

**М.М. ТИХОМИРОВ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ  
СРЕДНИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ**



**ПРИБОРЫ УЧЕТА**

**ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**М.М. ТИХОМИРОВ**

# **ПРИБОРЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

***УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ***

*для студентов электротехнических специальностей  
средних специальных учебных заведений*

**ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ  
«ИН-ФОЛИО»**

**2011**

УДК 621.316.37(075.32)

ББК 31.28-5я723

Т46

**Тихомиров М.М.**

**Приборы учета электрической энергии: учеб. пособие для СПО. / М.М. Тихомиров. — Волгоград: Издательский Дом «Ин-Фолио», 2011. — 160 с: илл.**

В учебном пособии изложены основные вопросы дисциплины «Приборы учета электрической энергии»: основные положения по учету электроэнергии согласно нормативным документам, принцип работы, конструкция, схемы включения электрических счетчиков, автоматизированных систем контроля и учета электроэнергии, вопросы эксплуатации, ремонта, поверки приборов учета электрической энергии, техники безопасности при работах с электросчетчиками.

Содержание пособия полностью соответствует программе дисциплины «Приборы учета электрической энергии» для студентов колледжа, обучающихся по специальности 140613 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования».

**УДК 621.316.37(075.32)**

**ББК 31.28-5я723**

© Все права защищены. Книга не может быть воспроизведена полностью или частично в каком бы то ни было формате без письменного разрешения правообладателя.

**ISBN 978-5-903826-46-9**

© Тихомиров М.М., 2011

© Издательский Дом «Ин-Фолио»,  
2011

© Оформление, Издательский  
Дом «Ин-Фолио», 2011

# ВВЕДЕНИЕ

**Электроэнергия – промышленная  
продукция энергосистем.**

**Значение точного учета электроэнергии.**

**Основные нормативные материалы  
по учету электрической энергии**

Отличительной особенностью электроэнергии является неразрывность и практически полное *совпадение во времени процессов производства, распределения и потребления электроэнергии*. Производство электроэнергии возможно только в том случае, если предварительно обеспечено соединение генераторов энергии и ее приемников в единую электрическую схему. Нарушение указанной схемы ведет к нарушению процесса производства электрической энергии. Поэтому присоединение электроустановок потребителей к энергосистеме должно производиться только с разрешения последней и по ее техническим условиям. Энергосистема должна осуществлять надзор за соблюдением потребителями соответствующих правил и норм в процессе эксплуатации своих электроустановок. Неразрывность технологического процесса производства и потребления электроэнергии приводит к жесткой зависимости объема производства энергетической продукции от ее потребления в каждый данный момент времени. Невозможно выработать электроэнергии больше, чем ее требуется для присоединенных электроприемников. С другой стороны, электроприемники не могут потребить больше электроэнергии, чем ее производится генераторами электроэнергии.

Так как электроэнергия в силу своей универсальности, способности к неограниченному делению и превращению в другие виды энергии находит все более широкое применение в различных сферах человеческой деятельности, в быту и используется различными по режиму работы приемниками, то режим производства электроэнергии

в течение суток, месяца, года не остается постоянным. *Неравномерность графика производства и потребления энергии* является второй характерной особенностью электроэнергетического производства.

Третьей особенностью этого производства является то, что оно должно *удовлетворять потребности электроприемников* не только в электроэнергии, но и *в покрытии их электрической нагрузки* (т.е. потребляемой мощности). Только при этих условиях может быть обеспечено бесперебойное электроснабжение потребителей, т.е. выполнена основная задача энергетического производства. Неравномерность графика потребления энергии приводит к появлению суточных пиков нагрузки энергосистемы, на покрытие которых требуется соответствующая генерирующая мощность. Число часов использования этой мощности относительно невелико, и поэтому затраты на нее являются малоэффективными. Для снижения указанных затрат необходимо выравнивание суточных графиков потребления электроэнергии и снижение пиков нагрузки потребителей.

Четвертая особенность электроэнергетического производства связана с *обеспечением качества электроэнергии и влиянием на него электроприемников потребителей*. Наличие у потребителей электроприемников, потребляющих реактивную энергию, искажает форму кривой напряжения, выделяющих при работе высшие гармоники и т.д., затрудняет для энергосистемы соблюдение стандарта на качество электроэнергии и вызывает дополнительные затраты на ее производство. Особенно распространены электроприемники, потребляющие реактивную мощность. Для снижения затрат на покрытие реактивной нагрузки и обеспечение стандартных уровней напряжения требуется компенсация реактивной мощности как в сетях самой энергосистемы, так и в установках потребителей.

Следующая особенность электроэнергетического производства связана с *учетом электроэнергии и расчетами с потребителями*. Так как продукция энергетического производства поставляется франко-потребителю и расходуется присоединенной электроустановкой практически

без участия энергосистемы, требуется обеспечить полный учет взятой потребителем продукции (электроэнергии) и производить расчеты за нее в соответствии с заданным режимом работы электроустановки и особенностями электроприемников. По этим причинам организацией учета электроэнергии в установках потребителей и эксплуатацией расчетных счетчиков занимается энергосистема, расчеты за потребленную электроэнергию производятся по тарифам, дифференцированным по группам потребителей в зависимости от потребляемой мощности и характера потребления реактивной мощности.

Необходимость учета электроэнергии возникла сразу же, как только ее начали применять в промышленности. Поэтому история развития счетчиков насчитывает столько же лет, сколько и промышленная электроэнергетика. Современным счетчикам — надежным малогабаритными аппаратам — предшествовали счетчики самых разнообразных систем: электрохимические, электродинамические, магнитоэлектрические, маятниковые, осциллирующие и т.д. Так как вначале электрическая энергия вырабатывалась на постоянном токе, использовались счетчики постоянного тока, затем постоянный ток был вытеснен переменным, соответственно стали применять счетчики переменного тока.

Основной целью учета электроэнергии является получение достоверной информации о количестве производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии и мощности на оптовом рынке ЕЭС России и розничном рынке потребления для решения следующих технико-экономических задач на всех уровнях управления в энергетике:

- финансовые (коммерческие) расчеты за электроэнергию и мощность между субъектами оптового и розничного рынка потребления;
- управление режимами электропотребления;
- определение и прогнозирование всех составляющих баланса электроэнергии (выработка, отпуск с шин, потери и т.д.);

- определение и прогнозирование удельных расходов топлива на электростанциях;
- определение стоимости и себестоимости производства, передачи и распределения электроэнергии и мощности;
- контроль технического состояния и соответствие требованиям нормативно-технических документов систем учета электроэнергии в электроустановках.

Расчеты за потребляемую электроэнергию являются одной из основополагающих позиций договорных взаимоотношений между потребителями и энергоснабжающей организацией, учитывающих интересы обеих сторон.

Эти вопросы находятся в центре внимания на самом высоком государственном уровне и отражены в ряде законодательных правительственных документов, в том числе:

- в Законе Российской Федерации «Об энергосбережении» № 28-ФЗ, принятом Государственной Думой 13 марта 1996 г., в котором указана необходимость обеспечения обязательного приборного учета всего объема производимых и потребляемых энергоресурсов;
- в статьях 541, 543 и 544 Гражданского кодекса, в котором подчеркивается, что количество переданной электрической энергии определяется в соответствии с данными приборов учета о ее фактическом потреблении и т.д.;
- в Законе Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений», который устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации;
- в Правилах учета электрической энергии (утв. Минтопэнерго РФ и Минстроем РФ 19, 26 сентября 1996 г.);
- в Типовой инструкции по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении (РД 34.09.101-94), которая содержит основные положения по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении, устанавливает требования к организации, составу и правилам эксплуатации систем учета электроэнергии и мощности.

# **РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕТУ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

## **Тема 1.1. Требования к учету электроэнергии**

Общие положения и требования к учету электроэнергии определены в Правилах устройства электроустановок, глава 1.5 [1].

1.5.1. Настоящая глава Правил ПУЭ содержит требования к учету электроэнергии в электроустановках. Дополнительные требования к учету электроэнергии в жилых и общественных зданиях приведены в главе 7.1.

1.5.2. **Расчетным учетом электроэнергии** называется учет выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее.

Счетчики, устанавливаемые для расчетного учета, называются **расчетными счетчиками**.

1.5.3. **Техническим (контрольным) учетом электроэнергии** называется учет для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций, предприятий, в зданиях, квартирах и т.п.

Счетчики, устанавливаемые для технического учета, называются **счетчиками технического учета**.

### ***Общие требования***

1.5.4. Учет активной электроэнергии должен обеспечивать определение количества энергии:

- 1) выработанной генераторами электростанций;
- 2) потребленной на собственные и хозяйственные (раздельно) нужды электростанций и подстанций;
- 3) отпущенной потребителям по линиям, отходящим от шин электростанции непосредственно к потребителям;
- 4) переданной в другие энергосистемы или полученной от них;

5) отпущенной потребителям из электрической сети. Кроме того, учет активной электроэнергии должен обеспечивать возможность:

- определения поступления электроэнергии в электрические сети разных классов напряжений энергосистемы;
- составления балансов электроэнергии для хозрасчетных подразделений энергосистемы;
- контроля за соблюдением потребителями заданных им режимов потребления и баланса электроэнергии.

1.5.5. Учет реактивной электроэнергии должен обеспечивать возможность определения количества реактивной электроэнергии, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей, только в том случае, если по этим данным производятся расчеты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств.

#### ***Пункты установки средств учета электроэнергии***

1.5.6. Счетчики для расчета электроснабжающей организации с потребителями электроэнергии рекомендуется устанавливать на границе раздела сети (по балансовой принадлежности) электроснабжающей организации и потребителя.

1.5.7. Расчетные счетчики активной электроэнергии на электростанции должны устанавливаться:

- 1) для каждого генератора с таким расчетом, чтобы учитывалась вся выработанная генератором электроэнергия;
- 2) для всех присоединений шин генераторного напряжения, по которым возможна реверсивная работа, — по два счетчика со стопорами;
- 3) для межсистемных линий электропередачи — два счетчика со стопорами, учитывающих отпущенную и полученную электроэнергию;
- 4) для линий всех классов напряжений, отходящих от шин электростанций и принадлежащих потребителям (см. также 1.5.10).

Для линий до 10 кВ, отходящих от шин электростанций, во всех случаях должны быть выполнены цепи учета,

сборки зажимов (см. 1.5.23), а также предусмотрены места для установки счетчиков;

5) для всех трансформаторов и линий, питающих шины основного напряжения (выше 1 кВ) собственных нужд (СН).

Счетчики устанавливаются на стороне высшего напряжения; если трансформаторы СН электростанции питаются от шин 35 кВ и выше или ответвлением от блоков на напряжении выше 10 кВ, допускается установка счетчиков на стороне низшего напряжения трансформаторов;

6) для линий хозяйственных нужд (например, питание механизмов и установок ремонтно-производственных баз) и посторонних потребителей, присоединенных к распределительному устройству СН электростанций;

7) для каждого обходного выключателя или для шинно-соединительного (междусекционного) выключателя, используемого в качестве обходного для присоединений, имеющих расчетный учет, — два счетчика со стопорами.

На электростанциях, оборудуемых системами централизованного сбора и обработки информации, указанные системы следует использовать для централизованного расчетного и технического учета электроэнергии. На остальных электростанциях рекомендуется применение автоматизированной системы учета электроэнергии.

1.5.8. На электростанциях мощностью до 1 МВт расчетные счетчики активной электроэнергии должны устанавливаться только для генераторов и трансформаторов СН или только для трансформаторов СН и отходящих линий.

1.5.9. Расчетные счетчики активной электроэнергии на подстанции энергосистемы должны устанавливаться:

1) для каждой отходящей линии электропередачи, принадлежащей потребителям (см. также 1.5.10);

2) для межсистемных линий электропередачи — по два счетчика со стопорами, учитывающих отпущенную и полученную электроэнергию; при наличии ответвлений от этих линий в другие энергосистемы — по два счетчика со стопорами, учитывающих полученную и отпущенную электроэнергию, на вводах в подстанции этих энергосистем;

3) на трансформаторах СН;

4) для линий хозяйственных нужд или посторонних потребителей (поселок и т.п.), присоединенных к шинам СН;

5) для каждого обходного выключателя или для шинно соединительного (междусекционного) выключателя, используемого в качестве обходного для присоединений, имеющих расчетный учет, — два счетчика со стопорами.

Для линий до 10 кВ во всех случаях должны быть выполнены цепи учета, сборки зажимов (см. 1.5.23), а также предусмотрены места для установки счетчиков.

1.5.10. Расчетные счетчики, предусматриваемые в соответствии с 1.5.7, п. 4 и 1.5.9, п. 1, допускается устанавливать не на питающем, а на приемном конце линии у потребителя в случаях, когда трансформаторы тока на электростанциях и подстанциях, выбранные по току КЗ или по характеристикам дифференциальной защиты шин, не обеспечивают требуемой точности учета электроэнергии.

1.5.11. Расчетные счетчики активной электроэнергии на подстанции, принадлежащей потребителю, должны устанавливаться:

1) на вводе (приемном конце) линии электропередачи в подстанцию потребителя в соответствии с 1.5.10 при отсутствии электрической связи с другой подстанцией энергосистемы или другого потребителя на питающем напряжении;

2) на стороне высшего напряжения трансформаторов подстанции потребителя при наличии электрической связи с другой подстанцией энергосистемы или наличии другого потребителя на питающем напряжении.

Допускается установка счетчиков на стороне низшего напряжения трансформаторов в случаях, когда трансформаторы тока, выбранные по току КЗ или по характеристикам дифференциальной защиты шин, не обеспечивают требуемой точности учета электроэнергии, а также когда у имеющихся встроенных трансформаторов тока отсутствует обмотка класса точности 0,5.

В случае, когда установка дополнительных комплектов трансформаторов тока со стороны низшего напряжения силовых трансформаторов для включения расчетных счетчиков невозможна (КРУ, КРУН), допускается организация учета на отходящих линиях 6—10 кВ.

Для предприятия, рассчитывающегося с электроснабжающей организацией по максимуму заявленной мощности, следует предусматривать установку счетчика с указателем максимума нагрузки при наличии одного пункта учета, при наличии двух или более пунктов учета — применение автоматизированной системы учета электроэнергии;

3) на стороне среднего и низшего напряжений силовых трансформаторов, если на стороне высшего напряжения применение измерительных трансформаторов не требуется для других целей;

4) на трансформаторах СН, если электроэнергия, отпущенная на собственные нужды, не учитывается другими счетчиками; при этом счетчики рекомендуется устанавливать со стороны низшего напряжения;

5) на границе раздела основного потребителя и постороннего потребителя (субабонента), если от линии или трансформаторов потребителей питается еще посторонний потребитель, находящийся на самостоятельном балансе.

Для потребителей каждой тарификационной группы следует устанавливать отдельные расчетные счетчики.

1.5.12. Счетчики реактивной электроэнергии должны устанавливаться:

1) на тех же элементах схемы, на которых установлены счетчики активной электроэнергии для потребителей, рассчитывающихся за электроэнергию с учетом разрешенной к использованию реактивной мощности;

2) на присоединениях источников реактивной мощности потребителей, если по ним производится расчет за электроэнергию, выданную в сеть энергосистемы, или осуществляется контроль заданного режима работы.

Если со стороны предприятия с согласия энергосистемы производится выдача реактивной электроэнергии

в сеть энергосистемы, необходимо устанавливать два счетчика реактивной электроэнергии со стопорами в тех элементах схемы, где установлен расчетный счетчик активной электроэнергии. Во всех других случаях должен устанавливаться один счетчик реактивной электроэнергии со стопором.

Для предприятия, рассчитывающегося с энергоснабжающей организацией по максимуму разрешенной реактивной мощности, следует предусматривать установку счетчика с указателем максимума нагрузки, при наличии двух или более пунктов учета — применение автоматизированной системы учета электроэнергии.

***Требования к расчетным счетчикам***

1.5.13. Каждый установленный расчетный счетчик должен иметь на винтах, крепящих кожух счетчика, пломбы с клеймом госповерителя, а на зажимной крышке — пломбу энергоснабжающей организации.

На вновь устанавливаемых трехфазных счетчиках должны быть пломбы государственной поверки с давностью не более 12 мес, а на однофазных счетчиках — с давностью не более 2 лет.

1.5.14. Учет активной и реактивной электроэнергии трехфазного тока должен производиться с помощью трехфазных счетчиков.

1.5.15. Допустимые классы точности расчетных счетчиков активной электроэнергии для различных объектов учета приведены ниже:

|                                                                                                                                                       |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| <i>Генераторы мощностью более 50 МВт,<br/>межсистемные линии электропередачи<br/>220 кВ и выше, трансформаторы<br/>мощностью 63 МВ·А и более.....</i> | <i>0,5 (0,7)</i> |
| <i>Генераторы мощностью 12—50 МВт,<br/>межсистемные линии электропередачи<br/>110—150 кВ, трансформаторы<br/>мощностью 10—40 МВ·А.....</i>            | <i>1,0</i>       |
| <i>Прочие объекты учета.....</i>                                                                                                                      | <i>2,0</i>       |

Класс точности счетчиков реактивной электроэнергии должен выбираться на одну ступень ниже соответствующего класса точности счетчиков активной электроэнергии.

### *Технический учет*

1.5.39. На тепловых и атомных электростанциях с агрегатами (блоками), не оборудованными информационными или управляющими вычислительными машинами, следует устанавливать стационарные или применять инвентарные переносные счетчики технического учета в системе СН для возможности расчетов технико-экономических показателей. При этом установка счетчиков активной электроэнергии должна производиться в цепях электродвигателей, питающихся от шин распределительного устройства основного напряжения (выше 1 кВ) собственных нужд, и в цепях всех трансформаторов, питающихся от этих шин.

1.5.40. На электростанциях с поперечными связями (имеющих общий паропровод) должна предусматриваться на стороне генераторного напряжения превышающих трансформаторов техническая возможность установки (в условиях эксплуатации) счетчиков технического учета активной электроэнергии, используемых для контроля правильности работы расчетных генераторных счетчиков.

Счетчики активной электроэнергии для технического учета следует устанавливать на подстанциях напряжением 35 кВ и выше энергосистем: на сторонах среднего и низшего напряжений силовых трансформаторов; на каждой отходящей линии электропередачи 6 кВ и выше, находящейся на балансе энергосистемы.

1.5.41. Счетчики реактивной электроэнергии для технического учета следует устанавливать на сторонах среднего и низшего напряжений силовых трансформаторов подстанций 35 кВ и выше энергосистем.

Указанные требования к установке счетчиков электроэнергии подлежат реализации по мере обеспечения счетчиками.

1.5.42. На предприятиях следует предусматривать техническую возможность установки (в условиях эксплуата-

ции) стационарных или применения инвентарных переносных счетчиков для контроля за соблюдением лимитов расхода электроэнергии цехами, технологическими линиями, отдельными энергоемкими агрегатами, для определения расхода электроэнергии на единицу продукции или полуфабриката.

Допускается установка счетчиков технического учета на вводе предприятия, если расчетный учет с этим предприятием ведется по счетчикам, установленным на подстанциях или электростанциях энергосистем.

На установку и снятие счетчиков технического учета на предприятиях разрешения энергоснабжающей организации не требуется.

1.5.43. Приборы технического учета на предприятиях (счетчики и измерительные трансформаторы) должны находиться в ведении самих потребителей и должны удовлетворять требованиям 1.5.13 (за исключением требования о наличии пломбы энергоснабжающей организации), 1.5.14 и 1.5.15.

1.5.44. Классы точности счетчиков технического учета активной электроэнергии должны соответствовать значениям, приведенным ниже:

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| <i>Для линий электропередачи</i>           |            |
| <i>с двусторонним питанием напряжением</i> |            |
| <i>220 кВ и выше, трансформаторов</i>      |            |
| <i>мощностью 63 МВ·А и более .....</i>     | <i>1,0</i> |
| <i>Для прочих объектов учета .....</i>     | <i>2,0</i> |

Классы точности счетчиков технического учета реактивной электроэнергии допускается выбирать на одну ступень ниже соответствующего класса точности счетчиков технического учета активной электроэнергии.

**Контрольные вопросы**

1. Какой учет электрической энергии называется расчетным учетом?
2. Назначение технического учета электрической энергии?

3. Где должны устанавливаться расчетные счетчики активной электроэнергии на электростанции?

4. Где должны устанавливаться расчетные счетчики активной электроэнергии на подстанции энергосистемы?

5. Где должны устанавливаться расчетные счетчики активной электроэнергии на подстанции, принадлежащей потребителю?

6. Назовите допустимые классы точности расчетных счетчиков активной электроэнергии для различных объектов учета.

## **Тема 1.2. Классификация и технические характеристики счетчиков**

Различают однофазные и трехфазные счетчики [6, С. 12—15]. Однофазные счетчики применяются для учета электроэнергии у потребителей, питание которых осуществляется однофазным током (в основном, бытовых). Для учета электроэнергии трехфазного тока применяются трехфазные счетчики.

Трехфазные счетчики можно классифицировать следующим образом.

По роду измеряемой энергии — на счетчики *активной* и *реактивной* энергии.

В зависимости от схемы электроснабжения, для которой они предназначены, — на *трехпроводные* счетчики, работающие в сети без нулевого провода, и *четырёхпроводные*, работающие в сети с нулевым проводом.

По способу включения счетчики можно разделить на три группы:

*Счетчики непосредственного включения* (прямого включения), включаются в сеть без измерительных трансформаторов. Такие счетчики выпускаются для сетей 0,4/0,23 кВ на токи до 100 А.

*Счетчики полукосвенного включения*, своими токовыми обмотками включаются через трансформаторы тока. Обмотки напряжения включаются непосредственно в сеть. Область применения — сети до 1 кВ.

*Счетчики косвенного включения*, включаются в сеть через трансформаторы тока и трансформаторы напряжения. Область применения — сети выше 1 кВ. Изготавливаются двух типов.

**Трансформаторные счетчики** — предназначены для включения через измерительные трансформаторы, имеющие определенные наперед заданные коэффициенты трансформации. Эти счетчики имеют десятичный пересчетный коэффициент ( $10^n$ ).

**Трансформаторные универсальные счетчики** — предназначены для включения через измерительные трансформаторы, имеющие любые коэффициенты трансформации. Для универсальных счетчиков пересчетный коэффициент определяется по коэффициентам трансформации установленных измерительных трансформаторов.

Если на табличке счетчика поставлена буква М, это значит, что счетчик предназначен для работы и при отрицательных температурах ( $-15 — +25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Счетчики активной и реактивной энергии, снабженные дополнительными устройствами, относятся к счетчикам специального назначения. Перечислим некоторые из них.

**Двухтарифные счетчики** — применяются для учета электроэнергии, тариф на которую изменяется в зависимости от времени суток.

**Счетчики с предварительной оплатой** — применяются для учета электроэнергии бытовых потребителей, живущих в отдаленных и труднодоступных населенных пунктах.

**Счетчики с указателем максимальной нагрузки** — применяются для расчетов с потребителями по двухставочному тарифу (за израсходованную электроэнергию и максимальную нагрузку).

**Телеизмерительные счетчики** — служат для учета электроэнергии и дистанционной передачи показаний.

К счетчикам специального назначения относятся и образцовые счетчики, предназначенные для поверки счетчиков общего назначения.

В зависимости от назначения счетчику присваивается условное обозначение. В обозначениях счетчиков буквы и

цифры означают: С — счетчик; О — однофазный; А — активной энергии; Р — реактивной энергии; У — универсальный (по ГОСТ 6570-96 обозначение У — со вторичным или смешанным счетным механизмом (универсальный); И — индукционной измерительной системы; Д — телеизмерительный счетчик; 3 или 4 для трех- или четырехпроводной сети. Пример обозначения: СА4У — трехфазный трансформаторный универсальный четырехпроводной счетчик активной энергии.

Техническая характеристика счетчика определяется следующими основными параметрами.

**Номинальное напряжение и номинальный ток** — у трехфазных счетчиков указываются в виде произведения числа фаз на номинальные значения тока и напряжения, у четырехпроводных счетчиков указываются линейные и фазные напряжения. Например: 3Х5 А; 3Х380/220В.

У трансформаторных счетчиков вместо номинальных тока и напряжения указываются номинальные коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов, для работы с которыми счетчик предназначен, например: 3Х150/5 А, 3Х6000/100 В.

На счетчиках, называемых перегрузочными, указывается значение максимального тока непосредственно после номинального, например 5—20 А.

Номинальное напряжение счетчиков прямого и полукосвенного включения должно соответствовать номинальному напряжению сети, а счетчиков косвенного включения — вторичному номинальному напряжению трансформаторов напряжения.

Точно так же номинальный ток счетчика косвенного или полукосвенного включения должен соответствовать вторичному номинальному току трансформатора тока (5 или 1 А). Счетчики допускают длительную перегрузку по току без нарушения правильности учета: трансформаторные и трансформаторные универсальные — 120%; счетчики прямого включения — 200% и более (в зависимости от типа).

**Класс точности счетчика** — это его наибольшая допустимая относительная погрешность, выраженная в процентах.

В соответствии с ГОСТ 6570-96 счетчики активной энергии должны изготавливаться классов точности 0,5; 1,0; 2,0; 2,5; (с 01.07.1997 выпуск счетчиков класса 2,5 прекращен); счетчики реактивной энергии — классов точности 1,5; 2,0; 3,0. На щитке счетчика класс точности обозначается цифрой в круге, например ②.

Трансформаторные и трансформаторные универсальные счетчики учета активной и реактивной энергии должны быть класса точности 2,0 и более.

Класс точности устанавливается для условий работы, называемых нормальными. К ним относятся: прямое чередование фаз; равномерность и симметричность нагрузок по фазам; синусоидальность тока и напряжения (коэффициент линейных искажений не более 5%); номинальная частота ( $50 \text{ Гц} \pm 0,5\%$ ); номинальное напряжение ( $\pm 1\%$ ); номинальная нагрузка;  $\cos \varphi = 1$  (для счетчиков активной энергии) и  $\sin \varphi = 1$  (для счетчиков реактивной энергии); температура окружающего воздуха  $20 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  (для счетчиков внутренней установки); отсутствие внешних магнитных полей (индукция не более 0,5 мТл); вертикальное положение счетчика.

**Передаточное число счетчика** — это число оборотов его диска, соответствующее единице измеряемой энергии. Например, 1 кВт·ч равен 450 оборотам диска. Передаточное число указывается на табличке счетчика.

**Постоянная счетчика** — это значение энергии, которое он измеряет за 1 оборот диска. Если передаточное число  $N$  имеет размерность «оборот на киловатт-час», то его постоянная  $C$ , Вт·с/обор. определится по выражению

$$C = \frac{3600 \cdot 1000}{N}. \quad (1.2.1)$$

**Чувствительность счетчика** — определяется наименьшим значением тока (в процентах к номинальному) при номинальном напряжении и  $\cos \varphi = 1$  ( $\sin \varphi = 1$ ), который вызывает вращение диска без остановки. При этом допускается одновременное перемещение не более двух роликов счетного механизма. Порог чувствительности не должен превышать: 0,4% — для счетчиков класса точности 0,5;

0,5% — для счетчиков классов точности 1,0; 1,5; 2 и 1,0% — для счетчиков класса точности 2,5 и 3,0.

**Емкость счетного механизма** — определяется числом часов работы счетчика при номинальных напряжениях и токе, по истечении которых счетчик дает первоначальные показания. Согласно ГОСТ 6570-75 емкость должна быть не менее 1500 ч.

**Собственное потребление мощности** (активной и полной) обмотками счетчиков — ограничено стандартом. Так, для трансформаторных и трансформаторных универсальных счетчиков потребляемая мощность в каждой токовой цепи при номинальном токе не должна превышать 2,5 В·А для всех классов точности, кроме 0,5. Мощность, потребляемая одной обмоткой напряжения счетчиков до 250 В: для классов точности 0,5; 1; 1,5 — активная 3 Вт, полная 12 В·А, для классов точности 2,0; 2,5; 3,0 — соответственно 2 Вт и 8 В·А.

На табличках некоторых счетчиков имеется надпись «Со стопором» или «Обратный ход застопорен». Стопор препятствует вращению диска против направления, указанного стрелкой. Счетчики могут иметь графическое условное обозначение стопора.



Рис. 1.2.1. Графическое условное обозначение стопора обратного хода

### **Контрольные вопросы**

1. Как включаются счетчики косвенного включения?
2. Расшифруйте условное обозначение счетчика СР4У-И673Д.
3. Какими параметрами определяется техническая характеристика счетчика?
4. Каких классов точности должны изготавливаться счетчики активной энергии?
5. Каких классов точности должны изготавливаться счетчики реактивной энергии?
6. Как обозначается на щитке счетчика класс его точности?

## **РАЗДЕЛ 2. ИНДУКЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ В ЦЕПЯХ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

### **Тема 2.1. Однофазные индукционные счетчики электрической энергии**

#### **2.1.1. Конструкция и принцип действия**

##### **измерительного механизма индукционной системы**

Измеряемая активная энергия в общем виде определяется произведением мощности на время

$$W = P \cdot t, \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Для измерений электроэнергии применяются индукционные и электронные счетчики.

Рассмотрим устройство и принцип действия однофазного индукционного счетчика [9, С. 126–131]. На рисунке 2.1.1 схематично показано устройство широко распространенного индукционного счетчика типа СО (счетчик однофазный).

На рисунке обозначены: 1 – трехстержневой магнитопровод с обмоткой цепи напряжения  $U$ ; 2 – алюминиевый диск, жестко укрепленный на оси подвижной части; 3 – противоположный полюс из магнитомягкого материала; 4 – короткозамкнутые витки; 5 – П-образный магнитопровод с двумя последовательно соединенными токовыми обмотками; 6 – обмотка, замкнутая на проволочный резистор 7 с регулируемым с помощью переключки 8 сопротивлением; 13 – стальной поводок для создания и регулировки компенсационного момента; 12 – постоянный магнит для создания тормозного момента; 10 – пластинка с флажком, выполненная из магнитомягкого материала; 11 – стальной крючок; 9 – счетный механизм.

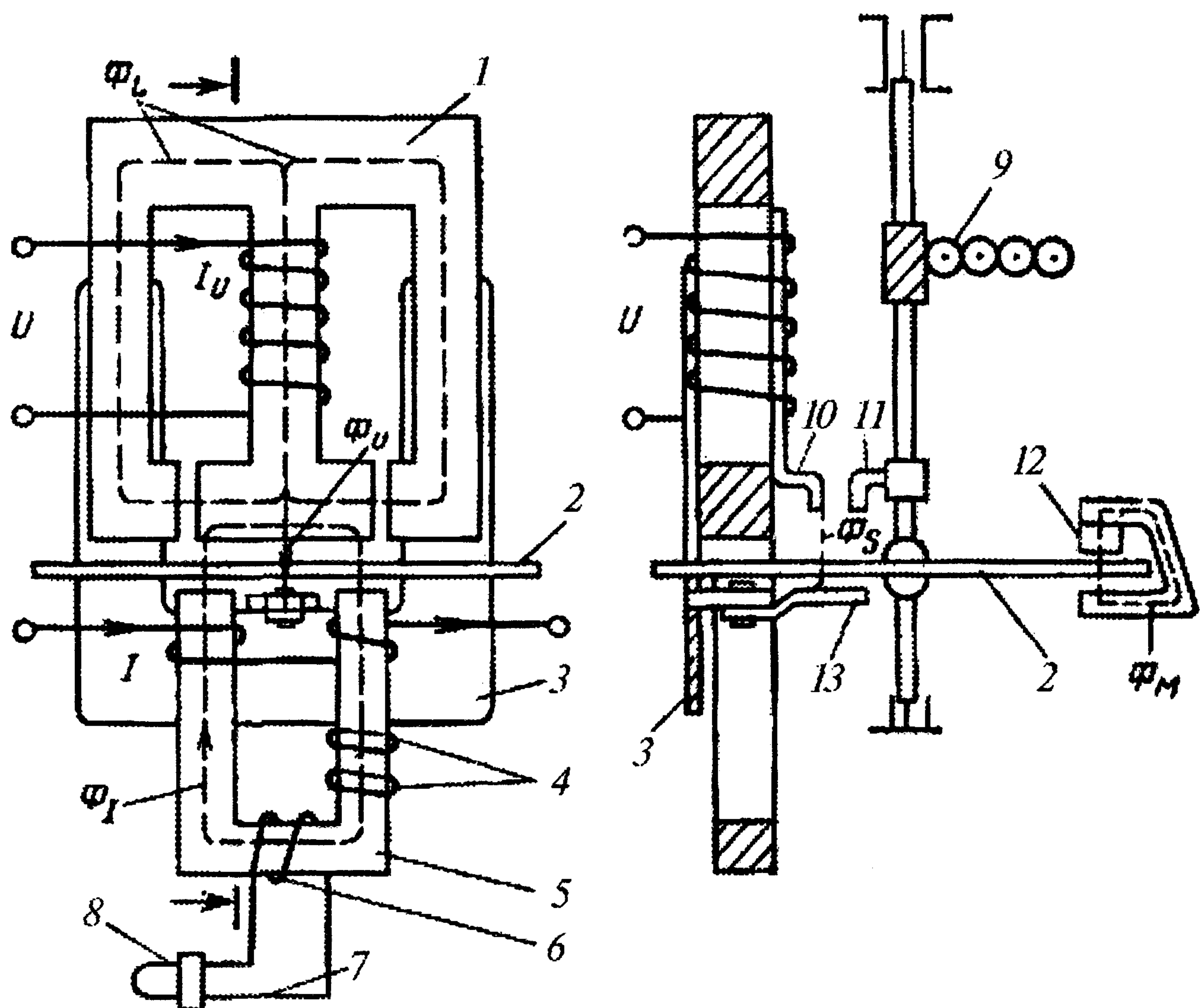


Рис. 2.1.1. Однофазный индукционный счетчик

На рисунке 2.1.2 приведена упрощенная векторная диаграмма, поясняющая работу счетчика. Напряжение  $U$ , приложенное к обмотке напряжения, находящейся на среднем стержне магнитопровода  $I$ , вызывает в обмотке ток  $I_U$ , отстающий по фазе от напряжения  $U$  на угол, близкий к  $90^\circ$  (из-за большого реактивного сопротивления обмотки). Этот ток создает в среднем стержне магнитопро-

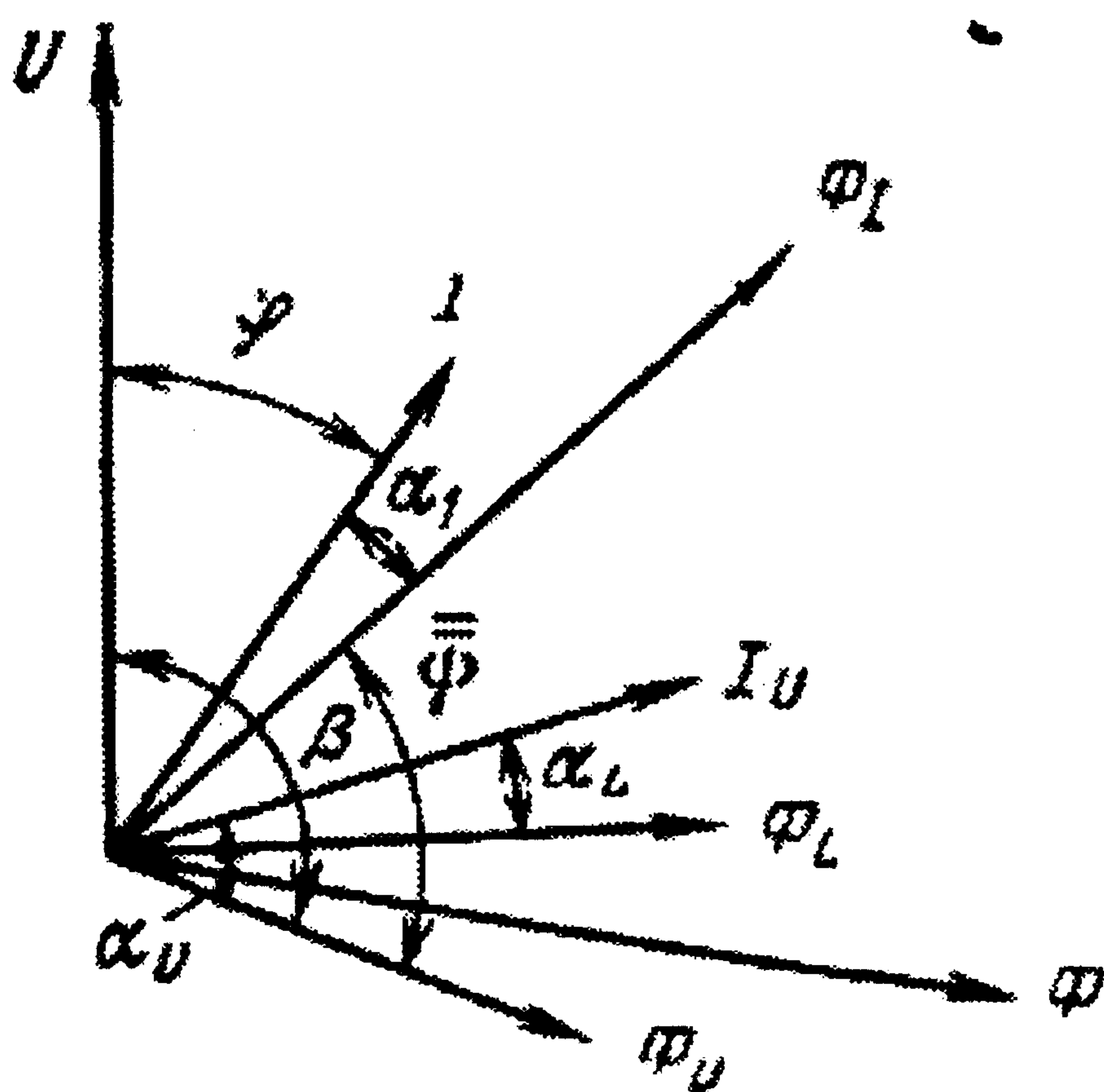


Рис. 2.1.2. Векторная диаграмма однофазного счетчика

вода  $I$  магнитный поток  $\Phi$ , который делится на два потока: рабочий поток  $\Phi_U$  и поток  $\Phi_L$ . Рабочий поток  $\Phi_U$  пересекает диск 2 и замыкается через противоположус 3. Поток  $\Phi_L$  замыкается через боковые стержни магнитопровода 1, минуя диск, и непосредственного участия в создании вращающего момента не принимает. Он лишь влияет на сдвиг фаз между потоком  $\Phi_U$  и напряжением  $U$ . Потоки  $\Phi_U$  и  $\Phi_L$  отстают от тока  $I_u$  на углы потерь  $\alpha_U$  и  $\alpha_L$ , причем  $\alpha_U > \alpha_L$ , так как поток  $\Phi_U$  пересекает диск 2 и проходит через противоположус 3, в которых возникают дополнительные потери на вихревые токи.

