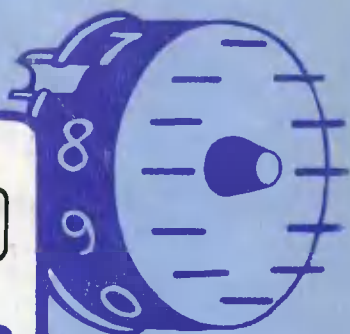
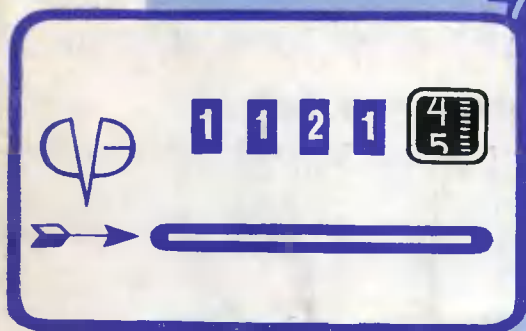


Библиотека  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

УДК  
621.317  
Т 77



И. И. ТРУБ

# МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



Библиотека  
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Выпуск 359

И. И. ТРУБ

МОНТАЖ  
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
СЧЕТЧИКОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

БАЛАНС / 1

Центральная библиотека  
Московского университета  
Библиотечный фонд  
Западно-Уральский филиал



«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1972

6П2.1.081

T 77

УДК 621.317.785

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большаков Я. М., Каминский Е. А., Мандрыкин С. А., Розанов С. П., Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Соколов Б. А., Устинов П. И.

**Труб И. И.**

**T 77** Монтаж и эксплуатация счетчиков электроэнергии. М., «Энергия», 1972.

48 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 359).

В брошюре рассмотрены вопросы эксплуатации счетчиков электроэнергии в электроустановках промышленной частоты. Приведены принципиальные схемы включения счетчиков. Даны сведения о монтаже и о способах проверки правильности включения счетчиков.

Брошюра предназначена для электромонтеров, занятых эксплуатацией счетчиков. Она может быть полезна учащимся профессионально-технических училищ и работникам энергобытов.

3-3-10

132-72

6П2.1.081

**Иосиф Израилевич Труб**

**МОНТАЖ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ СЧЕТЧИКОВ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

Редактор *Н. С. Ковалева*

Обложка художника *П. П. Перевалова*

Технический редактор *О. Д. Кузнецова*

Корректор *Е. В. Житомирская*

---

Сдано в набор 7/1 1972 г. Подписано к печати 5/V 1972 г. Т-09019  
Формат 84 × 108<sup>1/32</sup> Бумага типографская № 2  
Усл. печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 2,71  
Тираж 30 000 экз. Зак. 19а Цена 10 коп.

---

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

---

Набрано в Московской типографии № 13 Главполиграфпрома  
Государственного комитета Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
Денисовский пер., 30.

Отпечатано в Московской типографии № 19 Главполиграфпрома  
Государственного комитета Совета Министров СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,  
наб. Мориса Тореза, 34. Зак. 677а.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами XXIV съезда КПСС предусмотрено дальнейшее развитие электроэнергетики. В соответствии с государственным планом развития народного хозяйства СССР на 1971—1975 гг. должно быть введено 64—67 млн. квт новой мощности. Ставятся задачи повысить уровень электрификации производства и эффективности использования энергии, улучшить технико-экономические показатели производства и передачи электроэнергии.

Измерение расхода электрической энергии в цепях трехфазного тока имеет ряд специфических особенностей. К ним относится, в частности, сложность схемы и, как следствие этого, возможность неправильного включения счетчика. В ряде случаев неправильное включение счетчика может оказаться незамеченным. Поэтому проверка правильности включения счетчика является необходимой.

При эксплуатации счетчиков и измерительных трансформаторов, через которые они включены, необходимо соблюдать ряд требований, предъявляемых Правилами пользования электроэнергией, Правилами устройства электроустановок и Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей.

В настоящей брошюре кратко рассмотрены вопросы, с которыми приходится сталкиваться электрикам при эксплуатации счетчиков электроэнергии.

Замечания по брошюре просьба направлять по адресу: Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, изд-во «Энергия».

Автор

## **ВВЕДЕНИЕ**

Правильная организация учета электрической энергии является необходимым условием для нормальной работы как потребителей электроэнергии, так и электроснабжающей организации.

Учет активной электроэнергии необходим прежде всего для определения количества выработанной электроэнергии и для денежного расчета потребителя электроэнергии с электроснабжающей организацией. Кроме того, учет активной электроэнергии производится для контроля за выполнением норм ее расхода по цехам и отдельным установкам.

Известно, что понятие о реактивной энергии носит условный характер, так как реактивная энергия не может быть превращена в другие виды энергии. Тем не менее учет реактивной энергии также необходим в современных энергетических установках. Это объясняется тем, что наличие в цепи реактивной энергии приводит к дополнительным потерям электрической энергии в линиях передачи, трансформаторах и генераторах. Эти потери будут тем больше, чем меньше коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ) у потребителя. Низкий  $\cos \varphi$  вызывает увеличение потребляемого тока за счет его реактивной составляющей, что и приводит к указанным выше дополнительным потерям и к понижению напряжения у потребителей электроэнергии. Установка счетчиков реактивной энергии является обязательной на вводе у потребителя с присоединенной мощностью 100 кВА и более для денежного расчета по шкале скидок и надбавок за  $\cos \varphi$ . Существует расчетный и технический учет электроэнергии.

Расчетным учетом электроэнергии называется учет выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее. Счетчики, устанавливаемые для расчетного учета, называются расчетными счетчиками.

Техническим (контрольным) учетом электроэнергии называется учет для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций, предприятий и т. п. Счетчики, устанавливаемые для технического учета, называются контрольными счетчиками.

## 1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И УСТРОЙСТВО ИНДУКЦИОННЫХ СЧЕТЧИКОВ

Для измерения расхода электроэнергии в цепях переменного тока промышленной частоты применяются счетчики индукционного типа. Принцип действия этих счетчиков основан на взаимодействии магнитных потоков с индуцированными токами в подвижной части прибора. Подвижная часть выполнена в виде алюминиевого диска, укрепленного на оси. Если алюминиевый диск находится между двумя полюсами электромагнитов  $A$  и  $B$ , по катушкам которых протекает переменный ток, то магнитные потоки  $\Phi_A$  и  $\Phi_B$  пронизывают этот диск и индуцируют в нем токи  $I_A$  и  $I_B$  (рис. 1). Ток  $I_A$ , взаимодействуя с магнитным потоком  $\Phi_B$ , создает некоторое усилие. Второе усилие получается от взаимодействия тока  $I_B$  с магнитным потоком  $\Phi_A$ . Образующийся в результате вращающий момент пропорционален величинам этих двух потоков и зависит от угла сдвига между ними.

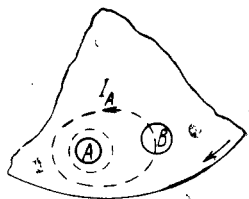


Рис. 1. Часть диска индукционного двухпоточного прибора.

На рис. 2 показаны устройство и схема включения однофазного индукционного счетчика. Счетчик состоит из двух электромагнитов 5 и 8, алюминиевого диска 1, укрепленного на оси 2, подпятника 3 и подшипника 4, которые служат опорами оси, постоянного тормозного магнита 7 и счетного механизма, связанного с осью зубчатой передачей (на рисунке не показан).

Обмотка электромагнита 5 включена в цепь параллельно, и его сердечник пронизывает магнитный поток  $\Phi_U$ , пропорциональный напряжению сети  $U$ . Обмотка электромагнита 8 включена последовательно с нагрузкой, и его сердечник пронизывает магнитный поток  $\Phi_I$ , пропорциональный току нагрузки  $I$ . Оба магнитных по-

тока индуцируют в алюминиевом диске вихревые токи, которые, взаимодействуя с магнитными потоками, создают вращающий момент  $M$ , пропорциональный произведению этих потоков.

Для того чтобы счетчик измерял расход активной энергии, необходимо выполнить условие пропорциональности вращающего момента активной мощности, т. е.

$$M = \kappa_1 IU \cos \varphi = \kappa_1 P,$$

где  $\kappa_1$  — коэффициент пропорциональности;  $\varphi$  — угол сдвига между током и напряжением.

Пропорциональность вращающего момента току нагрузки и напряжению сети обеспечивается, как было сказано выше.

Пропорциональность вращающего момента  $\cos \varphi$  обеспечивается созданием определенного угла сдвига между магнитными потоками. Для этой цели магнитный поток параллельного электромагнита расщепляется на два: рабочий и вспомогательный. Рабочий поток пересекает диск и замыкается через противоположный, расположенный под диском. Вспомогательный поток замыкается через средний и боковые стержни электромагнита, не пересекая диска.

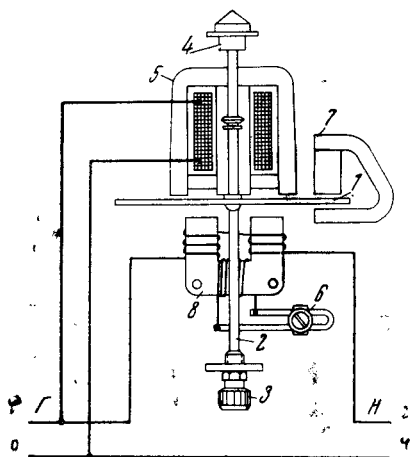


Рис. 2. Схема устройства индукционного счетчика.

Для дополнительной подгонки угла сдвига служит регулятор  $б$ . Он состоит из нескольких витков медной проволоки, намотанных на магнитопровод электромагнита  $8$  и замкнутых на петлю из никелиновой проволоки. Петля снабжена винтовым зажимом, перемещением которого и производится регулировка. Под действием вращающего момента диск счетчика придет во вращение. При этом возникает тормозной момент, действующий на диск счетчика. Этот момент создается взаимодействием потока  $\Phi_T$  тормозного магнита с вихревыми токами, индуцированными в диске его полем. Так как поток

тормозного магнита неизменен, то этот момент пропорционален только частоте вращения диска.

Кроме того, два тормозных момента создаются потоками параллельного и последовательного электромагнитов. Для того чтобы результирующий тормозной момент, равный сумме трех указанных, как можно меньше зависел от потока  $\Phi_i$ , тормозной момент постоянного магнита выбирается значительно большим тормозного момента последовательного электромагнита.

При этом можно с достаточной точностью считать, что результирующий тормозной момент пропорционален только частоте вращения диска  $n$ , т. е.  $M_T = \kappa_2 n$ , где  $\kappa_2$  — коэффициент пропорциональности.

При установившейся частоте вращения диска

$$M = M_T,$$

а следовательно,  $\kappa_1 P = \kappa_2 n$ , откуда  $P = \frac{\kappa_2}{\kappa_1} n$ , т. е. угловая скорость диска пропорциональна мощности  $P$  цепи, а частота вращения диска пропорциональна израсходованной энергии. Следовательно, число оборотов диска счетчика можно измерять израсходованную энергию. Комплекс деталей, состоящий из магнитопроводов и обмоток параллельной и последовательной цепи, называют вращающим элементом счетчика.

Счетный механизм представляет собой счетчик оборотов. Получивший преимущественное применение для электрических счетчиков роликовый счетный механизм (рис. 3) состоит в основном из зубчатой передачи, нескольких роликов с нанесенными на них цифрами от 0 до 9 и прикрывающего передачу и ролики алюминиевого щитка с вырезанными в нем окошками для отсчета измеряемой величины. Вращение подвижной части счетчика через систему шестерен передается счетному механизму. Полному обороту первого ролика соответствует поворот следующего за ним (справа налево) ролика только на одну десятую часть оборота. Третий ролик уже сделает одну десятую часть оборота при полном обороте второго и т. д. Чаще всего в роликовых счетных механизмах имеется пять роликов.

В зависимости от числа шестерен и их передаточных чисел единице, зарегистрированной счетным механизмом энергии, будет соответствовать определенная частота вращения подвижной части счетчика. Частота вращения подвижной части, которая вызывает изменение

счетного механизма на единицу измеряемой величины, называется передаточным числом счетчика. Передаточное число обычно указывается на щитке счетчика. Например: 1 квт·ч — 450 об. диска.

