения электроэнергии следует отнести заведомо заниженные расчетным путем потери активной энергии в питающем абонентском трансформаторе в случае, если расчетные счетчики установлены на стороне низшего напряжения этих трансформаторов.

Расчет потерь электроэнергии оформляется в виде приложения к договору энергоснабжения. В некоторых энергоснабжающих организациях такой расчет не производится; с абонентов взимается 5,1 % за потери в трансформаторах (в соответствии с действовавшими ранее тарифными документами). В настоящее время такой подход является некорректным, поскольку не отражает действительного значения потерь.

В принципе указанный расчет должен быть произведен и оформлен обеими сторонами совместно. Однако если выполнение такого расчета возложено местной энергоснабжающей организацией на потребителя или если от потребителя требуются только исходные данные для расчета, то создаются предпосылки для занижения оплаты потерь, что является своего рода хищением части электроэнергии.

Потери активной электроэнергии в трансформаторе определяются по формуле:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta P_x T_o + \beta^2 \Delta P_k T_p, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (9)$$

где ΔP_x - потери активной мощности холостого хода (ХХ) в трансформаторе, кВт;

- потери активной мощности короткого замыкания (КЗ)

$$\Delta P_k$$

в трансформаторе, кВт;

T_o - годовое число часов присоединения трансформатора

к сети; T_p - число часов работы трансформатора под нагрузкой;

β — коэффициент загрузки трансформатора, равный отношению среднего тока нагрузки / к номинальному току I_n , т. е.

$$\beta = I_{cp} / I_{ном} \quad (10)$$

$$I_{cp} = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{\sqrt{3} U_{ном} T} \quad (11)$$

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном}} \quad (12)$$

Коэффициент β можно определить и по другой формуле:

$$\beta = \frac{W_a}{S_{ном} T \cos \varphi} \quad (13)$$

где W_a и W - соответственно расход активной, кВтч, и реактивной, кварч, электроэнергии; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности нагрузки,

T — время работы трансформатора за соответствующий период, ч; $S_{ми}$ — номинальная мощность трансформатора, кВА. Годовые потери электроэнергии при постоянно подключенном к сети трансформаторе (т. е. при $T_o = 8760$ ч) можно определить по следующей формуле:

$$\Delta W_x = 8760 \Delta P_x + (S_{max} / S_{ном})^2, \text{ кВт}\cdot\text{ч}, \quad (14)$$

где S_{max} - зафиксированная максимальная нагрузка трансформатора, кВА.

Постоянные составляющие потерь в трансформаторе (ΔP_k , ΔP_x) определяются по техническим данным трансформатора и продолжительности его работы (в часах).

Переменные (нагрузочные) потери определяются на основе фактического графика нагрузки трансформатора.

Потребитель электроэнергии может представить для расчета по формулам (9)—(14), например, пониженные значения переменных (нагрузочных) потерь, в том числе число часов работы трансформатора под нагрузкой (T) или пониженную зафиксированную максимальную нагрузку трансформатора (S_{tm}), а также ряд других входящих в указанные расчетные формулы величин, которые контролируются только самим потребителем, тем самым снизив расчетную величину потерь электроэнергии. Это также можно отнести к ее хищению.

Своеобразным видом хищения электроэнергии во многих случаях является отсутствие (преднамеренный недоучет) при расчете потерь активной

мощности расчетных значений потерь, возникающих от перетоков реактивной мощности Q .

Так, если в трехфазных сетях известны значения полной S , активной P и реактивной Q мощностей нагрузок, то потери активной мощности будут равны:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R = \frac{S^2}{U^2} R, \text{ кВт}, \quad (15)$$

где R - активное сопротивление электросети, Ом; U - напряжение сети, кВ.

Потери активной мощности в трансформаторе ΔP_T из-за потребления реактивной мощности можно определить последующей формуле:

$$\Delta P_T = (\Delta P_x + K_{\text{нп}} \Delta Q_x) + \beta^2 (\Delta P_x + K_{\text{нп}} \Delta Q_x), \text{ кВт}, \quad (16)$$

где — потери реактивной мощности в трансформаторе, ΔQ_x и ΔQ_k соответственно, при ХХ и при КЗ, квар; $\Delta \Gamma_{\text{нп}}$ — коэффициент изменения потерь активной мощности, принимаемый обычно равным 0,7. Значения ΔP_x , ΔQ_x , ΔP_k и ΔQ_k табулированы (указаны в паспортных данных трансформаторов).

В формулах (15) и (16) можно умышленно занизить такие величины, как R , β , $K_{\text{нп}}$ и др.

Важно, что при возрастании потерь активной мощности при увеличении реактивной мощности (см. формулу (15)) из-за ее нерациональной компенсации возрастает ток /:

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U}, \text{ А}. \quad (17)$$

Это ухудшает пропускную способность электросети, приводит к повышенному расходу цветных металлов и удорожанию стоимости электроустановок, так как с повышением потребления реактивной мощности Q (т. е. при пониженном $\cos \varphi$) необходимо увеличивать сечение проводников q , что видно из следующей формулы:

$$q = \frac{\rho l P^2}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi}, \text{ мм}^2 \quad (18)$$

где ρ - удельное сопротивление проводника, Оммм²/м;
/ - длина линии электропередачи, м.

Корректор *Эркинбек к. Ж.*
Редактор *Турдукулова А.К.*
Тех.редактор *Кочоров А.Д*

Подписано к печати 10.07.2015 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆.
Бумага офс. Печать офс. Объем 1п.л. Тираж 50 экз. Заказ 333. Цена 17,1с.
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ “Текник” КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43
e-mail: beknur@mail.ru