Ток  $I$ , сдвинутый по фазе относительно напряжения  $U$  на угол  $\varphi$ , создает в магнитопроводе 5 магнитный поток  $\Phi_I$ , который дважды пересекает диск 2 и замыкается через боковые стержни магнитопровода 1. Поток  $\Phi_I$  отстает по фазе от тока  $I$  на угол  $\alpha_I$ . Таким образом, диск пересекает два не совпадающих в пространстве и имеющих фазовый сдвиг магнитных потока  $\Phi_U$  и  $\Phi_I$ , причем поток  $\Phi_I$  пересекает диск дважды. Взаимодействие этих потоков с индуцированными ими в диске вихревыми токами создает вращающий момент, который можно записать как

$$M_{BP} = K_f \Phi_U \Phi_I \sin \psi. \quad (2.1.1)$$

Под действием этого момента диск счетчика будет вращаться.

### 2.1.2. Вращающий и тормозной момент индукционного счетчика.

#### Типы однофазных счетчиков

Взаимодействие магнитных потоков  $\Phi_U$  и  $\Phi_I$  с индуцированными ими в диске вихревыми токами создает вращающий момент [9, С. 126–131].

При работе на линейном участке кривой намагничивания магнитомягких материалов магнитопроводов имеем

$$\Phi_I = K_1 I, \quad (2.1.2)$$

$$\Phi_U = K_2 U / z_U, \quad (2.1.3)$$

где  $z_U$  — модуль полного сопротивления обмотки напряжения.

Принимая во внимание, что активное сопротивление  $R_U$  обмотки напряжения мало по сравнению с реактивным сопротивлением  $X_U$ , можно считать, что

$$z_U \approx X_U = 2\pi f L_U, \quad (2.1.4)$$

где  $L_U$  — индуктивность обмотки напряжения.

С учетом этого выражение (2.1.3) примет вид

$$\Phi_U = K_2 U / (2\pi f L_U) = K_3 U / f, \quad (2.1.5)$$

где  $K_3 = K_2 / (2\pi L_U)$ .

Подставляя значение потоков  $\Phi_U$  и  $\Phi_I$  в (10.11), получаем

$$M_{BP} = cUI \sin \psi, \quad (2.1.6)$$

где  $c = KK_1K_3$ ;

$\psi$  — угол между рабочими потоками обмотки напряжения и токовой обмотки.

Из (2.1.6) видно, что вращающий момент счетчика пропорционален активной мощности при выполнении равенства

$$\sin \psi = \cos \varphi. \quad (2.1.7)$$

Это равенство выполняется при условии, что  $\psi + \varphi = 90^\circ$ . Нетрудно видеть (рис. 2.1.2), что для выполнения этого условия необходимо иметь угол  $\beta > 90^\circ$ , так как  $\beta = \psi + \varphi + \alpha_r$ . Выполнение этих условий осуществляется путем изменения угла потерь  $\alpha_r$  с помощью короткозамкнутых витков 4 (грубая регулировка) и обмотки 6, замкнутой на резистор 7, который выполнен в виде петли с регулируемым сопротивлением (плавная регулировка). Изменение сопротивления резистора 7 производится перемещением контакта 8 (см. рис. 10.2). Таким образом, при выполнении (2.1.7) выражение (2.1.6) принимает вид

$$M_{BP} = cUI \cos \varphi = cP. \quad (2.1.8)$$

Таким образом, при определенных условиях вращающий момент, действующий на подвижную часть индукционного счетчика, пропорционален активной мощности цепи, в которую он включен.

Под воздействием вращающего момента  $M_{BP}$  диск вращается. Тормозной момент, обеспечивающий постоянство угловой скорости диска при данной нагрузке, создается постоянным магнитом 12. При пересечении вращающимся диском потока  $\Phi_M$  (см. рис. 2.1.1) в диске наводится ЭДС и возникают токи  $I_M$ , пропорциональные потоку  $\Phi_M$  и угловой скорости диска  $\omega$ ,

$$I_M = c_1 \Phi_M \omega. \quad (2.1.9)$$

От взаимодействия тока  $I_M$  с потоком  $\Phi_M$  возникает момент успокоения  $M_y$ , определяемый как

$$M_y = c_2 \Phi_M I_M. \quad (2.1.10)$$

Введя коэффициент  $c_3$ , получим

$$M_y = c_3 \omega, \quad (2.1.11)$$

где  $c_3 = c_1 c_2 \Phi_M^2$ .

Если пренебречь трением и другими дополнительными тормозными моментами, возникающими при пересечении диском потоков  $\Phi_U$  и  $\Phi_P$ , то равномерное движение диска имеет место при  $M_{BP} = M_y$ . Получаем

$$cP = c_3 \omega = c_3 d\alpha/dt. \quad (2.1.12)$$

Выражение (2.1.12) можно представить следующим образом:

$$cP dt = c_3 d\alpha. \quad (2.1.13)$$

Интегрируя (2.1.13) по времени от  $t_1$  до  $t_2$ , получаем

$$c \int_{t_1}^{t_2} P dt = c_3 \int_{t_1}^{t_2} d\alpha. \quad (2.1.14)$$

Так как  $\int_{t_1}^{t_2} P dt = W$  — активная энергия, учтенная счетчи-

ком за время от  $t_1$  до  $t_2$ ,  $\int_{t_1}^{t_2} d\alpha = 2\pi N$ , где  $N$  — число оборотов диска за время от  $t_1$  до  $t_2$ , то

$$cW = c_3 \cdot 2\pi N.$$

Отсюда

$$W = c_3/c \cdot 2\pi N = cN, \quad (2.1.15)$$

т.е. число оборотов диска пропорционально учитываемой счетчиком активной энергии.

Для учета числа оборотов диска в счетчике устанавливается счетный механизм 9 (см. рис. 2.1.1). Число оборотов диска, приходящееся на единицу учитываемой счетчиком энергии, называют передаточным числом счетчика. Оно указывается на щитке счетчика, например 1 кВт·ч=1280 оборотов диска.

Величина, обратная передаточному числу счетчика, т.е. энергия, учитываемая счетчиком за 1 оборот диска, называется **номинальной постоянной счетчика**  $C_{ном}$ . Для счетчика с указанным выше передаточным числом номинальная постоянная определяется следующим образом:

$$C_{ном} = 3600 \cdot 1000 / 1280 = 2812,5 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об}.$$

Зная  $C_{ном}$  и число оборотов диска счетчика за определенный интервал времени, нетрудно определить учтенную счетчиком за это время энергию:

$$W = C_{ном} N.$$

Отметим, что отсутствие трения, пропорциональность между токами  $I$  и  $I_U$  и магнитными потоками  $\Phi_I$  и  $\Phi_U$ , зависимость тормозного момента только от поля постоянного магнита и другие условия на практике выполняются весьма приближенно.

Действие трения в счетном механизме и опорах подвижной части особенно заметно при малых нагрузках. Момент трения, действующий навстречу вращающему моменту, уменьшает угловую скорость диска, и учтенная счетчиком энергия оказывается меньше реально израсходованной. Для уменьшения погрешности счетчика от действия момента трения с помощью специальных приспособлений во всех типах счетчиков создают дополнительный вращающий момент. Его называют **компенсационным моментом**.

Наибольшее распространение получили три способа создания компенсационного момента: с помощью винта из магнитомягкого материала, ввернутого в противополоус под диском счетчика; с помощью короткозамкнутого витка, помещаемого на пути потока  $\Phi_U$  над диском счетчика; с помощью поводка 13 (см. рис. 2.1.1), прикрепленного к противополоусу под диском счетчика.

Компенсационный момент во всех перечисленных случаях возникает в результате взаимодействия двух или нескольких потоков, создаваемых обмоткой напряжения и сдвинутых относительно друг друга в пространстве и по фазе, с токами, наводимыми ими в диске счетчика. При наличии поводка компенсационный момент создается потоками  $\Phi_U$  и  $\Phi_S$ . Поток  $\Phi_S$  замыкается через пластину с флажком 10, выполненную из магнитомягкого материала, поводок 13 и противополоус 3. Если поводок расположен по радиусу диска, то сила, возникающая в результате взаимодействия потоков  $\Phi_U$  и  $\Phi_S$  с токами, наведенными в диске, действует также в направлении радиуса и дополнительный вращающий (компенсационный) момент отсутствует. При смещении поводка возникающая сила создает дополнительный вращающий момент, компенсирующий момент трения. Компенсационный момент при неизменном значении напряжения и определенном смещении поводка является величиной постоянной, а момент трения меняется в зависимости от угловой скорости подвижной части. Следовательно, равенство компенсационного момента моменту трения может быть выполнено при одной вполне определенной нагрузке. Обычно равенство этих моментов осуществляют при регулировке счетчика при токе  $I$ , равном примерно 10 % номинального тока  $I_{ном}$ .

Если компенсационный момент превышает момент трения, диск счетчика начинает вращаться даже при токе  $I = 0$ , т.е. когда потребитель энергию не расходует. Вращение диска счетчика под действием напряжения, поданного на зажимы параллельной цепи, и при отсутствии тока в последовательной цепи называется **самоходом**. Для устранения самохода на оси диска прикрепляют крючок

11 (см. рис. 2.1.1) из ферромагнитного материала. Флажок 10 намагничивается потоком  $\Phi_s$  и, притягивая крючок 11, устраняет самоход.

Сила взаимодействия между крючком и флажком должна быть отрегулирована так, чтобы счетчик имел необходимый порог чувствительности. **Порог чувствительности счетчика** — это наименьшее нормируемое значение тока  $I$  в процентах  $I_{ном}$ , при котором начинается непрерывное вращение диска счетчика при номинальных значениях напряжения и частоты при  $\cos \varphi = 1$ .

На работу счетчика влияют многочисленные факторы, обусловленные конструкцией счетчика, качеством изготовления деталей, материалом деталей и т.п. По точности учета электроэнергии счетчики активной энергии могут быть следующих классов точности: 0,5; 1,0; 2,0 и 2,5. Классы точности счетчиков определяются не по приведенной, а по относительной погрешности, определяемой при различных, оговоренных ГОСТ, нагрузках. Допускаемая относительная погрешность счетчиков в процентах определяется по формуле

$$\delta = \frac{W_{сч} - W}{W} \cdot 100, \quad (2.1.16)$$

где  $W_{сч}$  — значение электрической энергии, определенное по показаниям поверяемого счетчика за данный интервал времени;

$W$  — действительное значение электрической энергии, определенное за этот же интервал времени по показаниям образцовых приборов.

В качестве образцовых приборов используются либо образцовый счетчик, имеющий более высокий класс, чем поверяемый, либо ваттметр и секундомер.

Характерное изменение основной относительной погрешности счетчика в зависимости от нагрузки представлено на рисунке 2.1.3. Эту кривую называют **нагрузочной кривой счетчика**. На нагрузочной кривой можно выделить четыре характерные области изменения относительной погрешности.

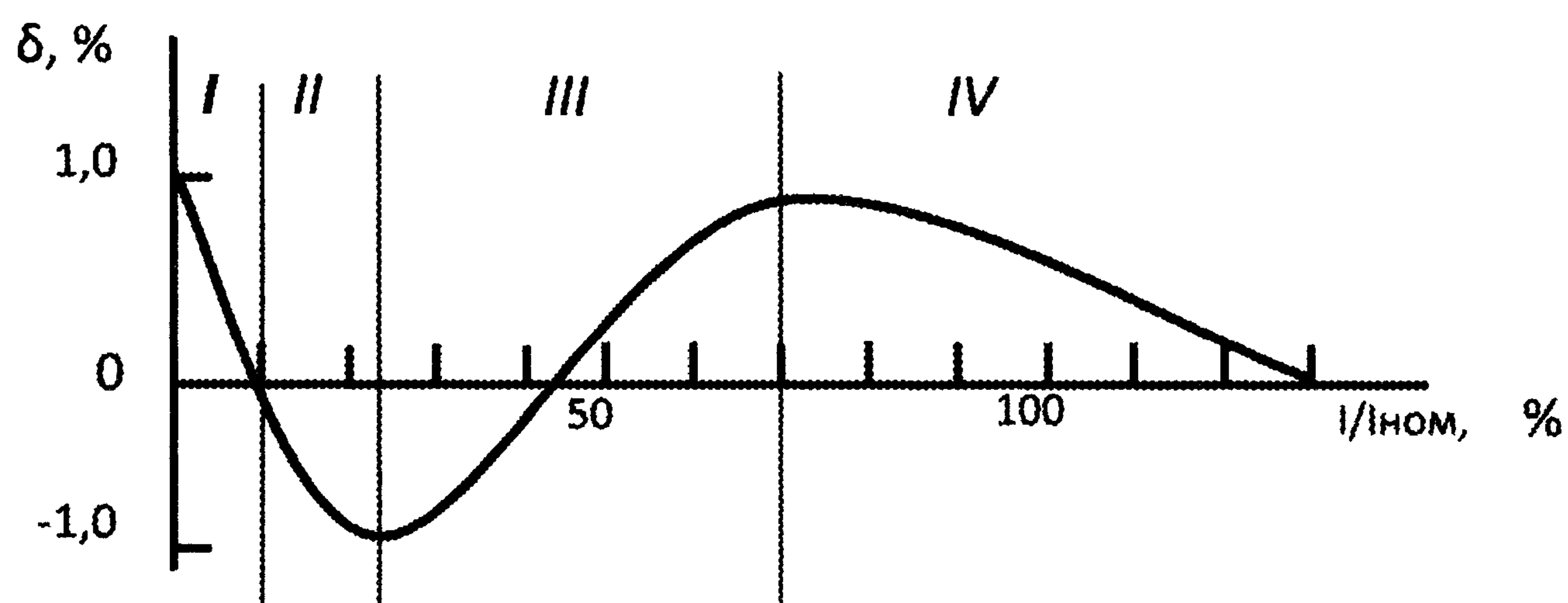


Рис. 2.1.3. Нагрузочная кривая однофазного индукционного счетчика

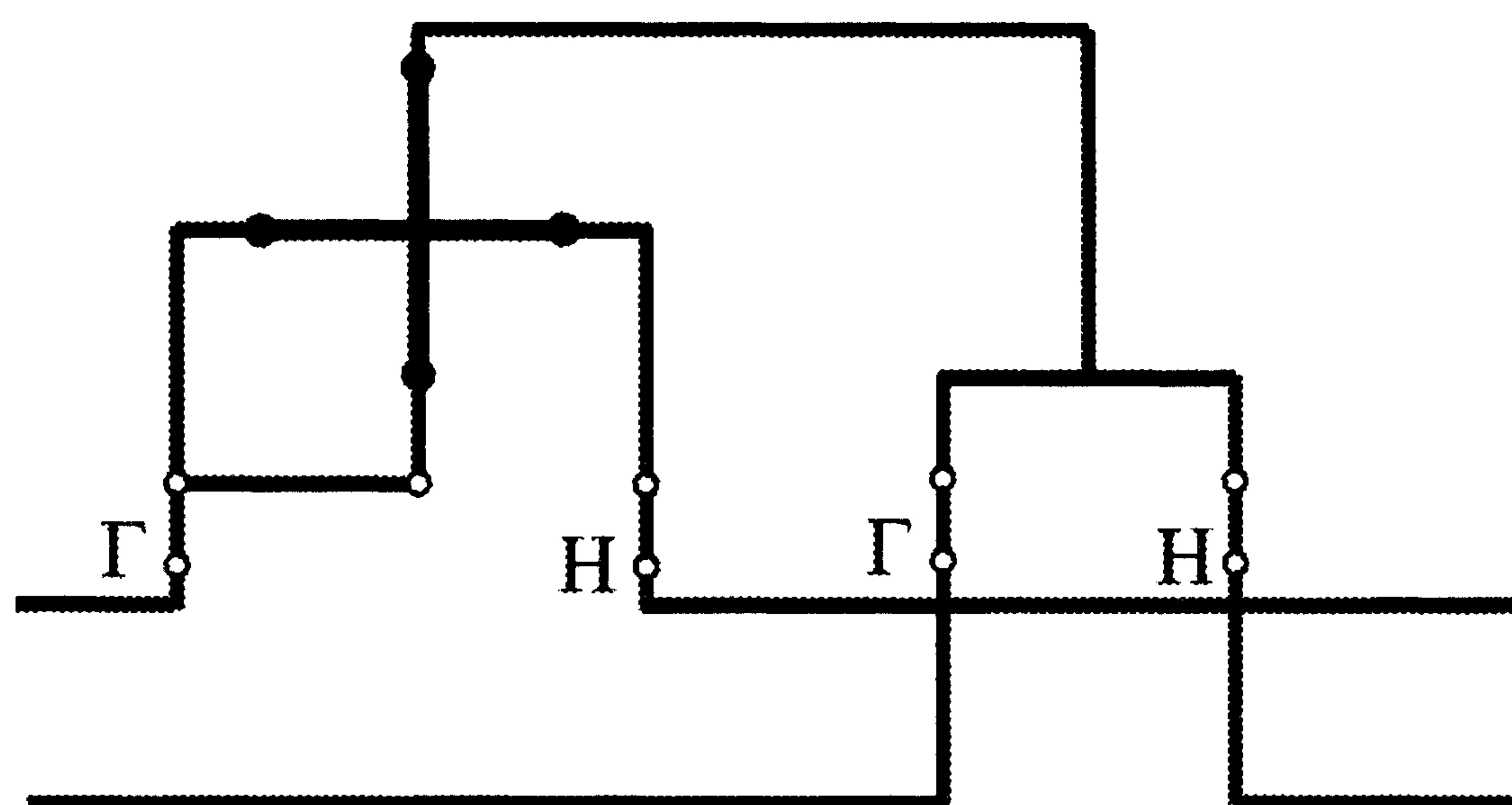


Рис. 2.1.4. Схема включения однофазного счетчика

В области *I* изменение  $\delta$  обусловлено превышением компенсационного момента над моментом трения. В этой области диск счетчика вращается быстрее необходимого.

В области *II* из-за увеличения момента трения в связи с увеличением угловой скорости диска компенсационный момент меньше момента трения и диск счетчика вращается медленнее необходимого. Равенство компенсационного момента моменту трения ( $\delta = 0$ ) обеспечивается при токе нагрузки счетчика  $I/I_{ном} \approx 10\%$ .

В области *III* происходит непрерывное увеличение угловой скорости диска по сравнению с необходимой скоростью. Это объясняется нелинейной зависимостью между током  $I$  и потоком  $\Phi_r$  на начальном участке кривой намагничивания материала магнитопровода токовой цепи.

В области *IV* происходит постепенное уменьшение угловой скорости диска по сравнению с необходимой скоростью. Это объясняется возрастанием тормозного момента счетчика. Все большее влияние начинает оказывать составляющая тормозного момента, обусловленная пересечением диска счетчика увеличивающимся потоком  $\Phi_r$ .

На рисунке 2.1.4 изображена схема расположения зажимов и присоединения к ним обмоток однофазного счетчика. Генераторные зажимы токовых обмоток счетчиков обозначаются *Г*, а зажимы, к которым подключается нагрузка, — *Н*.

### ***Типы однофазных счетчиков***

#### **Однофазный индукционный электросчетчик СО-502**

*Изготовитель:* ОАО «Московский завод электроизмерительных приборов».

*Межповерочный интервал:* 16 лет.

*Гарантийный срок:* 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.

*Срок службы:* 32 года.

*Параметры окружающей среды:* температура воздуха от -20 до +60 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.

#### ***Основные технические характеристики***

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Класс точности               | 2,0  |
| Номинальное напряжение, В    | 220  |
| Номинальная частота, Гц      | 50   |
| Номинальный ток, А           | 10   |
| Максимальный ток, А          | 60   |
| Ток перегрузки, А, 4 часа    | 72   |
| Порог чувствительности, А    | 0,05 |
| Передаточное число, об/кВт·ч | 400  |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,5  |

#### ***Основные и дополнительные функции***

Предназначен для учета потребления электроэнергии в квартирах и жилых домах.

Выпускается в исполнениях:

СО-502Т — с телеметрическим выходом. Имеет встроенный телеметрический датчик, способный регистрировать вращение диска в обоих направлениях;

СО-502Д — двухтарифный. Учитывает электроэнергию по двум временным тарифам;

СО-502ДТ — двухтарифный, с телеметрическим выходом.

## **Однофазный индукционный электросчетчик СО-505**

*Изготовитель:* ОАО «Московский завод электроизмерительных приборов».

*Межповерочный интервал:* 16 лет.

*Гарантийный срок:* 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.

*Срок службы:* не менее 32 лет.

*Параметры окружающей среды:* температура воздуха от -20 до +55 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.

### *Основные технические характеристики*

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Класс точности               | 2,0  |
| Номинальное напряжение, В    | 220  |
| Номинальная частота, Гц      | 50   |
| Номинальный ток, А           | 10   |
| Максимальный ток, А          | 40   |
| Ток перегрузки, А, 4 часа    | 48   |
| Порог чувствительности, А    | 0,05 |
| Передаточное число, об/кВт·ч | 600  |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,3  |

### *Основные и дополнительные функции*

Предназначен для учета потребления электроэнергии в квартирах и жилых домах.

## **Однофазный индукционный электросчетчик СО-514**

*Изготовитель:* ЗАО «МЗЭП-КРЖИЖИК».

*Межповерочный интервал:* 16 лет.

*Гарантийный срок:* 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.

*Срок службы:* не менее 32 лет.

*Параметры окружающей среды:* температура воздуха от -20 до +55 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.

### *Основные технические характеристики*

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| Класс точности            | 2,0 |
| Номинальное напряжение, В | 220 |
| Номинальная частота, Гц   | 50  |
| Номинальный ток, А        | 10  |
| Максимальный ток, А       | 60  |

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Порог чувствительности, А    | 0,05 |
| Передаточное число, об/кВт·ч | 375  |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,3  |

#### *Основные и дополнительные функции*

Предназначен для учета потребления электроэнергии в квартирах и жилых домах.

*Выпускается в исполнениях:*

СО-514Т — с телеметрическим выходом. Имеет встроенный телеметрический датчик, способный регистрировать вращение диска в обоих направлениях;

СО-514Д — двухтарифный. Учитывает электроэнергию по двум временным тарифам;

СО-514ДТ — двухтарифный, с телеметрическим выходом.

### **Однофазный индукционный электросчетчик СО-501**

*Изготовитель:* ОАО «Московский завод электроизмерительных приборов».

*Межповерочный интервал:* 16 лет.

*Гарантийный срок:* 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.

*Срок службы:* 32 года.

*Параметры окружающей среды:* температура воздуха от -20 до +60 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.

#### *Основные технические характеристики*

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Класс точности               | 2,0  |
| Номинальное напряжение, В    | 220  |
| Номинальная частота, Гц      | 50   |
| Номинальный ток, А           | 10   |
| Максимальный ток, А          | 40   |
| Ток перегрузки, А, 4 часа    | 48   |
| Порог чувствительности, А    | 0,05 |
| Передаточное число, об/кВт·ч | 400  |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,5  |

#### *Основные и дополнительные функции*

Предназначен для учета потребления электроэнергии в квартирах и жилых домах.

Выпускается в исполнении СО-501Т — с телеметрическим выходом. Имеет встроенный телеметрический датчик, способный регистрировать вращение диска в обоих направлениях. Используется в качестве датчика автоматизированных систем учета и контроля энергии.

### Контрольные вопросы

1. Что такое постоянная счетчика и как ее определить?
2. Назначение алюминиевого диска счетчиков.
3. Объясните принцип действия индукционного счетчика.
4. Назовите номинальные напряжения, на которые выпускаются счетчики.

## Тема 2.2. Трехфазные индукционные счетчики активной и реактивной энергии

### 2.2.1. Устройство и принцип действия трехфазных счетчиков для измерения активной энергии

Двухэлементные счетчики используются для учета активной энергии в трехфазных трехпроводных цепях переменного тока [15, С. 301–302].

Трехэлементными счетчиками учитывается активная и реактивная энергия в трехфазных четырехпроводных цепях переменного тока. Кроме того, трехэлементные счетчики применяются также для учета реактивной энергии в трехфазных трехпроводных цепях переменного тока.

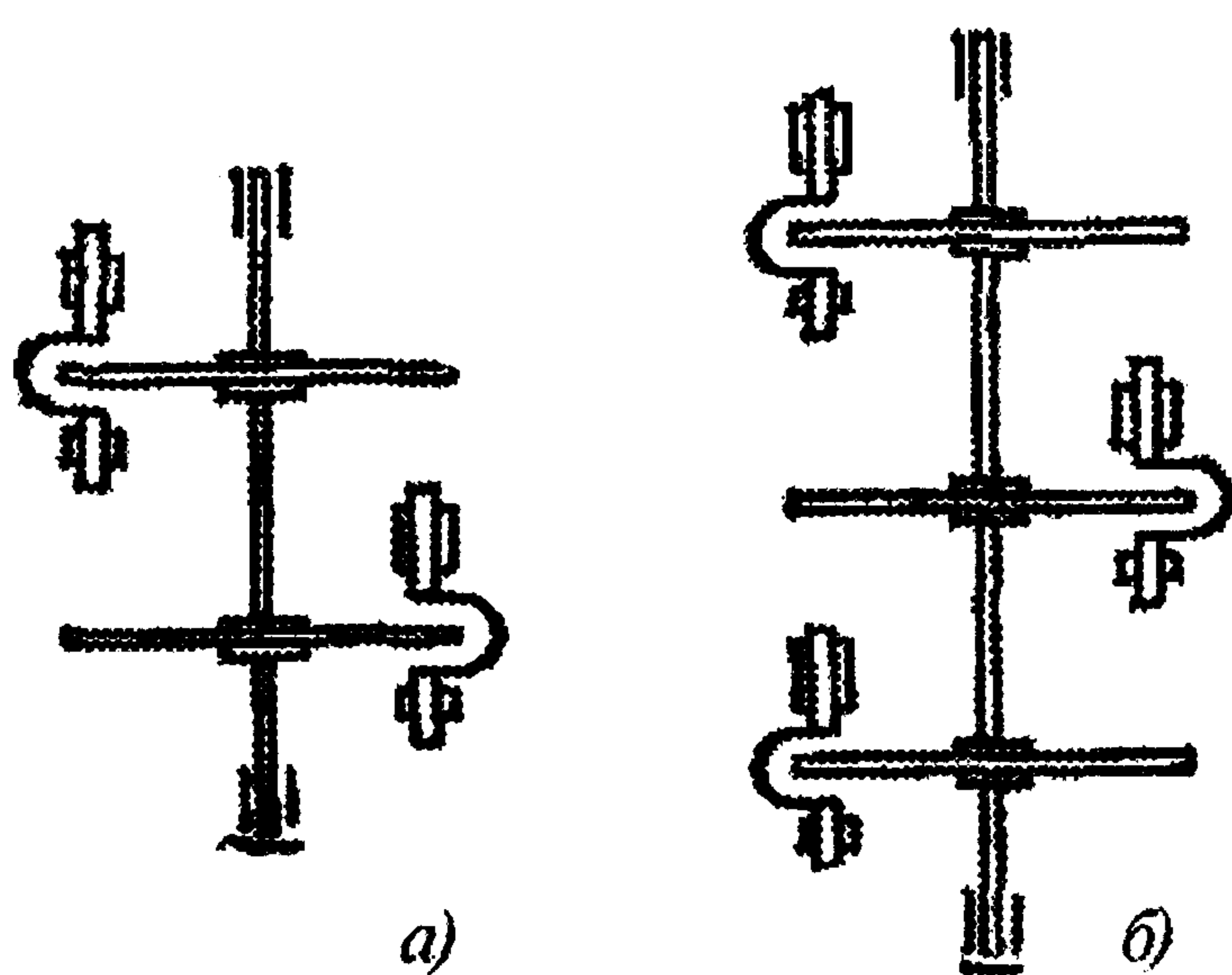


Рис. 2.2.1. Конструктивное выполнение счетчиков:  
а — двухэлементного;  
б — трехэлементного

В качестве вращающихся элементов как в двухэлементных, так и в трехэлементных счетчиках используются вращающиеся элементы одноэлементных индукционных счетчиков.

Как в двухэлементных, так и в трехэлементных счетчиках диски вращающихся элементов укрепляются на одной оси. Это позволяет

получать общий вращающий момент подвижной части счетчика, равный алгебраической сумме вращающих моментов отдельных элементов. Таким образом, независимо от количества применяемых вращающих элементов в счетчиках устанавливается один счетный механизм.

На рис. 2.2.1 *а* показано принципиальное конструктивное выполнение двухэлементного счетчика, а на рис. 2.2.1 *б* — трехэлементного счетчика.

Двухэлементные однодисковые и трехэлементные двухдисковые счетчики практически не применяются из-за увеличения погрешностей счетчиков вследствие влияния вращающихся элементов друг на друга.

Рассмотрим конструкцию трехфазных счетчиков [6, С. 15–19] на примере счетчика САЗУ-И670М (рис. 2.2.2). Для наглядности счетчик изображен без кожуха, таблички и крышки зажимной коробки.

Механизм счетчика монтируется на литой стойке из немагнитного сплава 1, которая расположена в прямоугольном цоколе 2. Цоколь закрывается кожухом с застекленным окном. Снизу к цоколю крепится зажимная коробка 3 с крышкой. Механизм счетчика состоит из следующих узлов: два вращающихся элемента, два тормозных магнита 5, подвижная система в виде оси 6 с двумя алюминиевыми дисками 7, опоры подвижной системы (подшипник и подпятник), счетный механизм 8. На оси счетчика укреплен противосамоходный флажок 9.

Вращающийся элемент представляет собой магнитную систему, на которой расположены: параллельная обмотка 4, последовательная 10 и дополнительная 11 обмотки, короткозамкнутые витки 12. Магнитная система снабжена также поворотной лопаточкой 13, балансировочными винтами-регуляторами и стальной пластиной 14, вставленной под каркас параллельной обмотки. Дополнительная обмотка замкнута на петлю из никелиновой или манганиновой проволоки 15. Сопротивление петли можно изменять путем перемещения винтового зажима 16.

Дополнительная обмотка с проволочной петлей и короткозамкнутые витки создают дополнительные потери

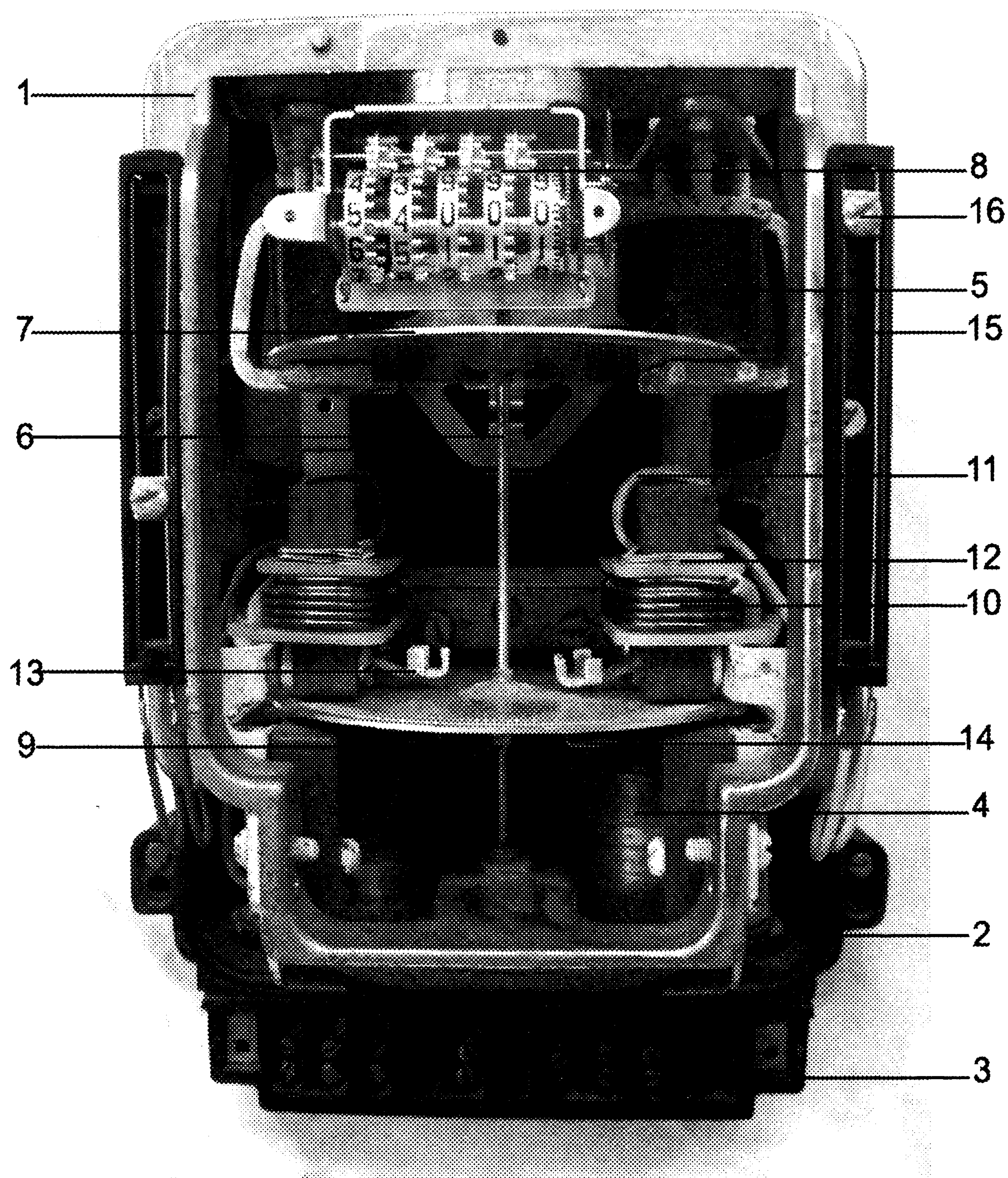


Рис. 2.2.2. Механизм трехфазного счетчика САЗУ-И670М

на пути полного потока последовательной цепи. От этих потерь зависит угол внутреннего сдвига между рабочими магнитными потоками. Как было показано ранее, этот угол должен быть равен  $90^\circ$ .

Разрезание короткозамкнутых витков и перемещение винтового зажима вверх ведет к увеличению внутреннего угла сдвига.

При малых нагрузках силы трения в опорах и счетном механизме могут стать соизмеримыми с электромагнитными силами и вызвать недопустимое увеличение погрешности. Для компенсации сил трения прибегают к созданию

небольшого дополнительного момента, называемого компенсационным, за счет отклонения от основного магнитного потока  $\Phi_U$  небольшой его части  $\Phi_K$ . В описываемом счетчике поток  $\Phi_K$  отклоняется в поворотную лопаточку 13. В результате взаимодействия расщепленных потоков и возникает компенсационный момент, значение которого не зависит от нагрузки и регулируется углом поворота лопаточки. Регулировку производят при малых нагрузках.

Под действием компенсатора трения в счетчике может возникнуть нежелательное явление самохода, т.е. вращение диска при отсутствии нагрузки. Противосамоходное устройство состоит из флажка 9 и пластины 14. Под действием сил притяжения, возникающих между ними, диск счетчика останавливается. Устранение самохода и регулировку чувствительности производят путем подгибания и отгибания флажка 9, установленного вблизи пластины 14.

Два постоянных магнита служат для создания тормозного момента. Крепление магнита позволяет перемещать его в радиальном направлении. Этим обеспечивается регулировка тормозного момента, а следовательно, и частоты вращения. При приближении магнитов к центру частота вращения уменьшается.