Число часов работы счетчика при нормальной нагрузке, необходимое для полной смены всех цифр, называется емкостью счетного механизма.

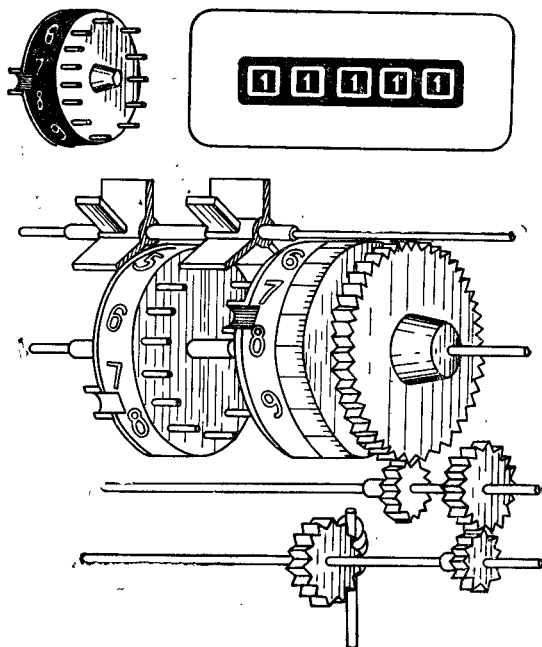


Рис. 3. Роликовый счетный механизм.

Для учета электроэнергии в трехфазных трехпроводных цепях (без нулевого провода) применяются двухэлементные счетчики. Трехфазный двухэлементный счетчик состоит как бы из двух помещенных в один корпус однофазных счетчиков, вращающие элементы которых воздействуют на одну общую подвижную часть, соединенную со счетным механизмом (рис. 4). При этом вращающие моменты, созданные каждым элементом, складываются. Счетчик включен по схеме двух ваттметров (схема Арона). Результирующий вращающий момент пропорционален активной мощности трехфазной цепи.

Для учета электроэнергии в четырехпроводных цепях (с нулевым проводом) применяются трехэлементные счетчики. Такие счетчики имеют три элемента, воздействующие либо на три диска (например, в счетчике СА4-ТЧ), либо на два диска (например, в счетчике СА4-И672М).

Счетчики реактивной энергии по принципу действия и конструкции сходны со счетчиками активной энергии.

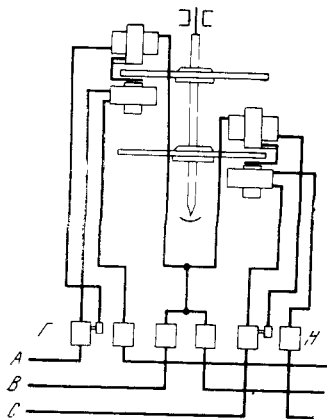


Рис. 4. Схема устройства трехфазного двухэлементного двухдискового счетчика.

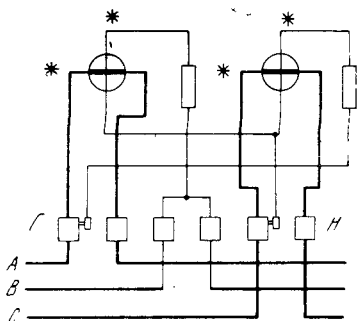


Рис. 5. Схема счетчика реактивной энергии СРЗ-И44.

Отличие их состоит в том, что суммарный вращающий момент пропорционален синусу угла между током и напряжением.

На рис. 5 приведена схема счетчика типа СРЗ, предназначенного для учета реактивной энергии в трехпроводной сети. Как видно из схемы, на параллельные обмотки подаются напряжения «чужих» фаз. В цепь параллельных обмоток включены добавочные сопротивления. Угол сдвига между рабочими магнитными потоками параллельной и последовательной цепей составляет  $60^\circ$ . В эксплуатационном отношении счетчики со сдвигом в  $60^\circ$  удобны тем, что схема их включения не отличается от схемы включения счетчика активной энергии.

В счетчиках реактивной энергии типа СР4-ИТР параллельные обмотки включены так же, как и в счетчике типа СРЗ, но без добавочных сопротивлений (сдвиг  $90^\circ$ ).

Каждый из последовательных электромагнитов имеет по две обмотки: основную и дополнительную. Дополнительная обмотка намотана в направлении, противоположном основной (рис. 6). Счетчики этого типа применяются как в трехпроводных, так и в четырехпроводных цепях трехфазного тока.

Существуют также трехэлементные счетчики реактивной энергии (СР4-И676) со сдвигом фаз потоков в  $90^\circ$ .

Эти счетчики являются наиболее рекомендуемыми для учета реактивной энергии в четырехпроводных цепях.

По способу включения в сеть счетчики разделяют на счетчики прямого включения (прямоточные), которые включаются без измерительных трансформаторов, и счетчики, включаемые через измерительные трансформаторы. Последние в свою очередь можно разделить на включаемые через измерительные трансформаторы

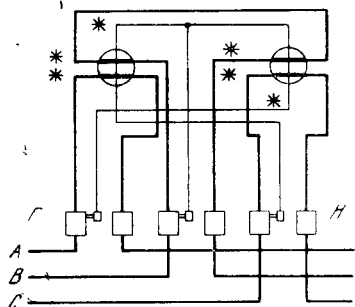


Рис. 6. Схема счетчика реактивной энергии СР4-ИТР.

с определенными коэффициентами трансформации и универсальные, т. е. включаемые через любые измерительные трансформаторы. Об определении расхода электроэнергии по показаниям счетчиков различных типов будет сказано ниже.

На щитках некоторых счетчиков имеется надпись «со стопором» или «обратный ход застопорен». Диск таких счетчиков может вращаться только в направлении, указанном стрелкой.

Допустимая погрешность счетчика определяет его класс точности. Для расчетного учета электроэнергии класс точности счетчиков прямого включения (без измерительных трансформаторов) должен быть для активной энергии не ниже 2,5, а для реактивной энергии не ниже 3. Для счетчиков, включенных через измерительные трансформаторы, класс точности должен быть для активной энергии не ниже 2,0, а для реактивной энергии — не ниже 3. Для присоединений большой мощности (10 Мвт и выше) рекомендуется применять счетчики класса точности 1 и выше.

Укажем на расшифровку букв в обозначении типа счетчика:

С — счетчик; А — активной энергии; Р — реактивной энергии; 3 или 4 — для трехпроводной или четырехпроводной сети; У — универсальный; И — индукционной измерительной системы; П — прямоточный; М — модернизированный.

Пример: СА4У-И672М 5а 380в — счетчик активной энергии для включения в четырехпроводную сеть с линейным напряжением 380 в через любые трансформаторы тока.

## 2. СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ СЧЕТЧИКОВ

Электрический счетчик является прибором, реагирующим не только на абсолютную величину мощности, но и на ее направление. Следовательно, при установке счетчиков на каком-либо присоединении нужно обязательно знать направления активной и реактивной мощности по нему. Как известно, в электрической цепи происходит передача активной энергии от ее источника (генератора) к приемнику (нагрузке). Любая точка цепи может рассматриваться как «генератор» по отношению к одной ее части и как «нагрузка» — к другой.

Реактивная мощность, создавая магнитные потоки в индуктивных элементах цепи (трансформаторы, асинхронные двигатели, индукционные печи, сварочные агрегаты, преобразовательные установки и т. п.), доставляется генераторами энергии и возвращается обратно к ним. Реактивная мощность емкостных элементов сети (батареи статических конденсаторов, синхронные компенсаторы, перевозбужденные синхронные двигатели) имеет компенсирующий характер, т. е., вычитаясь из реактивной мощности индуктивных элементов, уменьшает ее. Принято условно считать, что реактивная мощность также имеет направление, причем емкостный элемент цепи является генератором реактивной мощности, а индуктивный элемент — ее нагрузкой.

В электрических сетях принято также считать направление мощности от шин в линию положительным, а к шинам — отрицательным.

В подавляющем большинстве случаев энергоснабжающая организация выдает потребителю наряду с активной и реактивную энергию. Отдача реактивной энергии

потребителем в сеть (перекомпенсация) не допускается. Такая отдача может иметь место в отдельные часы работы (при снятии нагрузки без отключения компенсирующих устройств). Однако учет этой отдаваемой энергии не производится. Достигается это путем установки реактивного счетчика со стопором.

Таким образом, расчетные счетчики, устанавливаемые на границе раздела сети энергоснабжающей организации и потребителя, учитывают, как активную и реактивную энергию одного направления.

В сети сложной конфигурации с несколькими источниками питания направления активной и реактивной мощности могут быть противоположными. Кроме того, они могут изменяться при переключениях в схеме, при изменении мощности источников питания и приемников, при регулировании напряжения. В таких сетях направление мощности определяется по показаниям приборов либо расчетом. Учет каждого вида энергии производится двумя счетчиками с застопоренным обратным ходом.

Диск правильно включенного счетчика должен вращаться в направлении, указанном стрелкой. Для выполнения этого условия ток, подведенный к зажимам последовательной обмотки счетчика, должен протекать от ее начала к концу. Начало последовательной обмотки счетчика расположено на коробке зажимов слева и обозначается либо буквой Г (генератор), либо меньшим цифровым индексом; конец — либо буквой Н (нагрузка), либо большим цифровым индексом.

При подключении счетчика нужно соблюдать следующее правило: к началу последовательной обмотки счетчика подключается провод, идущий от генераторной точки цепи. Таким образом, при положительном направлении мощности к началу последовательной обмотки счетчика прямого включения подключается провод, идущий от шин. При отрицательном направлении к началу последовательной обмотки счетчика подключается провод, идущий от линии.

Если счетчик включен через трансформаторы тока, то правило его включения можно сформулировать так: к началу последовательной обмотки подключается провод, идущий от зажима вторичной обмотки трансформатора тока, который однополярен с зажимом первичной обмотки, обращенным в сторону генераторной точки се-

ти. (Об однополярных зажимах измерительных трансформаторов будет сказано ниже.) При этом направление мощности, подведенной к счетчику, будет соответствовать тому, которое имело бы место при прямом включении счетчика в сеть.

Трехфазную систему токов и напряжений можно изобразить графически в виде векторов, т. е. отрезков определенной длины и направления. Векторы фазных напряжений  $\dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_B$ ,  $\dot{U}_C$  сдвинуты между собой на  $120^\circ$ . Вращение векторов принято против часовой стрелки, а чередование фаз — по часовой стрелке.

На рис. 7 изображена векторная диаграмма счетчика активной энергии, включенного в трехфазную сеть по

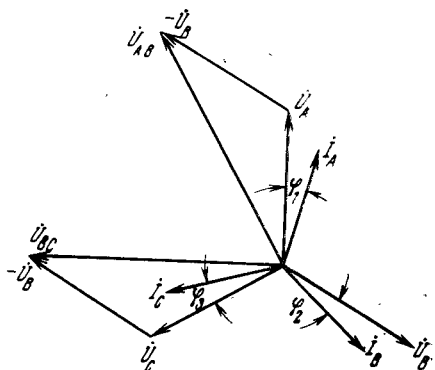


Рис. 7. Векторная диаграмма трехфазного двухэлементного счетчика активной энергии при индуктивной нагрузке.

схеме рис. 4. Характер нагрузки индуктивный (направления активной и реактивной мощности совпадают). Как известно, вектор линейного напряжения  $\dot{U}_{AB}$  равен разности векторов  $\dot{U}_A$  и  $\dot{U}_B$ . Угол сдвига между векторами  $\dot{U}_A$  и  $\dot{U}_{AB}$  составляет  $30^\circ$ . Так как отсчет положительного угла ведется по направлению вращения векторов (против часовой стрелки), то, как принято говорить, вектор  $\dot{U}_{AB}$  опережает вектор  $\dot{U}_A$  на  $30^\circ$ . Аналогично строятся векторы  $\dot{U}_{BC}$  и  $\dot{U}_{CA}$ . При индуктивном характере нагрузки вектор тока  $\dot{I}_A$  сдвинут на некоторый положительный угол  $\varphi_A$  относительно вектора  $\dot{U}_A$  (отстает от вектора  $\dot{U}_A$ ). Этот угол лежит в пределах от 0 до  $90^\circ$ . Вектор тока  $\dot{I}_C$  отстает от вектора  $\dot{U}_C$  на угол  $\varphi_C$ . При нагрузке, близкой к симметричной,  $\varphi_A \approx \varphi_C$ .