Одним из наиболее ответственных узлов счетчика является подпятник. Существуют однокамневые и двухкамневые подпятники (рис. 2.2.3 а и б); двухкамневый более износостоек и поэтому получил широкое применение. На нижний конец оси насажена оправа с агатовым или корун-

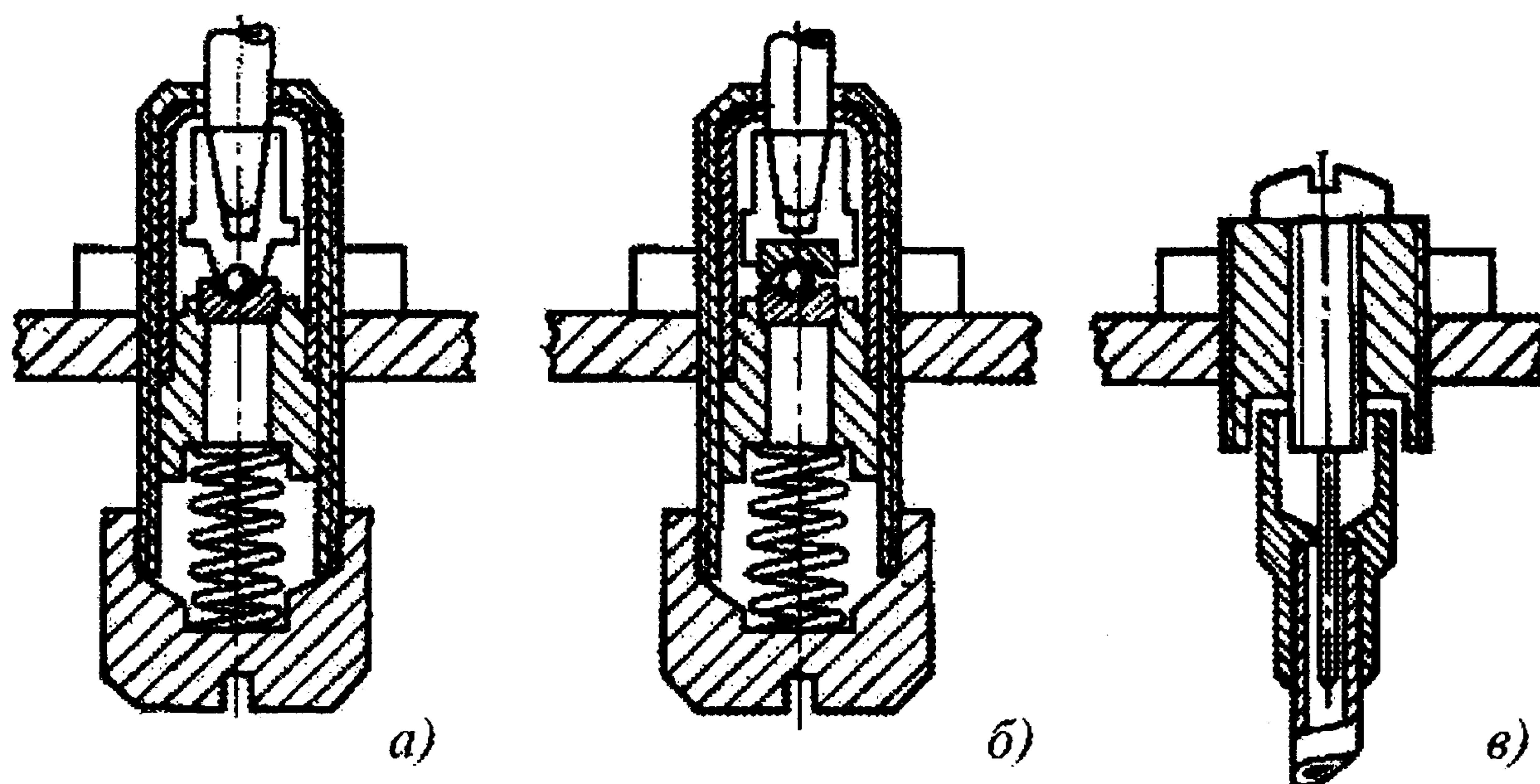


Рис. 2.2.3. Опоры счетчика:

*а — однокамневый подпятник; б — двухкамневый подпятник; в — подшипник*

довым камнем. Второй (опорный) камень, амортизированный пружиной, заключен в съемной втулке. Между двумя камнями расположен полированный стальной шарик.

Конструкция подшипника показана на рисунке 2.2.3 в. Верхняя часть оси представляет втулку из латуни или полимерного материала. Сверху в нее входит стальная игла, пропущенная через отверстие в бронзовом колпачке и закрепленная в иглодержателе. Подшипник счетчиков старых выпусков заполнялся маслом. В современных счетчиках подшипник работает без смазки, что обеспечивает постоянный момент трения.

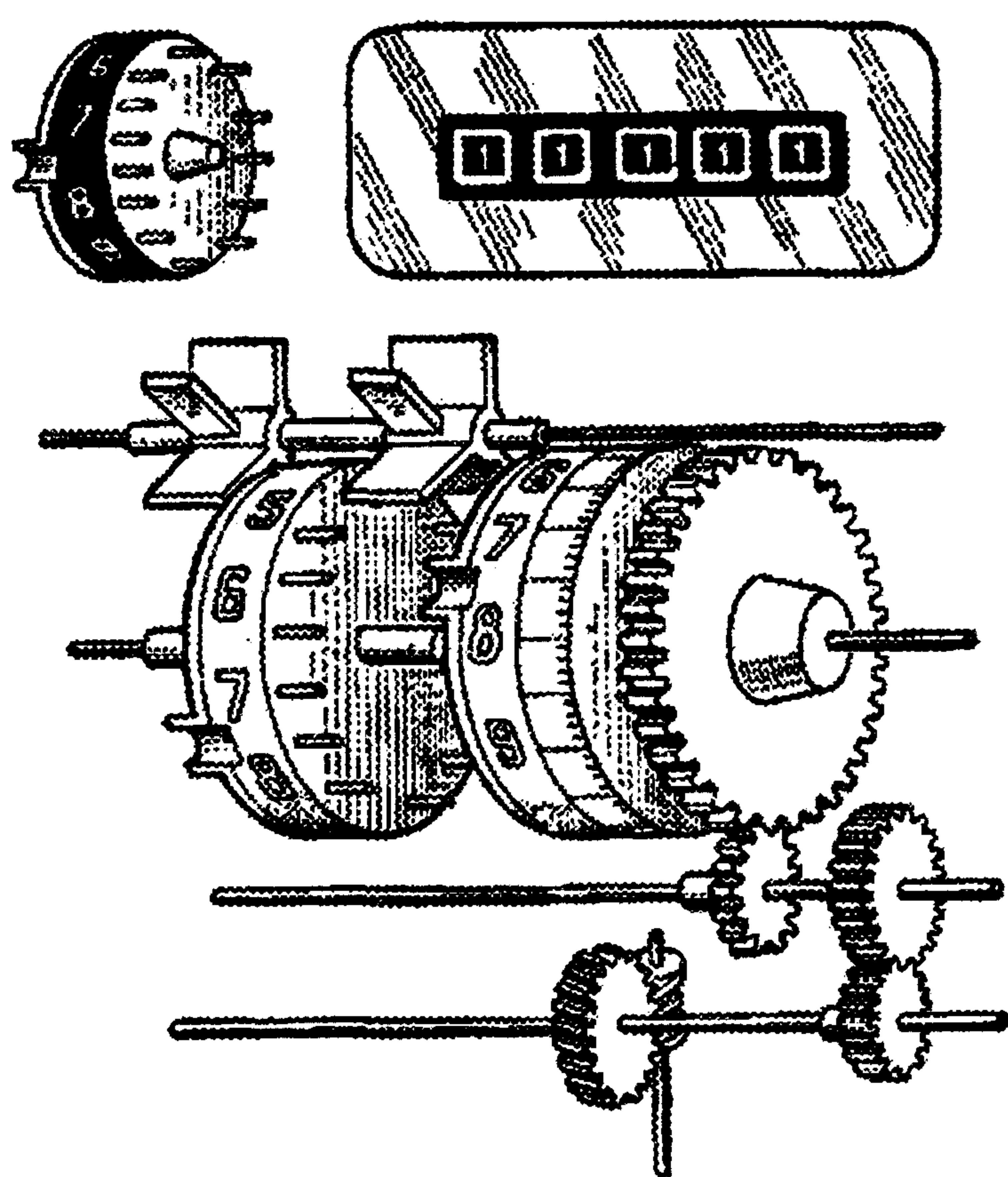


Рис. 2.2.4. Счетный механизм

Счетный механизм (рис. 2.2.4) представляет собой счетчик оборотов роликового типа, отградуированный в киловатт-часах (с десятичным множителем). Вращение диска через червячную пару и зубчатую передачу сообщается ролику с нанесенными цифрами. Когда ролик совершит полный оборот, то с помощью трубки, сидящей на оси, он передаст движение

следующему ролику, и тот продвинется на одну десятую оборота. Третий ролик сделает уже одну десятую оборота при полном обороте второго и т.д. Чаще всего роликовый счетный механизм имеет пять или шесть роликов.

Ролики прикрыты алюминиевым щитком с вырезанными цифровыми окошками. На щитке-табличке нанесены паспортные данные и заводской номер счетчика. Счетный механизм работает без смазки.

Кожух и крышка зажимной коробки имеют отверстия для установки пломбы. На наружной стороне крышки зажимной коробки обычно прикреплен съемный щиток для указания коэффициентов трансформации измерительных трансформаторов.

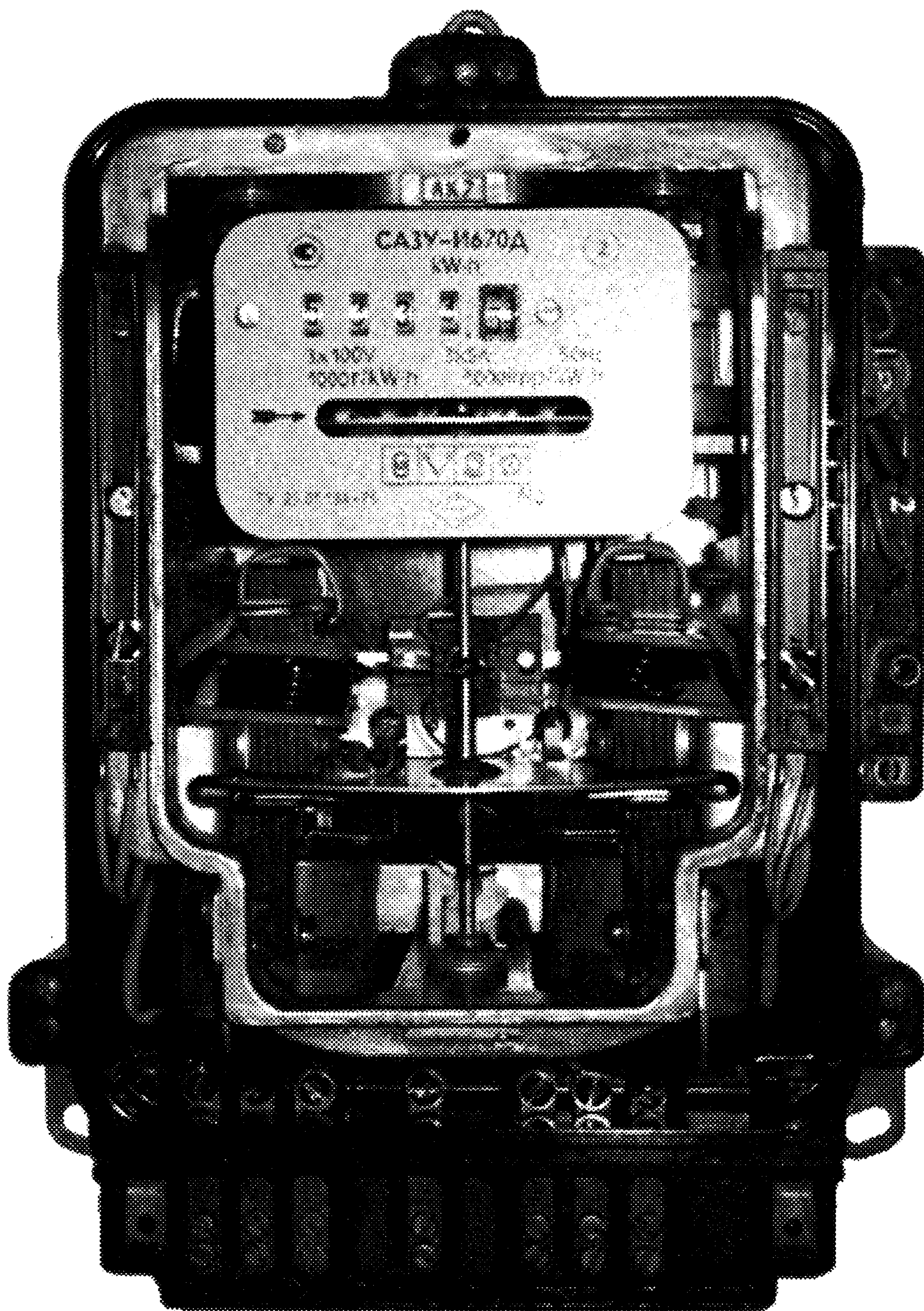


Рис. 2.2.5. Электросчетчик САЗУ-И670Д

### 2.2.2. Устройство и принцип работы счетчиков для измерения реактивной энергии

Реактивная мощность определяется выражением [7, С. 145—147]

$$Q = U I \sin \varphi. \quad (2.2.1)$$

Хотя эта мощность не характеризует передаваемой энергии за единицу времени, измерение реактивной мощности и энергии на практике необходимо, так как наличие реактивной энергии в линиях электропередачи в них вы-

зывает увеличение тока, следовательно, увеличение потерь и падения напряжения.

На практике большое значение имеет измерение реактивной мощности и энергии в цепях трехфазного тока.

Из нескольких разновидностей [17, С. 123–125] счетчиков реактивной энергии в настоящее время большее распространение получили счетчики с дополнительной последовательной обмоткой (дифференциальные), принципиальная схема которых показана на рисунке 2.2.6 а, а векторная диаграмма — на рисунке 2.2.6 б.

Такой счетчик (рис. 2.2.7), как и трехфазный счетчик активной энергии, является двухэлементным двухдисковым, с нормально выполненными обмотками напряжения

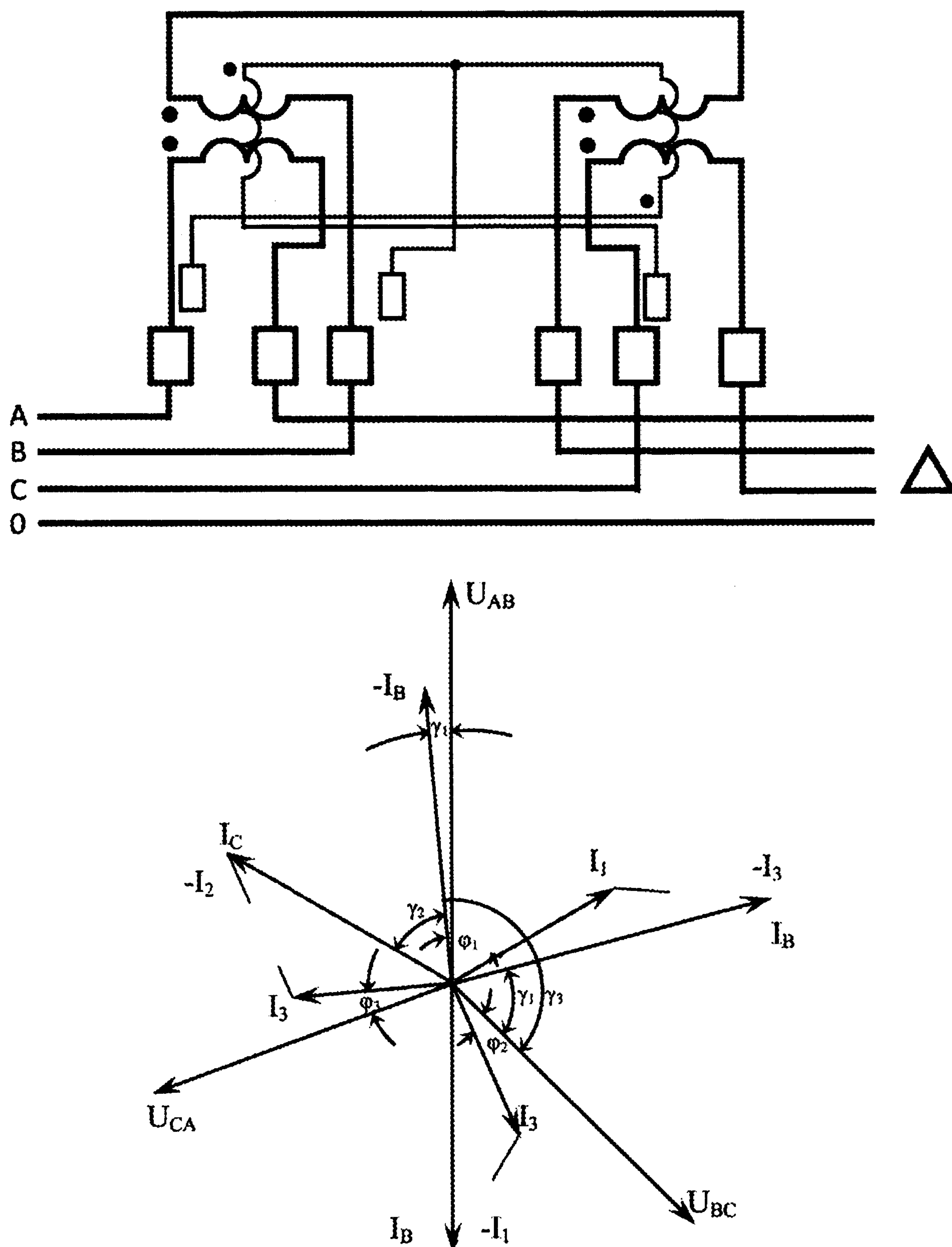


Рис. 2.2.6. Принципиальная схема и векторная диаграмма дифференциального счетчика реактивной электрической энергии

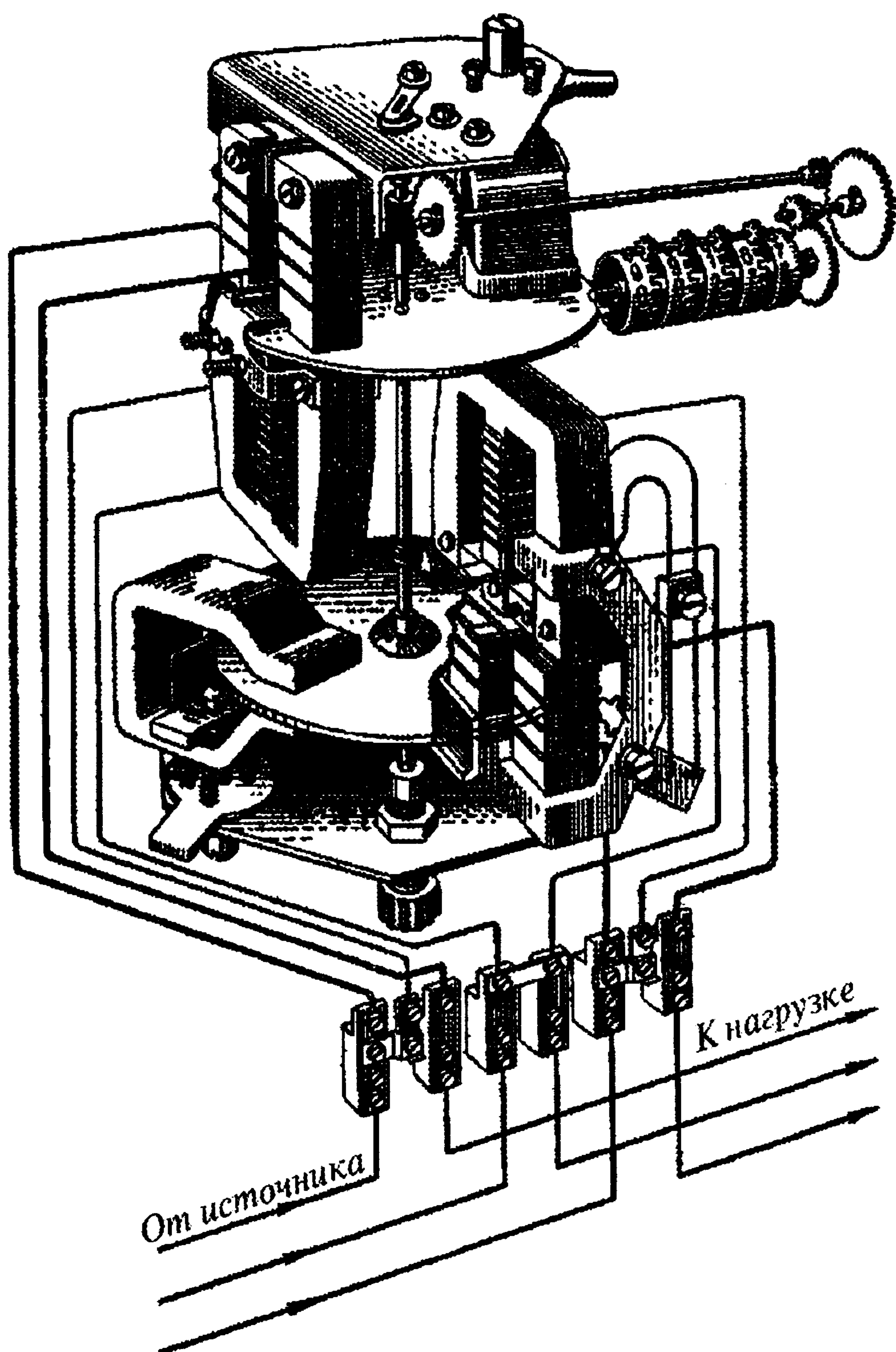


Рис. 2.2.7. Устройство и схема включения трехфазного счетчика электрической энергии

и дополнительной третьей последовательной обмоткой. Эта обмотка с удвоенным (по сравнению с основными токовыми обмотками) числом витков разделена на две равные части, помещенные на токовых магнитопроводах однофазных элементов. Обе половины последовательной обмотки включены встречно основным токовым обмоткам, и общий магнитный поток  $\Phi$  такого магнитопровода определяется геометрической разностью намагничивающих сил всех токовых обмоток.

Следовательно, результирующий вращающий момент, действующий на общую подвижную часть, можно рассматривать как сумму следующих вращающих моментов:

$$M_{вр} = M_A + M_C + M_a + M_c, \quad (2.2.2)$$

где  $M_A$  и  $M_C$  — вращающие моменты, создаваемые основными токовыми обмотками, включенными в фазы  $A$  и  $C$  и соответствующими обмотками напряжения;

$M_a$  и  $M_c$  — вращающие моменты, создаваемые половинками дополнительной токовой обмотки и соответствующими обмотками напряжения.

Вращающий момент индукционного прибора пропорционален произведению напряжения на ток и косинус угла между ними.

Полагая линейные напряжения симметричными, т.е.

$$U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = \sqrt{3}U_\phi, \quad (2.2.3)$$

можно выразить результирующий вращающий момент, действующий на общую подвижную часть, как сумму отдельных моментов:

$$M_{\text{вр}} = K_{\text{вр}} \sqrt{3} (U_\phi I_A \sin \varphi_1 + U_\phi I_B \sin \varphi_2 + U_\phi I_C \sin \varphi_3). \quad (2.2.4)$$

Из этого выражения видно, что при симметричности линейных напряжений такой счетчик будет давать показания, пропорциональные реактивной энергии при любой нагрузке (равномерной или неравномерной) фаз.

В соответствии с ГОСТ 6570-96 счетчики реактивной энергии разделяют на классы точности —2.0 и 3.0, определяемые по допустимой относительной погрешности.

Трехфазные счетчики реактивной энергии могут изготавливаться из таких же элементов, что и активные, но включенных по специальным схемам.

Одним из типов таких счетчиков является двухэлементный счетчик с 60-градусным сдвигом. Угол между напряжением  $U$  и рабочим потоком  $\Phi_y$  равен  $60^\circ + \alpha_1$ . Изменение величины угла  $\beta$  достигается включением в параллельную цепь каждого элемента добавочного активного сопротивления  $r_d$ . Если элементы счетчика включить так, как это указано на схеме рисунка 2.2.8, то получим:

$$M_{\text{вр}} = M_{\text{вр1}} + M_{\text{вр2}}, \quad (2.2.5)$$

где  $M_{\text{вр}}$  — вращающий момент счетчика;

$M_{\text{вр1}}$  — вращающий момент первого элемента;

$M_{\text{вр2}}$  — вращающий момент второго элемента.

Получим:

$$M_{\text{вр}} = k_{\text{вр}} U_{\text{л}} I_{\text{л}} [\sin(150^\circ - \varphi) + \sin(210^\circ - \varphi)] = k_{\text{вр}} \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \sin \varphi. \quad (2.2.6)$$

Из последнего выражения видно, что вращающий момент такого счетчика прямо пропорционален реактивной мощности.

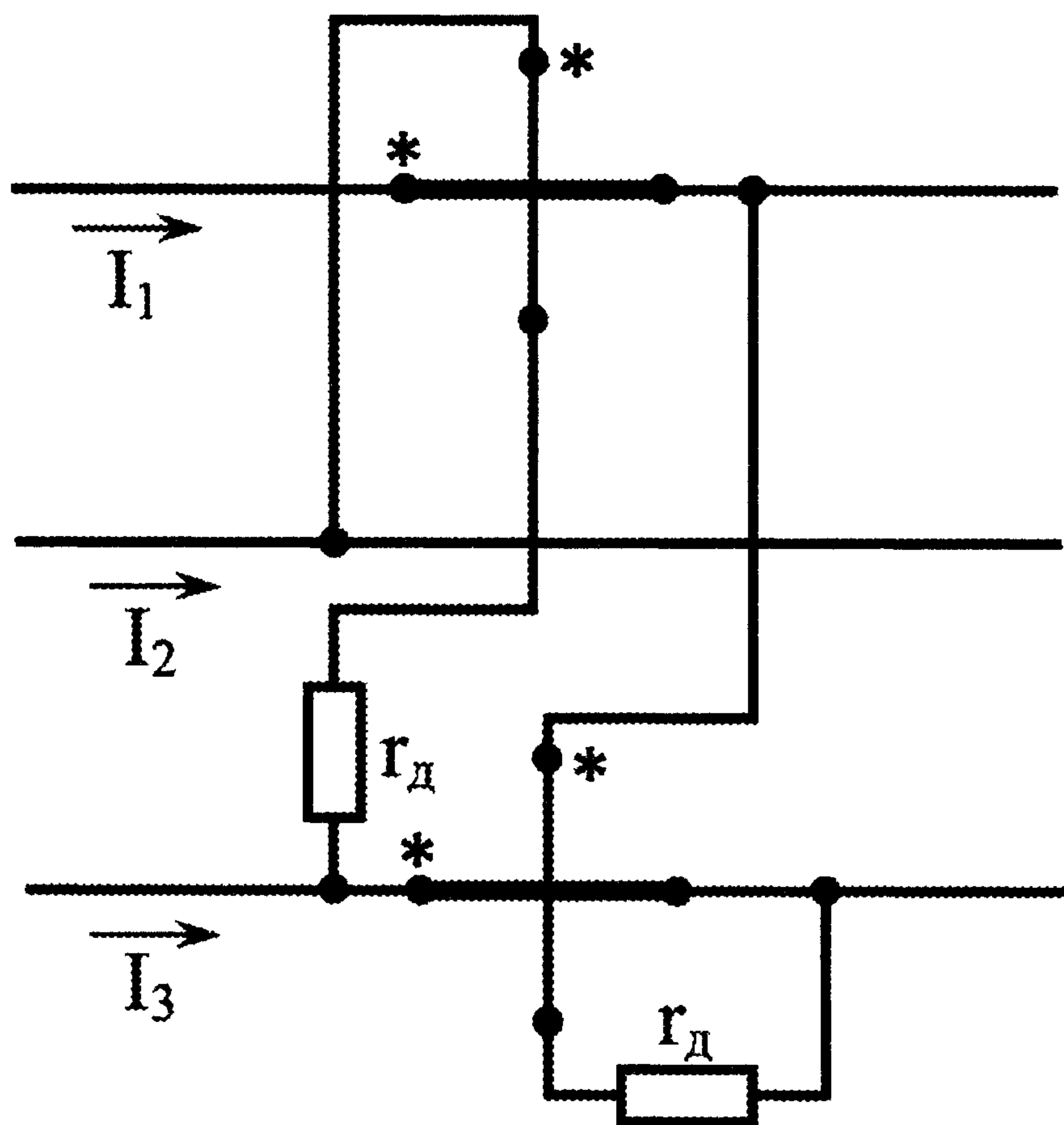


Рис. 2.2.8. Схема счетчика реактивной энергии

Эти счетчики пригодны для измерения реактивной мощности в трехфазных трехпроводных сетях при полной симметрии и при простой асимметрии. Промышленность выпускает счетчики такого типа, например, СРЗ-ИТР.

### Контрольные вопросы

1. Устройство и принцип действия трехфазного индукционного счетчика активной энергии.
2. Назначение тормозного магнита.
3. Устройство и принцип действия трехфазного индукционного счетчика реактивной энергии.
4. Для чего нужен противосамоходный флажок?

### **2.2.3. Типы трехфазных индукционных счетчиков активной и реактивной энергии, выпускаемых промышленностью**

К каждому счетчику электрической энергии, выпускаемому промышленностью, прилагается технический паспорт, в котором указываются технические данные и инструкции по эксплуатации. Типы трехфазных индукционных счетчиков и их технические характеристики рассмотрим на примере паспорта ОПТ.468.015 ПС к трехфазным счетчикам, выпускаемых ОАО «ЛЭМЗ» [10].

#### **1. НАЗНАЧЕНИЕ**

1.1. Счетчики электрической энергии трехфазные индукционные ИП (в дальнейшем – счетчики) активной энергии выполнены по ГОСТ Р 52321-2005, реактивной энергии – по ГОСТ 6570-96, ТУ 4228-031-05784851-2005 (в дальнейшем – ТУ), предназначены для учета активной или реактивной энергии переменного тока номинальной частотой 50 Гц, для работы в закрытом помещении в диапазоне температур от минус 20 °С до плюс 55 °С и относительной влажности воздуха не более 80% при температуре 25 °С.

1.2. Счетчики внесены в Государственный реестр средств измерений под № 29382-05 и имеют сертификат об утверждении типа RU.C.34.001.A № 20859, выданный Федеральным Агентством по Техническому Регулированию и Метрологии.

1.3. Счетчики имеют сертификат соответствия требованиям безопасности № РОСС.RU.ME48.B01842, выданный органом по сертификации приборостроительной продукции ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.11ME48).

#### **2. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ**

2.1. Варианты исполнения, включения, значения номинальных (базовых) и максимальных токов, номинальных напряжений, передаточные числа импульсного (телеметрического) выхода счетчиков указаны в таблицах 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Счетчики активной энергии

| Вариант исполнения | Включение                                                               | Номинальный (базовый) – максимальный ток, А                     | Номинальное напряжение, В | Передаточное число импульсного выхода счетчика, имп/кВт·ч |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|
| ИП СА3-И670М       | Непосредственное, в трехпроводную сеть                                  | 5-10; 10-20                                                     | 380                       | -                                                         |
| ИПСА3-И677         |                                                                         | 20-50;30-75; 50-100                                             |                           |                                                           |
| ИП СА3-И670Д       |                                                                         | 5-10; 10-20                                                     |                           | 900                                                       |
| ИП СА3У-И670М      | Через любые трансформаторы тока и (или) напряжения в трехпроводную сеть | 1-1,25; 5-6,25                                                  | 100; 380*                 | -                                                         |
| ИП СА3У-И670Д      |                                                                         | 1-1,25                                                          | 100                       | 8000                                                      |
|                    |                                                                         |                                                                 | 380*                      | 2250                                                      |
|                    |                                                                         |                                                                 | 5-6,25                    | 100; 380*                                                 |
| ИП СА4-И672М       | Непосредственное в четырехпроводную сеть                                | 5-10; 10-20                                                     | 220/380                   | -                                                         |
| ИП СА4-И678        |                                                                         | 10-40;10-60; 10-80; 10-100; 20-50; 20-80; 20-100; 30-75; 50-100 |                           |                                                           |
|                    |                                                                         | 5-10; 10-20                                                     |                           |                                                           |
|                    |                                                                         | 10-40;10-60; 10-80                                              |                           |                                                           |
|                    |                                                                         | 20-50; 20-80; 20-100; 30-75; 50-100                             |                           |                                                           |
| ИП СА4-И672Д       |                                                                         |                                                                 | 900                       |                                                           |
|                    |                                                                         |                                                                 | 150                       |                                                           |
|                    |                                                                         |                                                                 |                           | 100                                                       |

Продолжение таблицы 3.1

| Вариант исполнения                                               | Включение                                               | Номинальный (базовый) – максимальный ток, А | Номинальное напряжение, В | Передаточное число импульсного выхода счетчика, имп/кВт·ч |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------|
| ИП СА4У-И672М                                                    | Через любые трансформаторы тока в четырехпроводную сеть | 1-1,25; 5-6,25                              | 220/380                   | -                                                         |
| ИП СА4У-И672Д                                                    |                                                         |                                             |                           | 1000                                                      |
| * Для счетчиков с непосредственным включением по цепи напряжения |                                                         |                                             |                           |                                                           |

Таблица 3.2

Счетчики реактивной энергии

| Вариант исполнения                                               | Включение                                                                               | Номинальный —<br>максимальный ток, А | Номинальное<br>напряжение, В | Передаточное число<br>импульсного выхода<br>счетчика имп/квар·ч |
|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ИП СР4-И673М                                                     | Непосредственное,<br>в трех- или<br>четырёхпроводную сеть                               | 5-10; 10-20                          | 380                          | -                                                               |
| ИП СР4-И673Д                                                     |                                                                                         |                                      |                              | 900                                                             |
| ИП СР4-И679                                                      |                                                                                         | 20-50; 30-75; 50-100                 |                              | -                                                               |
| ИП СР4У-И673М                                                    | Через любые<br>трансформаторы<br>тока и напряжения в трех-<br>или четырёхпроводную сеть | 1-1,25; 5-6,25                       | 100; 380                     | -                                                               |
| ИП СР4У-И673Д                                                    |                                                                                         | 5-6,25                               | 100; 380*                    | 1000                                                            |
|                                                                  |                                                                                         | 1-1,25; 5-6,25                       | 100                          | 8000                                                            |
|                                                                  |                                                                                         |                                      | 380*                         | 2250                                                            |
| * Для счетчиков с непосредственным включением по цепи напряжения |                                                                                         |                                      |                              |                                                                 |

2.2. Конструкция счетчика обеспечивает защиту от проникновения воды и пыли и удовлетворяет степени защиты IP51 по ГОСТ Р 52320-2005.

2.3. По точности учета электроэнергии счетчики соответствуют классу точности 2, кроме счетчиков непосредственного включения реактивной энергии, которые соответствуют классу точности 3.

2.4. Полная потребляемая мощность в каждой цепи напряжения счетчика при номинальном напряжении и номинальной частоте, в зависимости от варианта исполнения счетчика, находится в пределах от 5,0 до 6,0 В • А, активная — от 1,5 до 2,0 Вт.

2.5. Полная мощность, потребляемая каждой цепью тока счетчика при номинальном (базовом) токе и номинальной частоте для счетчиков с максимальным током менее 30 А, в зависимости от варианта исполнения, находится в пределах от 0,6 до 1,0 В • А (для счетчиков активной энергии с двумя вращающимися элементами — не превышает 1,0 В • А), а с максимальным током 30 А и более — не превышает 2,5 В • А.

2.6. Самоход отсутствует при любом напряжении от 80% до 110% номинального значения при отсутствии тока в цепи тока.

2.7. Чувствительность — 0,5% и 1,0% номинального (базового) тока для классов точности 2 и 3 соответственно.

2.8. Допускаемая основная погрешность нормируется в диапазоне от 5% и 10% номинального (базового) тока до максимального для счетчиков активной и реактивной энергии соответственно.

2.9. Габаритные размеры счетчика с крышкой зажимов (высота, ширина, глубина), не более:

- на номинальные (базовые) токи 1; 5; 10 А — 282x173x127 мм; с импульсным выходом — 284x178x129 мм;

- на номинальные (базовые) токи 10 А (с максимальными токами 60; 80; 100 А); 20; 30; 50 А — 294x173x127 мм; с импульсным выходом — 296x178x129 мм. Установочные размеры счетчика, мм: 155 — по горизонтали; 214 — по вертикали.

2.10. Масса счетчиков, кг, не более:

- 2,7 — для счетчиков трехпроводных на номинальные (базовые) токи 1; 5; 10 А;
- 3,1 — для счетчиков трехпроводных на базовые токи 20; 30; 50 А и трехпроводных на номинальные (базовые) токи 1; 5; 10 А с импульсным выходом;
- 3,2 — для счетчиков четырехпроводных активной энергии и трех-четырехпроводных реактивной энергии на номинальные (базовые) токи 1; 5; 10 А;
- 3,5 — для счетчиков четырехпроводных активной энергии и трех-четырехпроводных реактивной энергии на номинальные (базовые) токи 1; 5; 10 А с импульсным выходом;
- 3,9 — для счетчиков четырехпроводных активной энергии и трех-четырехпроводных реактивной энергии, в том числе с импульсным выходом на базовые токи 10 А (с максимальными токами 60; 80; 100 А); 20; 30; 50 А.

2.11. Счетчики непосредственного включения выдерживают импульс тока, пиковое значение которого в 50 раз больше максимального тока и который сохраняет значение, в 25 раз превышающее максимальный ток, в течение 1 мс.

Счетчики, предназначенные для подключения к трансформатору тока, выдерживают в течение 0,5 с воздействие 20-кратного максимального тока.

2.12. В зависимости от варианта исполнения счетчиков расход энергии учитывается:

- в целых киловатт-часах (киловар-часах) по цифрам на барабанах в окнах щитка счетного механизма, расположенных слева от запятой. Цифры в окнах, расположенных справа от запятой и окаймленных иным цветом, показывают доли киловатт-часа (киловар-часа);
- в целых киловатт-часах (киловар-часах) по всем окнам при отсутствии окаймленных окон и запятой на щитке счетного механизма.