Как будет показано ниже, положение вектора тока, протекающего через последовательную обмотку счетчика, можно определить с помощью приборов, а затем, построив векторную диаграмму, сделать заключение о правильности включения счетчика.

Рассмотрим несколько типовых схем включения счетчиков. На рис. 8 приведена схема включения трехфазного трехэлементного счетчика активной энергии типа СА4-И672М для учета энергии в четырехпроводной сети 380/220 в. Возможно применение этого счетчика и для учета энергии в трехпроводной сети. В этом случае зажим счетчика 10 остается свободным.

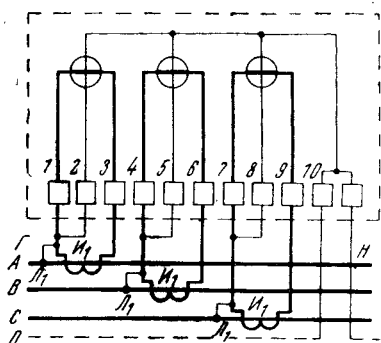


Рис. 8. Схема включения счетчика СА4-И672М в четырехпроводной сети 380/220 в.

На рис. 9 дана схема совместного включения счетчиков СА3У-И43 и СР3У-И44 для учета активной и реактивной энергии в сети напряжением выше 1000 в. Счетчики включены через трансформаторы тока и

напряжения. Трансформаторы тока соединены в неполную звезду. Последовательно включенные обмотки счетчиков каждой фазы соединены также в неполную звезду. Параллельные обмотки счетчиков питаются от двух однофазных трансформаторов напряжения, соединенных в открытый треугольник.

На рис. 10 приведена схема совместного включения счетчиков СА3У и СР4У. Счетчик СР4У имеет дополнительную обмотку, включающуюся на ток средней фазы. Маркировка выводов этой обмотки обратная, т. е. конец обмотки выведен левее начала. Такая маркировка объясняется тем, что токи основной и дополнительной обмоток должны течь в противоположных направлениях в соответствии с принципом работы счетчика. Известно, что в нулевом проводе вторичных обмоток трансформаторов тока, установленных в фазах А и С, протекает ток, равный по величине вторичному току фазы В и противоположный ему по направлению. Поэтому нулевой про-

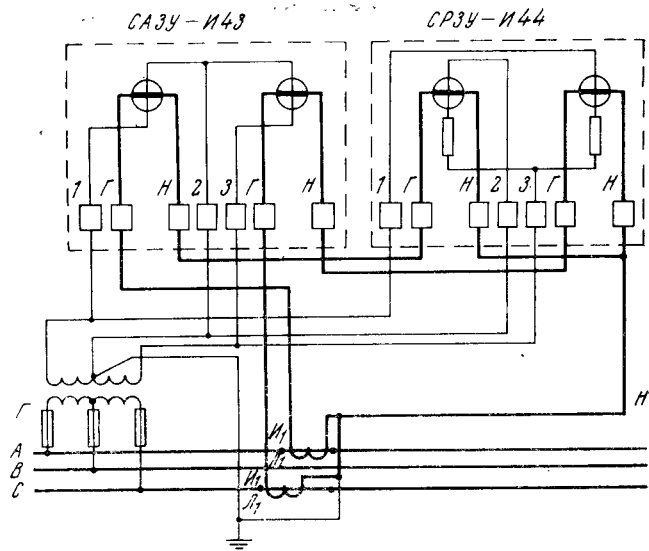


Рис. 9. Схема совместного включения счетчиков САЗУ-И43 и СРЗУ-И44 в сети напряжением выше 1000 в.

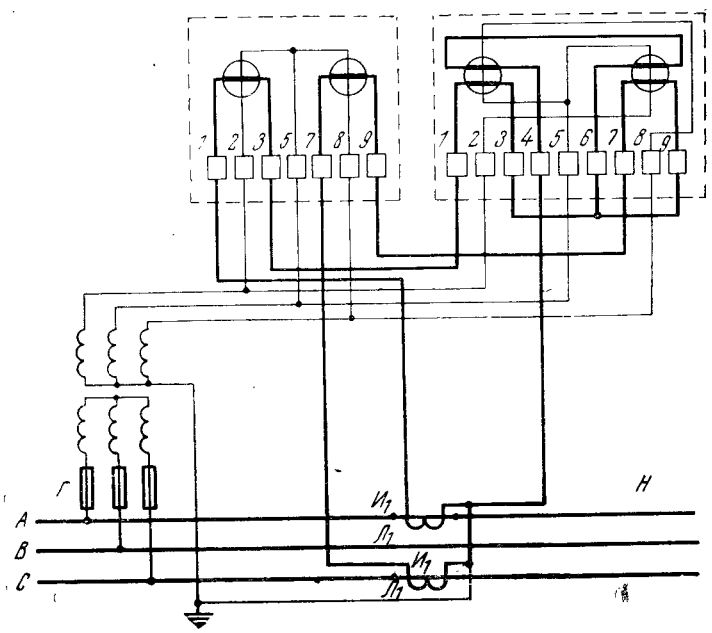


Рис. 10. Схема совместного включения счетчиков САЗУ и СР4У для учета активной и реактивной энергии в сети напряжением выше 1000 в.

вод присоединяется к концу дополнительной обмотки. Параллельные обмотки счетчиков питаются от трехфазного трансформатора напряжения.

Схема включения счетчика обычно бывает нанесена на крышке его зажимной коробки. Однако в условиях эксплуатации крышка может оказаться взятой со счетчика другого типа. Поэтому схему, нанесенную на крышке, необходимо сверить с типовой схемой, а также с разметкой зажимов.

### **3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ В ЦЕПЯХ УЧЕТА**

Точность учета электроэнергии во многом зависит от правильного выбора измерительных трансформаторов. У трансформаторов тока начало и конец первичной обмотки обозначены соответственно буквами  $L_1$  и  $L_2$  (линия), а начало и конец вторичной обмотки соответственно  $I_1$  и  $I_2$  (измерение). Зажимы  $L_1$  и  $I_1$  однополярны. Это значит, что если в первичной цепи мощность направлена от  $L_1$  к  $L_2$  (зажим  $L_1$  является генераторным), то зажим  $I_1$  является также генераторным. Он должен быть подключен к началу последовательной обмотки счетчика. Отметим, что в распределительных устройствах принята установка трансформаторов тока так, чтобы зажим  $L_1$  был обращен к сборным шинам. Поэтому зажим  $L_1$  и соответственно зажим  $I_1$  являются генераторными при положительном направлении мощности.

У встроенных трансформаторов тока однополярными являются «верх» и зажим  $A$  вторичной обмотки.

На паспортной табличке трансформатора тока указывается его коэффициент трансформации в виде отношения номинального первичного тока к номинальному вторичному току. Номинальный вторичный ток трансформаторов тока обычно равен  $5\text{ а}$ . Таким же должен быть и номинальный ток счетчика, включаемого в его обмотку. В некоторых случаях для электроустановок напряжением  $110\text{ кВ}$  и выше изготавливают трансформаторы тока с номинальным током вторичной обмотки  $1\text{ а}$ .

Трансформатор тока выбирается по номинальному напряжению и по максимальной длительной нагрузке данного присоединения, которая должна быть не выше  $110\%$  номинального тока этого трансформатора. В то же время необходимо помнить, что при токе менее  $20\%$

номинального увеличиваются погрешности как счетчика, так и трансформатора тока и счетчик недоучитывает энергию. При нагрузке менее 10% номинальной погрешность счетчика становится недопустимой. Перегрузка же счетчика на 10—20% вполне допустима и не вызывает увеличения его погрешности. Поэтому не следует устанавливать трансформатор тока с номинальным первичным током, значительно превосходящим нагрузку данного присоединения. Завышенным по коэффициенту трансформации считается такой трансформатор тока, у которого при 25%-ной загрузке силового трансформатора или линии ток во вторичной обмотке будет менее 0,5 а.

*Пример 1.* Трансформатор 320 кВа с первичным напряжением 6,3 кВ имеет первичный номинальный ток

$$I_n = \frac{320}{1,73 \cdot 6,3} = 29,4 \text{ а.}$$

По условиям термической и динамической устойчивости выбран трансформатор тока с коэффициентом трансформации 75/5 а. При 25%-ной загрузке силового трансформатора ток первичной обмотки будет:

$$I_1 = \frac{29,4 \cdot 25}{100} = 7,35 \text{ а}$$

Ток во вторичной обмотке

$$I_2 = \frac{7,35}{15} = 0,485 < 0,5 \text{ а.}$$

Таким образом, трансформатор тока выбран неправильно и должен быть заменен на трансформатор 50/5 а.

Действительный коэффициент трансформации трансформатора тока отличается от номинального на некоторую величину, а вектор вторичного тока, протекающего во внешней цепи, не совпадает с вектором первичного тока. Другими словами, трансформатор тока обладает погрешностью по току и по углу. Наибольшая допустимая погрешность обмотки трансформатора тока определяет его класс точности. Расчетные счетчики включаются в обмотку трансформатора тока класса 0,5. Счетчики, предназначенные для технического учета, могут подключаться к обмоткам трансформаторов тока класса 1.

Погрешность трансформатора тока зависит от величины его вторичной нагрузки. Под вторичной нагрузкой трансформатора тока понимают полное сопротивление его внешней вторичной цепи, равное сумме сопротивле-

ний всех последовательно включенных обмоток измени-

но быть не менее  $2,5 \text{ мм}^2$ , сечение алюминиевых жил — не менее  $4 \text{ мм}^2$ . Сопротивление переходных контактов принимают равным  $0,1 \text{ ом}$ .

*Пример 2.* Во вторичные обмотки класса 0,5 двух трансформаторов тока ТПФМ 200/5, соединенные в неполную звезду, включены счетчик активной энергии СА3, счетчик реактивной энергии СР3 и амперметр Э-30. Приборы расположены в коридоре управления распределительного устройства на стенке ячейки. Длина соединительного провода от трансформатора тока до приборов (в один конец) равна 4 м. Провода медные сечением  $2,5 \text{ мм}^2$ . Определить вторичную нагрузку трансформаторов тока.

Находим сопротивления приборов (см. также приложение 1).

| Наименование прибора | Тип  | Потребляемая мощность, в.а | Сопротивление обмотки, ом |
|----------------------|------|----------------------------|---------------------------|
| Амперметр . . . . .  | Э-30 | 1                          | 0,04                      |
| Счетчик . . . . .    | СА3  | 0,55                       | 0,02                      |
| Счетчик . . . . .    | СР3  | 0,55                       | 0,02                      |
| Итого . . . . .      | —    | —                          | 0,08                      |

Сопротивление соединительных проводов

$$r_{\text{пров}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 4}{53 \cdot 2,5} = 0,05 \text{ ом};$$

сопротивление переходных контактов равно  $0,1 \text{ ом}$ .

Суммарное сопротивление нагрузки

$$r = 0,08 + 0,05 + 0,1 = 0,23 \text{ ом}$$

при максимально допустимом сопротивлении  $0,6 \text{ ом}$ .

Параллельные обмотки счетчиков в сети напряжением выше  $0,4 \text{ кв}$  питаются через трансформаторы напряжения. Обычно применяются трехфазные трансформаторы напряжения с группой соединения 12.

Векторы первичных напряжений при этом совпадают по фазе с векторами соответствующих вторичных напряжений.

Можно использовать также два однофазных трансформатора напряжения, соединенные по схеме открытого треугольника. В этом случае конец обмотки высокого напряжения одного трансформатора соединяется с началом обмотки другого. Так же соединяются и обмотки низкого напряжения (рис. 9). Начало обмотки высокого напряжения обозначается буквой А, а конец — буквой Х. У обмотки низкого напряжения соответствующие буквы — а и х.

Номинальное вторичное междуфазное напряжение трансформаторов напряжения равно  $100 \text{ в}$ . Счетчики, подключаемые к ним, должны иметь номинальное напряжение также  $100 \text{ в}$ . Трансформаторы напряжения обладают погрешностью в коэффициенте трансформации и угловой погрешностью. Наибольшие допускаемые погрешности определяют класс точности трансформатора напряжения.