Расход энергии счетчиков ИП СА3-И677, ИП СА4-И678, ИП СР4-И679 на токи 10—40; 10—60; 10—80; 10—100; 20—50; 20—80; 20—100; 30—75; 50—100 А учитывается в киловатт-часах (киловар-часах) по шести цифрам барабанов в окнах щитка счетного механизма.

Для трансформаторных универсальных счетчиков показания счетного механизма умножаются на коэффициент  $K$ , наносимый на добавочном щитке.

Обозначение единиц измерения энергии ( $\text{kW} \cdot \text{h}$  или  $\text{kvar} \cdot \text{h}$ ) указано на щитке счетчика около ряда барабанов.

2.13. Счетчики реактивной энергии изготавливаются со стопором обратного хода, не допускающим вращение диска справа налево (обозначение стопора нанесено на щитке счетчика). Счетчики активной энергии изготавливаются со стопором обратного хода и без него.

2.14. Параметры импульсного выхода счетчиков:

- ток импульса не менее 10 мА;
- ток покоя не более 1,0 мА;
- длительность импульса не менее 30 мс;
- абсолютная погрешность дискретности преобразования не более 1 импульса;
- омическое сопротивление линии связи на 1 км не более 190 Ом;
- длина линии связи не более 3 км;
- емкость линии связи на 1 км не более 0,1 мкФ;
- напряжение источника питания постоянного тока  $(12,0 \pm 1,2)$  В;
- суммарное сопротивление линии связи, балластного резистора ( $R_6$ ) и приемника сигналов  $(950 \pm 50)$  Ом;
- мощность, потребляемая цепями импульсного выхода (без учета линии связи) от источника питания, при токе покоя не более 0,015 Вт.

Примечание. По требованию заказчика и по согласованию с поставщиком допускаются напряжения источника питания  $(5 \pm 0,5)$  и  $(24 \pm 2,4)$  В, при этом суммарное сопротивление линии связи, балластного резистора ( $R_6$ ) и приемника сигналов составляет  $(430 \pm 22)$  и  $(2200 \pm 110)$  Ом соответственно.

2.15. Сведения о содержании драгоценных и цветных металлов.

2.15.1. Счетчик драгоценных металлов не содержит.

2.15.2. Сведения о содержании цветных металлов указаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Сведения о содержании цветных металлов

| Вариант исполнения                                                  | Ток номинальный<br>(базовый) –<br>максимальный, А | Алюминий и алюминиевые<br>сплавы по классу «Г»<br>1–3 сортов ГОСТ 1639-93, кг | Медь и сплавы на медной основе<br>по классу «Г» ГОСТ 1639-93, кг |
|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ИП СА3-И670М                                                        | 5-10<br>10-20                                     | 0,3072                                                                        | 0,4350                                                           |
| ИП СА4-И672М;<br>ИП СР4-И673М;<br>ИП СР4У-И673М;                    |                                                   |                                                                               | 0,4810                                                           |
| ИП СА3-И 670Д                                                       |                                                   |                                                                               | 0,4630                                                           |
| ИП СА4-И672Д;<br>ИП СР4-И673Д;<br>ИП СР4У-И673Д                     |                                                   |                                                                               | 0,5090                                                           |
| ИП СА3У-И670М;<br>ИП СА3У-И670Д;<br>ИП СА4У-И672М;<br>ИП СА4У-И672Д | 1-1,25                                            | 0,3086                                                                        | 0,4350                                                           |
|                                                                     | 5-6,25                                            |                                                                               | 0,4810                                                           |
|                                                                     | 20-50                                             |                                                                               | 0,6407                                                           |
|                                                                     | 30-75                                             |                                                                               | 0,6734                                                           |
| ИП СА3-И 677                                                        | 50-100                                            | 0,3086                                                                        | 0,7074                                                           |
|                                                                     |                                                   |                                                                               |                                                                  |

|                                              |                                        |        |        |
|----------------------------------------------|----------------------------------------|--------|--------|
| ИП СА4-И672Д;<br>ИП СА4-И678;<br>ИП СР4-И679 | 10-40                                  | 0,3093 | 0,8090 |
|                                              | 10-60;<br>20-50                        |        | 0,7900 |
|                                              | 10-80;<br>10-100;<br>20-100;<br>50-100 |        | 0,9510 |
|                                              | 20-80;<br>30-75                        |        | 0,8730 |
|                                              |                                        |        |        |

### 3. КОМПЛЕКТНОСТЬ

3.1. В комплект поставки входят: счетчик, крышка зажимов (крышка), паспорт, коробка упаковочная.

3.2. По требованию энергосбытовых организаций, осуществляющих техническое обслуживание, ремонт и поверку счетчиков, предприятие-изготовитель предоставляет по отдельному договору:

- комплект документов по среднему ремонту ОПТ.469.001 ВРС;
- методику поверки ОПТ.415.034 ПМ для счетчиков с импульсным выходом.

### 4. РЕСУРСЫ, СРОКИ СЛУЖБЫ, ХРАНЕНИЯ, ГАРАНТИИ ИЗГОТОВИТЕЛЯ

4.1. Средняя наработка до отказа не менее 88000 ч.

4.2. Средний срок службы не менее 32 лет.

4.3. Транспортирование и хранение

4.3.1. Условия транспортирования счетчиков в транспортной таре предприятия-изготовителя должны соответствовать условиям хранения по ГОСТ 15150-69 с учетом требований ТУ 4228-031-05784851-2005. Предельные условия транспортирования: транспортная тряска с ускорением не более  $30 \text{ м/с}^2$  при частоте ударов от 80 до 120 в минуту, при температурах от минус  $50^\circ\text{C}$  до плюс  $50^\circ\text{C}$ , относительной влажности воздуха 98% при температуре  $35^\circ\text{C}$ .

4.3.2. Счетчики должны транспортировать в железнодорожных вагонах закрытого типа, автомобильным транспортом с защитой от дождя и снега, водным транспортом, а также в герметизированных отапливаемых отсеках самолетов, только при условии упаковки в индивидуальную (потребительскую) и транспортную тару.

Транспортирование счетчиков к месту ремонта (замены), без индивидуальной упаковки, допускается только при условии упаковки в транспортную тару, не более чем в 3 ряда по высоте, с обязательным применением прокладочных материалов после каждого ряда по высоте, с обязательным применением прокладочных материалов после

каждого ряда по глубине, ширине и периметру транспортной тары.

Транспортирование должно осуществляться в соответствии с ГОСТ 22261-94 и правилами перевозок, действующими на данные виды транспорта.

4.3.3. Счетчики до введения в эксплуатацию хранить на складах только в упаковке предприятия-изготовителя при температуре окружающего воздуха от 0 °С до плюс 40 °С и относительной влажности воздуха 80% при температуре 35 °С. При хранении в потребительской таре на полках или стеллажах счетчики должны быть уложены не более чем в 10 рядов по высоте с применением прокладочных материалов через 5 рядов и не ближе 0,5 м от отопительной системы.

4.3.4. Счетчики без индивидуальной упаковки (выведенные из эксплуатации, подлежащие ремонту или замене) хранить на полках или стеллажах, уложенными не более чем в 5 рядов по высоте, с применением прокладочных материалов после каждого ряда, не ближе 1,0 м от отопительной системы при температуре окружающего воздуха от плюс 10 °С до плюс 35 °С и относительной влажности воздуха 80% при температуре 25 °С.

4.3.5. В помещениях для хранения содержание пыли, паров кислот и щелочей, агрессивных газов и других вредных примесей, вызывающих коррозию, не должно превышать содержание коррозионно-активных агентов для атмосферы типа 1 по ГОСТ 15150-69: сернистый газ не более 2 мг/м<sup>2</sup> • сут. (не более 0,025 мг/м<sup>3</sup>); хлориды — менее 0,3 мг/м<sup>2</sup> • сут.

#### 4.4. Гарантии изготовителя

4.4.1. Счетчики производятся на предприятии-изготовителе ОАО «ЛЭМЗ».

4.4.2. Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие счетчиков требованиям ТУ, паспорта при соблюдении потребителем правил транспортирования, хранения, монтажа, эксплуатации, при условии сохранности пломб с оттиском поверительного клейма органов ФАТРМ.

4.4.3. Гарантийный срок эксплуатации счетчика — 24 месяца со дня продажи или ввода счетчика в эксплуатацию. Общий гарантийный срок, включая срок хранения и эксплуатации, — не более 30 месяцев с даты изготовления счетчика.

4.4.4. Гарантийные обязательства несет предприятие-изготовитель непосредственно и через сеть сервисных центров (организаций, проводящих гарантийное обслуживание), аккредитованных на данный вид работ предприятием-изготовителем. В течение гарантийного срока счетчик ремонтируется за счет предприятия-изготовителя.

4.4.5. Счетчики, у которых в течение гарантийного срока обнаружено несоответствие требованиям ТУ, подлежат возврату продавцу в комплекте, в соответствии с п. 3.1 настоящего паспорта, в индивидуальной упаковке, а при ее отсутствии — в соответствии с п. 4.3.2. Заключение о несоответствии счетчика ТУ, с обязательным занесением такой информации в гарантийный талон, может быть сделано только организацией, имеющей лицензию на право ремонта соответствующих средств измерений, с указанием должности, квалификации и Ф.И.О. лица, выдавшего такое заключение, заверенное печатью организации.

4.4.6. В гарантийный ремонт (к обслуживанию, замене) принимается счетчик без сколов, трещин, царапин, выбоин на корпусе счетчика и крышке зажимов, без следов грязи, краски и других включений на корпусе и крышке зажимов, без следов короткого замыкания на зажимной плате, только при наличии ненарушенной пломбы с оттиском поверительного клейма, с паспортом, в котором правильно и разборчиво заполнены разделы гарантийного талона.

4.4.7. Предприятие-изготовитель оставляет за собой право по каждому гарантийному случаю проверить выполнение требований настоящего паспорта, условий транспортировки, хранения, монтажа, эксплуатации и оформления соответствующей документации, без уведомления заявителя. При обнаружении фактов нарушения требований и условий паспорта, в том числе при предъявлении

счетчиков, не соответствующих п. 4.4.6, гарантийный ремонт и обслуживание производятся на договорной основе.

## 5. ЗАМЕТКИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

### 5.1. Общие указания

5.1.1. Монтаж, демонтаж, ремонт и поверку счетчика могут производить только специально уполномоченные лица (имеющие допуск к работе с электрооборудованием до 1000 В и квалификационную группу по электробезопасности не ниже III) организаций, имеющих соответствующие лицензии, с последующим пломбированием счетчика с оттиском поверительного клейма органов ФАТРМ.

Предприятие-изготовитель не принимает претензий по гарантийному обслуживанию, если выполнение данных работ производилось лицами, не имеющими необходимой квалификации и полномочий, что привело к неправильной работе или повреждению счетчика.

### 5.2. Порядок установки и подготовка к работе

5.2.1. Счетчики предназначены только для стационарного монтажа в закрытых, легкодоступных помещениях, не содержащих агрессивных паров и газов, с климатическими условиями в соответствии с п. 1.1 настоящего паспорта.

5.2.2. Монтировать счетчики необходимо на стенах или щитах, не подверженных вибрации. Рекомендуемая высота от пола от 1,4 до 1,7 м. Крепить счетчик тремя винтами (отклонение от вертикального положения не более 1°).

5.2.3. В помещениях, где возможны загрязнения и механические повреждения, монтаж счетчиков должен осуществляться в предохранительных шкафах. **ВНИМАНИЕ: ПОДКЛЮЧЕНИЕ И ОТКЛЮЧЕНИЕ СЧЕТЧИКА НЕОБХОДИМО ПРОИЗВОДИТЬ ТОЛЬКО ПРИ ОТКЛЮЧЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ СЕТИ! НЕПРАВИЛЬНОЕ ПОДКЛЮЧЕНИЕ СЧЕТЧИКА МОЖЕТ ПРИВЕСТИ К ЕГО ПОВРЕЖДЕНИЮ!**

5.2.4. Подключать счетчики необходимо в полном соответствии с их номинальными данными и разметкой обмоток, имеющейся как на крышке зажимов, так и на схеме,

расположенной на внутренней стороне зажимной платы, а также соблюдать задаваемую последовательность фаз.

5.2.5. При монтаже следует особо обеспечить надежный контакт подсоединяемых проводов и соединений между цепями тока и напряжения счетчика (на зажимной плате).

#### 5.2.6. Счетчики с импульсным выходом

5.2.6.1. К клеммам А-Б платы импульсного выхода, находящимся на цоколе счетчика снаружи, подсоединяется двухпроводная линия связи.

5.2.6.2. Контакты импульсного выхода закрываются крышкой зажимов. На внутренней стороне крышки зажимов имеется схема подключения к импульсному выходу счетчика приемника сигналов и источника питания.

5.2.6.3. Частота следования импульсов в информационной линии зависит от скорости вращения диска, т.е. от мощности электроэнергии, протекающей через счетчик.

5.2.6.4. Период следования импульсов  $T$ , с, не менее 0,95 с и определяется по формуле:

$$T = \frac{3600 \cdot 1000}{P_w \cdot B},$$

где  $P_w$  — мощность нагрузки, учитываемая счетчиком, Вт;

$B$  — передаточное число импульсного выхода, имп/кВт • ч (имп/квар • ч).

### 5.3. Порядок работы

5.3.1. Для трансформаторных универсальных счетчиков на добавочном щитке, прикрепленном к лицевой стороне крышки зажимов счетчика, при установке счетчика в эксплуатации наносят коэффициенты трансформации по току и (или) напряжению измерительных трансформаторов, в комплекте с которыми счетчик должен работать, а также наносится коэффициент  $K$ , равный произведению коэффициентов измерительных трансформаторов, на который нужно умножить показания счетного механизма, чтобы получить истинную учтенную счетчиком электроэнергию.

Нанесение коэффициентов и опломбирование крышки зажимов осуществляется организациями и лицами, имеющими на это полномочия.

5.3.2. На щитке счетчика непосредственного включения указаны базовый и максимальный токи счетчика, например: 10—40 А, где 10 А — базовый, а 40 А — максимальный токи счетчика; для трансформаторных универсальных счетчиков указан только номинальный ток.

5.3.3. Наличие показаний на счетном механизме является следствием регулировки и поверки счетчика на предприятии-изготовителе, а не свидетельством его эксплуатации.

#### 5.4. Меры безопасности при работе

5.4.1. Не допускать коротких замыканий в сети, перегрузок по току выше 200% номинального для трансформаторных универсальных счетчиков, а для счетчиков непосредственного включения — значений тока выше максимального, указанного на щитке. Нарушения ведут к появлению дополнительной погрешности, а значительные — к отказу счетчика.

5.4.2. Запрещается помещать на счетчик посторонние предметы, ударять и бросать счетчик.

5.4.3. При проведении поверки, монтажа и эксплуатации счетчика должны соблюдаться требования «Правил техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

***Типы трехфазных индукционных счетчиков активной и реактивной энергии, выпускаемых ЗАО «МЗЭП-КРЖИЖИК»:***

**Трехфазные индукционные электросчетчики серии СА45**  
***Изготовитель: ЗАО «МЗЭП-КРЖИЖИК».***

***Межповерочный интервал: 8 лет.***

***Гарантийный срок: 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.***

***Срок службы: не менее 30 лет.***

***Питание: трехфазная сеть трех-, четырехпроводной линии.***

**Параметры окружающей среды: температура воздуха от -30 до +50 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.**

***Основные технические характеристики***

|                              | <b>СА45-41</b> | <b>СА45-51</b> | <b>СА45-61</b> |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Класс точности               | 2,0            | 2,0            | 2,0            |
| Номинальное напряжение, В    | 3×220/380      | 3×220/380      | 3×220/380      |
| Номинальная частота, Гц      | 50             | 50             | 50             |
| Номинальный ток, А           | 10             | 10, 20         | 10, 20         |
| Максимальный ток, А          | 40             | 60, 120        | 60, 120        |
| Порог чувствительности, А    | 0,05           | 0,05           | 0,05           |
| Передаточное число, об/кВт·ч | 135            | 225            | 120            |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,5            | 1,5            | 1,5            |

***Основные и дополнительные функции***

Предназначены для учета потребления активной электроэнергии и трехфазной сети трех-, четырехпроводной линии промышленных предприятий и бытового сектора. Счетчики СА45-41, СА45-51, СА45-61 — непосредственного включения.

**Трехфазный индукционный электросчетчик СА45-У11**  
***Изготовитель: ЗАО «МЗЭП-КРЖИЖИК».***

***Межповерочный интервал: 8 лет.***

***Гарантийный срок: 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.***

***Срок службы: не менее 30 лет.***

***Питание: трехфазная сеть трех-, четырехпроводной линии.***

**Параметры окружающей среды: температура воздуха от -30 до +50 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.**

*Основные технические характеристики*

|                              | CA45-Y11            |
|------------------------------|---------------------|
| Класс точности               | 2,0                 |
| Номинальное напряжение, В    | 3×220/380, 3×58/100 |
| Номинальная частота, Гц      | 50                  |
| Номинальный ток, А           | 5                   |
| Максимальный ток, А          | 6                   |
| Порог чувствительности, А    | 0,05                |
| Передаточное число, об/кВт ч | 750                 |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,5                 |

*Основные и дополнительные функции*

Предназначен для учета потребления активной электроэнергии в трехфазной сети трех-, четырехпроводной линии промышленных предприятий и бытового сектора. Счетчик CA45-Y11 включается через трансформатор тока.

**Трехфазные индукционные электросчетчики серии ЕТ**

*Изготовитель:* ЗАО «МЗЭП-КРЖИЖИК».

*Межповерочный интервал:* 8 лет.

*Гарантийный срок:* 2 года со дня ввода счетчиков в эксплуатацию.

*Срок службы:* не менее 27 лет.

*Питание:* трехфазная сеть трех-, четырехпроводной линии.

*Параметры окружающей среды:* температура воздуха от -10 до +50 °С, относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.

*Основные технические характеристики*

|                              | ЕТ-414    | ЕТ-415    | ЕТ-416    | ЕТ-411    |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Класс точности               | 2,0       | 2,0       | 2,0       | 2,0       |
| Номинальное напряжение, В    | 3×220/380 | 3×220/380 | 3×220/380 | 3×220/380 |
| Номинальная частота, Гц      | 50        | 50        | 50        | 50        |
| Номинальный ток, А           | 10        | 10, 20    | 10, 20    | 5         |
| Максимальный ток, А          | 40        | 60, 120   | 60, 120   | 6         |
| Порог чувствительности, А    | 0,05      | 0,05      | 0,05      | 0,05      |
| Передаточное число, об/кВт ч | 135       | 225       | 120       | 750       |
| Ток перегрузки, А, 4 часа    | 48        | 72, 144   | 72, 144   | 7,2       |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1,5       | 1,5       | 5,5       | 1,5       |

### *Основные и дополнительные функции*

Предназначены для учета потребления активной электроэнергии в трехфазной сети трех-, четырехпроводной линии промышленных предприятий и бытового сектора. Счетчики ЕТ-414, ЕТ-415, ЕТ-416 — непосредственного включения, ЕТ-411 — через трансформатор тока.

### **Счетчик электрической энергии трехфазный индукционный СА4-И678**

*Изготовитель:* АООТ «Ленинградский электромеханический завод».

*Межповерочный интервал:* 6 лет.

*Гарантийный срок:* 24 месяца со дня ввода счетчика в эксплуатацию.

*Средний срок службы:* не менее 32 лет.

*Параметры окружающей среды:* температура воздуха от 0 до +40 °С (для тропического исполнения — от -10 до +45 °С), относительная влажность не более 80% при температуре 25 °С.

### *Основные технические характеристики*

По техническим характеристикам счетчик соответствует ГОСТу 6570-96 и ТУ 25.01.392-75.

|                                               |                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Класс точности                                | 2,0                                                                                                                                                        |
| Номинальное линейное напряжение $U_{ном}$ , В | 220, 380                                                                                                                                                   |
| Номинальный (максимальный ток), А:            |                                                                                                                                                            |
| • для непосредственного включения             | 5 (20), 10 (40), 20 (50), 30 (75), 50 (100)                                                                                                                |
| • для трансформаторного включения             | (1, 25), 5 (6, 25)                                                                                                                                         |
| Порог чувствительности, % от $I_{ном}$        | 0,5                                                                                                                                                        |
| Полная мощность, потребляемая каждой цепью:   |                                                                                                                                                            |
| • напряжения, В А                             | 6,0                                                                                                                                                        |
| • тока, В А                                   | 0,6                                                                                                                                                        |
| Масса, не более, кг                           | 3,2 (для счетчиков с $I_{ном} = 1 \text{ А}, 5 \text{ А}, 10 \text{ А}$ );<br>3,9 (для счетчиков с $I_{ном} = 20 \text{ А}, 30 \text{ А}, 50 \text{ А}$ ). |

### *Основные и дополнительные функции*

Счетчик предназначен для учета активной энергии в четырехпроводных сетях промышленных и жилищно-коммунальных объектов.

Счетчик имеет варианты исполнения для непосредственного включения в цепь нагрузки потребителя, а также через любые измерительные трансформаторы тока и напряжения, соответствующие по параметрам вторичной цепи номинальным значениям тока и напряжения счетчика, и может использоваться взамен счетчиков типа СА4-И672М и СА4У-И672М. При этом счетчик СА4-И678 имеет повышенную перегрузочную способность по току.

### *Маркировка щитков электронных счетчиков*

На каждом счетчике должна быть (при необходимости) следующая информация [14, С. 150–151]:

- название или фирменный знак изготовителя (если требуется, то и место изготовления);
- обозначение типа (если требуется, то и место установки знака приемочного испытания);
- число фаз и число проводов цепи, для которой предназначен счетчик (однофазная двухпроводная, трехфазная трехпроводная, трехфазная четырехпроводная). Данная маркировка может быть заменена графическими обозначениями, приведенными в ГОСТ;
- заводской номер и год изготовления. Если заводской номер указан на щитке, прикрепленном к кожуху, то он должен быть указан также на цоколе счетчика;
- номинальное напряжение по одной из следующих форм:
  - число элементов, если их больше одного, и напряжение на зажимах цепи(ей) напряжения счетчика;
  - номинальное напряжение сети или вторичное напряжение трансформатора напряжения, к которому присоединяется счетчик (примеры маркировки приведены в табл. 3.4);
  - для счетчиков непосредственного включения номинальный и максимальный токи, выраженные, например,

## Маркировка напряжения

| Счетчик                                                                                    | Напряжение на зажимах цепи(ей) напряжения, В | Номинальное напряжение сети, В |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------|
| Для работы в однофазной двухпроводной цепи на 120 В                                        | 120                                          | 120                            |
| Для работы в однофазной трехпроводной цепи на 120 В (120 В по отношению к средней точке)   | 240                                          | 240                            |
| Двухэлементный счетчик для работы в трехфазной трехпроводной цепи (230 В между фазами)     | 2×230                                        | 3×230                          |
| Трехэлементный счетчик для работы в трехфазной четырехпроводной цепи (230 В фаза-нейтраль) | 3×230/400                                    | 3×230/400                      |

таким образом: 5060 А или 5 (60) А для счетчиков с номинальным током 5 А и максимальным током 60 А;

- для трансформаторных счетчиков номинальный вторичный ток трансформатора(ов), к которому(ым) счетчик может быть подключен, например, /5 А. Номинальный и максимальный токи счетчика могут быть включены в обозначение типа;

- номинальная частота в герцах;
- постоянная счетчика, например... х (Втч)/имп или имп/(кВтч);
- обозначение класса точности счетчика;
- нормальная температура, если она отличается от 23 °С;
- знак двойного квадрата для счетчиков класса защиты II в изолирующем корпусе.

Если счетчик специального типа (например, в случае многотарифного счетчика, если напряжение переключающего устройства отличается от номинального напряжения), то это должно быть указано на щитке или на отдельной табличке.

Если счетчик, учитывающий энергию, включен через измерительные трансформаторы, коэффициенты транс-

формации которых учтены постоянной счетчика, то коэффициенты трансформации должны быть также отмаркированы.

Допускается также использовать стандартные выражения по ГОСТ 25372-95 «Условные обозначения для счетчиков электрической энергии переменного тока».

На съемных щитках универсальных трансформаторных счетчиков должны быть нанесены надписи: «№»; «Тр-р тока»; «Тр-р напряжения»; «К...» (множитель трансформаторов, равный произведению коэффициентов трансформации).

## **Тема 2.3. Измерительные трансформаторы в цепях учета электрической энергии**

### **2.3.1. Назначение, типы, технические характеристики, конструкция, технические параметры трансформаторов тока и напряжения. Требования ПУЭ к измерительным трансформаторам при подключении расчетных счетчиков и счетчиков технического учета**

Для расширения пределов измерения счетчиков в сетях переменного тока применяются измерительные трансформаторы, которые позволяют при различных напряжениях и токах пользоваться счетчиками со стандартным пределом измерения 100 В и 5 А независимо от напряжения и тока той цепи, называемой первичной, в которой производятся измерение и учет электроэнергии [19, С. 7–10].

Применение измерительных трансформаторов обеспечивает безопасные условия для обслуживающего персонала, отделяя цепи приборов от высокого напряжения. Для включения последовательных (токовых) обмоток приборов применяются измерительные трансформаторы тока, для включения параллельных обмоток приборов — измерительные трансформаторы напряжения.

*Трансформаторы тока* выпускаются только в однофазном исполнении. Первичная обмотка трансформатора тока включается в электрическую цепь последовательно,

во вторичную обмотку его также последовательно включаются токовые катушки счетчиков и др. приборов; через них проходит ток, пропорциональный току в первичной цепи (рис. 2.3.1).

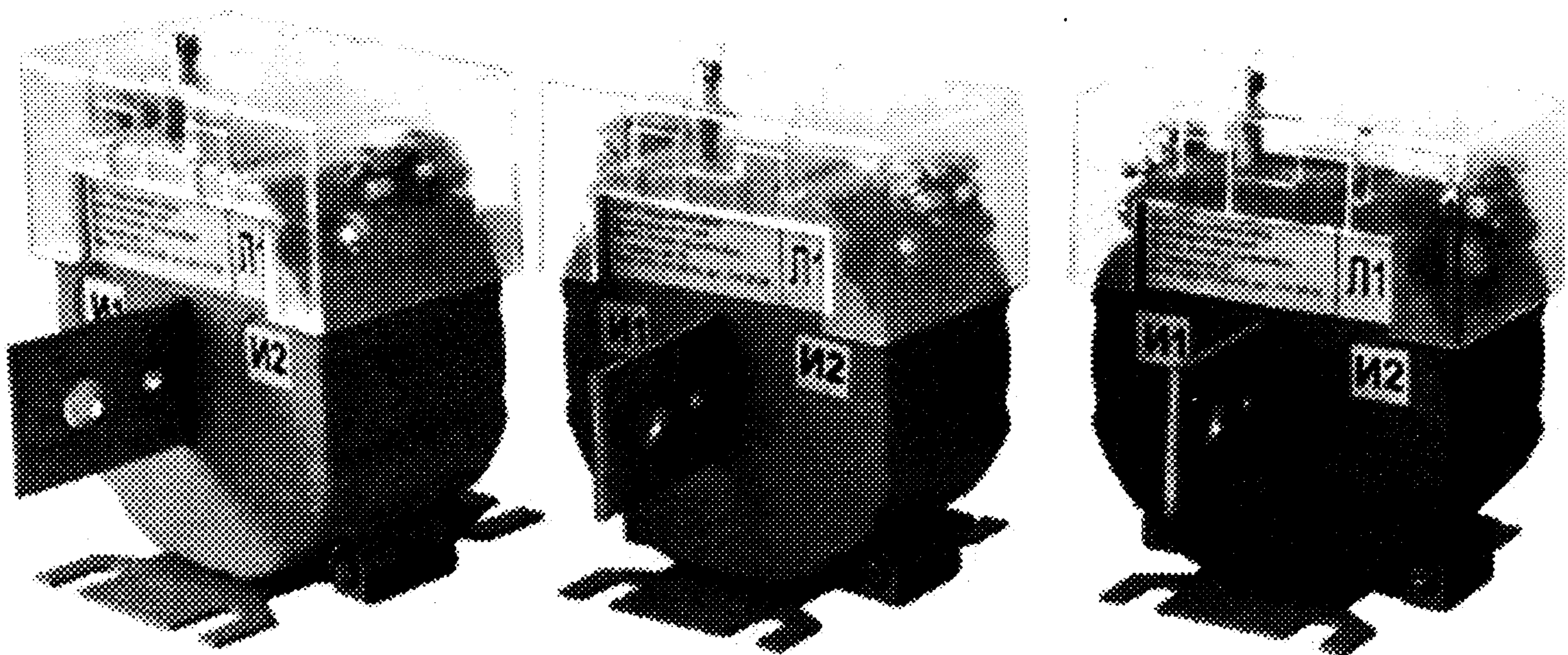


Рис. 2.3.1. Трансформаторы тока

У трансформаторов тока (рис. 2.3.2) начало и конец первичной обмотки обозначаются индексами Л1 и Л2 (линия), а начало и конец вторичной обмотки — соответственно И1 и И2 (измерение). Зажимы Л1 и И1 однополярны. Это значит, что направление тока во внешней цепи, подключенной к зажимам И1 и И2, совпадает с направлением тока в первичной цепи Л1—Л2. Так, если зажим Л1 является генераторным, то генераторным будет и зажим И1. Маркировка зажимов предусматривает такое направление

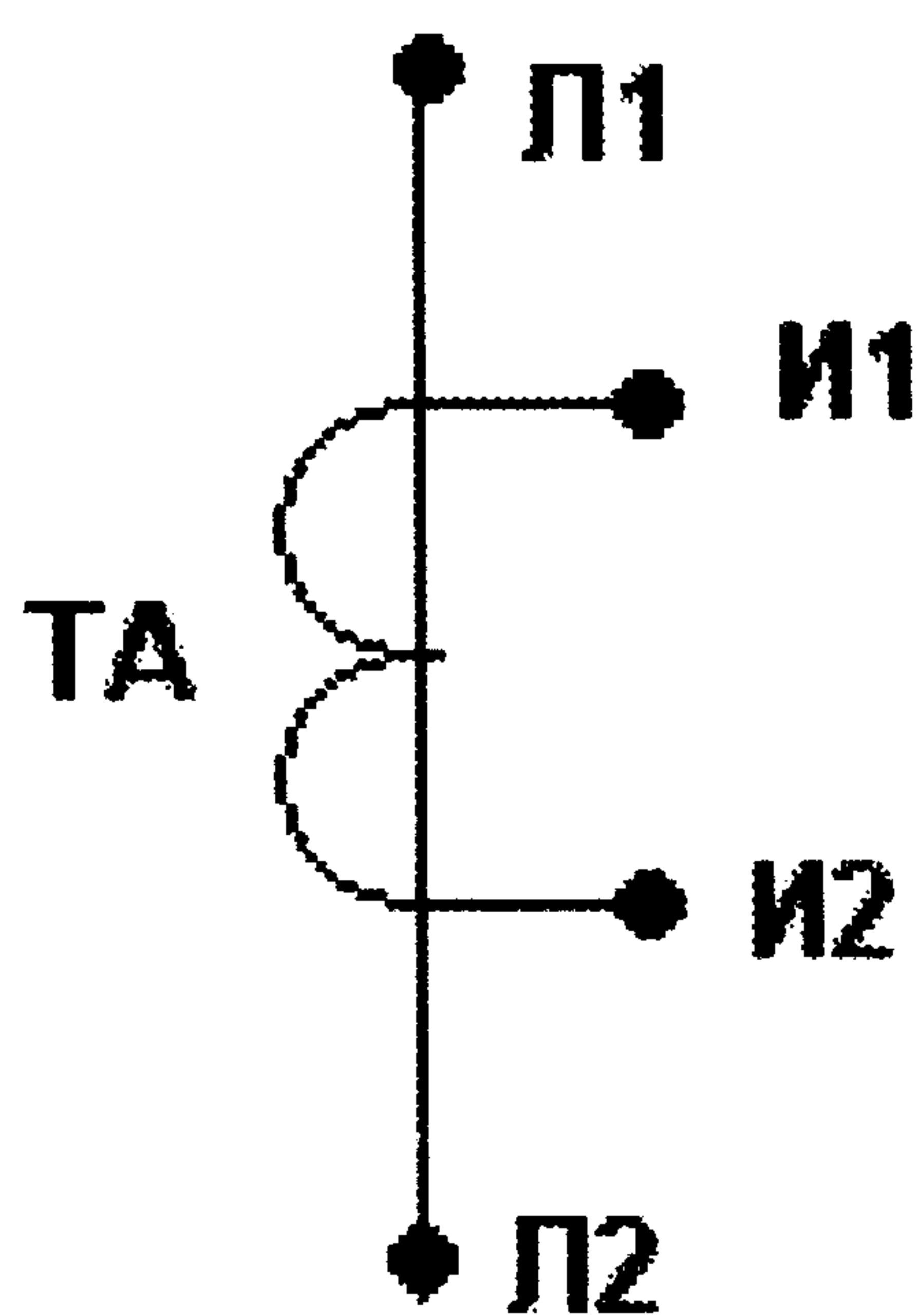


Рис. 2.3.2.  
Условное  
обозначение  
трансформатора тока

вторичного тока в подключенных катушках приборов, которое имело бы место при включении этих приборов непосредственно в цепь первичного тока. Это необходимо для правильной работы счетчиков. В распределительных устройствах принято устанавливать трансформаторы тока зажимом Л1 в сторону сборных шин. Тогда зажим И1 является генераторным при положительном направлении мощности.

На паспортной табличке трансформатора тока указывается его коэффициент трансформации в виде от-

ношения номинальных первичного и вторичного токов, например 100/5 А. Трансформаторы тока выпускаются с коэффициентом трансформации: 10/5, 15/5, 20/5, 30/5, 40/5, 50/5, 60/5, 75/5, 100/5 и др. до 15 000/5. Номинальный вторичный ток трансформаторов тока обычно равен 5 А. В некоторых случаях для электроустановок 110 кВ и выше изготавливают трансформаторы тока с номинальным током вторичной обмотки 1 А. Номинальный ток счетчика должен соответствовать номинальному току вторичной обмотки трансформатора тока.

При включенной первичной обмотке вторичная обмотка должна быть обязательно замкнута на токовую обмотку прибора или закорочена. В противном случае во вторичной цепи возникает большая электродвижущая сила (1000–1500 В), опасная для жизни людей и изоляции вторичной обмотки. Вторичные обмотки трансформаторов тока при косвенном и полукосвенном включении счетчиков (с отдельным присоединением цепей напряжения) должны заземляться.

На трансформаторе тока указывается класс точности: 0,2; 0,5; 1,0 или 3,0.

На каждом трансформаторе тока указывается и номинальная нагрузка в Омах или вольт-амперах (ВА).

*Трансформаторы напряжения* [19, С. 7–10] по своему устройству принципиально ничем не отличаются от силовых трансформаторов, но мощность их не превышает 2 кВА. Их первичная обмотка с большим количеством витков подключается к измеряемому напряжению; к вторичной обмотке — обмотке низшего напряжения — подключаются параллельные цепи соответствующих измерительных приборов или счетчика.

Номинальный коэффициент трансформации указывается на щитке трансформатора в виде дроби, где в числителе стоит первичное номинальное напряжение, а в знаменателе — номинальное вторичное напряжение, которое у трансформаторов напряжения, применяемых со счетчиками, имеет одно и то же стандартное значение — 100 В.

Для включения электрических счетчиков применяются трансформаторы напряжения класса точности 0,5.

По исполнению трансформаторы напряжения могут быть трехфазными и однофазными, до 3 кВ они выполняются с сухим (воздушным) охлаждением, свыше 6 кВ — с масляным охлаждением.

Принятые обозначения выводов [6, С. 24–33] трехфазного трансформатора напряжения для стороны высокого напряжения —  $A, B, C, 0$  и для стороны низкого напряжения — соответственно  $a, b, c, 0$ . Трансформатор имеет нулевую группу соединения, т.е. одноименные векторы первичных и вторичных напряжений совпадают (если пренебречь погрешностью).

На рисунке 2.3.3 два однофазных трансформатора напряжения соединены по так называемой схеме открытого треугольника (не следует путать с разомкнутым треугольником!). Эта схема обеспечивает симметричные трехфазные напряжения  $U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}$ , поэтому она предназначена для питания приборов и реле, включенных на междупазное напряжение.

Вторичные обмотки трансформаторов напряжения подлежат заземлению. У трехфазных трансформаторов напряжения заземляется либо нулевая точка, либо вывод

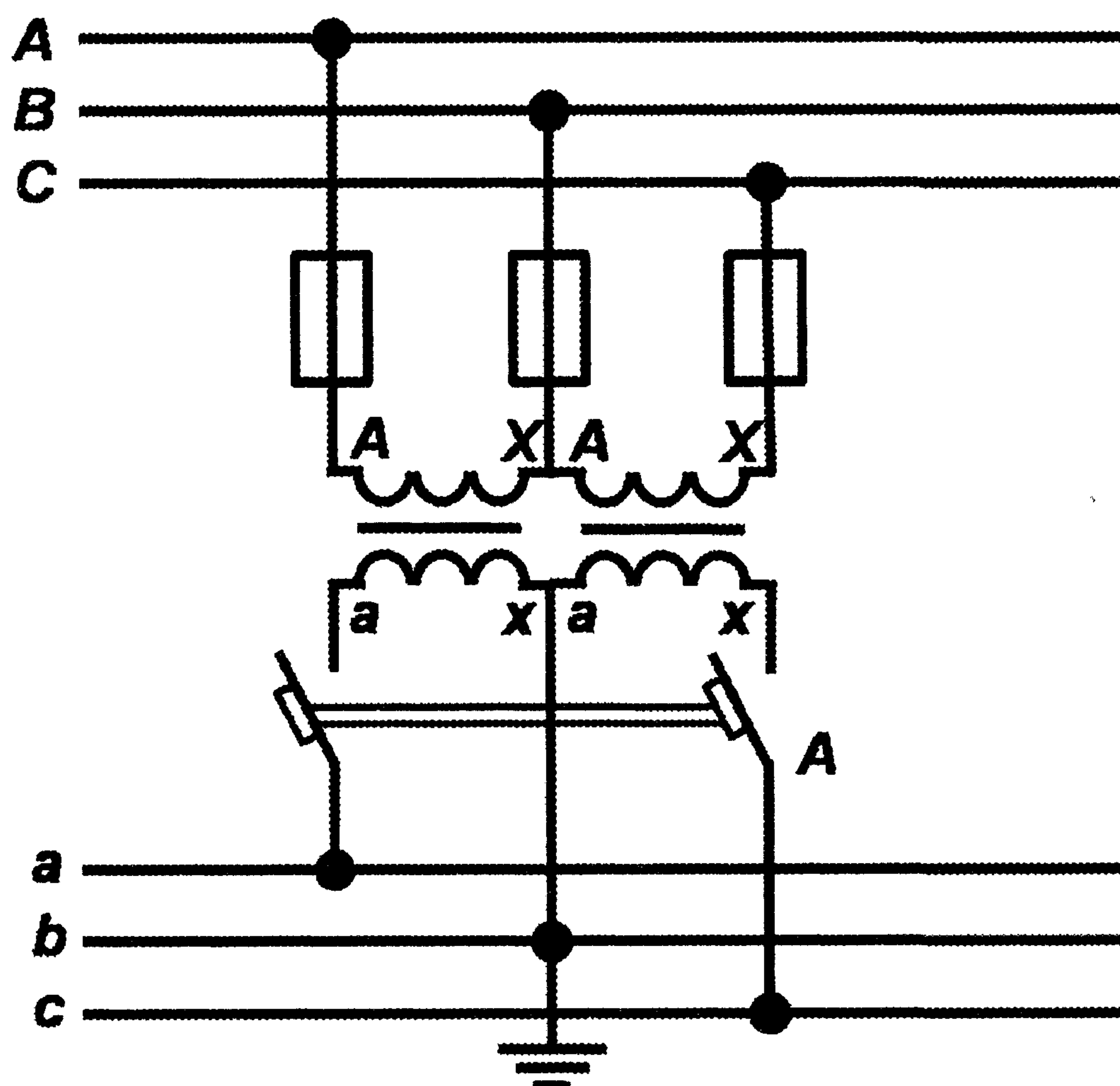


Рис. 2.3.2. Схема соединения однофазных трансформаторов напряжения в открытый треугольник

фазы *b*. В открытом треугольнике заземляется общая точка вторичных обмоток трансформаторов, которая должна соответствовать вторичным выводам, соединенным между собой и подключенным к «средней» фазе.

Трансформаторы напряжения обладают погрешностью по напряжению и по углу, обусловленной падением напряжения в обмотках от токов нагрузки. Погрешность по напряжению проявляется в некотором уменьшении вторичного напряжения при нагрузке. Угловая погрешность характеризуется некоторым углом между векторами первичного и вторичного напряжения.

Значения погрешностей зависят от мощности нагрузки трансформатора напряжения. Чем она больше, тем больше токи в обмотках. Пропорционально этим токам увеличиваются падения напряжения в обмотках.

Предельно допустимое значение падения напряжения трансформатора определяет его класс точности. Для каждого класса точности устанавливается номинальная мощность  $S_{ном}$ . Обычно для трансформатора напряжений устанавливается два или три класса точности и две или три соответствующие им номинальные мощности. Таким образом, трансформатор напряжения в зависимости от нагрузки может работать в различных классах точности.

Как правило, при организации учета электроэнергии «по высокой стороне» в трехфазных сетях с изолированной нейтралью применяют трансформаторы НТМИ (рис. 2.3.4). Они предназначены для масштабного преобразования электрического напряжения переменного тока с целью дальнейшего измерения и подачи на приборы защиты и сигнализации. Рассмотрим один из таких трансформаторов НТМИ-6.

Данный трансформатор рассчитан на номинальное напряжение первичной обмотки 6000 В и вторичной обмотки — 100 В. Он имеет различную номинальную мощность для определенного класса точности. Например, для класса 0,5 его мощность составляет 75 ВА. Вторичная (выходная) обмотка в трансформаторах НТМИ имеет выходное напряжение 100 В. Поэтому все электросчетчики, которые уста-

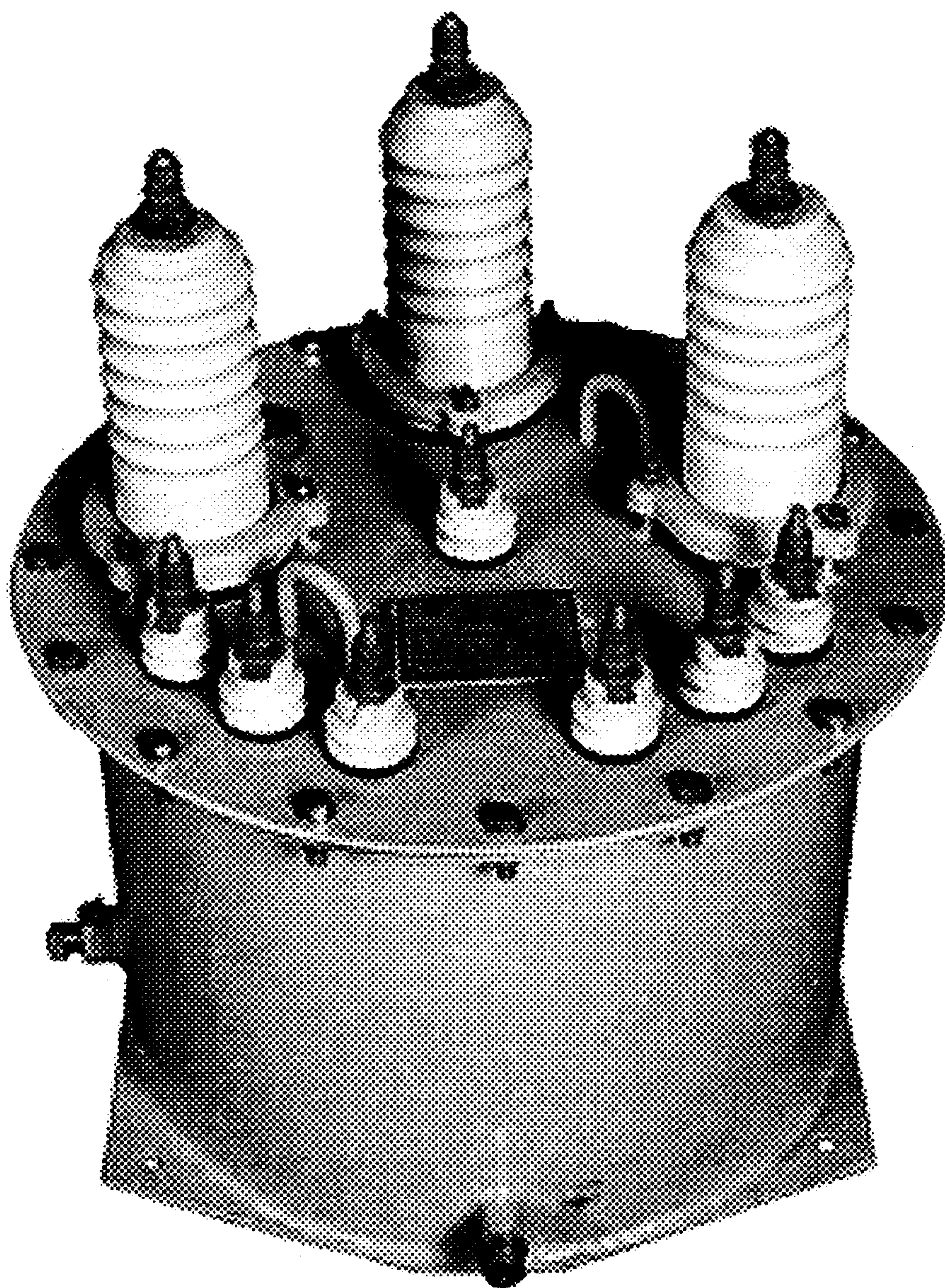


Рис. 2.3.4. Трансформатор напряжения НТМИ-6

навливаются для учета электроэнергии по высокой стороне — 6 кВ, 10 кВ и т.д. имеют входное напряжение 100 В.

Технические данные трансформаторов напряжения отечественного производства представлены в Приложении.

***Требования ПУЭ к измерительным трансформаторам при подключении расчетных счетчиков и счетчиков технического учета***

Требования ПУЭ [1] к измерительным трансформаторам определены в главе 1.5.

1.5.16. Класс точности трансформаторов тока и напряжения для присоединения расчетных счетчиков электроэнергии должен быть не более 0,5. Допускается использование трансформаторов напряжения класса точности 1,0 для включения расчетных счетчиков класса точности 2,0.

Для присоединения счетчиков технического учета допускается использование трансформаторов тока класса точности 1,0, а также встроенных трансформаторов тока класса точности ниже 1,0, если для получения класса точ-

ности 1,0 требуется установка дополнительных комплектов трансформаторов тока.

Трансформаторы напряжения, используемые для присоединения счетчиков технического учета, могут иметь класс точности ниже 1,0.

1.5.17. Допускается применение трансформаторов тока с завышенным коэффициентом трансформации (по условиям электродинамической и термической стойкости или защиты шин), если при максимальной нагрузке присоединения ток во вторичной обмотке трансформатора тока будет составлять не менее 40% номинального тока счетчика, а при минимальной рабочей нагрузке — не менее 5%.

1.5.18. Присоединение токовых обмоток счетчиков к вторичным обмоткам трансформаторов тока следует проводить, как правило, отдельно от цепей защиты и совместно с электроизмерительными приборами.

Допускается производить совместное присоединение токовых цепей, если раздельное их присоединение требует установки дополнительных трансформаторов тока, а совместное присоединение не приводит к снижению класса точности и надежности цепей трансформаторов тока, служащих для учета, и обеспечивает необходимые характеристики устройств релейной защиты.

Использование промежуточных трансформаторов тока для включения расчетных счетчиков запрещается (исключение см. в 1.5.21).

1.5.19. Нагрузка вторичных обмоток измерительных трансформаторов, к которым присоединяются счетчики, не должна превышать номинальных значений.

Сечение и длина проводов и кабелей в цепях напряжения расчетных счетчиков должны выбираться такими, чтобы потери напряжения в этих цепях составляли не более 0,25% номинального напряжения при питании от трансформаторов напряжения класса точности 0,5 и не более 0,5% при питании от трансформаторов напряжения класса точности 1,0. Для обеспечения этого требования допускается применение отдельных кабелей от трансформаторов напряжения до счетчиков.

Потери напряжения от трансформаторов напряжения до счетчиков технического учета должны составлять не более 1,5% номинального напряжения.

1.5.20. Для присоединения расчетных счетчиков на линиях электропередачи 110 кВ и выше допускается установка дополнительных трансформаторов тока (при отсутствии вторичных обмоток для присоединения счетчиков, для обеспечения работы счетчика в требуемом классе точности, по условиям нагрузки на вторичные обмотки и т.п.). См. также 1.5.18.

Для обходных выключателей 110 и 220 кВ со встроенными трансформаторами тока допускается снижение класса точности этих трансформаторов тока на одну ступень по отношению к указанному в 1.5.16.

1.5.21. Для обходного выключателя 110 кВ и шиносоединительного (междусекционного) выключателя 110 кВ, используемого в качестве обходного, с отдельно стоящими трансформаторами тока (имеющими не более трех вторичных обмоток) допускается включение токовых цепей счетчика совместно с цепями защиты при использовании промежуточных трансформаторов тока класса точности не более 0,5; при этом допускается снижение класса точности трансформаторов тока на одну ступень.

Такое же включение счетчиков и снижение класса точности трансформаторов тока допускается для шиносоединительного (междусекционного) выключателя на напряжение 220 кВ, используемого в качестве обходного, с отдельно стоящими трансформаторами тока и на напряжение 110–220 кВ со встроенными трансформаторами тока.

1.5.22. Для питания цепей счетчиков могут применяться как однофазные, так и трехфазные трансформаторы напряжения, в том числе четырех- и пятистержневые, применяемые для контроля изоляции.

1.5.23. Цепи учета следует выводить на самостоятельные сборки зажимов или секции в общем ряду зажимов. При отсутствии сборок с зажимами необходимо устанавливать испытательные блоки.

Зажимы должны обеспечивать закорачивание вторичных цепей трансформаторов тока, отключение токовых цепей счетчика цепей напряжения в каждой фазе счетчиков при их замене или проверке, а также включение образцового счетчика без отсоединения проводов и кабелей.

Конструкция сборок и коробок зажимов расчетных счетчиков должна обеспечивать возможность их пломбирования.

1.5.24. Трансформаторы напряжения, используемые только для учета и защищенные на стороне высшего напряжения предохранителями, должны иметь контроль целостности предохранителей.

1.5.25. При нескольких системах шин и присоединении каждого трансформатора напряжения только к своей системе шин должно быть предусмотрено устройство для переключения цепей счетчиков каждого присоединения на трансформаторы напряжения соответствующих систем шин.

### **Контрольные вопросы**

1. Требования ПУЭ к выбору трансформаторов тока.
2. Что такое класс точности измерительных трансформаторов?
3. В каком режиме работает трансформатор тока?
4. Какое падение напряжения допускает ПУЭ в цепях расчетных счетчиков?

## **Тема 2.4. Схемы включения индукционных счетчиков**

### **2.4.1. Область применения однофазных, трехфазных, трехпроводных и четырехпроводных сетей.**

#### **Схемы включения однофазного счетчика**

Область применения однофазных, трехфазных, трехпроводных и четырехпроводных сетей

Согласно ПУЭ [1], приемники по напряжению подразделяют на высоковольтные и низковольтные электроприемники переменного тока, электроприемники постоянного тока и переменного тока специальной частоты.

Электроснабжение всех промышленных предприятий в настоящее время ведется на переменном трехфазном токе.

На первых ступенях распределения энергии для питания больших предприятий применяют напряжения 110, 220 и 330 кВ.

Напряжение 35 кВ применяют для частичного внутри-заводского распределения электроэнергии при:

- наличии крупных электроприемников на напряжение 35 кВ;
- наличии удаленных нагрузок и других условий, требующих для питания потребителей повышенного напряжения;
- схеме глубокого ввода для питания группы подстанций 35/0,4...0,66 кВ малой и средней мощности.

На напряжение до 1000 В существуют:

- однофазная двухпроводная и трехпроводная сеть;
- трехфазная четырехпроводная сеть;
- трехфазная трехпроводная сеть.

На напряжение выше 1000 В существуют:

- трехфазные трехпроводные сети на номинальные напряжения: 6; 10; 35 кВ;
- трехфазные четырехпроводные сети на номинальные напряжения: 110; 220; 330; 500; 750; 1150 кВ.

Если питание переменным током подводится к измеряемой нагрузке по двум проводам, то требуется однофазный счетчик.

Если к нагрузке подведено напряжение трехфазного тока по трем линейным проводам без нулевого провода, то нужен трехфазный трехпроводной счетчик.

Если к нагрузке подведено напряжение трехфазного тока по четырем проводам (три линейных провода и нулевой), то необходим трехфазный четырехпроводной счетчик.

Номинальные данные подбираемого счетчика или измерительных трансформаторов должны соответствовать напряжению сети и току разрешенной потребителю нагрузки или мощности его силового трансформатора.

### **Схемы включения однофазных счетчиков**

Зажимы [5, С. 24—26] токовых обмоток электросчетчиков обозначаются буквами *Г* (генератор) и *Н* (нагрузка). При этом генераторный зажим соответствует началу обмотки, а нагрузочный — ее концу. При подключении счетчика необходимо следить за тем, чтобы ток через токовые обмотки проходил от их начал к концам. Для этого провода со стороны источника питания должны подключаться к генераторным зажимам (зажимам *Г*) обмоток, а провода, отходящие от счетчика в сторону нагрузки, должны быть подключены к нагрузочным зажимам (зажимам *Н*).

Схема включения однофазного счетчика изображена на рисунке 2.4.1 *а*. Обязательным требованием при включении счетчика является соблюдение полярности подключения как по току, так и по напряжению.

На рисунке 2.4.1 *б* изображена схема включения индукционного счетчика с обратной полярностью в токовой цепи. В данном случае изменение направления тока в цепи создает отрицательный вращающий момент, и диск счетчика будет вращаться в обратную сторону. Электронный однофазный счетчик в этом случае энергию не измеряет, и мигание индикаторов не наблюдается. Новые типы электронных однофазных счетчиков измеряют электроэнергию независимо от полярности подключения токовой цепи.

Включение однофазного счетчика с обратной полярностью по напряжению и току показано на рисунке 2.4.1 *в*. В данном случае фазы тока и напряжения одновременно изменяются на  $180^\circ$ , а угол фазового сдвига остается прежним. Поэтому счетчик измеряет электроэнергию в соответствии со своим классом точности. На практике использование схемы включения счетчика по рисунку 2.4.1 *в* не допускается, так как она позволяет использовать электроэнергию без учета. Достаточно отключить нагрузку от провода, соединенного с нулем сети, и заземлить отключенный провод нагрузки. При включении нагрузки по схеме рисунок 2.4.1 *в* невозможно отличить правильную и неправильную схемы по поведению счетчика. Поэтому при установке счетчиков или при проверке правильности их

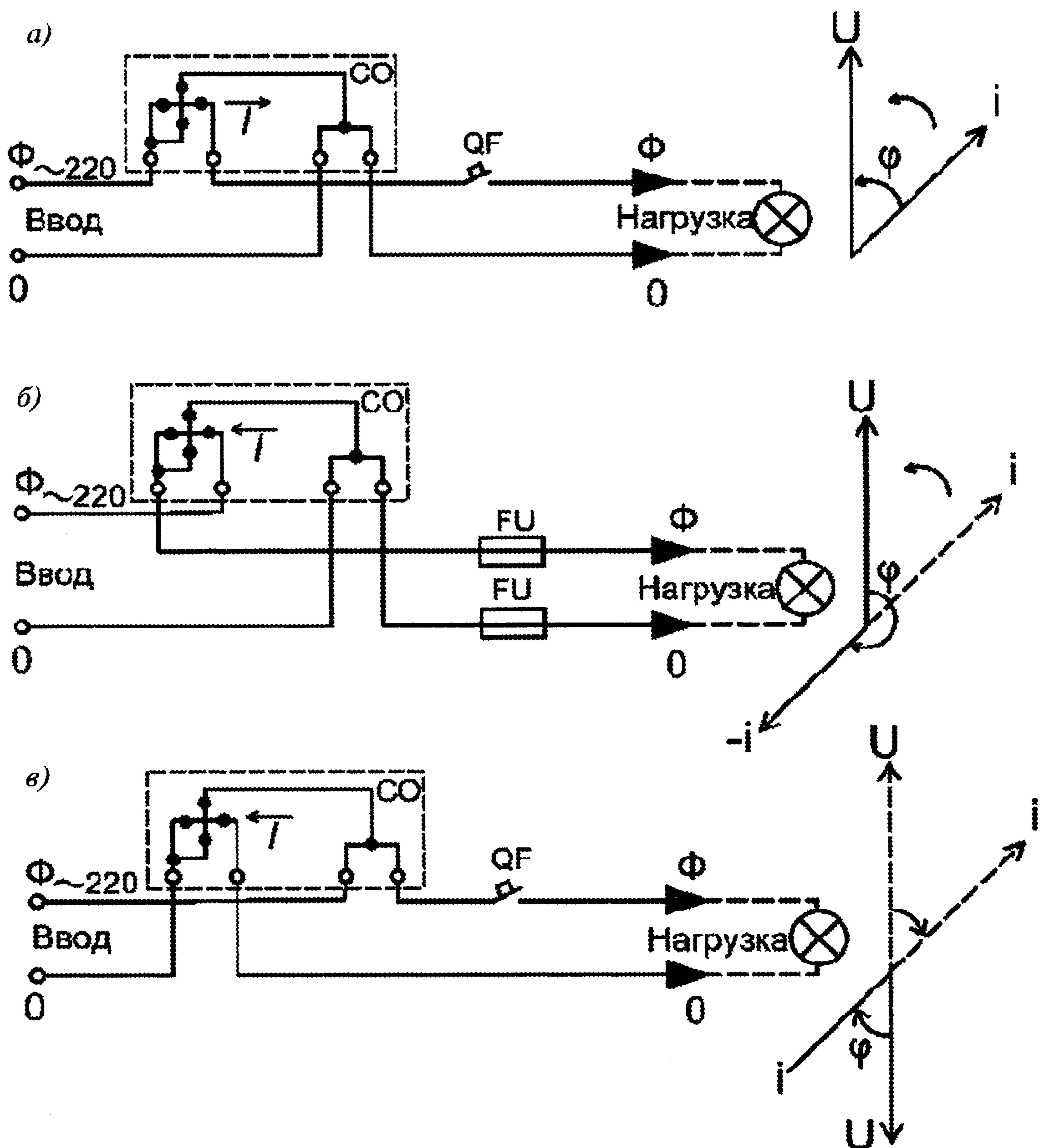


Рис. 2.4.1. Схемы включения и векторные диаграммы однофазного счетчика (а), индукционного однофазного счетчика с обратной полярностью в токовой цепи (б) и однофазного счетчика с обратной полярностью в цепи тока и напряжения (в)

установки следует проверять правильность включения фаз специальным пробником.

В настоящее время на заводах-изготовителях счетчиков с целью предотвращения хищений электрической энергии предусматривается установка на однофазных индукционных счетчиках:

- стопора обратного хода;
- второй (дублирующей) перемычки для подачи напряжения на катушку, располагая ее внутри корпуса;

- второй токовой катушки в цепи нулевого провода.

Кроме того, кожух счетчика выполняется прозрачным.

На Ленинградском электромеханическом заводе выпускаются индукционные счетчики типа СО-ЭЭ6705 (220 В, 10–40 А) со стопором обратного хода. Схема включения счетчика существенно отличается от типовой тем, что на клеммы 1 и 3 выведены концы токовой катушки. Сетевые провода  $\Phi$  (фаза) и 0 подключаются на клеммы 1 и 4 (рис. 2.4.2).

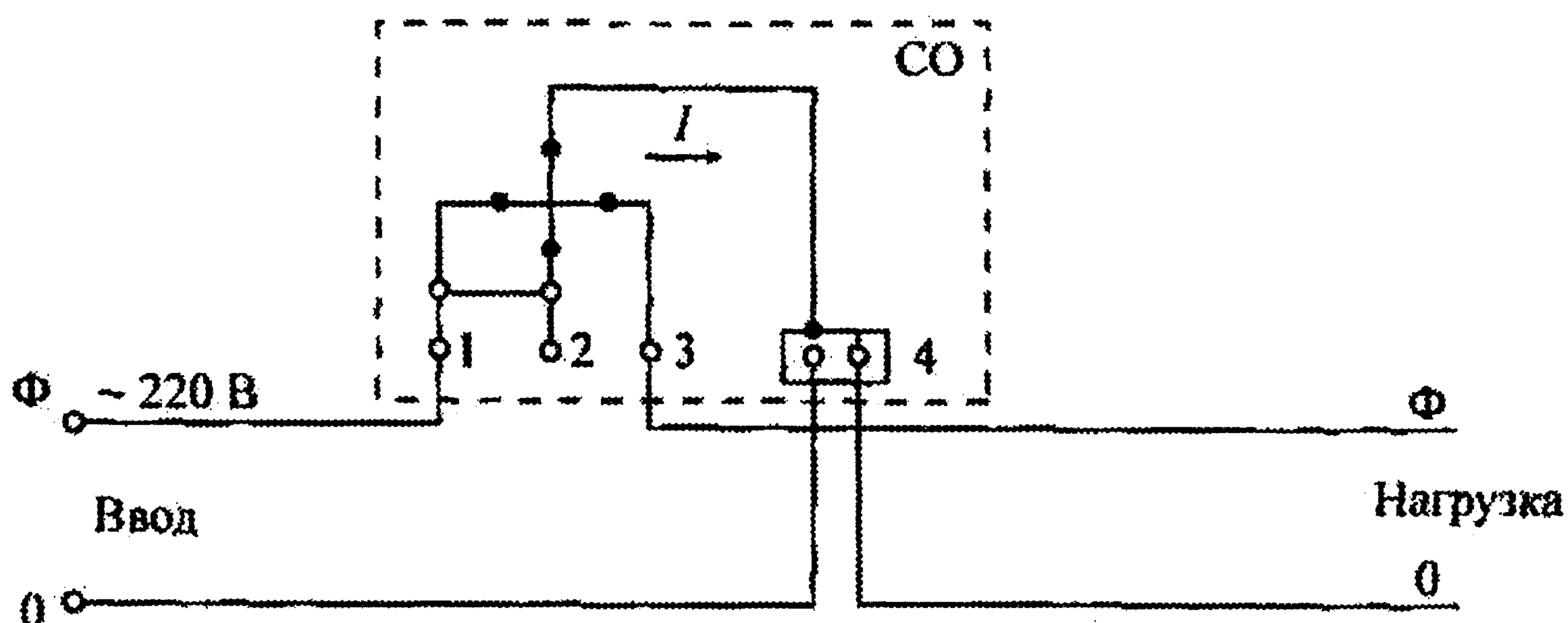


Рис. 2.4.2. Схема включения счетчика типа СО-ЭЭ6705

## 2.4.2. Схемы включения

### трехфазных индукционных счетчиков

В трехфазных [5, С. 27–31] четырехпроводных сетях напряжением 380/220 В для измерений электрической энергии применяют счетчики прямого (непосредственного) включения. Их называют прямоточными. Кроме того, используют счетчики, подключаемые в сеть через трансформаторы тока. Их называют универсальными, или трансформаторными.

Счетчики прямого включения рассчитаны на номинальные токи 5, 10, 20, 50 А. Подключение токовой цепи этих счетчиков осуществляется последовательно с сетевыми проводниками и обязательным соблюдением полярности (рис. 2.4.3).

Измеряемая энергия равна разности показаний счетного механизма за расчетный (учетный) период:

$$\Delta W = ПК - ПН = \Delta П. \quad (2.4.1)$$

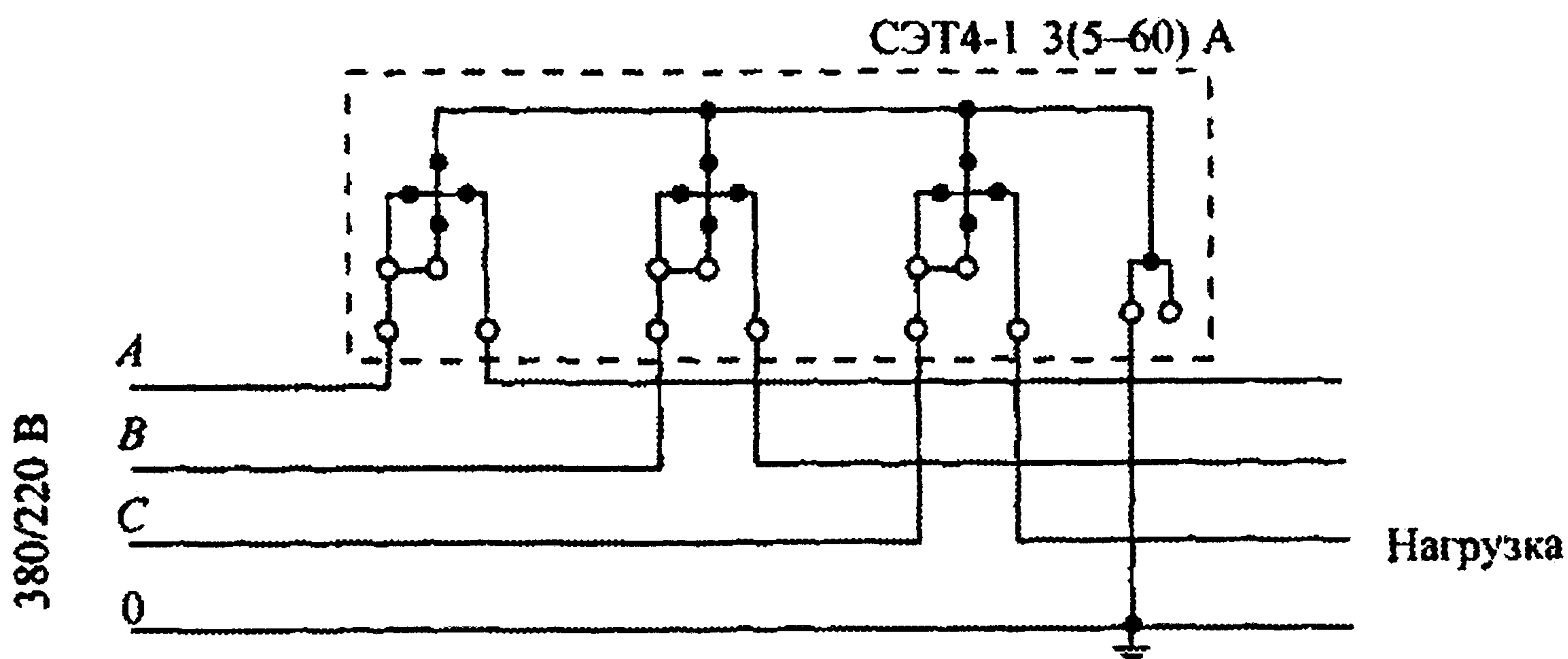


Рис. 2.4.3. Схема включения прямого счетчика типа СЭТ4-1

Подключение с обратной полярностью одной из токовых цепей счетчика приводит к значительному недоучету электроэнергии. Обязательно соблюдение прямого порядка чередования фаз напряжений на колодке зажимов счетчика. Изменение порядка чередования фаз напряжений на колодке зажимов счетчика осуществляется переменой мест подключения соответственно двух проводов одного элемента с двумя проводниками другого элемента.

На рисунке 2.4.4. изображены схема включения трансформаторного счетчика (а) и векторная диаграмма (б), которая соответствует индуктивному характеру нагрузки в случае фазового сдвига, равного  $30^\circ$ . Схема включения выполнена десятипроводной. Токовые цепи счетчика гальванически не связаны с цепями напряжения, а разделены. Измеряемая электроэнергия равна разности показаний счетного механизма, умноженной на коэффициент трансформации:

$$W = (P_k - P_n) K_1 = \Delta P K_1. \quad (2.4.2)$$

Подключение каждого из трех измерительных элементов счетчика требует обязательного соблюдения полярности подключения токовых цепей и соответствия их своему напряжению. Обратная полярность включения первичной обмотки ТТ или его вторичной обмотки вызывает отрицательный вращающий момент, действующий на диск счетчика. Схема обеспечивает нормируемую погрешность измерений. Подключение нулевого провода обязательно. Наиболее часто встречающиеся повреждения в схеме:

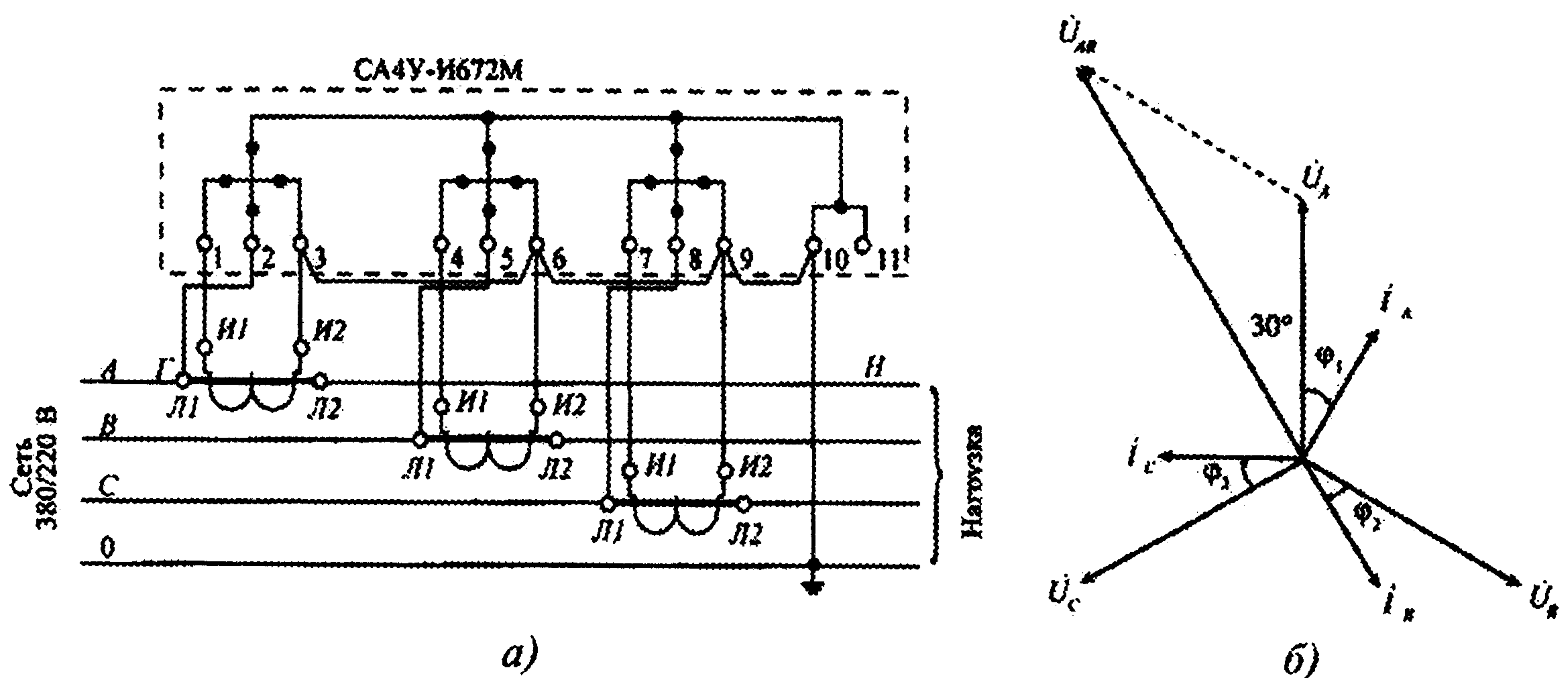


Рис. 2.4.4. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с отдельными цепями тока и напряжения (а) и векторная диаграмма (б).  
Прямой порядок чередования фаз обязателен

- ослабление или окисление зажимных контактов на ТТ;
- обрыв (внутренний излом) фазных проводов напряжения вторичных цепей;
- пробой ТТ.

При необходимости изменения порядка чередования фаз три провода с одного элемента на колодке зажимов счетчика меняются местами с соответствующими тремя проводами другого элемента.

Часто применяется семипроводная схема включения (рис. 2.4.5). В этой схеме выполнено объединение цепей

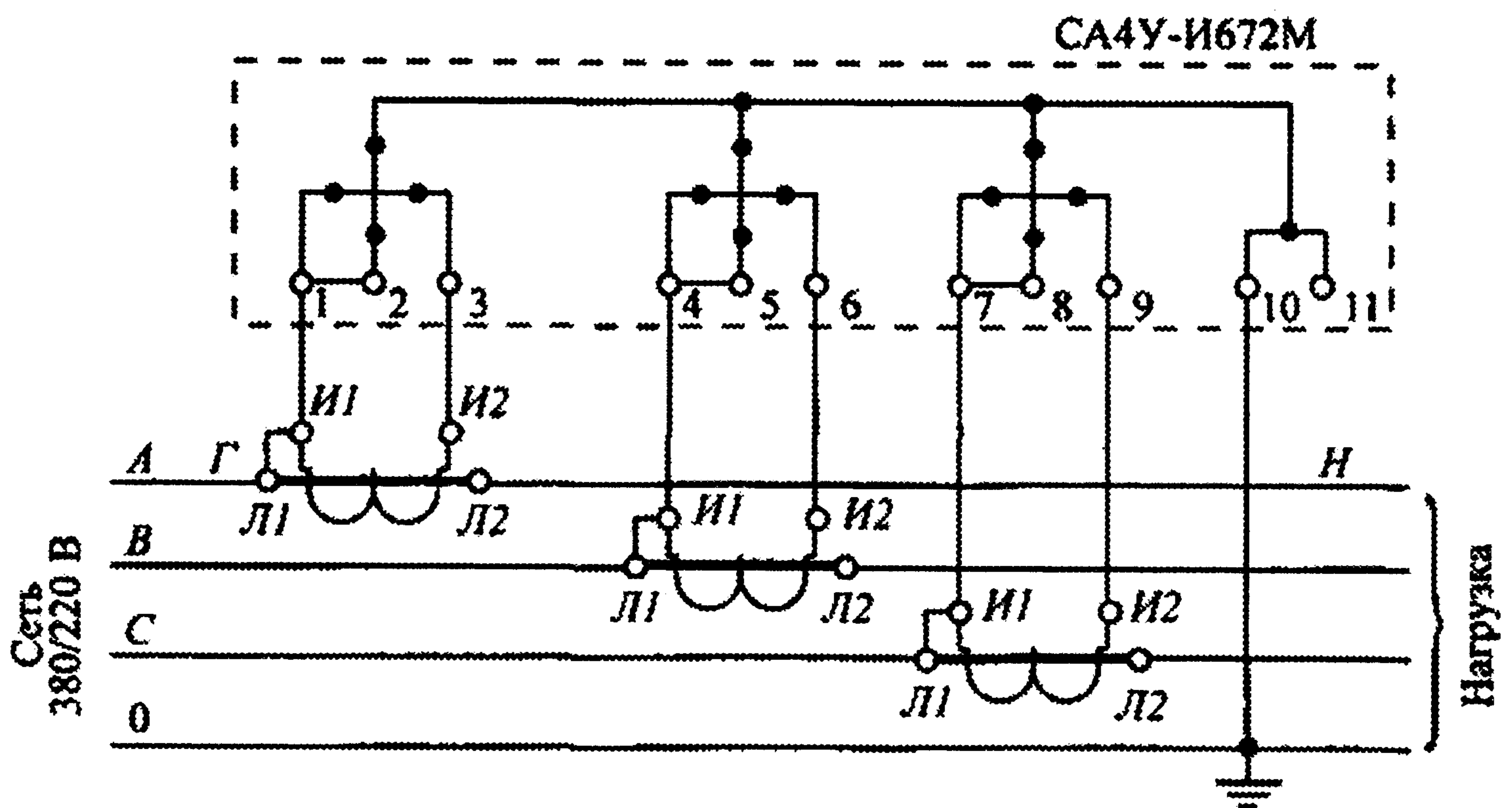


Рис. 2.4.5. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с совмещенными цепями тока и напряжения:

*Л1–И1 – перемычки, установленные на ТТ;  
1–2; 4–5; 7–8 – перемычки, установленные на счетчике*

тока и напряжения. Совмещение цепей тока и напряжения выполняется установкой перемычек на счетчике и на ТТ. Схема имеет следующие недостатки:

- под напряжением находятся токовые цепи счетчика;
- пробой ТТ длительное время не выявляется;
- установка перемычек И2-Л2 на ТТ и 1—2 на счетчике вызывает дополнительную погрешность измерений.