Этому классу точности соответствует номинальная нагрузка его вторичной цепи, выраженная в вольт-амперах. Счетчики должны присоединяться к трансформатору напряжения класса 0,5. Фактическая нагрузка его вторичной обмотки не должна превышать номинальную для данного класса точности. Кратковременные нагрузки во внимание не принимаются. К ним относятся двигатели заводки пружинных приводов, лампы освещения ячеек, приборы синхронизации, обмотки реле, на которые напряжение подается только при работе защиты или автоматики.

Чтобы определить нагрузку трансформатора напряжения, выписывают из каталогов или справочников мощности  $S_{\text{приб}}$ , *в.а.*, или  $P_{\text{приб}}$ , *вт*, которые потребляют параллельные обмотки приборов и реле, а также их коэффициенты мощности. Затем определяют суммарную нагрузку трансформатора напряжения или группы однофазных трансформаторов напряжения по формуле

$$S_2 = \sqrt{(\Sigma P_{\text{приб}})^2 + (\Sigma Q_{\text{приб}})^2},$$

где

$$\Sigma P_{\text{приб}} = \Sigma (S_{\text{приб}} \cos \varphi_{\text{приб}})$$

и

$$\Sigma Q_{\text{приб}} = \Sigma (S_{\text{приб}} \sin \varphi_{\text{приб}}),$$

или

$$\Sigma Q_{\text{приб}} = \Sigma \left( P_{\text{приб}} \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} \right)$$

— суммарные соответственно активные и реактивные мощности, потребляемые всеми параллельными катушками.

**Пример 3.** В цепь трансформатора напряжения НТМИ-6 (класс 0,5 при  $S_n = 80$  *в.а.*) включены три счетчика активной энергии САЗУ, три счетчика реактивной энергии СРЗУ, вольтметр Э-31 и реле времени ЭВ-235. Нагрузки определяют по следующей таблице (потребляемые мощности приборов и реле взяты из приложения 1).

| Наименование прибора       | Тип    | Мощность, потребляемая параллельной катушкой | Число катушек | cos φ | sin φ | Число приборов | Мощность, потребляемая катушками всех приборов |        |
|----------------------------|--------|--|---------------|-------|-------|----------------|--|--------|
|                            |        |  |               |       |       |                | P, вт  | Q, вар |
| Счетчик активной энергии   | САЗУ   | 1,3 <i>вт</i>                                | 2             | 0,38  | 0,925 | 3              | 7,8  | 18,9   |
| Счетчик реактивной энергии | СРЗУ   | 2,75 <i>вт</i>                               | 2             | 0,38  | 0,925 | 3              | 16,5   | 40     |
| Вольтметр                  | Э-31   | 4,8 <i>в.а.</i>                              | 1             | 1     | 0     | 1              | 4,8  | 0      |
| Реле                       | ЭВ-235 | 15 <i>в.а.</i>                               | 1             | 0,06  | 0,99  | 1              | 0,9  | 14,85  |
| <b>Итого . .</b>           | —      | —  | —             | —     | —     | —              | 30   | 73,75  |

$$S_2 = \sqrt{30^2 + 73,75^2} = 80 \text{ в.а.}$$

Таким образом, нагрузка трансформатора напряжения равна допустимой для данного класса точности.

Для выбора сечения соединительных проводов необходимо рассчитать падение напряжения в них, которое не должно превышать 0,5%. По условиям механической прочности сечение медных проводов должно быть не менее 1,5 мм, сечение алюминиевых проводов — не менее 2,5 мм<sup>2</sup>.

Вторичная обмотка трансформатора напряжения защищается плавкими вставками на ток 0,1 а либо автоматом. Должна быть предусмотрена сигнализация, действующая при перегорании вставок или отключении автомата.

Измерительные трансформаторы должны проходить следующие виды эксплуатационных проверок:

измерение сопротивления изоляции обмоток,  
испытание обмоток повышенным напряжением,  
снятие вольт-амперной характеристики (для трансформаторов тока).

Измерение сопротивления изоляции обмоток высокого напряжения и их испытание повышенным напряжением проводится одновременно с испытаниями изоляции высоковольтного оборудования распреустройства.

Перед вводом в эксплуатацию, кроме вышеперечисленного, необходимо проверить полярность зажимов у трансформаторов тока и однофазных трансформаторов напряжения, а также группу соединения у трехфазных трансформаторов напряжения.

Полярность зажимов обмоток трансформаторов тока проверяется с помощью магнитоэлектрического прибора с обозначенной полярностью обмотки и нулем в середине шкалы по схеме, приведенной на рис. 11. Источник постоянного тока, в качестве которого используется сухая батарейка или аккумулятор напряжением 4—6 в, подключается последовательно с добавочным сопротивлением к первичной обмотке трансформатора тока. При этом плюс батарейки подключается к зажиму  $L_1$ , а минус — к зажиму  $L_2$ . Зажим прибора, обозначенный «+», подключается к зажиму  $I_1$  вторичной обмотки трансформатора тока, а за-

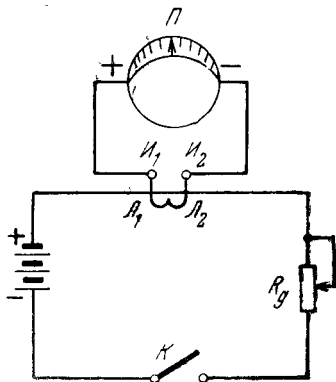


Рис. 11. Определение полярности обмоток трансформатора тока.

жим «—» к зажиму  $I_2$ . Замыкая и размыкая ключом  $K$  цепь первичной обмотки трансформаторов тока, наблюдают за отклонением стрелки прибора  $P$ . Если при замыкании первичной цепи стрелка прибора будет отклоняться вправо, а при размыкании — влево, то выводы  $L_1$  и  $I_1$  являются однополярными, т. е. маркировка зажимов выполнена правильно.

Характеристика намагничивания, представляющая зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки трансформатора тока от протекающего по ней тока намагничивания, является основной характеристикой, которая определяет исправность трансформатора тока.

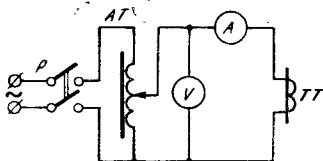


Рис. 12. Снятие характеристики намагничивания трансформатора тока.

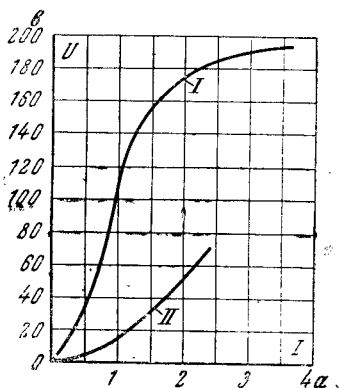


Рис. 13. Характеристика намагничивания исправного трансформатора тока I и трансформатора тока с короточенными витками II.

Для снятия характеристики намагничивания при разомкнутой первичной обмотке на зажимы вторичной обмотки трансформатора тока подается переменное напряжение через регулировочный автотрансформатор  $AT$  (рис. 12).

Увеличивая степенями напряжение, для каждого его значения фиксируют величину тока. При новом включении, таким образом, снимаются 10—12 точек и строится характеристика намагничивания. При плановых проверках снимаются 3—4 точки и проверяется их совпадение со снятой характеристикой (рис. 13).

При наличии короткозамкнутых витков характеристика намагничивания резко снижается, как показано на рис. 13. Снижение характеристики может быть обнаружено при ее сравнении с характеристикой, снятой ра-

нее, или с характеристиками однотипных трансформаторов тока.

В процессе эксплуатации необходимо также производить замеры нагрузок вторичных цепей измерительных трансформаторов, а также измерение падения напряжения в соединительных проводах трансформатора напряжения.

#### 4. УСТАНОВКА И ПОДКЛЮЧЕНИЕ СЧЕТЧИКОВ

Важными условиями для нормальной работы приборов учета являются их правильное хранение, бережная доставка к месту установки, правильная установка и надлежаще выполненный монтаж.

Счетчики должны размещаться в легкодоступных для обслуживания сухих помещениях в достаточно свободном и не стесненном для работы месте с температурой в зимнее время не ниже  $0^{\circ}\text{C}$ . Счетчики не разрешается устанавливать в помещении, где по производственным условиям температура может превышать  $40^{\circ}\text{C}$ , а также на открытом воздухе. Допускается размещение счетчиков в неотапливаемых помещениях и в коридорах распределительных устройств. Для исключения дополнительных погрешностей счетчиков, появляющихся вследствие низких температур в неотапливаемых помещениях в холодное время года, их необходимо закрывать колпаками с внутренним подогревом. Колпак выполняется из негорючего теплоизоляционного материала. Можно изготовить колпак из листового железа или алюминия. Такой колпак следует покрыть изнутри листовым асбестом.

Подогрев воздуха внутри колпака осуществляется сопротивлением мощностью около  $20\text{ вт}$  (типа ПЭ-20) или лампой накаливания  $15\text{—}25\text{ вт}$ . Между счетчиком и нагревательным элементом необходим зазор  $3\text{—}5\text{ см}$  для предотвращения выгорания карболитовой крышки счетчика.

Размеры колпака определяются расстоянием от корпуса счетчика до внутренней стенки колпака, выдерживаемые в пределах  $60\text{ мм}$ , габаритами самого счетчика и конструкцией нагревательного элемента. Для наблюдения за вращением диска счетчика и для снятия показаний в колпаке делается застекленное окошечко высотой  $50\text{ мм}$  и шириной  $30\text{ мм}$  (рис. 14). При температуре на-

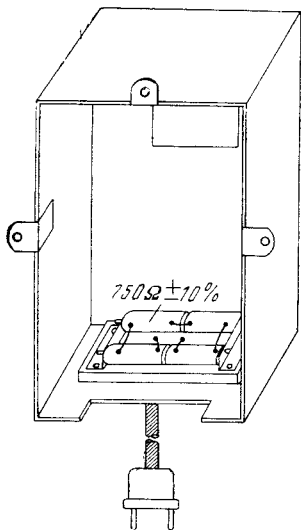
ружного воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$  обогрев должен отключаться.

Особенно тщательно необходимо поддерживать температуру окружающего воздуха генераторных счетчиков. Эта температура в течение года должна находиться в пределах  $15\text{--}25^{\circ}\text{C}$  и контролироваться по термометру.

Требование об утеплении счетчиков не распространяется на счетчики, специально предназначенные для работы при температуре окружающего воздуха  $+15\text{--}25^{\circ}\text{C}$ .

В местах, где имеется опасность механических повреждений счетчиков или их загрязнения, или в местах, доступных для посторонних лиц (проходы в цехах, лестничные клетки и т. п.), для счетчиков должен предусматриваться запирающийся шкаф с приспособлением для пломбирования и с окошком на уровне циферблата. Аналогичные шкафы должны также устанавливаться для совместного размещения счетчиков с трансформаторами тока при учете на стороне низшего напряжения (на вводе у потребителей).

Рис. 14. Колпак для обогрева счетчика.



Конструкции и размеры шкафов, ниш, щитов и т. п. должны обеспечивать возможность присоединения и отсоединения проводов от счетчиков и трансформаторов тока. Кроме того, должна быть обеспечена возможность замены счетчиков счетчиками других типов. Для этой цели на металлических панелях, щитках и т. п. целесообразно выполнять прорези под крепежные болты либо применять установку счетчиков на специальных стальных скобах.

Счетчики должны устанавливаться на панелях, в нишах, на стенах, имеющих достаточно жесткую конструкцию, не подверженную вибрации. Допускается крепление счетчиков на деревянных, пластмассовых или металлических щитках.

Высота от пола до коробки зажимов счетчика должна быть в пределах от 1,4 до 1,7 м.

Для безопасной установки и замены счетчиков в цепях напряжением до 380 в должна предусматриваться возможность отключения подходящей к счетчику проводки путем установки до счетчика на расстоянии не более 10 м рубильника или пакетного выключателя, пробочных предохранителей или автоматов. Снятие напряжения должно производиться со всех фаз, присоединяемых к счетчику. Если расчетный счетчик установлен у потребителя, то его цепи напряжения подключаются к обмоткам трансформатора напряжения без промежуточных зажимных сборок и без предохранителей.

Сечения проводов и кабелей, присоединяемых к счетчикам, должны удовлетворять требованиям, приведенным выше. При разделке контрольного кабеля на жилы с резиновой изоляцией надеваются защитные хлорвиниловые трубки. В электропроводке к счетчикам не допускается наличие паяк и скруток. Все соединения выполняются на зажимных сборках и должны быть доступны для осмотра.