В электроустановках напряжением 380/220 В также применяется схема включения счетчиков, изображенная на рисунке 2.4.6.

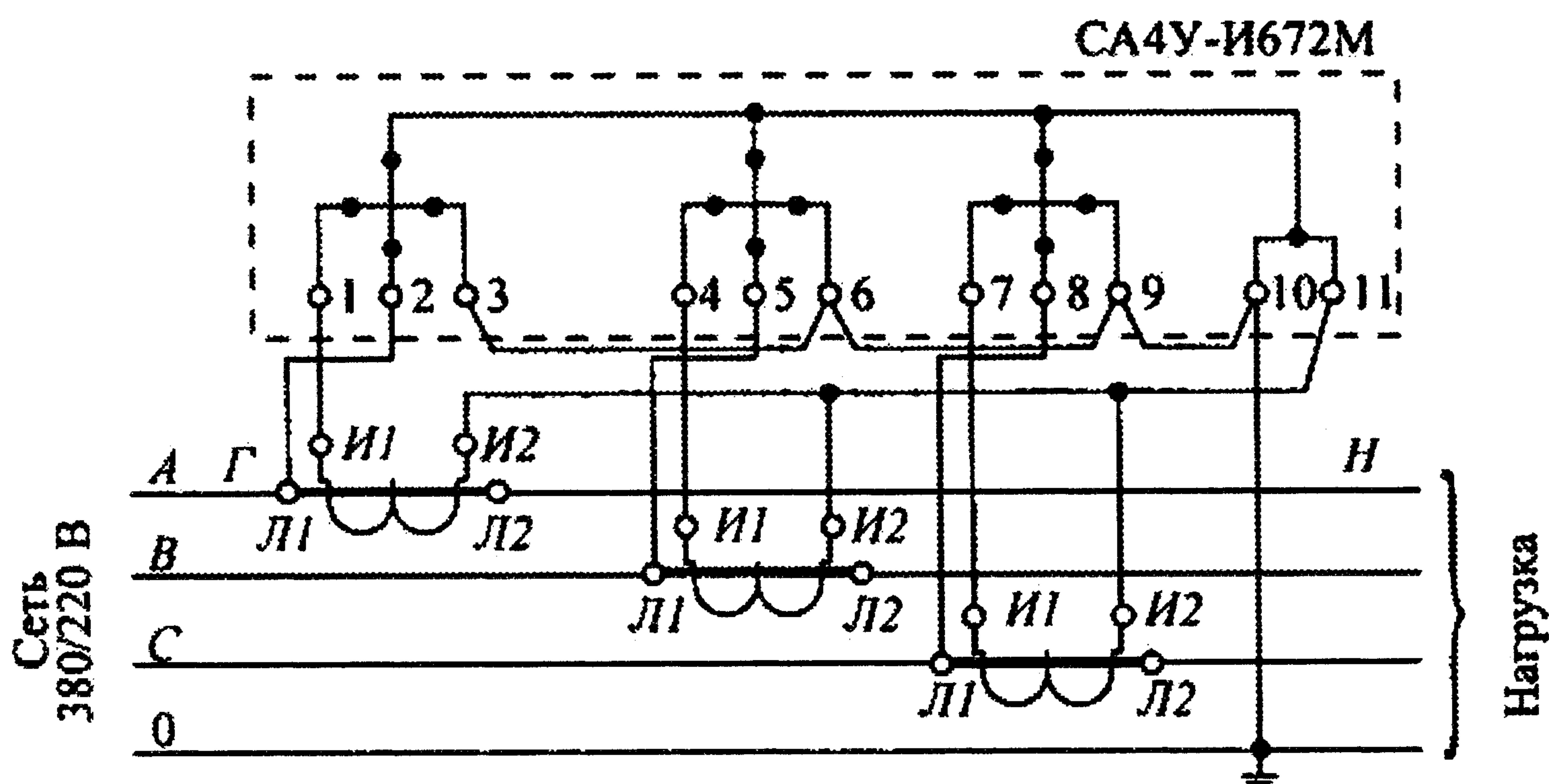


Рис. 2.4.6. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводной сети в «звезду».

Прямой порядок чередования фаз обязателен

На этой схеме концы вторичных обмоток ТТ И2 объединены и соединены с концами токовых цепей счетчика в одной точке. Не допускается подключение токовых цепей счетчика и вторичных обмоток ТТ на корпус электроустановки в разных местах.

Измеряемая электроэнергия:

$$W = \Delta I K_1.$$

Наиболее универсальной является схема включения счетчиков с испытательной коробкой (рис. 2.4.7). Испытательная коробка позволяет, не отключая нагрузки, произвести замену счетчиков и проверку схемы включения.

Для измерений активной и реактивной энергии применяется схема включения счетчиков, изображенная на рисунке 2.4.8.

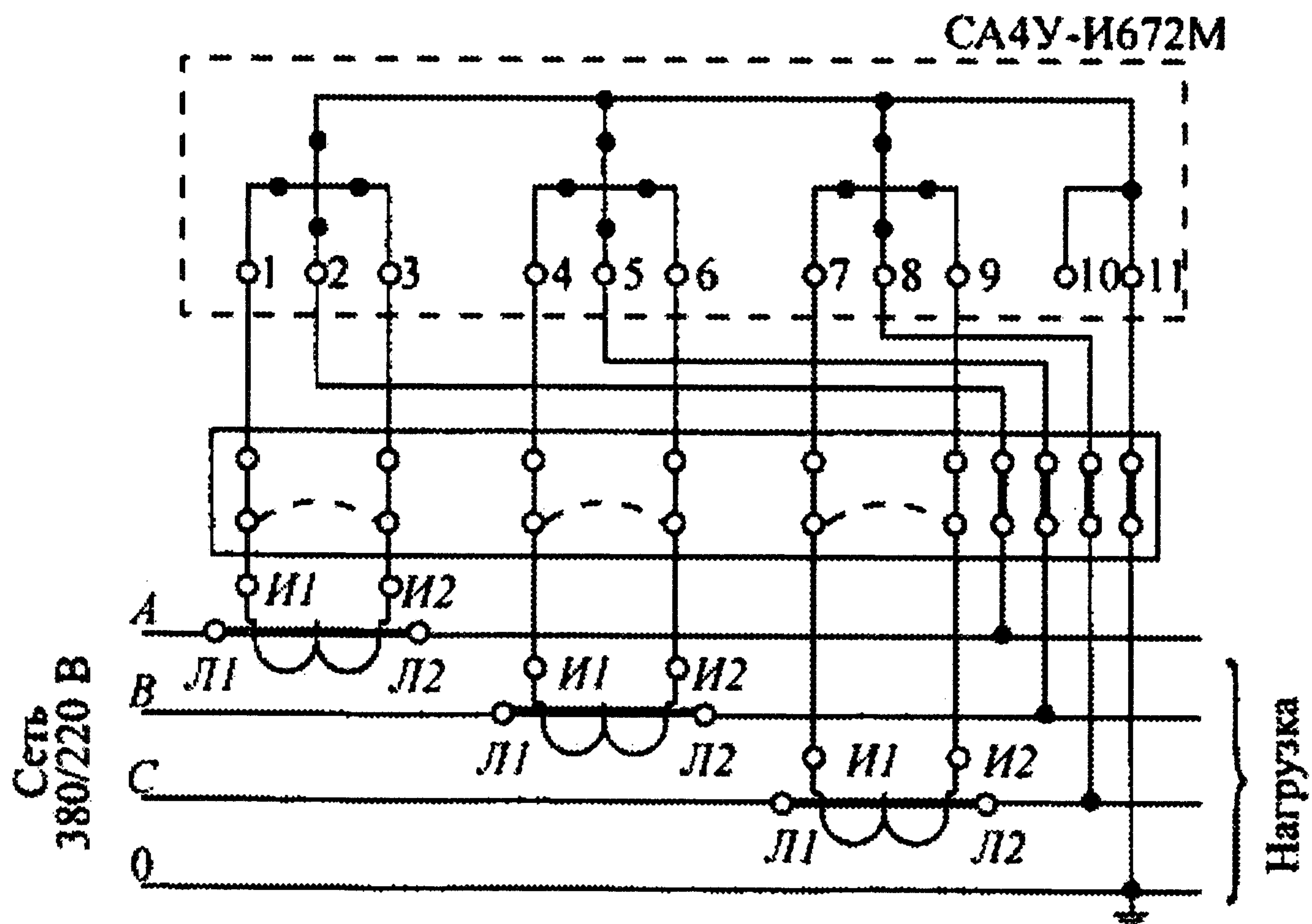


Рис. 2.4.7. Схема включения трехэлементного счетчика типа СА4У-И672М в четырехпроводную сеть с испытательной коробкой

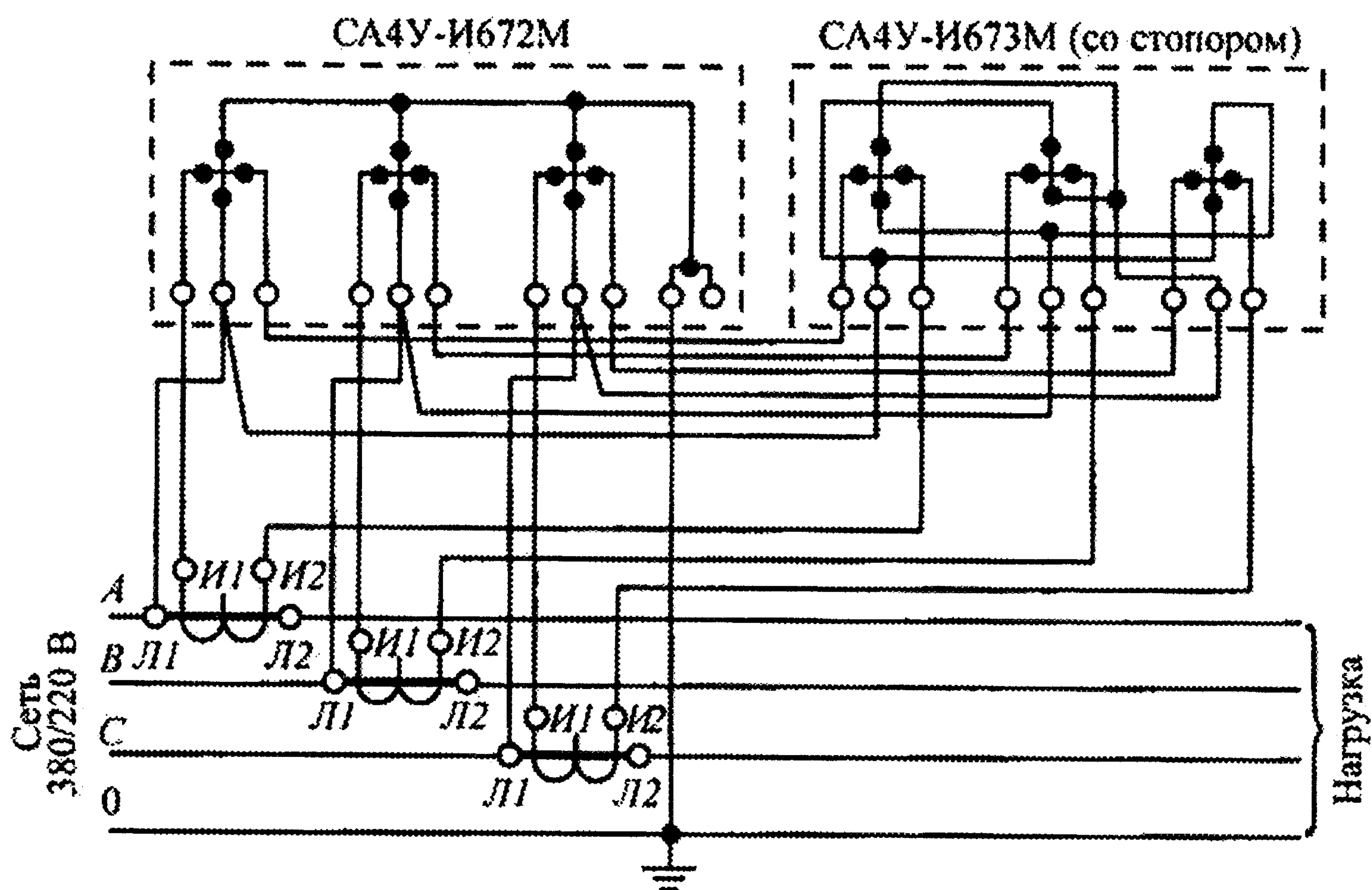


Рис. 2.4.8. Схема включения счетчиков для измерений активной и реактивной энергии в сети напряжением 380/220 В

Схемы включения счетчика реактивной энергии типа СР4У-И673 и счетчика активной энергии не отличаются друг от друга. Токовые цепи этих счетчиков соединяются последовательно. Цепи напряжения счетчиков подключаются параллельно. Отличие счетчика реактивной энергии

от счетчика активной энергии — в схеме внутренних соединений. За счет схемы внутренних соединений катушек, рассчитанных на напряжение 380 В, выполняется дополнительный 90-градусный фазовый сдвиг между магнитными потоками.

### **Контрольные вопросы**

1. Каким параметрам должны соответствовать номинальные данные подбираемого счетчика или измерительных трансформаторов?
2. Какими буквами обозначаются зажимы токовых обмоток электросчетчиков?
3. Нарисуйте графическое обозначение обмоток счетчика.
4. К чему приводит подключение с обратной полярностью одной из токовых цепей трехфазного счетчика?

## **РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРОННЫЕ (СТАТИЧЕСКИЕ) СЧЕТЧИКИ АКТИВНОЙ И РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

### **Тема 3.1. Электронные (статические) счетчики активной и реактивной энергии**

#### **3.1.1. Преимущества и недостатки электронных счетчиков.**

**Область применения электронных счетчиков.**

**Принцип работы, элементная база электронного  
счетчика с аналоговым преобразователем**

На смену электромеханическим счетчикам [11, С. 154—160] индукционного типа приходят электронные (статические) счетчики, которые не имеют недостатков индукционных счетчиков (не приспособлены для дистанционной передачи показаний на диспетчерский пункт, потребляют много энергии (мощность цепи тока достигает 0,2 Вт, а цепи напряжения 0,3 Вт), трудно реализовать многотарифный учет электроэнергии, сложность конструкции и технологии изготовления, подверженность механическим повреждениям и износу).

*Преимущества электронных счетчиков:*

- обеспечивают более высокую точность измерений (классы точности 0,2 S и 0,5 S);
- высокая надежность работы;
- потребляют для своей работы меньше электрической энергии;
- обладают дополнительными функциями;
- меньше возможности хищения электрической энергии;

- способны работать в широком диапазоне частот, начиная от 0 Гц, то есть не только в цепях переменного (разных частот), но и постоянного тока.

*Недостатки электронных счетчиков:*

- высокая стоимость;
- сложность схемы;
- слабая защищенность от грозовых и коммутационных перенапряжений.

В зависимости от построения и используемых компонентов, счетчики измеряют: активную, реактивную и полную мощности; энергию, соответствующую указанным мощностям; параметры напряжения сети и тока нагрузки.

Используется два принципа построения электронных счетчиков электрической энергии: 1-й — с аналоговым преобразованием активной мощности в постоянное напряжение; 2-й — с аналого-цифровым преобразованием мгновенных значений силы тока и напряжения и последующим вычислением мощности и энергии с использованием микропроцессорной техники. В России серийно выпускаются и применяются счетчики обоих типов.

### ***Принцип работы, элементная база***

#### ***электронного счетчика с аналоговым преобразователем***

Принцип действия электронного счетчика электрической энергии с аналоговым преобразованием активной мощности поясняется упрощенной функциональной схемой (рис. 3.1.1) [11, С. 154—160].

Коробка зажимов счетчика в простейшем случае содержит восемь зажимов. Зажимы 3 и 5 включаются последовательно с нагрузкой (в фазный провод). Зажимы 6—7 подключаются в разрыв второго (нулевого) провода. Напряжение нагрузки поступает на один из входов аналогового умножителя  $A$ . С вторичной обмотки трансформатора тока  $TA$  в аналоговый умножитель поступает ток, сила которого пропорциональна силе тока нагрузки. На выходе умножителя получается напряжение  $U_w$ , пропорциональное активной мощности нагрузки.

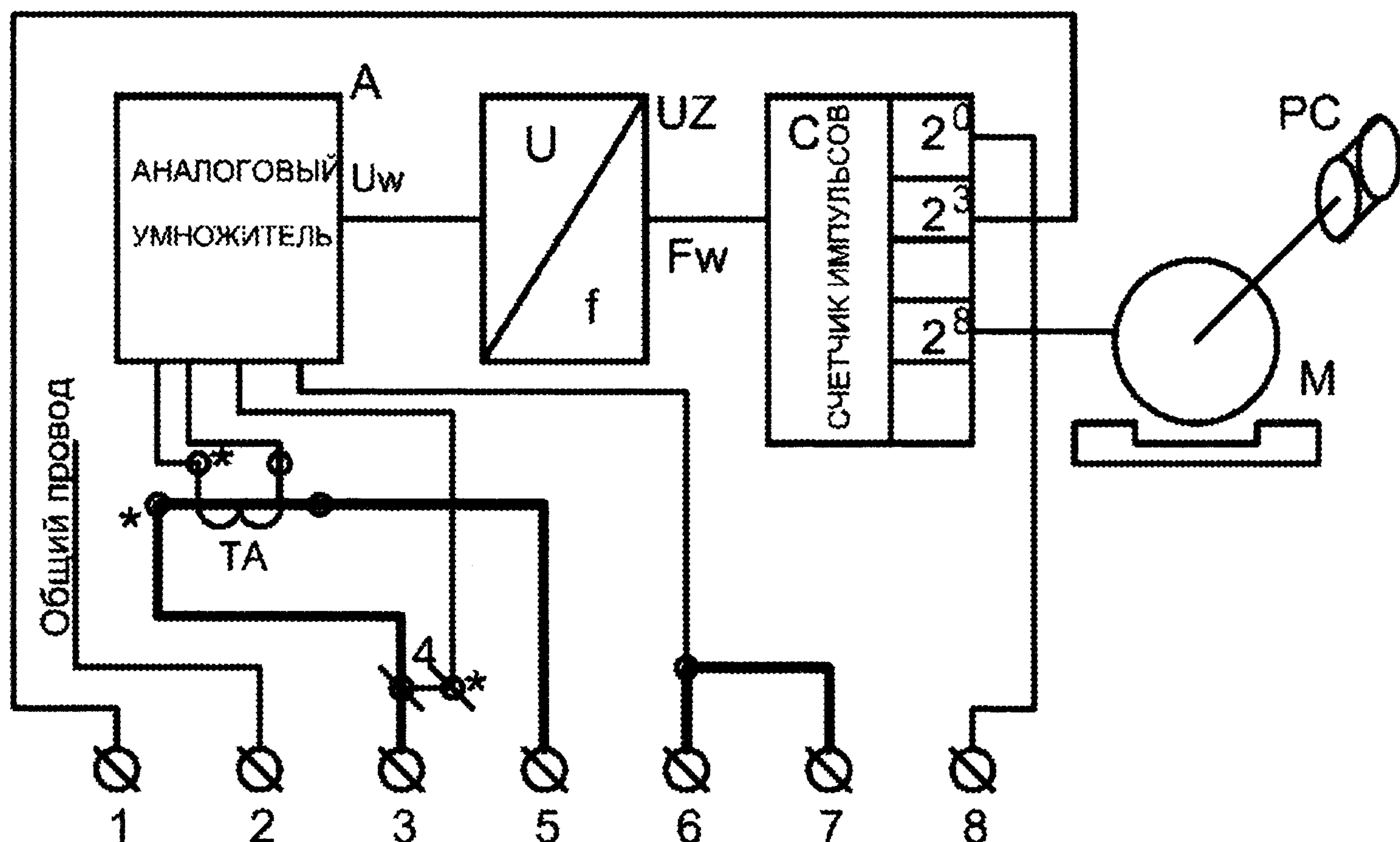


Рис. 3.1.1. Упрощенная функциональная схема счетчика с аналоговым преобразованием активной мощности

Принцип действия аналоговых умножителей основан на использовании нелинейных элементов, имеющих квадратическую зависимость падения напряжения от силы протекающего по ним тока. Схема, поясняющая принцип действия умножителя, используемого в счетчиках и электронных ваттметрах, приведена на рисунке 3.1.2.

Вторичный ток трансформатора  $TA$ , пропорциональный току нагрузки  $I$ , создает на резисторах  $R3$ ,  $R4$  равные друг другу падения напряжения  $\dot{U}_i$ , пропорциональные току нагрузки. На сопротивлении  $R1$  имеется напряжение  $\dot{U}_u$ , пропорциональное напряжению  $U$  нагрузки. На нелинейный элемент  $RV1$  поступает напряжение  $\dot{U}_1 = \dot{U}_u - \dot{U}_i$ . На нелинейный элемент  $RV2$  поступает напряжение  $\dot{U}_2 = \dot{U}_u + \dot{U}_i$ .

Падения напряжений на резисторах  $R5$ ,  $R6$  пропорциональны токам, протекающим через нелинейные элементы  $RV1$ ,  $RV2$  соответственно. Эти токи пропорциональны квадратам напряжений  $\dot{U}_1$ ,  $\dot{U}_2$ . Напряжение  $\dot{U}_w$  равно разности падений напряжений на резисторах  $R5$ ,  $R6$ , т.е.:

$$\dot{U}_w = k_1(\dot{U}_u + \dot{U}_i)^2 - k_2(\dot{U}_u - \dot{U}_i)^2 = k_3\dot{U}_u \neq \dot{U}_i = k_4\dot{U} + i. \quad (3.1.1)$$

Напряжение  $U_w$  выпрямляется выпрямительным устройством  $VS$ . Из (3.1.1) среднее значение  $U_w$  выпрямленного напряжения  $\dot{U}_w$  равно:

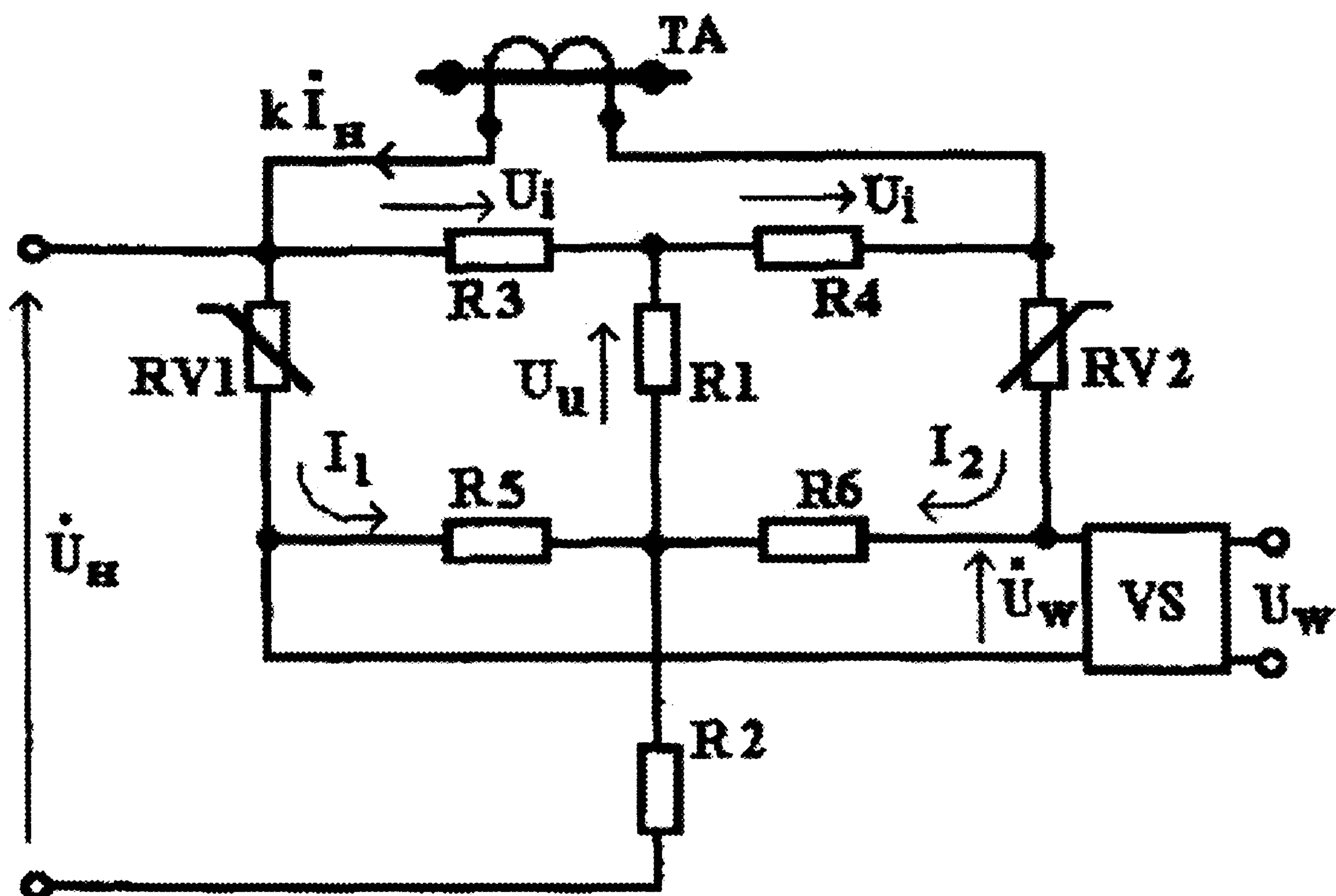


Рис. 3.1.2. Схема, поясняющая принцип действия умножителя, используемого в счетчиках и электронных ваттметрах. Стрелками показаны направления векторов падений напряжения на элементах схемы

$$U_w = k_4 U_{max} \sin \omega t I_{max} \sin(\omega t + \varphi) = [(k_4 U_{max} I_{max})/2] \cdot [\cos \varphi + \sin(2\omega t + \varphi)] = k_4 UI \cos \varphi = k_4 P. \quad (3.1.2)$$

Отсюда следует, что постоянное напряжение  $U_w$  пропорционально активной мощности нагрузки.

Напряжение  $U_w$  поступает на вход преобразователя  $UZ$  постоянного напряжения в частоту следования импульсов. На выходе преобразователя  $UZ$  получается последовательность импульсов, частота  $f_w$  следования которых пропорциональна активной мощности нагрузки.

Выходные импульсы преобразователя  $UZ$  поступают на вход счетчика импульсов — делителя частоты следования импульсов. У счетчика имеется три выхода. На выходе « $2^0$ » импульсы появляются с частотой, в 2 раза меньшей, чем на входе счетчика импульсов, на выходе « $2^3$ » частота в 16 раз меньше, чем на входе, на выходе « $2^8$ » частота в 512 раз меньше, чем на входе. Импульсы с выхода « $2^8$ » поступают на шаговый двигатель  $M$ , который вращает барабанный счетный механизм, похожий на счетный механизм обычного индукционного счетчика электрической энергии.

На лицевой панели счетчика имеется отсчетное устройство барабанного типа, подобное отсчетному устройству электромеханического индукционного счетчика, и три сигнальных светодиода («лампочки»). Отсчетное устройство показывает количество электрической энергии, потребленной нагрузкой, в киловатт-часах. По показаниям отсчетного устройства определяют количество электрической энергии, израсходованной потребителем.

Светодиод «СЕТЬ» сигнализирует о поступлении на счетчик сетевого напряжения.

Светодиод, обозначенный буквой «А», мигает с частотой импульсов, поступающих с выхода «2<sup>3</sup>» счетчика импульсов.

Светодиод, обозначенный буквой «В», мигает с частотой импульсов, поступающих с выхода «2<sup>0</sup>» счетчика импульсов.

Рядом со светодиодами «А» и «В» указаны значения передаточного числа счетчика. Например, у счетчика ЦЭ6807-1 указано  $A = 500$  имп./кВт·час,  $B = 8000$  имп./кВт·час. Это означает, что одному киловатт-часу энергии соответствует 500 вспышек светодиода «А», или 8000 вспышек светодиода «В».

Кроме этого, на щитке счетчика указываются: номинальное напряжение и частота сети (220 В, 50 Гц); минимальное (5 А) и максимальное (50 А) значения силы тока, протекающего через счетчик, для которых гарантируется погрешность, соответствующая классу точности. Класс точности счетчика равен пределу допускаемой основной относительной погрешности счетчика, выраженному в процентах.

Импульсы с выхода «2<sup>0</sup>» используются для поверки и калибровки счетчика. Сигналы с этого выхода выведены на зажим 8 коробки зажимов счетчика.

Импульсы с выхода «2<sup>3</sup>» используются для передачи показаний счетчика на диспетчерский пункт. Сигналы с этого выхода выведены на зажим 1 коробки зажимов счетчика.

Схема включения счетчика с дистанционной передачей результатов счета приведена на рисунке 3.1.3.

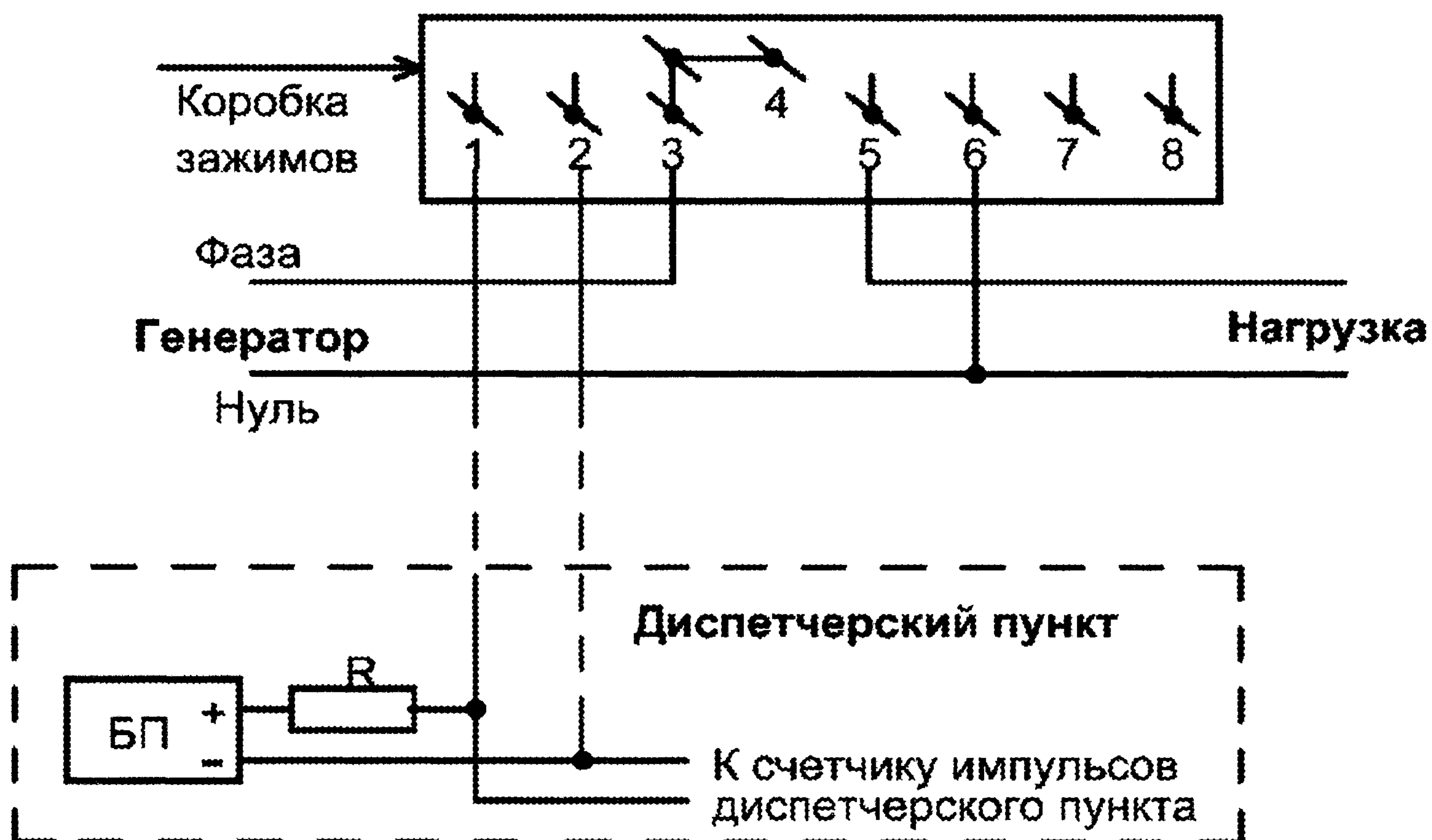


**Рис. 3.1.3. Схема включения счетчика ЦЭ6807-1 с дистанционной передачей результатов счета**

Счетчик подключается к сети питания (генератор) и к нагрузке, потребление энергии которой подлежит измерению по той же схеме, что обычный индукционный счетчик. Для передачи результатов работы счетчика на диспетчерский пункт используются зажимы 1 и 2. На диспетчерском пункте устанавливается вспомогательный источник постоянного напряжения  $BП$ , выходное напряжение которого может быть любым в пределах от 5 до 15 В (обычно — 10 В), и добавочное сопротивление  $R$ , значение которого рассчитывается по формуле:

$$R = U_{\text{eff}} / I_{\text{eff}}, \quad (3.1.3)$$

где  $U_{БП}$  – напряжение источника БП;

$I_{\text{л}}$  — ток в линии, выбираемый любым в пределах от 2 до 15 мА (чем больше ток  $I_{\text{л}}$ , тем выше помехоустойчивость передачи данных).

При поверке счетчика собирается схема, подобная изображенной на рисунке 3.1.3. Только провод от добавочного резистора вспомогательного источника питания отключается от зажима 1 и подключается к зажиму 8. По эталонным приборам и показаниям счетчика импульсов рассчитывают фактическое значение передаточного числа «В».

Счетчики, подобные рассмотренному, выпускаются одно-тарифными и двухтарифными. Переключение тарифов выполняется дистанционно, подачей сигнала постоянного напряжения на зажим 7. Изменение тарифа выполняется путем изменения коэффициента пересчета счетчика импульсов.

Счетчики, построенные по рассмотренной схеме, обладают сравнительно невысокой точностью. Это обусловлено свойствами принятой схемы аналогового преобразователя мощности в постоянное напряжение. Обычно класс точности таких счетчиков бывает не менее 1,5. Бытовые счетчики выпускаются с классом точности 2,0. Тем самым рассмотренные счетчики практически не имеют преимущества в точности учета электроэнергии по сравнению с индукционными счетчиками.

Большим недостатком счетчика, построенного по схеме (рис. 3.1.1), является наличие электромеханического счетного механизма с шаговым двигателем, надежность которого существенно меньше, чем остальной электронной части схемы. После пребывания счетчика в среде с высокой влажностью при отрицательных температурах часто наступает отказ шагового двигателя. При этом внешне счетчик работоспособен: светодиод «Сеть» сигнализирует о наличии напряжения, светодиоды «А» и «В» мигают с частотой, пропорциональной мощности нагрузки. Если предусмотрена дистанционная передача показаний, то на диспетчерский пункт поступает информация о потребляемой энергии. Однако показания счетного механизма остаются неизменными. Если передача данных на диспетчерский пункт не предусмотрена, информация об энергии, затраченной потребителем, теряется.

### **3.1.2. Принцип работы, элементная база, технические характеристики микропроцессорных счетчиков.**

#### **Схемы подключения электронных счетчиков**

В последнее время [11, С. 161–164] все большее распространение получают счетчики электрической энергии, построенные с использованием микропроцессорной

техники. На рисунке 3.1.4 изображена упрощенная структурная схема однофазного микропроцессорного счетчика. Ток нагрузки через трансформатор тока  $TA$  поступает на вход аналого-цифрового преобразователя тока АЦПТ. Напряжение нагрузки через делитель  $R1, R2$  поступает на вход аналого-цифрового преобразователя напряжения АЦПН. Аналого-цифровые преобразователи с высокой частотой (2400 раз в секунду) измеряют мгновенные значения силы тока и напряжения нагрузки (48 раз в течение периода сети). Эти значения представляются в виде двоичных 21-разрядных (включая разряд знака) кодов напряжения  $N_v$  и силы тока  $N_j$ , которые поступают в микропроцессорное вычислительное и управляющее устройство ВУ. Генератор меток времени ГТ вырабатывает импульсы опорной частоты  $f_0$ , которые поступают в ВУ, где используются для определения длительностей интервалов времени.

По формулам быстрого преобразования Фурье вычислительное устройство вычисляет действующие значения мощности, силы тока и напряжения, усредненные на интервале в 2 периода сети:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^{96} U_j i_j}{96}, \quad (3.1.4)$$

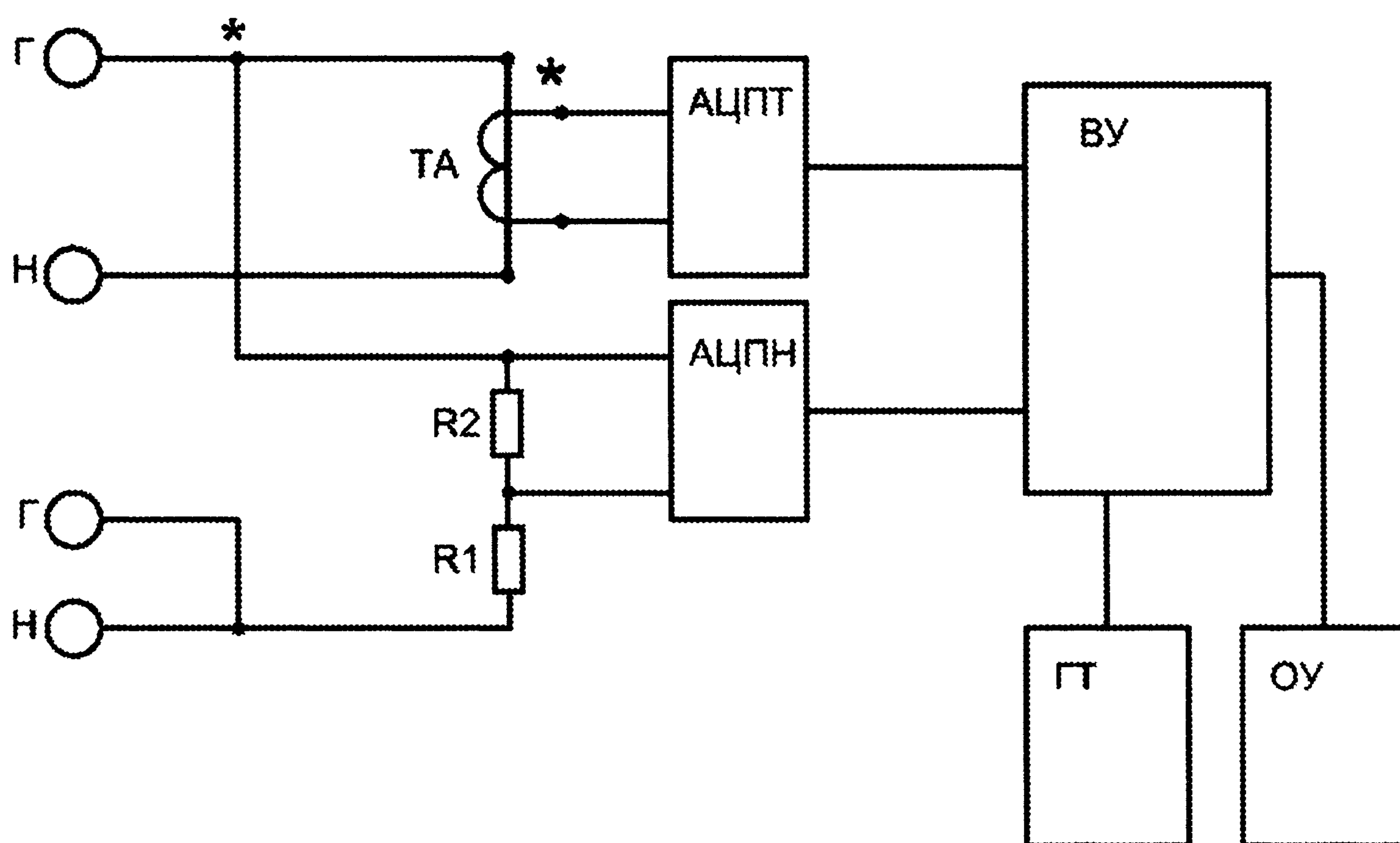


Рис. 3.1.4. Упрощенная структурная схема однофазного микропроцессорного счетчика

$$I = \frac{\sum_{j=1}^{96} i_j^2}{96}, \quad (3.1.5)$$

$$U = \frac{\sum_{j=1}^{96} U_j^2}{96}, \quad (3.1.6)$$

где  $U_j$ ,  $i_j$  — мгновенные значения силы тока и напряжения нагрузки, представленные кодами  $N_u$  и  $Ni$  соответственно.

Значения кажущейся (полной) мощности  $S$  и реактивной мощности  $Q$  нагрузки вычисляются ВУ по формулам:

$$S = UI, \quad (3.1.7)$$

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}. \quad (3.1.8)$$

Количество активной  $A_a$  и реактивной  $A_r$  энергии, израсходованной потребителем (нагрузкой), рассчитывается ВУ по формулам:

$$A_a = \tau \sum_{k=1}^{T/\tau} P_k, \quad (3.1.9)$$

$$A_r = \tau \sum_{k=1}^{T/\tau} Q_k, \quad (3.1.10)$$

где  $T$  — интервал времени, в течение которого учитывается электроэнергия;

$\tau$  — интервал времени усреднения мгновенных значений мощности (в рассматриваемом случае  $\tau$  равно двум периодам сети переменного тока);

$k$  — порядковый номер отсчета значения мощности.

Микропроцессорный счетчик включается в цепь нагрузки по обычной схеме.

По сравнению с рассмотренными выше электронными и индукционными счетчиками электрической энергии микропроцессорные счетчики обеспечивают существенно более высокую точность учета. Допускаемая относительная основная погрешность обычных микропроцессорных счетчиков составляет от 0,2 до 0,5 % (класс точности 0,2; 0,5).

В микропроцессорных счетчиках, кроме основной функции учета электроэнергии, предусматривается много вспомогательных функций. Например, запоминание максимального значения средней мощности нагрузки за определенный интервал времени, построение графика нагрузки и т.п. Предусматривается возможность передачи показаний счетчика и рассчитанных значений других параметров нагрузки на диспетчерский пункт при работе счетчика в системах автоматизированного учета и контроля электроэнергии. Счетчики выполняются, как правило, многотарифными, с автоматическим или дистанционным переключением тарифов.

Кроме информации, связанной с учетом электроэнергии, в счетчике запоминаются сведения, анализ которых дает возможность обнаружить попытки обмана счетчика. Например, ведется счет отключений счетчика от сети питания, и запоминаются даты и времена отключений. Если отключение произошло в то время, когда на диспетчерском пункте отключение не фиксировалось, можно предположить, что это отключение носило криминальный характер.

Передача показаний микропроцессорного счетчика на диспетчерский пункт может быть выполнена по схеме включения счетчика с дистанционной передачей результатов счета. Однако возможно использование другой, более эффективной системы передачи показаний. Микропроцессорные счетчики оснащаются специальными платами, представляющими всю информацию, получаемую счетчиком, в соответствии с протоколами стандартных интерфейсов «токовая петля», RS422/485, RS232 и других систем. Такие счетчики имеют выходные кабели со стандартными разъемами для подключения к линиям связи или непосредственно к соответствующим входам компьютеров. Это позволяет передавать на диспетчерский пункт не только сведения об учтенной энергии, но и любую другую информацию, накопленную в запоминающем устройстве счетчика. Некоторые виды таких счетчиков оснащаются оптическим выходом. К этому выходу с помощью оптово-

локонного кабеля и специального преобразователя может подключаться персональный компьютер или портативный компьютер типа «note book», с помощью которого считывается информация со счетчика.

Наличие у счетчика частотного выхода и цифровых выходов по стандартным интерфейсам позволяет строить эффективные автоматические системы коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ).

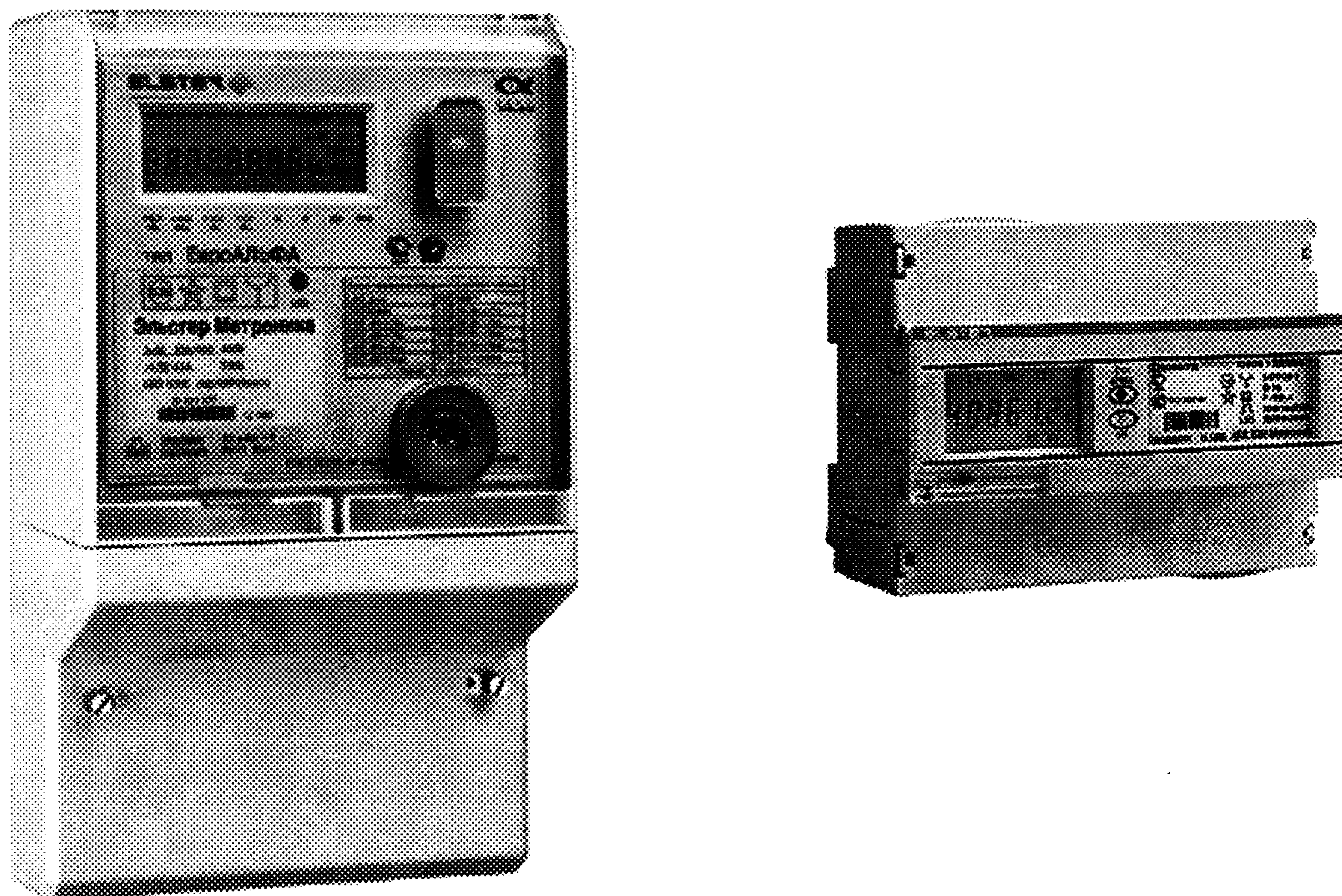


Рис. 3.1.5. Электронные счетчики ООО «Эльстер Метроника», г. Москва

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключаются основные недостатки счетчиков электрической энергии с электромеханическим индукционным измерительным механизмом?
2. Объясните структурную схему и принцип действия счетчика с аналоговым преобразователем активной мощности.
3. Расскажите, как устроен микропроцессорный счетчик электрической энергии.
4. Как осуществляется передача информации от электронных счетчиков на диспетчерский пункт?
5. В чем преимущества применения электронных и микропроцессорных счетчиков?

## **Тема 3.2. Понятие об автоматизации учета электроэнергии. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии**

### **3.2.1. Термины и определения.**

**История создания информационных измерительных систем (ИИС) учета электроэнергии.  
Состав комплекса технических средств автоматизированных систем контроля и учета энергии**

К числу [11, С. 270] наиболее распространенных в электроэнергетике измерительных информационных систем относятся *автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ)*. По мере роста числа потребителей электроэнергии, оснащенных обычными индукционными счетчиками электрической энергии, увеличиваются затраты труда и времени на съём показаний счетчиков, расчет потребленной электроэнергии и оплаты за нее. Особенно усложняется этот процесс, когда с целью энергосбережения вводится многотарифный учет электроэнергии, когда оплата за электроэнергию зависит от времени суток и сезона.

С появлением электронных, особенно микропроцессорных счетчиков появилась техническая возможность реализации многотарифного учета, но затраты на съём показаний и расчет стоимости энергии сохранились. Для полной автоматизации процесса съема показаний счетчиков и расчетов за электроэнергию в электронных счетчиках предусматриваются средства дистанционной передачи показаний и управления тарифами. При наличии таких счетчиков стала возможной полная автоматизация процессов учета и расчета стоимости электроэнергии в одностарифном и многотарифном режимах. Реализуется этот процесс с помощью специальных измерительных информационных систем автоматизированного контроля и учета электроэнергии – АСКУЭ.

Автоматизированные системы контроля и учета энергии и мощности (*АСКУЭ*) позволяют:

Предприятиям энергетики:

- автоматизировать обмен данными с субъектами ФОРЭМ (в том числе и с оператором ФОРЭМ);
- автоматизировать расчеты с потребителями и субъектами ФОРЭМ;
- добиться повышения достоверности и оперативности учета электрической энергии;
- обеспечить автоматизированный контроль технического состояния электроэнергетических систем;
- реализовать различные схемы управления распределением энергии и мощности между потребителями;
- повысить эффективность работы предприятия;

Крупным потребителям:

- добиться повышения достоверности и оперативности учета электрической энергии;
- реализовать различные схемы управления распределением энергии и мощности на предприятии с целью уменьшения затрат;
- снизить (часто в несколько раз) оплату за потребляемую энергию и мощность;
- автоматизировать расчеты с поставщиком энергии и мощности (энергокомпанией);

Конечным потребителям:

- добиться повышения достоверности и оперативности учета электрической энергии;
- снизить (часто — существенно) оплату за потребляемую энергию и мощность за счет повышения точности измерений и расчетов;
- автоматизировать расчеты с поставщиком энергии и мощности (энергокомпанией).

По своей сути задача состоит в точном измерении количества потребленной или переданной энергии и мощности (возможно, с учетом суточных, зонных или других тарифов), обеспечении возможности хранения этих измерений (например, в течение месяца, года и т.д.) и доступа к этим данным для произведения расчетов с поставщиком/потребителем. Кроме того, важной составляющей является возможность анализа потребления (передачи) энергии и

мощности. Иногда анализ режимов потребления за месяц-два позволяет обнаружить существенные просчеты в организации работы предприятия с точки зрения потребления электроэнергии.

**АСКУЭ** — это комплекс контрольно-измерительной аппаратуры, коммуникаций связи (сетей передачи данных), ЭВМ и программного обеспечения (ПО).

АСКУЭ должны выполняться на базе серийно выпускаемых технических средств и программного обеспечения. В состав технических средств АСКУЭ должны входить:

- счетчики электрической энергии, оснащенные датчиками-преобразователями, преобразующими измеряемую энергию в пропорциональное количество выходных импульсов или цифровой код (при использовании электронных реверсивных счетчиков — отдельно на каждое направление);

- устройства сбора и передачи данных (УСПД), обеспечивающие сбор информации от счетчиков и передачу ее на верхние уровни управления;

- каналы связи с соответствующей каналобразующей аппаратурой для передачи измерительной информации;

- средства обработки информации — ЭВМ с установленным специализированным ПО (для сбора и анализа данных от нескольких счетчиков или групп потребителей);

- ПО обмена данными измерений с другими предприятиями или поставщиком электроэнергии.

С метрологической точки зрения АСКУЭ представляет собой специфический тип измерительной системы, которая реализует процесс измерения и обеспечивает автоматическое (автоматизированное) получение результатов измерений.

В Белгородской энергосистеме АСКУЭ была сдана в промышленную эксплуатацию в 2001 году. Ее внедрение на объектах энергосистемы Белгородской области позволило ОАО «Белгородэнерго» одним из первых в России принять участие в торгах конкурентного сектора рынка электроэнергии. Посредством АСКУЭ в энергосистеме осуществляются мониторинг объема потребления элек-

троэнергии и мощности каждые полчаса, представление этих данных Администратору торговой системы.

### Контрольные вопросы

1. С какой целью создаются АСКУЭ?
2. Что обеспечивают автоматизированные системы контроля и учета энергии и мощности (АСКУЭ)?
3. Что входит в состав технических средств АСКУЭ?

### 3.2.2. Структурные схемы локальной и многоуровневой ИИС.

#### Особенности ИИС, созданных на базе микропроцессорных счетчиков

Схема [11, С. 270–274] простейшей одноуровневой АСКУЭ приведена на рисунке 3.2.1. Эта система реализуется с помощью счетчиков, имеющих частотно-импульсный канал связи. На выходе такого канала каждого счетчика получают электрические импульсы, частота которых пропорциональна мощности нагрузки, присоединенной к счетчику.

Выходные импульсы счетчиков электрической энергии Сч1, Сч2, СчN, установленных у потребителей энергии,

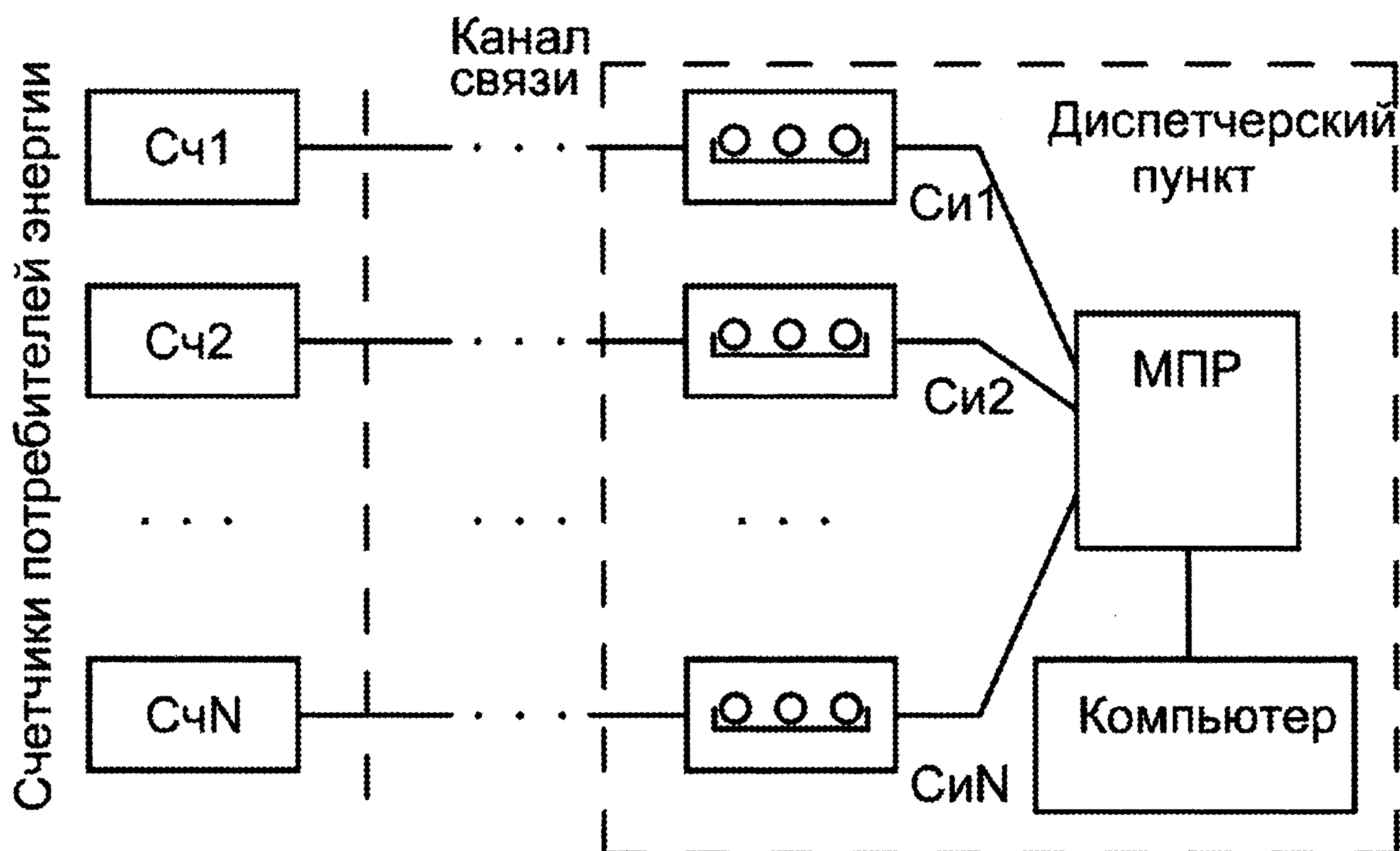


Рис. 3.2.1. Схема простейшей АСКУЭ:

Сч1, Сч2, СчN – счетчики электроэнергии у потребителей;  
Си1, Си2, СиN – счетчики импульсов; МПР – мультимплексор

поступают через каналы связи на входы счетчиков импульсов  $C_{и1}$ ,  $C_{и2}$ ,  $C_{иN}$ , установленных на диспетчерском пункте. Показания счетчиков импульсов дублируют показания счетчиков электроэнергии. Их наличие уже позволяет централизованно получать информацию о потребленной каждым потребителем энергии.

Счетчики импульсов имеют выход кода показания. Коды показаний поступают на мультиплексор МПР, который поочередно считывает показания каждого счетчика и представляет информацию о счетчике и считанном показании в соответствии с протоколом интерфейса, используемого в компьютере. При применении распространенных персональных компьютеров обычно используется интерфейс RS232. Компьютер обрабатывает при необходимости показания каждого счетчика и записывает их в специальную базу данных. По мере необходимости в соответствии с данными базы данных могут выписываться счета за электроэнергию каждому потребителю.

Рассмотренная система позволяет передавать данные на сравнительно небольшие расстояния (несколько десятков метров), например в пределах одного дома. Для передачи данных на большие расстояния используются микропроцессорные счетчики, которые могут иметь в своем составе интерфейсную плату, формирующую информацию о показаниях счетчика по протоколу какого-либо стандартного интерфейса. Например, в счетчиках типа «б» компании АББ ВЭИ «Метроникс» используется интерфейс RS485, обеспечивающий возможность передачи данных на расстояние до 1,5 км. Возможно объединение нескольких одноуровневых АСКУЭ в одну многоуровневую. На рисунке 3.2.2 приведен пример многоуровневой АСКУЭ, реализованной на устройствах, выпускаемых компанией АББ ВЭИ «Метроникс».

Система состоит из двух пунктов промежуточного учета и диспетчерского пункта. К мультиплексору МПР1 первого диспетчерского пункта подключены по частотному каналу счетчики  $C_{ч1}$  и  $C_{ч2}$ . Другие счетчики подключены к этому мультиплексору по каналам интерфейса RS485. К этому же мультиплексору по каналу интерфейса RS485

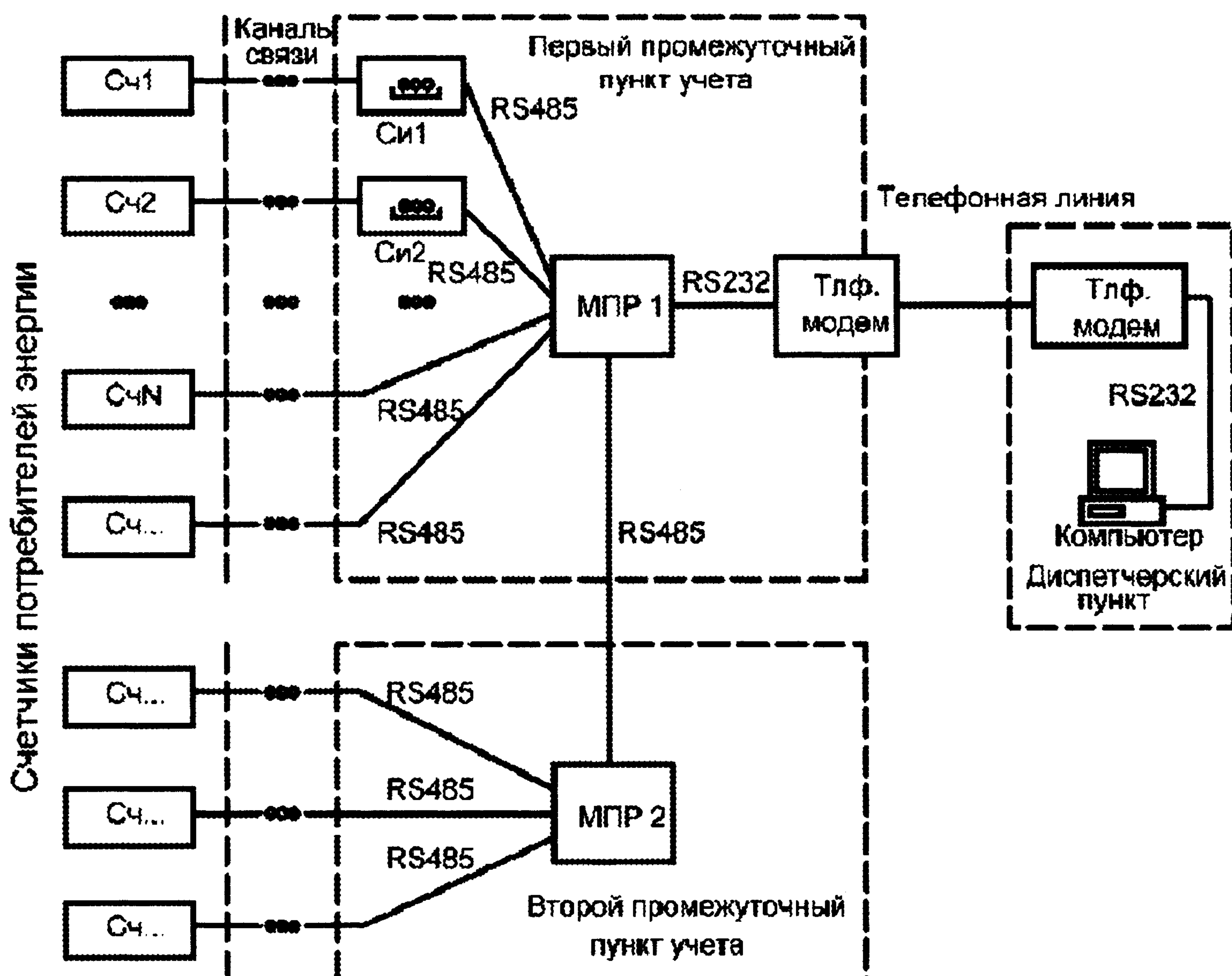


Рис. 3.2.2. Схема многоуровневой АСКУЭ

подключен выход мультиплексора МПР2 второго промежуточного пункта учета. К входам МПР2 по каналам интерфейса RS485 поступает информация от счетчиков потребителей энергии.

Выход мультиплексора первого промежуточного пункта учета по интерфейсу RS232 связан с телефонным модемом, с помощью которого информация с двух промежуточных пунктов учета по телефонной линии через приемный телефонный модем поступает в компьютер центрального диспетчерского пункта.

### Контрольные вопросы

1. При каких условиях по одному каналу связи можно передавать информацию о значениях нескольких измеряемых величин?
2. Какими свойствами должен обладать счетчик электрической энергии, чтобы его можно было включить в АСКУЭ?
3. Нарисуйте схему одноуровневой АСКУЭ.
4. Нарисуйте схему многоуровневой АСКУЭ.

## **РАЗДЕЛ 4. | ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРОВ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

### **Тема 4.1. Установка и подключение электросчетчиков**

#### **4.1.1. Организация эксплуатации приборов учета электроэнергии. Требования ПУЭ к помещениям и месту установки новых счетчиков по условиям эксплуатации счетчиков, удобства и безопасности производства работ с электрическими счетчиками**

##### *Установка и подключение электросчетчиков*

Подготовленный к установке счетчик [6, С. 33—38] подвергается внешнему осмотру. Счетчик очищается от грязи и пыли; проверяется пригодность счетчика по его типу и технической характеристике; проверяется наличие пломб государственной поверки на винтах, крепящих кожух. На пломбах обозначаются год и квартал государственной поверки, а также клеймо государственного поверителя. На устанавливаемых трехфазных счетчиках должны быть пломбы государственной поверки с давностью не более 12 мес.; проверяется целостность кожуха и стекла, наличие всех винтов в зажимной коробке, наличие крепежных винтов с отверстиями для пломбирования в крышке зажимной коробки, наличие схемы на ее внутренней стороне.

Счетчик следует оберегать от ударов и сотрясений. Они могут вызвать повреждение опор, искривление оси и как следствие — увеличение погрешности и даже затирание подвижной части. Поэтому транспортировать счетчики следует только в специальной упаковке. Ящик для перевозки должен иметь гнезда с мягкой обивкой и надежно закрепляться в салоне автомобиля.

После перевозки счетчика рекомендуется убедиться в отсутствии затирания подвижной части. Для этого счет-

чик, держа в руках, поворачивают вокруг оси и наблюдают при этом движение диска.

Крепить счетчик следует тремя винтами, предварительно разметив отверстия под них согласно установочным размерам. После установки необходимо убедиться в строго вертикальном положении счетчика.

***Требования ПУЭ к помещениям и месту установки новых счетчиков по условиям эксплуатации счетчиков, удобства и безопасности производства работ с электрическими счетчиками***

Требования ПУЭ [1] определены в главе 1.5.

1.5.27. Счетчики должны размещаться в легко доступных для обслуживания сухих помещениях, в достаточно свободном и не стесненном для работы месте с температурой в зимнее время не ниже 0 °С.

Счетчики общепромышленного исполнения не разрешается устанавливать в помещениях, где по производственным условиям температура может часто превышать +40 °С, а также в помещениях с агрессивными средами.

Допускается размещение счетчиков в неотапливаемых помещениях и коридорах распределительных устройств электростанций и подстанций, а также в шкафах наружной установки. При этом должно быть предусмотрено стационарное их утепление на зимнее время посредством утепляющих шкафов, колпаков с подогревом воздуха внутри них электрической лампой или нагревательным элементом для обеспечения внутри колпака положительной температуры, но не выше +20 °С.

1.5.28. Счетчики, предназначенные для учета электроэнергии, вырабатываемой генераторами электростанций, следует устанавливать в помещениях со средней температурой окружающего воздуха +15 — +25 °С. При отсутствии таких помещений счетчики рекомендуется помещать в специальных шкафах, где должна поддерживаться указанная температура в течение всего года.

1.5.29. Счетчики должны устанавливаться в шкафах, камерах комплектных распределительных устройств (КРУ,

КРУН), на панелях, щитах, в нишах, на стенах, имеющих жесткую конструкцию.

Допускается крепление счетчиков на деревянных, пластмассовых или металлических щитках.

Высота от пола до коробки зажимов счетчиков должна быть в пределах 0,8—1,7 м. Допускается высота менее 0,8 м, но не менее 0,4 м.

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

1.5.31. Конструкции и размеры шкафов, ниш, щитков и т.п. должны обеспечивать удобный доступ к зажимам счетчиков и трансформаторов тока. Кроме того, должна быть обеспечена возможность удобной замены счетчика и установки его с уклоном не более  $1^{\circ}$ . Конструкция его крепления должна обеспечивать возможность установки и съема счетчика с лицевой стороны.

Дополнительные требования определены в ПУЭ [1] в разделе 7 «Электрооборудование специальных установок»:

7.1.59. В жилых зданиях следует устанавливать один одно- или трехфазный расчетный счетчик (при трехфазном вводе) на каждую квартиру.

7.1.60. Расчетные счетчики в общественных зданиях, в которых размещено несколько потребителей электроэнергии, должны предусматриваться для каждого потребителя, обособленного в административно-хозяйственном отношении (ателье, магазины, мастерские, склады, жилищно-эксплуатационные конторы и т.п.).

7.1.61. В общественных зданиях расчетные счетчики электроэнергии должны устанавливаться на ВРУ (ГРЩ) в точках балансового разграничения с энергоснабжающей

организацией. При наличии встроенных или пристроенных трансформаторных подстанций, мощность которых полностью используется потребителями данного здания, расчетные счетчики должны устанавливаться на выводах низшего напряжения силовых трансформаторов на совмещенных щитах низкого напряжения, являющихся одновременно ВРУ здания.

ВРУ и приборы учета разных абонентов, размещенных в одном здании, допускается устанавливать в одном общем помещении. По согласованию с энергоснабжающей организацией расчетные счетчики могут устанавливаться у одного из потребителей, от ВРУ которого питаются прочие потребители, размещенные в данном здании. При этом на вводах питающих линий в помещениях этих прочих потребителей следует устанавливать контрольные счетчики для расчета с основным абонентом.

Расчетные счетчики для общедомовой нагрузки жилых зданий (освещение лестничных клеток, контор домоуправлений, дворовое освещение и т.п.) рекомендуется устанавливать в шкафах ВРУ или на панелях ГРШ.

При установке квартирных щитков в прихожих квартир счетчики, как правило, должны устанавливаться на этих щитках, допускается установка счетчиков на этажных щитках.

7.1.66. Рекомендуется оснащение жилых зданий системами дистанционного съема показаний счетчиков.

### ***Организация эксплуатации приборов учета электрической энергии***

Для каждой электроустановки [2] должна быть утверждена в установленном порядке схема размещения приборов расчетного и технического учета электроэнергии, соответствующая полному вводу электроустановки в эксплуатацию в соответствии с проектом.

Каждый измерительный комплекс учета электроэнергии, введенный по нормальной или временной схеме размещения приборов расчетного и технического учета

электроэнергии, должен иметь технический паспорт — протокол.

При приемке в эксплуатацию системы учета электроэнергии на энергообъекте, а также при изменениях схемы и режимов работы, влияющих на точность учета, должны определяться относительные погрешности измерительных комплексов. Если погрешности превышают допустимые, должны быть приняты меры по выявлению и устранению причин.

Расчетные счетчики, как правило, должны находиться на балансе энергоснабжающей организации и подлежат поверке.

Поверенные расчетные счетчики должны иметь пломбы Госстандарта России (на креплении кожухов), а также энергоснабжающей организации (на крышке колодки зажимов расчетного счетчика).

Нарушение пломбы на расчетном счетчике лишает законной силы учет электроэнергии, осуществляемый данным прибором.

Персонал энергообъекта несет ответственность за сохранность расчетного счетчика, его пломб и за соответствие цепей учета электроэнергии установленным требованиям.

Периодичность и объем поверки расчетных счетчиков должны соответствовать требованиям действующих нормативно-технических документов. Положительные результаты поверки счетчика удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Периодичность и объем калибровки расчетных счетчиков устанавливаются местной инструкцией.

Калибровка расчетного счетчика на месте его эксплуатации, если это предусмотрено местной инструкцией, может проводиться без нарушения поверительного клейма аттестованным представителем энергоснабжающей организации в присутствии лица, ответственного за учет электроэнергии на энергообъекте. Калибровка не заменяет поверку, предусмотренную нормативно-техническими документами, результаты ее оформляются актом.

Если при калибровке установлено, что погрешность счетчика превышает допустимую, счетчик должен быть заменен.

Счетчики технического учета должны находиться на балансе энергообъекта.

Счетчики технического учета подлежат калибровке в сроки и в объемах, предусмотренных нормативно-техническими документами.

Счетчики технического учета должны обслуживаться персоналом энергообъекта, на котором они установлены.

Журнал первичной записи показаний счетчиков учета электроэнергии на энергообъекте должен быть пронумерован, прошнурован и опечатан ответственным лицом.

В журнал первичной записи вносятся показания расчетных счетчиков и счетчиков технического учета ежесуточно на (00 ч 00 мин) местного времени с указанием даты записи и наименования присоединения, а также фамилия и подпись лица, снимающего показания.

Для счетчиков, запись показаний которых ведется ежемесячно, должен быть, как правило, отдельный журнал.

**4.1.2. Требования к материалу и сечению кабелей  
вторичных цепей учета. Маркировка жил кабелей.  
Объем наладочных работ в цепях учета  
на отключенной установке.  
Коммутационные аппараты в цепях подключения  
счетчиков. Установка испытательных блоков  
и испытательных переходных коробок**

Правила устройства электроустановок ПУЭ [1] требуют:

1.5.32. Электропроводки к счетчикам должны отвечать требованиям, приведенным в главах 2.1 и 3.4.

2.1.31. Электропроводка должна обеспечивать возможность легкого распознавания по всей длине проводников по цветам:

- голубого цвета — для обозначения нулевого рабочего или среднего проводника электрической сети;
- двухцветной комбинации зелено-желтого цвета — для обозначения защитного или нулевого защитного проводника;

- двухцветной комбинации зелено-желтого цвета по всей длине с голубыми метками на концах линии, которые наносятся при монтаже, — для обозначения совмещенного нулевого рабочего и нулевого защитного проводников;

- черного, коричневого, красного, фиолетового, серого, розового, белого, оранжевого, бирюзового цвета — для обозначения фазного проводника.