В установках напряжением выше 1 000 в для обеспечения удобства замены счетчиков, а также включения контрольных приборов целесообразно монтировать счетчики с применением специальных переходных коробок. Эти коробки оборудованы зажимами двух типов. Зажимы, служащие для подвода напряжения к параллельным обмоткам счетчика, имеют съемные планки, позволяющие снять напряжение с зажимов счетчика. Зажимы, служащие для подвода тока к последовательным обмоткам, имеют приспособления для их закорачивания, а также включения контрольных приборов без разрыва цепи трансформаторов тока. Переходная коробка устанавливается на 200—300 мм ниже счетчика.

В установках 0,4 кв и ниже для обеспечения возможности замены счетчиков без отключения нагрузки устанавливается коммутационный аппарат в цепи между трансформаторами тока и счетчиками, его назначение — произвести пофазное замыкание вторичных цепей трансформаторов тока и их отсоединение от счетчиков. Наиболее подходящим аппаратом для этой цели является испытательный блок (рис. 15). Счетчики хранятся в индивидуальной упаковке на стеллажах или полках не более чем в десять рядов по высоте.

Помещение для хранения счетчиков должно быть отапливаемым и иметь относительную влажность не выше 80% при отсутствии агрессивных паров и газов. Не следует располагать счетчики на расстоянии ближе 0,5 м от объектов отопительной системы.

Перед установкой счетчика необходимо составить монтажную схему, нанеся ее на схему вторичной коммутации данного присоединения.

Необходимо произвести внешний осмотр подготовленного к монтажу счетчика, который состоит в следующем:

счетчик очищается от грязи и пыли; проверяется пригодность счетчика к установке на данном присоединении по его типу и номинальным данным; проверяется нали-

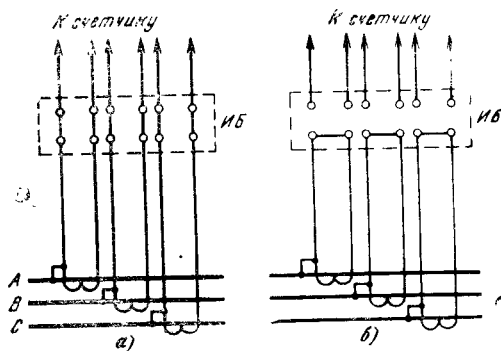


Рис. 15. Включение счетчика в трехпроводной сети 380/220 в через испытательный блок.

а — крышка установлена; б — крышка снята.

чие пломб государственной поверки на винтах, крепящих кожух счетчика. На пломбах обозначается год и квартал государственной поверки, а также клеймо государственного поверителя.

На устанавливаемых трехфазных расчетных счетчиках должны быть пломбы государственной поверки с давностью не более 12 мес. Государственная поверка счетчиков производится один раз в четыре года; проверяется целостность стекла и кожуха, наличие всех зажимных винтов, наличие крепежных винтов в крышке зажимной коробки с отверстием для пломбирования.

Счетчик перевозится к месту установки в чемоданах или ящиках, имеющих гнезда с мягкой обивкой. Не сле-

дует перевозить счетчики в кузове грузового автомобиля. При небрежной транспортировке под действием веса оси и диска возникают удары шарика, запрессованного в ось, о камень подпятника. Это вызывает их порчу. От сотрясений и ударов может также искривиться ось и возникнуть задевание дисков за полюсы.

После перевозки счетчика рекомендуется убедиться в отсутствии затирания его подвижной части. Для этого счетчик поворачивают, держа в руках, вокруг оси. Диск счетчика должен прийти в движение.

Крепить счетчик следует тремя винтами, предварительно наметив отверстия под них согласно установочным размерам. При этом необходимо обеспечить строго вертикальное положение счетчика. Удары по счетчику недопустимы по вышеизложенным причинам. Присоединения провода к зажимам счетчика, целесообразно оставить запас 6—7 см. Это позволит производить замеры токоизмерительными клещами и пересоединения при неправильной схеме. На конец провода надевается маркировочная бирка с маркировкой согласно монтажной схеме. Каждый провод зажимается в буксе зажимной коробки двумя винтами. Сначала зажимают провод верхним винтом. Легким подергиванием провода убеждаются в надежности его подсоединения. Затем затягивают нижний винт. Если монтаж ведется многожильным проводом, то его концы облуживают. К прямоточным счетчикам с номинальным током свыше 20 а для обеспечения надежности контакта необходимо подсоединять провода, снабженные наконечниками. Провод припаивается к наконечнику достаточно мощным паяльником.

При подключении к счетчику алюминиевых проводов необходимо соблюдать следующие правила:

контактная поверхность проводника должна быть зачищена стальной щеткой или напильником и покрыта слоем нейтрального технического вазелина (ГОСТ 782-59). Перед подключением с проводника удаляется загрязненный вазелин чистой тряпкой и сейчас же вместо него снова наносится тонкий слой вазелина;

затяжка винтов производится в два приема. Сначала без рывков производят затяжку с максимально допустимым усилием, затем затяжка ослабляется до весьма малой величины (но не полностью), а после производят вторичную окончательную затяжку с нормальным усилием.

После подключения и проверки правильности подключения зажимная коробка закрывается крышкой и пломбируется. Если энергоснабжающая организация устанавливает расчетный счетчик на подстанции потребителя, то пломбируется также дверца ячейки или камеры трансформатора напряжения, рукоятки приводов разъединителей трансформаторов напряжения, дверцы или кожухи зажимов вторичных цепей и переходные коробки.

#### **5. ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ СЧЕТЧИКА**

После установки и подключения счетчика производится проверка его схемы. Проверка схемы производится также в следующих случаях: после замены счетчика; после замены измерительных трансформаторов; после переделки монтажа вторичной коммутации или изменения ее схемы; после замены или капитального ремонта силового трансформатора или линий, питающих данное распределительное устройство; в случае возникновения сомнения в правильности учета.

Проверка схемы включения счетчика производится в два приема: сначала при отключенном присоединении, а затем на включенном присоединении при наличии на нем нагрузки.

При проверке схемы включения двухэлементного счетчика активной энергии, включенного в сеть через измерительные трансформаторы, необходимо иметь в виду следующее: чередование фаз, подключенных к зажимам параллельных обмоток счетчика слева направо, должно быть прямым; к обмоткам каждого вращающего элемента счетчика активной энергии должны подводиться ток и напряжение одноименной фазы. К элементу, зажимы которого выведены слева (1-й элемент), подводятся ток и напряжение опережающей фазы (фаза *A*), а к элементу, зажимы которого выведены справа, — ток и напряжение отстающей фазы (фаза *C*). К общей точке параллельных обмоток должно быть подведено напряжение фазы *B* (средняя фаза). В сетях с изолированной нейтралью в этой фазе обычно трансформаторы тока не устанавливаются.

О подключении «начала» последовательной обмотки каждого элемента к генераторным зажимам было сказано ранее.

Проверка схемы на отключенном присоединении. В первую очередь необходимо произве-

сти непосредственную прозвонку проводников. Для прозвонки могут быть использованы омметр, микротелефонные трубки, лампа или вольтметр с питанием от карманной батареи или трансформатора 220/12 в, звонок и т. п. (рис. 16). При прозвонке проверяемый провод с одного конца должен быть отсоединен от сборки — это исключает возможные обходные цепи. В результате проверки убеждаются в полном соответствии выполненного подключения монтажной схеме. После прозвонки восстанавливают схему, оставив отсоединенными параллельные цепи от трансформатора напряжения и заземляющий провод от вторичных обмоток трансформаторов

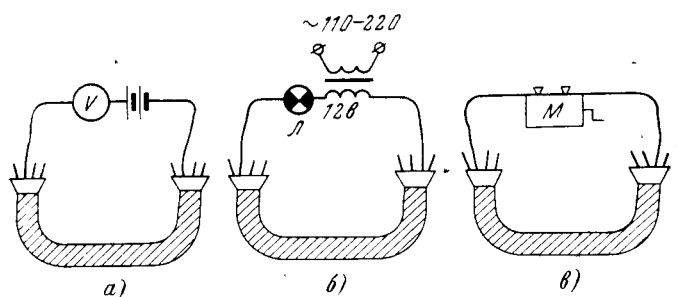


Рис. 16. Проверка правильности монтажа с помощью батарейки и вольтметра (а), контрольной лампы (б), мегомметра (в).

тока. Если параллельные и последовательные цепи объединены (рис. 8), то необходимо отсоединить перемычки на зажимах трансформаторов тока и счетчика.

Затем измеряется сопротивление изоляции вторичных цепей при помощи мегомметра 1 000 в. Производятся три замера: между последовательными цепями и «землей»; между параллельными цепями и «землей»; между параллельными и последовательными цепями.

Сопротивление изоляции во всех случаях должно быть не ниже 1 Мом. После этого схему восстанавливают полностью, плотно поджав все зажимы.

Следующий этап проверки — определение исправности цепей трансформатора напряжения, правильности их подключения к зажимам счетчика и соответствия токовой цепи и цепи напряжения на зажимах счетчиков.

Как известно, в электроустановках фазы А, В, С окрашиваются соответственно в желтый, зеленый и крас-

ный цвета. Правильность выполнения расцветки фаз, а также правильность включения трансформатора напряжения должны быть проверены перед сдачей электроустановки в эксплуатацию. При проверке схемы включения счетчика эта работа производится, если она не производилась ранее. Заключается она в следующем: убеждаются путем осмотра в том, что выводы обмотки высокого напряжения трансформатора напряжения *A, B, C* подключены к фазам соответствующей окраски. Если в схеме применены однофазные трансформаторы напряжения, то необходимо убедиться, что общая точка подключена к фазе *B*.

Проверяется порядок чередования фаз обмотки низшего напряжения на зажимах ячейки трансформатора напряжения при помощи индукционного фазоуказателя. Этот прибор представляет собой трехфазный асинхронный двигатель.

Для проверки чередования фаз необходимо подать напряжение на шины распределительного устройства и включить трансформатор напряжения. Выводы фазоуказателя *A, B, C* присоединяют к зажимам, на которых подключены соответствующие выводы обмотки низшего напряжения, затем кратковременно нажимают кнопку. При прямом чередовании фаз диск фазоуказателя вращается по часовой стрелке. Это указывает на правильность выполнения расцветки фаз. Если порядок чередования фаз обратный (диск вращается против часовой стрелки), то расцветка фаз выполнена неверно. В этом случае вторичная обмотка трансформатора тока, установленного в «желтой» фазе, подключается ко второму элементу счетчика, а обмотка трансформатора тока, установленного в «красной» фазе,— к первому элементу.

Далее производятся следующие измерения: измеряется вольтметром напряжение между зажимами параллельных обмоток счетчика. При исправных и правильно включенных трансформаторах напряжения все три измерения должны дать величину приблизительно 100 в.

Измеряется вольтметром напряжение между каждым зажимом параллельной обмотки и «землей». Если в схеме применен трехфазный трансформатор напряжения с заземленной нулевой точкой, то каждое измерение даст величину около  $100/\sqrt{3}=58$  в, если в схеме применены два однофазных трансформатора напряжения, соединенные

по схеме открытого треугольника, то два измерения дадут величину около 100 в, а третье (общая фаза) равно 0.

Определяются фазы, подключенные к зажимам параллельных обмоток. Для этого сначала находят общую фазу (фазу *B*): Если в схеме применен трехфазный трансформатор, то его отключают со стороны высшего и низшего напряжения. Со средней фазы (фаза *B*) на стороне высшего напряжения снимается предохранитель и трансформатор вновь включается в работу. Измеряются напряжения между зажимами параллельных обмоток. Напряжение между неотключенными фазами составляет величину около 100 в, напряжение между отключенной и неотключенной — 50 в. Затем трансформатор напряжения снова отключается с двух сторон, предохранитель устанавливается на место и трансформатор снова включается в работу.

При двух однофазных трансформаторах напряжения средняя фаза находится путем замеров напряжений относительно «земли». Напряжение между средней фазой и «землей» равно нулю. Найденный провод от средней фазы трансформатора напряжения подключают к среднему зажиму параллельных обмоток.

Проверяется чередование фаз непосредственно на зажимах счетчика. Если чередование фаз обратное, необходимо поменять местами провода, подключенные к крайним зажимам параллельных обмоток.

Фазы напряжения могут быть также определены путем фазировки с параллельными цепями счетчика с проверенной ранее схемой включения. Можно также произвести фазировку с вторичными цепями другого трансформатора напряжения с проверенной схемой. К этому прибегают в случае, если трансформатор напряжения не может быть отключен по условию работы релейной защиты.

У счетчиков, включенных в сеть 0,4 кв по схеме рис. 8, обеспечивается соответствие фаз токовой цепи и цепи напряжения.

Проверка схемы включения счетчика под нагрузкой в установках напряжением выше 1 000 в. При равномерной и симметричной нагрузке фаз проверка может быть произведена наиболее просто путем перекрещивания цепей напряжения на активном счетчике. Провод, идущий к зажиму 1 актив-

ного счетчика, пересоединяют к зажиму 3, а провод, идущий к зажиму 3, пересоединяют к зажиму 1 (рис. 9). Если счетчик до этого пересоединения был включен правильно, то после пересоединения диск счетчика должен остановиться. Это объясняется тем, что при такой схеме вращающие моменты, создаваемые каждым из двух элементов счетчика, равны по величине и противоположны по направлению. При неправильной схеме включения счетчика при этом пересоединении проводов диск счетчика будет вращаться в ту или другую сторону. Этот способ проверки является приближенным, так как равномерная и симметричная нагрузка фаз имеет место не во всех случаях. Поэтому его можно применять лишь при отсутствии лабораторных приборов.

Укажем еще один приближенный способ проверки, не требующий лабораторных приборов. Его можно применять, когда нагрузка постоянна в течение нескольких минут. Проверка производится следующим образом. Отсчитывается число оборотов, совершаемое диском активного счетчика в течение определенного промежутка времени (1—3 мин). Затем отсоединяется провод цепи напряжения средней фазы и снова отсчитывается число оборотов за тот же промежуток времени. Если счетчик включен правильно, то во втором случае число оборотов будет вдвое меньше.

Наиболее точным способом проверки схемы включения счетчика, дающим полную уверенность в результате, является снятие и построение векторной диаграммы. Этот способ заключается в определении положения векторов токов, протекающих через последовательные обмотки счетчика. Построив эти векторы, определяют правильность включения счетчика по углу  $\varphi$ , образованному вектором тока с вектором напряжения соответствующей фазы. Отсчет угла, как было указано выше, ведется от вектора тока к вектору напряжения против часовой стрелки.

При индуктивном характере нагрузки вектор тока отстает от вектора напряжения на некоторый угол, лежащий в пределах от 0 до 90°. При емкостном характере нагрузки вектор тока опережает вектор напряжения на угол, лежащий в тех же пределах.

Для снятия векторных диаграмм можно использовать следующие приборы: ваттметр, прибор ВАФ-85, вектометр Ц-50, фазометр, контрольный счетчик. Ниже изла-

гаются методы снятия векторных диаграмм с помощью ваттметра и с помощью прибора ВАФ-85. Эти методы получили наибольшее распространение.

Как известно, ваттметр, включенный в цепь нагрузки однополярными генераторными зажимами в сторону питания, покажет мощность  $P = UI \cos \varphi$ . Произведение  $I \cos \varphi$  можно представить как проекцию вектора тока  $i$  на вектор напряжения  $\dot{U}$  (рис. 17). Таким образом, если напряжение, подводимое к ваттметру, остается неизменным, то он в определенном масштабе покажет проекцию вектора тока, протекающего через его последовательную обмотку, на вектор подведенного к нему напряжения. Отрицательные показания ваттметра при этом соответствуют отрицательной проекции вектора тока, т. е. положительной проекции, повернутой на  $180^\circ$ . Зная проекции вектора тока на две оси, которыми являются векторы линейных напряжений, можно построить и сам вектор тока.

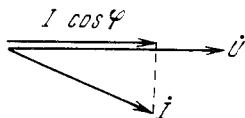


Рис. 17. Принцип снятия векторной диаграммы с помощью ваттметра.

Для снятия векторной диаграммы используется переносный ваттметр класса 0,5 с пределами измерения 5 а, 150 в, имеющий переключатель направления мощности (например, типа АСТ-Д).

Порядок снятия векторной диаграммы следующий. Токовая цепь ваттметра включается в рассечку последовательной цепи фазы А счетчика, причем к зажиму последовательной обмотки ваттметра, обозначенному звездочкой, подключается провод, который был подключен к началу последовательной обмотки счетчика. Последовательно с токовой обмоткой ваттметра включается амперметр с пределом измерения 2,5—5 а. Для того чтобы не допустить разрыва цепей трансформаторов тока, эти цепи должны быть предварительно закорочены на специально предназначенных для этого зажимах. После подключения приборов закоротка снимается.

Далее на зажимы параллельной обмотки ваттметра с зажимов параллельных обмоток счетчика поочередно подаются напряжения согласно последовательности фаз 1—2, 2—3, 3—1. Зажим, обозначенный первой цифрой, подключается к зажиму параллельной обмотки ваттметра, обозначенному звездочкой. Показания ваттметра в

делениях с указанием знака, а также показания амперметра записываются в бланк векторной диаграммы. Те же измерения продельвают, включая ваттметр и амперметр в другую фазу. Проведенные измерения считаются правильными, если в каждой фазе алгебраическая сумма трех показаний ваттметра равна нулю или близка к нулю. Затем приборы отсоединяются.

Векторная диаграмма строится на заранее заготовленной сетке, на которой нанесены векторы линейных напряжений 1—2, 2—3, 3—1, обратные им векторы и векторы фазных напряжений. Для удобства построения векторов тока векторы линейных напряжений разделены на равные отрезки прямыми, перпендикулярными их направлению.

Результаты показаний контрольного ваттметра в выбранном масштабе откладывают на линии вектора соответствующего линейного напряжения. При этом отрицательные показания откладывают на векторе, обратном вектору линейного напряжения. Из концов полученных отрезков восстанавливают перпендикуляры. Точка пересечения двух перпендикуляров определяет на векторной диаграмме положение вектора соответствующего тока. Третий перпендикуляр должен пересечься с первыми двумя в той же точке или вблизи нее.

Необходимо запомнить, что для построения векторов тока используются векторы линейных напряжений, а правильность включения определяется по углу, образованному вектором тока с вектором соответствующего ему фазного напряжения.

Если векторная диаграмма покажет, что счетчик включен неверно, то схему включения необходимо исправить. Исправление производят на зажимах счетчика, после чего векторная диаграмма снимается снова.

*Пример 4.* На отходящем присоединении с индуктивным характером нагрузки (активная и реактивная мощности положительны) установлен счетчик активной энергии. При снятии векторной диаграммы получены следующие данные:

| Фазы | Показания ваттметров |     |     | Нагрузка, а |
|------|----------------------|-----|-----|-------------|
|      | 1—2                  | 2—3 | 3—1 |             |
| 1    | +25                  | +10 | —35 | 3           |
| 2    | +10                  | —32 | +22 |             |

Для построения векторной диаграммы (рис. 18) откладываем на линии вектора  $\dot{U}_{AB}$  отрезок  $OK$ , равный в выбранном масштабе 25 единицам; на линии вектора  $\dot{U}_{BC}$  отрезок  $Ol$ , равный 10 единицам; отрезок  $Om$ , равный 35 единицам, откладываем на линии вектора, обратного вектору  $\dot{U}_{CA}$ , так как показание ваттметра имеет отрицательный знак. Из точек  $K, l, m$  восстанавливаем перпендикуляры. Точка их пересечения является концом вектора тока  $\dot{I}_A$ . Вектор  $\dot{I}_C$  строится аналогично. Из диаграммы видно, что ток отстает от соответствующего ему фазного напряжения на угол  $\varphi$ , равный приблизительно  $15^\circ$ .

Полученная диаграмма соответствует диаграмме, приведенной на рис. 7. Следовательно, первый элемент счетчика включен на ток  $I_A$  и напряжение  $U_{AB}$ , а второй элемент — на ток  $I_C$  и напряжение  $U_{CB}$ , т. е. счетчик включен правильно.

Вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85 более удобен для снятия векторных диаграмм. Он позволяет определять величину и фазу тока и напряжения без разрыва цепи, а также чередование фаз. Вольтамперфазоиндикатор является многопредельным детекторным прибором. В качестве выпрямителя используются германиевые диоды Д2В, работающие по однополупериодной схеме. Для определения величины тока в пределах 1, 5 и 10 а, а также фазы тока без разрыва цепи имеется токосъемная приставка — клещи. Она представляет собой разъемный магнитопровод и работает как трансформатор тока.

При определении фазы вместо диодов последовательно с измерительным прибором включается механический выпрямитель. Напряжение возбуждения подается на механический выпрямитель с ротора фазорегулятора (сельсина). На трехфазную обмотку статора фазорегулятора подается питание от сети 100 в или 220 в. С поворотом оси фазорегулятора меняется фаза возбуждения

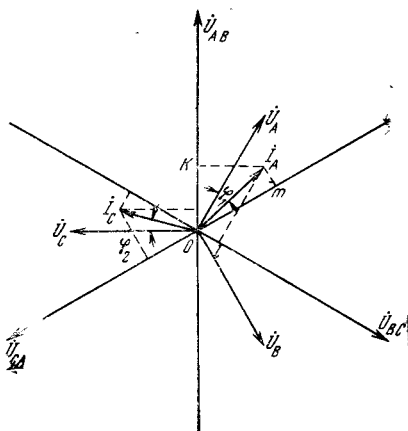


Рис. 18. Векторная диаграмма к примеру 4.

механического выпрямителя, а следовательно, фаза включения и выключения его контактов относительно фазы тока по измерительному прибору. Отсчет угла производится по лимбу, закрепленному на оси фазорегулятора, в момент, когда стрелка прибора становится на нуль. Нуль градуировки лимба установлен на фазе  $AB$ , т. е. если на зажим, обозначенный звездочкой (\*), подается фаза  $A$ , а на зажим, обозначенный  $U$ , — фаза  $B$ , то прибор покажет нуль при установке на контрольную риску отметки нуль лимба (питанию от трехфазной сети 110 в соответствует левая риска, питанию от сети 220 в соответствует правая риска). Таким путем можно проверить правильность работы прибора. Фазорегулятор служит одновременно и указателем чередования фаз.

Измерение малых переменных токов с разрывом цепи производится при помощи трансформатора тока, встроенного в прибор и выполненного на тороидальном пермалловом сердечнике. Во вторичную обмотку трансформатора тока включается измерительный прибор. Выпрямление производится с помощью диодов Д2В, включенных по двухполупериодной схеме.

Проверка правильности включения счетчика с помощью прибора ВАФ-85 производится следующим образом.

Тумблер « $tA - I/U$ » устанавливается в положение  $I/U$ ; тумблер «фаза — величина» устанавливается в положение «величина»; переключатель пределов измерения устанавливается в положение «125 в». Производятся замеры линейных и фазных напряжений, а в случае необходимости отыскивается фаза  $B$ , как было указано выше.

К зажимам  $A, B, C$  подводятся соответственно три фазы напряжения. Отжав рукоятку верньера, наблюдают за вращением свободной оси фазорегулятора. Вращение по часовой стрелке указывает на правильность чередования фаз.

Для определения величины и фазы тока необходимо охватить клещами токопровод последовательной обмотки фазы  $A$  так, чтобы сторона магнитопровода, отмеченная знаком \*, была обращена к генераторному концу токопровода (аналогично включению токовой цепи ваттметра.) Соединительная вилка клещей включается в гнезда \* и  $I$ . Штыри соединительных вилок должны

входить в гнезда клещей и в клеммы лицевой панели прибора одноименными обозначениями.

Переключатель пределов измерения устанавливается в положение 1, 5 или 10 *a* в зависимости от предполагаемой величины вторичного тока. Три фазы напряжения остаются подведенными к зажимам *A*, *B*, *C*.

В положении тумблера «величина» записывается величина вторичного тока. Затем тумблер переводится в положение «фаза». Лимб вращают, добиваясь установки стрелки прибора на нуль. Затем производят отсчет угла по лимбу у левой риски (110 *в*). Так как за один оборот лимба стрелка устанавливается на нуль дважды, то необходимо запомнить, что во внимание принимается то показание, при котором стрелка устанавливается на нуль, двигаясь в ту же сторону, что и лимб.

Затем клещами охватывают токопроводы, подключенные к последовательным обмоткам других фаз, и повторяют измерения. Полученные углы откладывают на бланке векторной диаграммы относительно напряжения  $U_{AB}$ .

*Пример 5.* Счетчик активной энергии установлен на стороне низшего напряжения питающего трансформатора. Характер нагрузки емкостный. При снятии векторной диаграммы прибором ВАФ-85 получены следующие данные.

| Фазы     | Величина тока, <i>a</i> | Угол                 |
|----------|-------------------------|----------------------|
| <i>A</i> | 3                       | Индуктивность<br>15° |
| <i>C</i> | 3                       | Емкость 105°         |

Откладывая от вектора линейного напряжения  $\dot{U}_{AB}$  по часовой стрелке угол 15°, строим вектор тока  $\dot{I}_A$  (рис. 19). Этот вектор опережает вектор напряжения  $\dot{U}_A$  на угол  $\varphi_A = 15^\circ$ . Откладывая от вектора линейного напряжения  $\dot{U}_{AB}$  против часовой стрелки угол 105°, строим вектор тока  $\dot{I}_C$ . Он также опережает вектор напряжения  $\dot{U}_C$  на угол  $\varphi_C = 15^\circ$ . Следовательно, счетчик включен правильно.

*Пример 6.* Счетчик активной энергии установлен на отходящем присоединении с индуктивным характером нагрузки. При снятии

векторной диаграммы прибором ВАФ-85 получены следующие данные:

| Фазы | Величина тока, $a$ | Угол                        |
|------|--------------------|-----------------------------|
| A    | 2,5                | Индуктивность<br>$55^\circ$ |
| C    | 2,5                | Емкость $15^\circ$          |

Построим векторы токов, как было указано ранее (рис. 20). Вектор тока  $\dot{I}_A$  отстает от вектора напряжения  $\dot{U}_A$  на угол  $\varphi_A = 25^\circ$ . Приблизительно на тот же угол от вектора напряжения должен отставать и вектор тока  $I_C$ . Однако он отстает от вектора

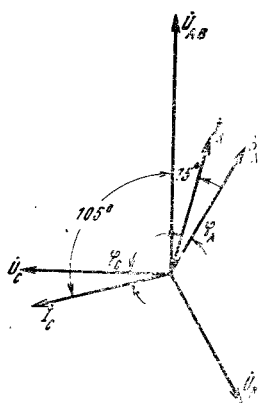


Рис. 19. Векторная диаграмма к примеру 5.

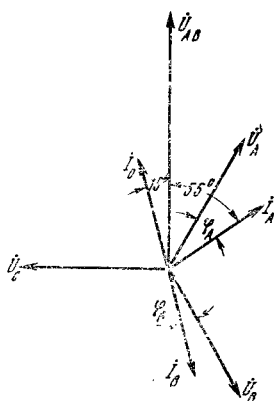


Рис. 20. Векторная диаграмма к примеру 6.

$\dot{U}_C$  на угол  $\varphi_C = 75^\circ$ . Легко убедиться, что этот вектор в действительности является вектором тока, протекающего в нулевом проводе, так как он находится в противофазе с вектором тока фазы B. Отсюда делаем вывод, что к началу последовательной обмотки фазы C счетчика подключен нулевой провод трансформаторов тока.

Отметим, что для отыскания нулевого провода трансформаторов тока может быть применен способ, состоящий в следующем. Три провода, идущие от трансформаторов тока, закорачиваются перемычками на специально предназначенных для этого зажимах, причем средний жазим заземляется. К первому зажиму подсоединяется амперметр, второй конец которого заземлен, затем перемычка отсоединяется от этого зажима. На-

личие тока по амперметру указывает на то, что к этому зажиму подключен фазный провод; отсутствие тока указывает на то, что к зажиму подключен нулевой провод. Измерение производят поочередно и на двух других зажимах.

При совместном включении счетчиков активной и реактивной энергии достаточно снять векторную диаграмму только на счетчике активной энергии. После этого необходимо убедиться путем просмотра коммутации и проверки фазировки цепей напряжения, что к обмоткам обоих счетчиков подключены одноименные фазы с соблюдением одинаковой полярности.

Рассмотрим ряд характерных ошибок, обнаруживаемых при проверке правильности включения счетчика.

Перегорание предохранителей или отключение автомата трансформатора напряжения после подключения счетчика. При этом должна работать предупредительная сигнализация. Возможная причина: соединение на зажимах счетчика вторичной цепи трансформаторов тока с вторичными цепями трансформатора напряжения. Это происходит в результате подключения цепей трансформатора напряжения к зажимам последовательных обмоток счетчика либо вторичных цепей трансформаторов тока к зажимам параллельных обмоток.

Из трех измерений междуфазных напряжений два измерения дают нуль, а третье — 100 в. В схеме применены два однофазных трансформатора напряжения.

Возможная причина: перегорание предохранителя или обрыв провода на низкой стороне трансформатора напряжения.

Из трех измерений междуфазных напряжений одно измерение дает нуль, а два других — 100 в. В схеме применен трехфазный трансформатор напряжения.

Возможные причины: к двум зажимам параллельных обмоток подключена одна и та же фаза; перегорание предохранителя или обрыв провода на стороне низкого напряжения в фазах А или С.

Из трех измерений междуфазных напряжений два дают 30—50 в, а третье — 100 в. В схеме применен трехфазный трансформатор напряжения.

Возможные причины: перегорание предохранителя или обрыв провода средней фазы со стороны низкого напряжения; перегорание предохранителя в одной из фаз со стороны высокого напряжения.

При наличии симметричной нагрузки присоединения токи в последовательных обмотках счетчика отсутствуют, либо токи малы и не соответствуют первичному току нагрузки, либо величина токов в фазах *A* и *C* различна.

Возможные причины: обрыв вторичной цепи трансформаторов тока, наличие во вторичных цепях трансформаторов тока второго заземления, шунтирование последовательной цепи проводом или обмоткой какого-либо прибора, неисправность трансформатора тока.

При равенстве междуфазных напряжений и наличии токов в последовательных обмотках диск счетчика не вращается.

Возможные причины: перекрещенные провода, идущие к последовательным обмоткам фаз *A* и *C*; затирание диска.

Проверка схемы включения счетчика под нагрузкой в установках ниже 1000 в. Если параллельные и последовательные цепи счетчика объединены (рис. 8), то определять фазы напряжения не требуется. Достаточно замерить фазные и линейные напряжения и определить порядок чередования фаз. Для трехдисковых счетчиков активной энергии (СА4У-ТЧ, некоторые счетчики иностранного производства) порядок чередования фаз безразличен и его можно не определять.

Векторная диаграмма счетчика может быть снята с помощью ваттметра, как было указано выше. Однако ввиду того, что работы на счетчике в установках напряжением 0,4 кВ, производимые без снятия напряжения, представляют значительную опасность, снятие векторной диаграммы, как правило, не производится. Следует применять другие способы проверки. Так, для трехэлементных счетчиков, включенных по схеме на рис. 8, можно применить способ проверки правильности включения, который заключается в поочередном включении каждого элемента. Путем снятия перемычек на зажимной коробке два других элемента выводятся из работы. Снятие и подключение перемычек производится только при снятом напряжении с зажимов счетчика, после чего счетчик снова вводится в работу.

Если счетчик включен правильно, то каждый его элемент будет вращать диск вправо. Вращение диска в противоположную сторону указывает на протекание тока в последовательной цепи элемента в обратном на-

правлении. Для исправления схемы необходимо поменять местами провода, подключенные к последовательной обмотке данного элемента.

Существует довольно распространенное мнение, что при всех неправильных включениях счетчика скорость вращения диска будет меньше, чем при правильном включении. В действительности же это утверждение справедливо только в тех случаях, когда  $\cos \varphi$  присоединения выше 0,5.

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭНЕРГИИ И КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ

Для определения расхода электроэнергии за какой-либо промежуток времени необходимо разность показаний универсального счетчика, взятых в начале и в конце этого промежутка, умножить на пересчетный коэффициент. Пересчетный коэффициент  $K_{\Pi}$  определяется по формуле

$$K_{\Pi} = K_{Т.Т} \cdot K_{Т.Н}$$

где  $K_{Т.Т}$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока;  $K_{Т.Н}$  — коэффициент трансформации трансформатора напряжения; величины  $K_{Т.Т}$ ,  $K_{Т.Н}$  и  $K_{\Pi}$  наносятся энергоснабжающей организацией на кожушке счетчика.

*Пример 7.* Определить расход электроэнергии за месяц. Показания счетчика САЗУ-И670 1/У 0 ч 00 мин—2438,1; 1/VI 0 ч 00 мин—2462,8.

Счетчик включен через трансформаторы тока 150/5 и трансформатор напряжения 6000/100.

Пересчетный коэффициент

$$K_{\Pi} = \frac{150 \cdot 6000}{5 \cdot 100} = 1800.$$

Разность показаний: 2462,8—2438,1=24,7.

Расход электроэнергии за месяц

$$A_a = 24,7 \cdot 1800 = 44\,460 \text{ квт}\cdot\text{ч}.$$

Если применен счетчик, у которого коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов, указанные на щитке счетчика, соответствуют установленным, то пересчетный коэффициент равен либо единице, либо десятичному коэффициенту, проставленному на счетчике справа от последнего знака счетного устройства.

Если применен счетчик, у которого коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов, ука-

занные на щитке счетчика, не соответствуют установленным измерительным трансформаторам, то пересчетный коэффициент определяется по формуле

$$K_{\text{п}} = \frac{K'_{\text{т.т}} K'_{\text{т.н}}}{K''_{\text{т.т}} K''_{\text{т.н}}},$$

где  $K'_{\text{т.т}}$  и  $K'_{\text{т.н}}$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения, к которым подключен счетчик;  $K''_{\text{т.т}}$  и  $K''_{\text{т.н}}$  — то же, указанные на щитке счетчика.

*Пример 8.* На щитке счетчика указано: трансформатор тока 100/5; трансформатор напряжения 3000/100. Счетчик включен с трансформаторами тока 200/5 и трансформатором напряжения 6000/100. Определить пересчетный коэффициент

$$K_{\text{п}} = \frac{200 \cdot 6000 \cdot 100 \cdot 5}{5 \cdot 100 \cdot 3000 \cdot 100} = 4.$$

По показаниям счетчиков активной и реактивной энергии определяется средневзвешенный коэффициент мощности данного присоединения ( $\cos \varphi$ ) за учетный период времени по формуле

$$\text{tg } \varphi = \frac{A_{\text{р}}}{A_{\text{а}}},$$

где  $A_{\text{а}}$  — количество энергии, учтенное счетчиком активной энергии за данный отрезок времени;  $A_{\text{р}}$  — то же для счетчика реактивной энергии (за то же время).

Зная  $\text{tg } \varphi$ , можно определить  $\cos \varphi$  по тригонометрическим таблицам либо по номограмме, приведенной в приложении 2.

*Пример 9.* За сутки счетчик активной энергии учел расход 18 000 квт·ч, счетчик реактивной энергии — 9 000 квт·ч. Определить  $\cos \varphi$ :

$$\text{tg } \varphi = \frac{9000}{18000} = 0,5.$$

По номограмме находим  $\cos \varphi = 0,89$ .

Значение коэффициента мощности установки в данный момент определяется путем одновременного отсчета частоты вращения диска как счетчика активной энергии  $n_{\text{а}}$ , так и счетчика реактивной энергии  $n_{\text{р}}$  за небольшой отрезок времени (30—60 сек). Для счетчиков, имеющих один и тот же пересчетный коэффициент и одно и то же передаточное число,

$$\text{tg } \varphi = n_{\text{р}}/n_{\text{а}}.$$

При отсутствии счетчика реактивной энергии значение коэффициента мощности данного присоединения может быть определено по одному трехфазному счетчику активной энергии. Для этого необходимо кратковременно, на 30—60 сек, снять напряжение фазы А со счетчика и отсчитать за это время частоту вращения диска. Затем цепь напряжения фазы А восстанавливается, снимается на-

пряжение с фазы *C* и отсчитывается частота вращения диска за то же время.

Нагрузка при этом должна быть постоянной. Если обозначить через  $n_1$  большую частоту вращения, а через  $n_2$  — меньшую, то значение коэффициента мощности можно определить по отношению  $n_2/n_1$ , пользуясь кривой на рис. 21. Если при одном из измерений диск будет вращаться в обратную сторону (что бывает при  $\cos \varphi < 0,5$ ), то отношение берется с отрицательным знаком.

*Пример 10.* За 60 сек частота вращения диска при отключении фазы *A* равна  $n_1 = 50$  оборотов, а при отключении фазы *C*  $n_2 = 33$  оборота.

Тогда  $n_2/n_1 = 33/50 = 0,66$  и по кривой находим  $\cos \varphi = 0,9$ .

По счетчику активной энергии при наличии секундомера может быть определена мощность данного присоединения. Для этого необходимо отсчитать число оборотов диска за промежуток времени 30—60 сек. Нагрузка за этот промежуток времени не должна изменяться.

Мощность  $P$ , квт, определяется по формуле

$$P = K_{т.т} K_{т.н} \frac{3600}{n} \frac{N}{t},$$

где  $K_{т.т}$  и  $K_{т.н}$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и трансформатора напряжения;  $n$  — передаточное число счетчика;  $N$  — отсчитанная частота вращения диска;  $t$  — время секунд, отсчитанное по секундомеру.

*Пример 11.* Счетчик с номинальными параметрами 5 а, 100 в, у которого на табличке указано, что 1 квт·ч = 2500 оборотов диска, присоединен к трансформаторам тока 300/5 и к трансформатору напряжения 6000/100. При определении мощности отсчитано 15 оборотов за 58 сек.

Мощность присоединения равна:

$$P = \frac{6000 \cdot 300 \cdot 3600 \cdot 15}{100 \cdot 5 \cdot 2500 \cdot 58} = 1340 \text{ квт.}$$

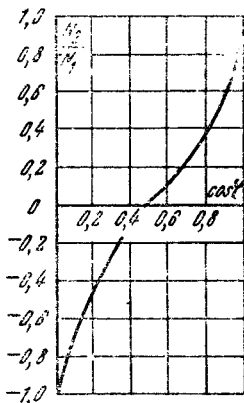


Рис. 21. Определение  $\cos \varphi$  по отношению оборотов дисков двухсистемного трехфазного счетчика.

## 7. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЧЕТЧИКОВ

В установках напряжением выше 1000 в во избежание попадания высокого напряжения в цепи вторичной коммутации вторичные обмотки измерительных трансформаторов должны быть обязательно заземлены. Наличие и исправность заземления контролируется периодически. Заземление вторичных обмоток трансформаторов тока в установках напряжением 380 в и ниже не

требуется. В сетях напряжением 380/220 в в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных должны быть заземлены металлические корпуса счетчиков.

Персонал, допущенный к самостоятельной работе, должен знать схемы включения счетчиков, находящихся в эксплуатации. С персоналом не реже одного раза в месяц должен проводиться инструктаж по соблюдению правил безопасности. Монтерский инструмент и защитные средства необходимо осматривать перед началом работ.

Рукоятки инструментов должны быть изолированы, а на металлические стержни отверток надеваются изолирующие трубки таким образом, чтобы неизолированная часть лезвия не превышала 3 мм. Инструмент должен быть проверен и должен соответствовать «Правилам пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках».

Работы по установке, снятию, замене и проверке счетчиков производятся при выполнении организационных и технических мероприятий согласно «Правилам техники безопасности», действующим на данном предприятии, и при обязательном наличии исполнительной схемы вторичной коммутации данного присоединения. Установка, снятие и замена счетчика для учета электроэнергии на напряжении выше 1 000 в при необходимости может производиться на включенном присоединении. Так как эта работа связана с необходимостью разрыва вторичных цепей трансформаторов тока, то перед ее началом эти цепи должны быть закорочены на специально предназначенных для этого зажимах. Замыкание следует производить посредством перемычки, установку и закрепление которой выполняют инструментом с изолированными рукоятками, стоя на диэлектрическом коврике. В цепях, в которых специальные зажимы отсутствуют, размыкать вторичную цепь трансформаторов тока запрещается. Запрещается производить в цепях между трансформаторами тока и зажимами, где установлена закоротка, работы, которые могут привести к случайному размыканию цепи. Если при отсоединении провода, находящегося в цепи трансформаторов тока, возникает искрение, ненормальный гул, то это свидетельствует о том, что закоротка установлена неправильно и вторичная цепь трансформаторов тока разомкнута. В этом случае отсоединенный проводник подсоединяется на место.

Дальнейшая работа прекращается до выяснения ошибки. При наличии переходной коробки закорачивание производится на ее зажимах.

При установке, снятии и замене счетчиков желатель-но снять напряжение с его зажимов путем отключения трансформатора напряжения, размыкания цепей в переходной коробке и т. д. Если же этого по тем или иным причинам осуществить нельзя, то необходимо соблюдать меры предосторожности, исключающие прикосновение к проводникам, находящимся под напряжением, а также перемыкание их между собой и на заземленные части. К таким мерам относятся применение диэлектрического коврика, изолированных инструментов, надевание изолирующего колпачка на отсоединенный провод.

В трехфазных сетях напряжением до 380 в включительно запрещается производить какие бы то ни было работы в зажимной коробке счетчика без снятия напряжения с нее. Нельзя производить даже самые незначительные работы: поджатие контакта, выправка провода и т. п. Открытие и закрытие крышек зажимных коробок счетчиков типа ИТ, И-43, И-45 и ТЧ должно производиться также при снятом напряжении с зажимов счетчика. Это требование вызвано тем, что счетчики названных типов имеют по бокам зажимной коробки не защищенные изоляцией металлические планки, соединенные с цоколем счетчика и расположенные близко к крайним зажимам. Поэтому при работе с этими счетчиками следует соблюдать особую предосторожность. Таковую же осторожность следует соблюдать в тех случаях, когда зажимы близко расположены от металлического корпуса счетчика.

Подготовка рабочего места для снятия, установки, замены и проверки счетчиков производится в такой последовательности:

перед выполнением работы необходимо определить место нахождения отключающих аппаратов;

прежде чем снять напряжение со счетчика, необходимо отключить нагрузку потребителей при помощи отключающих аппаратов, установленных по схеме после непосредственного включения счетчика или трансформатора тока. После отключения нагрузки необходимо убедиться, что диск счетчика остановился;

снять напряжение при помощи отключающего аппарата, установленного по схеме до счетчика непосредствен-

ного включения или до трансформаторов тока со стороны ввода. Напряжение снимают со всех фаз, присоединяемых к счетчику или к трансформаторам тока;

на отключающем аппарате, которым снято напряжение с электроустановки, вывешивается плакат «Не включать — работают люди». Отключающий аппарат должен находиться в непосредственной близости к счетчику, но не более 10 м. Если отключающий аппарат установлен на большем расстоянии и не имеет надлежащего запора, то необходимо выставить около этого аппарата дежурного на все время производства работы;

после отключения производится проверка отсутствия напряжения на зажимах счетчика. Проверка производится указателем напряжения, электроды которого должны выступать из изоляции не более 2 мм. Применение для этой цели контрольной лампы не допускается. Исправность указателя напряжения должна быть проверена на токоведущих частях, расположенных вблизи от места производства работы. При отсутствии вблизи токоведущих частей, находящихся под напряжением, допускается проверка исправности указателя напряжения в другом месте; в этом случае необходимо оберегать указатель напряжения от ударов и падения;

проверка отсутствия напряжения производится на зажимах счетчика и первичных обмотках трансформаторов тока как между фазами, так и относительно «земли».

Измерение напряжения и проверку чередования фаз на зажимной коробке счетчика можно выполнять при соблюдении следующих условий:

на работающем должна быть одежда с опущенными рукавами, застегнутыми у кистей рук, а также головной убор;

измерение производится только с пола. Если счетчик установлен на высоте более 1,7 м, измерение производить нельзя;

провода к измерительным приборам должны быть многожильными с надежной изоляцией (рекомендуется надеть на них хлорвиниловую трубку) и не иметь счалок. Один конец провода снабжается наконечником для надежного присоединения к прибору, а другой конец — щупом, электроды которого должны выступать из изоляции не более 2 мм.

Перемычки между вторичными и первичными обмотками трансформаторов тока (рис. 8) рекомендуется вы-

полнять медным проводом диаметром 0,2 мм. Такая перемычка служит одновременно и предохранителем. При возникновении короткого замыкания в цепи счетчика перегорание перемычек обеспечит снятие напряжения с его зажимов.

Если замена, снятие или проверка счетчика, включенного через испытанный блок, производится без отключения нагрузки присоединения, то должны быть приняты следующие меры безопасности:

установка и снятие крышки испытательного блока должны производиться в диэлектрических перчатках и в защитных очках.

После снятия крышки на ее место тотчас же устанавливается «холодная» крышка.

Проверка отсутствия напряжения на зажимах счетчика производится так же, как и в предыдущем случае.

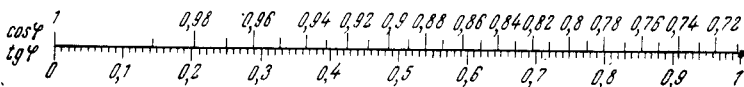
## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Потребление мощности щитовыми электроизмерительными приборами и реле, включаемыми посредством измерительных трансформаторов

| Наименование прибора | Тип                | Потребляемая мощность цепей |            |
|----------------------|--------------------|-----------------------------|------------|
|                      |                    | тока                        | напряжения |
| Амперметр . . . . .  | Э30                | 1,0 в·а                     | —          |
| Вольтметр . . . . .  | Э31, Э34           | —                           | 4,8 в·а    |
| Счетчик . . . . .    | ИТ                 | 0,5 вт                      | 1,75 вт    |
| Счетчик . . . . .    | ИТР фазы А и С     | 0,275 вт                    | 1,75 вт    |
|                      | фазы В             | 0,55 вт                     | —          |
| Счетчик . . . . .    | СА3, СА3У          | —                           | 1,8 вт     |
| Счетчик . . . . .    | СА4, СА4У          | —                           | 1,5 вт     |
| Счетчик . . . . .    | СР3, СР3У          | —                           | 2,75 вт    |
| Реле . . . . .       | ЭТ-520/10          | 0,15 в·а                    | —          |
| Реле . . . . .       | ЭТ-520/20          | 0,25 в·а                    | —          |
| Реле . . . . .       | РТ-40/10, РТ-40/20 | 0,5 в·а                     | —          |
| Реле . . . . .       | ЭВ-235             | —                           | 15 в·а     |

Примечание. Для параллельной обмотки счетчиков  $\cos \varphi = 0,38$ . Мощность, потребляемая реле тока, приведена для минимального тока срабатывания.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2



## ЛИТЕРАТУРА

1. Вострокнутов Н. Г. Электрические счетчики и их эксплуатация. М., Госэнергоиздат, 1959.
2. Гумин И. Я., Гумин М. И., Устинов В. Ф. Вторичные схемы электрических станций и подстанций. М., «Энергия», 1964.
3. Минин Г. П. Эксплуатация электроизмерительных приборов. М., Госэнергоиздат, 1959.
4. Пособие для изучения правил технической эксплуатации электрических станций и сетей. М., Госэнергоиздат, 1962.
5. Правила устройства электроустановок. М., «Энергия», 1965.
6. Справочник по электропотреблению в промышленности. Под ред. Г. П. Минина и Ю. В. Копытова. М., «Энергия», 1969.
7. Шилоносоев М. А. Электрические контрольно-измерительные приборы. М., «Машгиз», 1959.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| Предисловие . . . . .   | 3  |
| Введение . . . . .  | 4  |
| 1. Принцип действия и устройство индукционных счетчиков . . . . . | 5  |
| 2. Схемы включения счетчиков . . . . .                            | 11 |
| 3. Измерительные трансформаторы в цепях учета . . . . .           | 16 |
| 4. Установка и подключение счетчиков . . . . .                    | 23 |
| 5. Проверка правильности включения счетчика . . . . .             | 28 |
| 6. Определение расхода энергии и коэффициента мощности . . . . .  | 41 |
| 7. Техника безопасности при эксплуатации счетчиков . . . . .      | 43 |
| Приложения . . . . .  | 47 |
| Литература . . . . .  | 48 |

Цена 10 коп.