1.5.33. В электропроводке к расчетным счетчикам наличие паяк не допускается.

1.5.34. Сечения проводов и кабелей, присоединяемых к счетчикам, должны приниматься в соответствии с 3.4.4 (см. также 1.5.19).

3.4.4. По условию механической прочности:

1) жилы контрольных кабелей для присоединения под винт к зажимам панелей и аппаратов должны иметь сечения не менее  $1,5 \text{ мм}^2$  для меди и  $2,5 \text{ мм}^2$  для алюминия; *для токовых цепей —  $2,5 \text{ мм}^2$  меди и  $4 \text{ мм}^2$  для алюминия.*

1.5.19. Сечение и длина проводов и кабелей в цепях напряжения расчетных счетчиков выбираются таким образом, чтобы потери напряжения в этих цепях составляли не более 0,25% номинального напряжения при питании от трансформатора напряжения класса точности 0,5 и не более 0,5% при питании от трансформатора напряжения класса точности 1,0. Потеря напряжения до счетчиков технического учета должна составлять не более 1,5%.

3.4.9. Кабели вторичных цепей, жилы кабелей и провода, присоединяемые к сборкам зажимов или аппаратам, должны иметь маркировку.

Минимальное сечение проводника ограничено условием механической прочности, максимальное не должно превышать  $10 \text{ мм}^2$ . Если же по условию потери напряжения необходим проводник большего сечения, то для его подсоединения должны быть напаяны наконечники или использованы специальные переходные зажимы.

Разделку кабеля с резиновой изоляцией жил необходимо защитить от воздействия света и воздуха, разрушающего резину. Для этой цели применяют хлорвиниловую трубку.

При подключении к счетчику алюминиевых проводов необходимо соблюдать следующие правила: контактная поверхность проводника зачищается стальной щеткой или напильником и покрывается слоем нейтрального технического вазелина. Перед подключением с проводника удаляется загрязненный вазелин 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 сильно ослабляется (но не полностью), после чего производят вторичную, окончательную, затяжку с нормальным усилием; цепи учета обслуживаются только закрепленным за ними персоналом. Чтобы закрыть к ним доступ остальных лиц, цепи учета пломбируют. Пломбированию подлежат зажимная коробка счетчика и его сборка зажимов, переходная коробка или испытательный блок.

Эксплуатационное обслуживание счетчиков включает такие работы, как проверка правильности включения, поверки образцовыми приборами, замена счетчиков. Обычно токовые цепи счетчиков включаются через переходные зажимы. Необходимо, чтобы конструкция переходных зажимов обеспечивала удобное выполнение этих работ. Переходные зажимы должны быть приспособлены для закорачивания токовых цепей, отключения цепей тока и напряжения в каждой фазе, подключения приборов без отсоединения проводов. Для цепей учета выделяется самостоятельный ряд зажимов или отдельная секция в общем ряду зажимов.

Если же расчетный учет электроэнергии осуществляется на подстанции потребителя, то применение промежуточных сборок зажимов не рекомендуется или же они закрываются кожухом и пломбируются.

1.5.35. При монтаже электропроводки для присоединения счетчиков непосредственного включения около счетчиков необходимо оставлять концы проводов длиной не менее 120 мм. Изоляция или оболочка нулевого провода

на длине 100 мм перед счетчиком должна иметь отличительную окраску.

1.5.36. Для безопасной установки и замены счетчиков в сетях напряжением до 380 В должна предусматриваться возможность отключения счетчика установленными до него на расстоянии не более 10 м коммутационным аппаратом или предохранителями. Снятие напряжения должно предусматриваться со всех фаз, присоединяемых к счетчику.

Трансформаторы тока, используемые для присоединения счетчиков на напряжении до 380 В, должны устанавливаться после коммутационных аппаратов по направлению потока мощности.

1.5.37. Заземление (зануление) счетчиков и трансформаторов тока должно выполняться в соответствии с требованиями гл. 1.7. При этом заземляющие и нулевые защитные проводники от счетчиков и трансформаторов тока напряжением до 1 кВ до ближайшей сборки зажимов должны быть медными.

1.5.38. При наличии на объекте нескольких присоединений с отдельным учетом электроэнергии на панелях счетчиков должны быть надписи наименований присоединений.

Правила устройства электроустановок ПУЭ [1] в главе «Электрооборудование специальных установок» требуют:

Расчетные квартирные счетчики рекомендуется размещать совместно с аппаратами защиты (автоматическими выключателями, предохранителями).

7.1.64. Для безопасной замены счетчика, непосредственно включаемого в сеть, перед каждым счетчиком должен предусматриваться коммутационный аппарат для снятия напряжения со всех фаз, присоединенных к счетчику.

Отключающие аппараты для снятия напряжения с расчетных счетчиков, расположенных в квартирах, должны размещаться за пределами квартиры.

После счетчика, включенного непосредственно в сеть, должен быть установлен аппарат защиты. Если после счетчика отходит несколько линий, снабженных аппаратами защиты, установка общего аппарата защиты не требуется.

### ***Установка испытательных блоков и испытательных переходных коробок***

Счетчики электроэнергии подлежат периодической поверке. Следовательно, электросчетчики нужно периодически демонтировать и вместо них устанавливать поверенные. Иногда нужно заменить электросчетчик на фидере, отключение которого проблематично в силу ряда причин, например, из-за непрерывности технологического процесса. Чтобы произвести замену, не отключая потребителей и при этом в строгом соответствии с «Правилами техники безопасности», в схему учетов электроэнергии вводят такой элемент, как клеммные испытательные коробки.

Коробка испытательная предназначена для подключения электрических счетчиков и обеспечения смены счетчиков для ремонта или поверки их на месте установки без отключения нагрузки потребителя в закрытых помещениях.

Клеммная испытательная коробка представляет собой основание с крышкой из негорючего изоляционного материала (например, карболита), на котором размещены болтовые зажимы и контактные площадки. Внешний вид такой коробки показан на рисунке 4.1.1. В клеммной

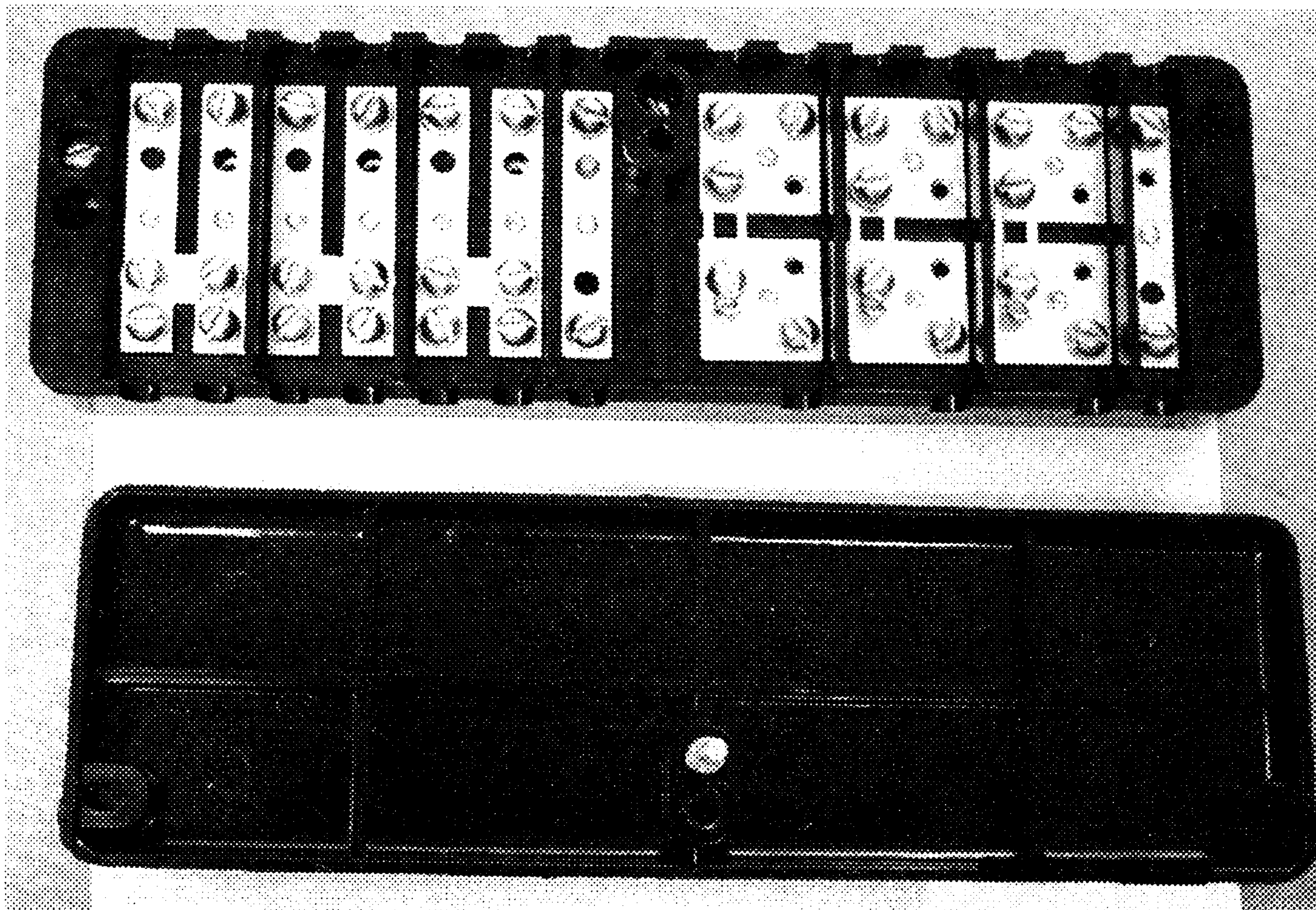


Рис. 4.1.1. Внешний вид испытательной коробки

испытательной коробке имеются зажимы цепей напряжения и зажимы цепей тока, то есть испытательная коробка включена в разрыв данных цепей.

При замене электросчетчика необходимо выполнить два требования — во-первых, закоротить вторичные обмотки трансформаторов тока, а во-вторых — снять напряжение с прибора учета для безопасного выполнения работ. Первую задачу решают вворачиванием специального штекера в соответствующие токовые зажимы (см. рис. 4.1.2). Замыкающий штекер представляет собой обычный винт с изолированной ручкой (держателем) для удобного и безопасного вворачивания. С помощью отверток с изолированными ручками поднимают вверх контактные пластины 35-36-37. Этими действиями замыкают токовую цепь учета электроэнергии не через токовую катушку электросчетчика, а через штекер и общую пластину — т.е. цепь тока полностью отделяется от электросчетчика.

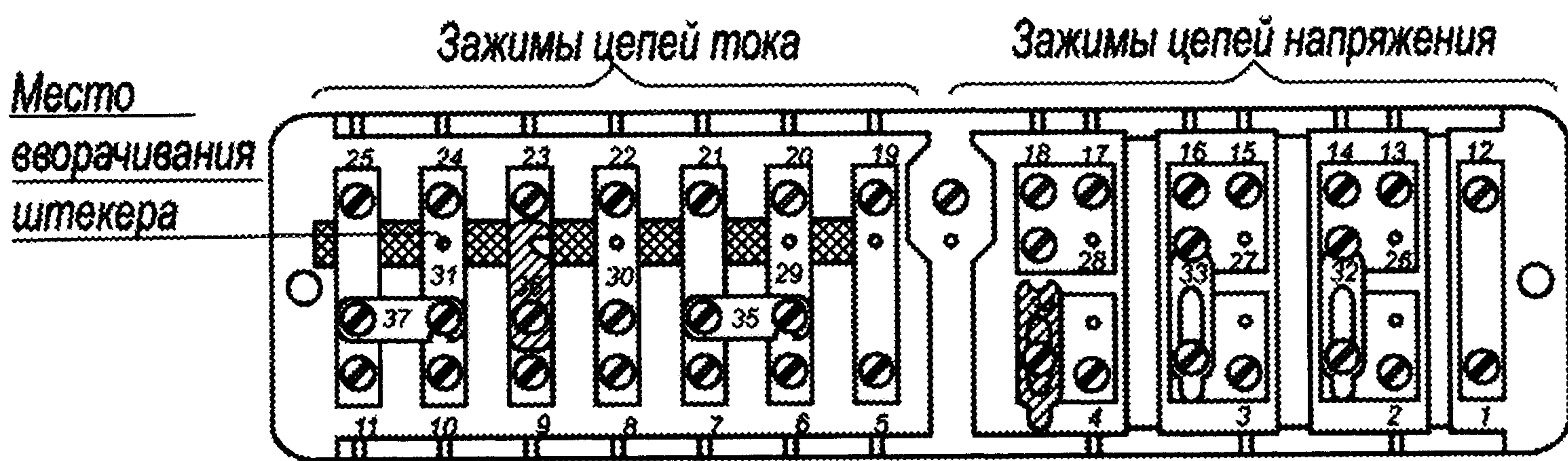


Рис. 4.1.2. Клеммы на испытательной коробке

После этого с помощью двух отверток с изолированными ручками отключают каждую фазу (контактные пластины 32-33-34). После этого можно спокойно демонтировать электросчетчик и устанавливать новый. После установки поверенного электросчетчика выполняют указанные действия в обратной последовательности — таким образом, заменили электросчетчик без снятия напряжения.

Монтажная схема включения учета электроэнергии с применением клеммной испытательной коробки показана на рисунке 4.1.3. Так же, как электросчетчики и трансформаторы тока, клеммные испытательные коробки в обязательном порядке подлежат пломбировке энергоснабжающей организацией.

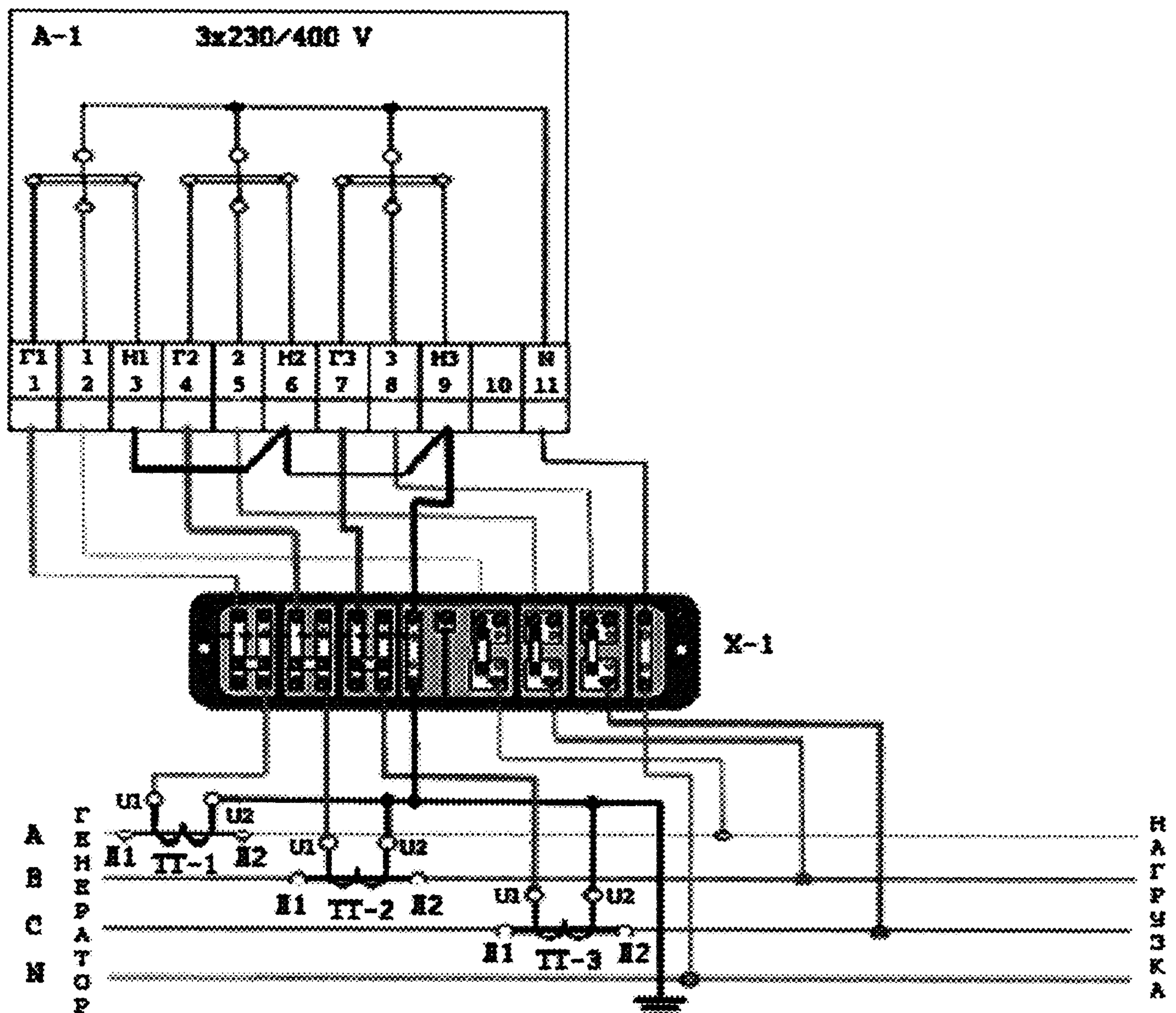


Рис. 4.1.3. Монтажная схема включения учета электроэнергии с применением клеммной испытательной коробки

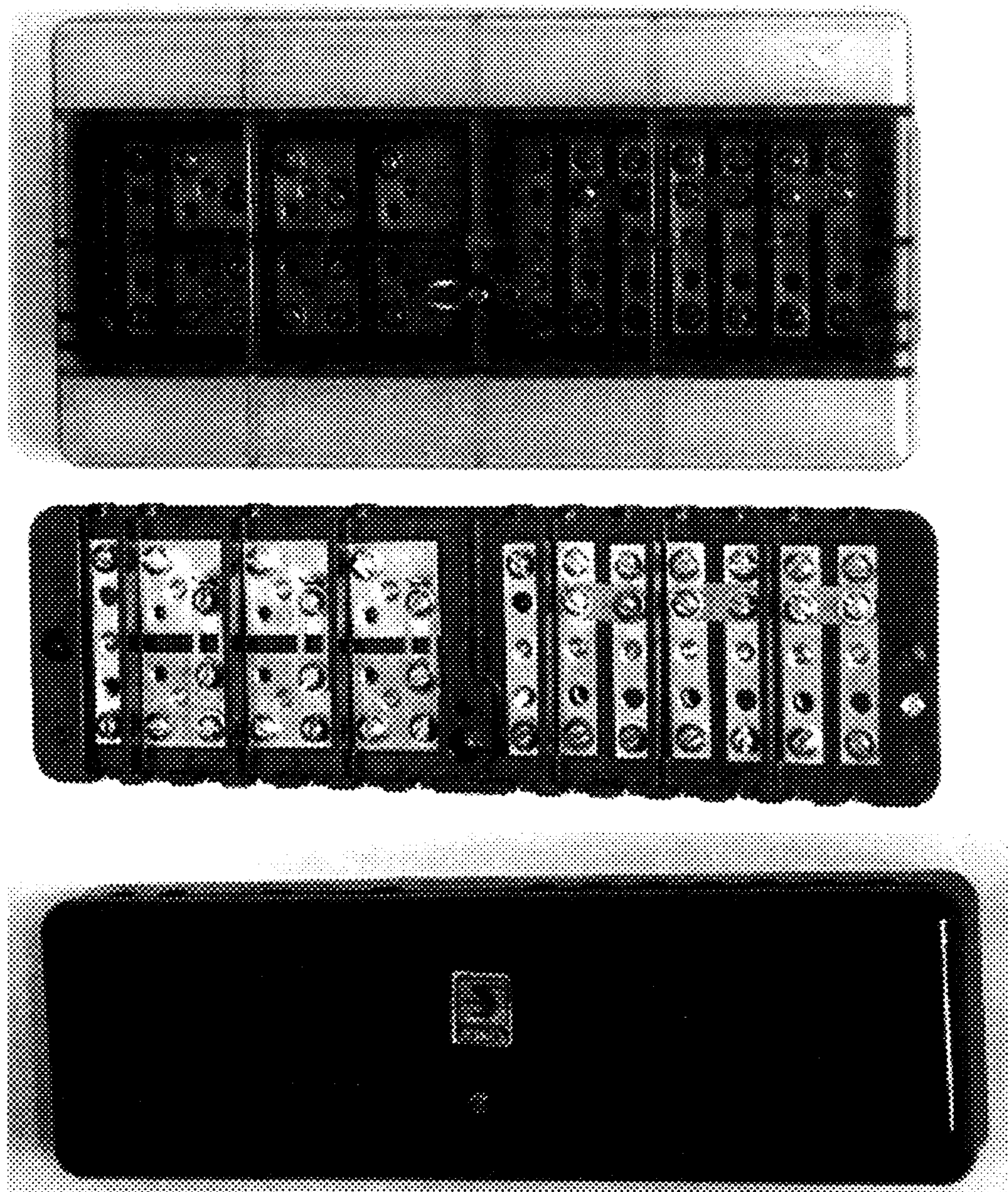


Рис. 4.1.4. Фотографии испытательной коробки

## **Контрольные вопросы**

1. На какой высоте от пола до коробки зажимов счетчика должен устанавливаться счетчик?
2. Назовите требования ПУЭ к температуре окружающей среды в помещениях, где устанавливаются счетчики электрической энергии?
3. Какое минимальное сечение провода допускается для подключения под винт к зажимам счетчика по условию механической прочности провода?
4. На каком расстоянии должны устанавливаться коммутационные аппараты для отключения счетчика в сетях напряжением до 380В?
5. С какой целью устанавливаются испытательные коробки?

## **Тема 4.2. Проверка схем включения и работы счетчиков на месте установки**

### **4.2.1. Производство работ с однофазными счетчиками.**

#### **Правила подключения счетчиков, правила выполнения вторичных цепей трансформаторов тока и напряжения**

В объем наладочных работ [6, С. 38–40] на отключенной установке входит внешний осмотр, проверка схемы путем прозвонки, проверка изоляции и измерительных трансформаторов. Проверка измерительных трансформаторов включает в себя проверку однополярных выводов обмоток, снятие вольтамперной характеристики трансформаторов тока, проверку их нагрузки. Эти же работы в полном или частичном объеме выполняются в порядке текущей эксплуатации, при заменах или капитальных ремонтах измерительных трансформаторов, после переделки вторичных цепей при нарушении правильности учета.

**Внешний осмотр.** Внешнему осмотру подвергаются все вторичные цепи от измерительных трансформаторов до счетчиков. Проверяются комплектность и отсутствие механических повреждений элементов вторичных цепей (сборки зажимов, переходные коробки, испытательные блоки и пр.), качество разделки контрольных кабелей, на-

дежность и правильность крепления счетчиков, отсутствие окисления контактных соединений, состояние устройств обогрева. Необходимо проверить выполнение в полном объеме маркировки проводов и контрольных кабелей. При централизованном размещении счетчиков проверяется наличие надписей с наименованием присоединений. Все замеченные недостатки немедленно устраняются.

**Прозвонка проводников** имеет целью установить полное соответствие монтажа принципиальной и монтажной схемам, включая соответствие маркировок. Для прозвонки могут быть использованы омметр типа М-57, мегаомметр. Применяются также лампа, звонок или вольтметр. Источниками питания могут служить батарея 4—6 В или понижающий трансформатор 220/12 В. Перед тем как приступить к прозвонке (и к последующей проверке изоляции), необходимо проверить отсутствие напряжения на всех зажимах при помощи вольтметра или указателя напряжения.

Во избежание обратной трансформации трансформаторы напряжения отключаются с обеих сторон. Прозваниваемый провод хотя бы с одного конца должен быть отсоединен от схемы — это исключает возможные обходные цепи.

В результате прозвонки устанавливается следующее: провод не имеет обрыва; провод не имеет замыкания с другими проводами; концы провода замаркированы одноименно; концы провода подключены согласно схеме.

После прозвонки схему восстанавливают, плотно поджав все зажимы.

**Проверка изоляции** включает в себя испытание изоляции переменным напряжением 1000 В в течение 1 мин и измерение сопротивления изоляции мегаомметром. При эксплуатационных проверках допускается замена испытательного напряжения 1000 В переменного тока испытательным напряжением 2500 В постоянного тока при применении соответствующего мегаомметра. Перед проверкой необходимо отсоединить заземление трансформаторов тока. Делаются три замера: между последовательными цепями и «землей», между параллельными цепями и «землей», между последовательными и параллельными

цепями. Во всех случаях сопротивление изоляции должно быть не ниже 1 МОм. В таком же порядке производится и испытание изоляции.

После испытания схема должна быть восстановлена.

**Полярность зажимов измерительных трансформаторов** проверяется с помощью чувствительного магнитоэлектрического прибора с нулем в середине шкалы, имеющего на своих зажимах обозначенную полярность (рис. 4.2.1 а). Источник постоянного тока напряжением 4—6 В подключается к первичной обмотке измерительного трансформатора. Измерительный прибор подсоединяют ко вторичной обмотке. «Плюс» источника и «плюс» прибора при этом должны быть подсоединены к зажимам, обозначенным как однополярные (например, *Л1* и *И1*). Отклонение стрелки прибора вправо при замыкании рубильника подтверждает правильность обозначения.

**Вольтамперная характеристика**, представляющая собой зависимость напряжения на зажимах вторичной обмотки от проходящего по ней тока намагничивания, является основной характеристикой, которая определяет исправность трансформатора тока. Схема для снятия вольтамперной характеристики приведена на рис. 4.2.1 б.

Обычно в схеме применяют регулировочный автотрансформатор ЛАТР-1 либо несущественно отличающийся от него РНО-250-2. Используют амперметр и вольтметр электромагнитной системы класса точности 0,5. Если предел измерения амперметра 5 А, то его включают через трансформатор тока класса точности 0,2.

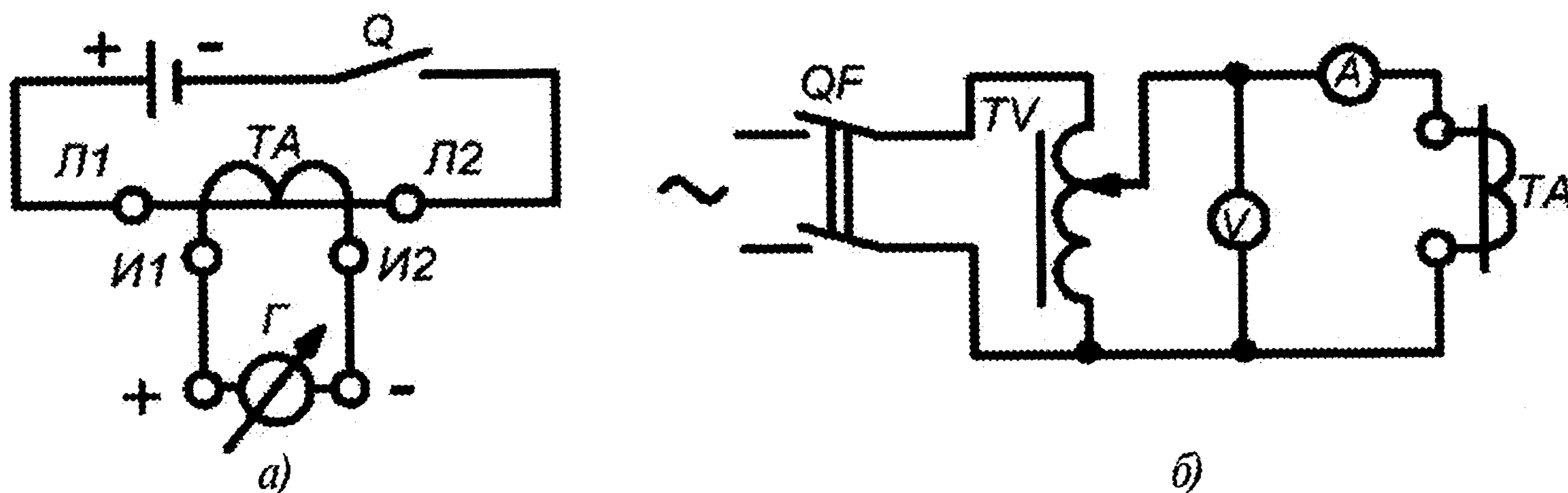


Рис. 4.2.1. Проверка трансформатора тока:  
а — определение полярности обмоток;  
б — снятие характеристики намагничивания

Для снятия характеристики при разомкнутой первичной обмотке на зажимы вторичной обмотки подается переменное напряжение через регулировочный автотрансформатор (рис. 4.2.1 б). Увеличивая ступенями напряжение, для каждого его значения измеряют значение тока при новом включении. Таким образом, снимаются 10–12 точек и строится вольтамперная характеристика. При плановых проверках снимаются 3–4 точки, и проверяется их совпадение с ранее снятой характеристикой.

При наличии короткозамкнутых витков характеристика резко снижается, как показано на рис. 4.2.2. Снижение характеристики может быть обнаружено при сравнении ее с характеристикой, снятой ранее, или с характеристиками однотипных трансформаторов тока.

**Сопротивление проводов и жил кабеля во вторичных цепях** можно измерить мостом любого типа. Если ожидаемое значение сопротивления ниже 1 Ом, то следует применить мост УМВ или РЗЗЗ. При отсутствии моста можно измерить сопротивление с помощью амперметра и милливольтметра.

Для непосредственной наладки и снятия векторных диаграмм установленных и смонтированных учетов электроэнергии довольно часто применяют приборы типа **ВАФ-85-М1**, **Парма ВАФ-А-2**.

Также для непосредственной наладки установленных и смонтированных учетов электроэнергии довольно часто применяют прибор **Е-117**. Он позволяет оценить величину напряжения в диапазонах **0–50 В** и **0–500 В**, а также проверить чередование фаз на электросчетчике — это является

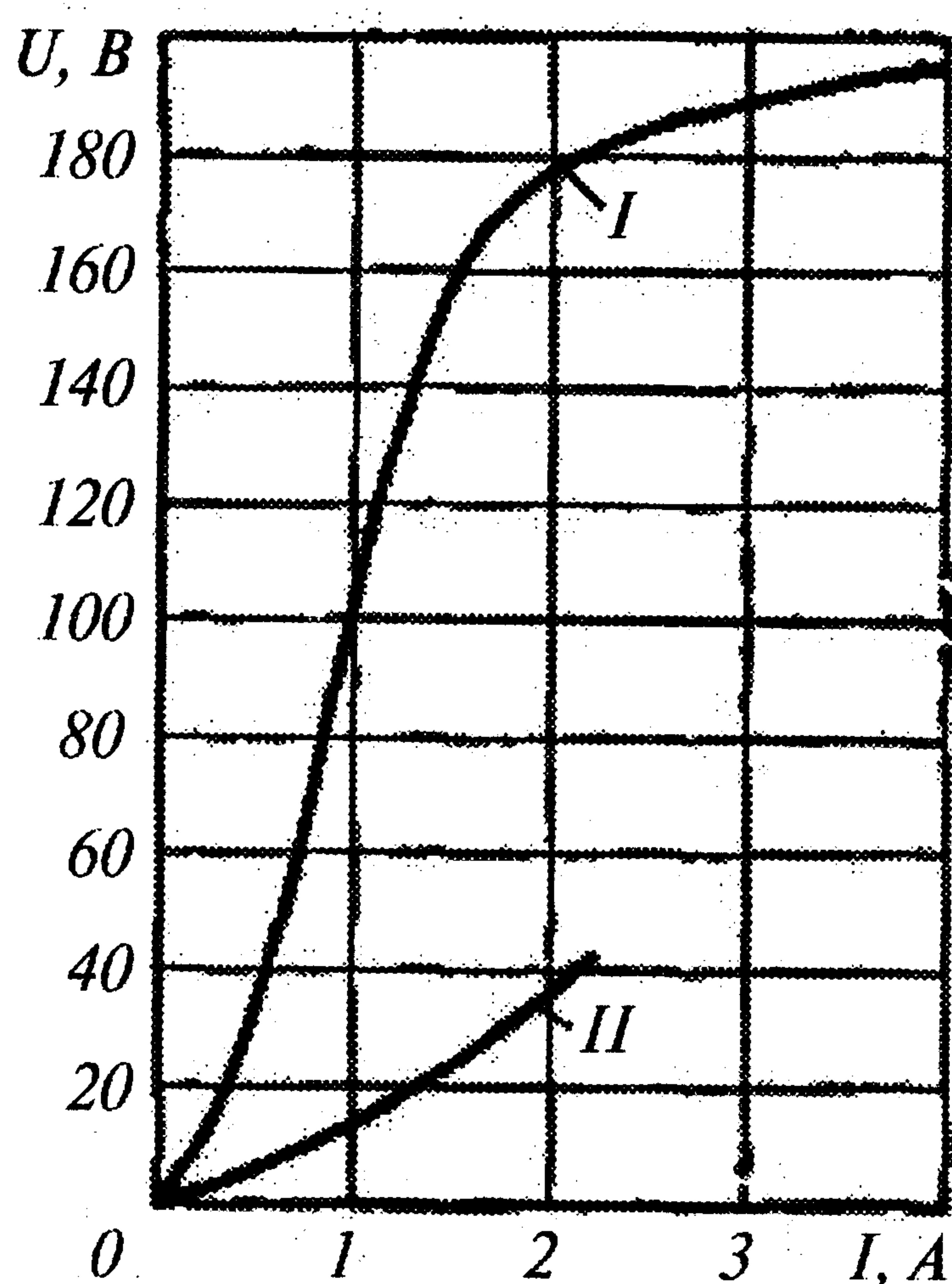


Рис. 4.2.2. Характеристики намагничивания исправного трансформатора тока *I* и трансформатора тока с короткозамкнутыми витками *II*

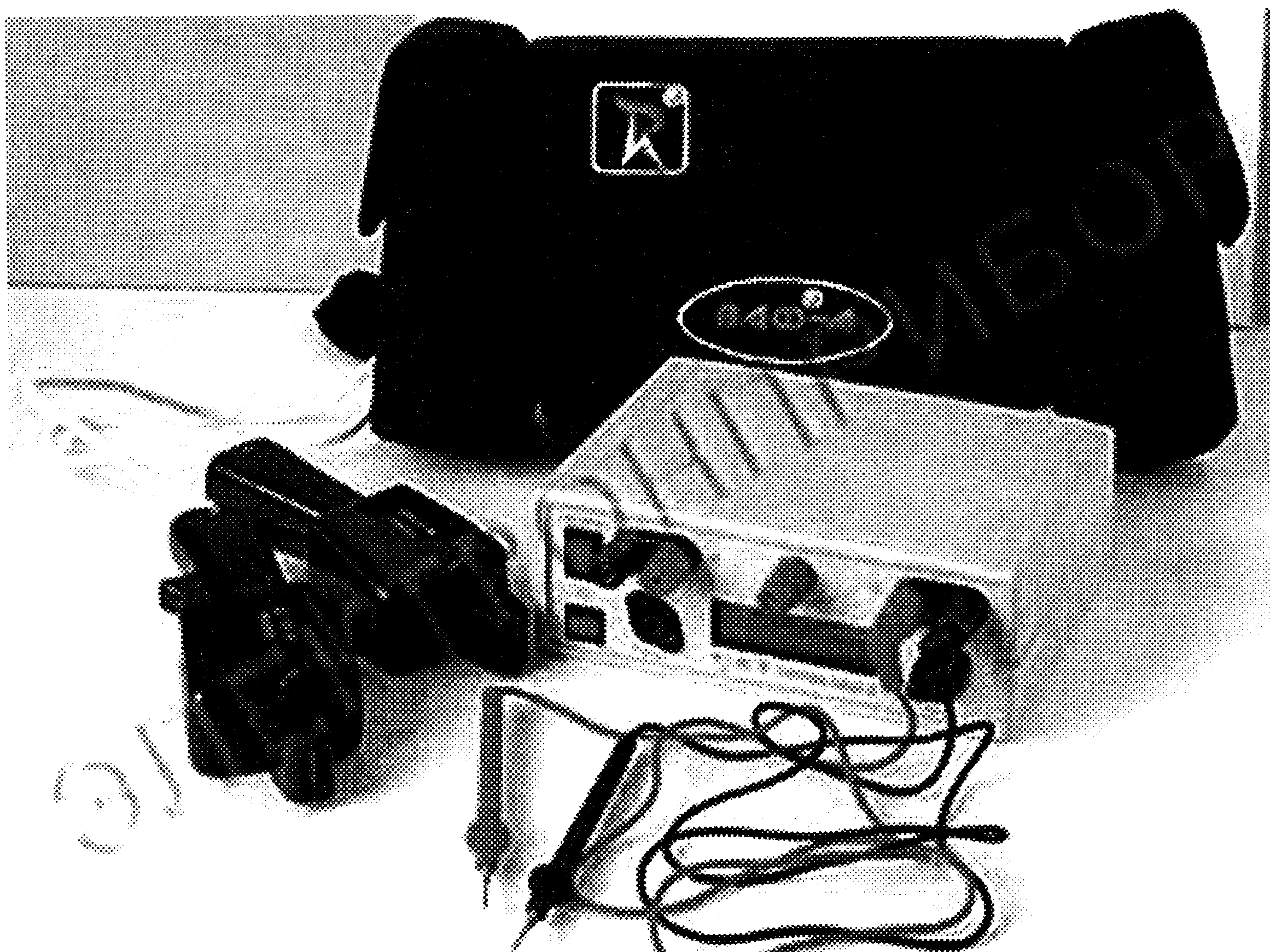


Рис. 4.2.3. Приборы типа ВАФ-85-М1

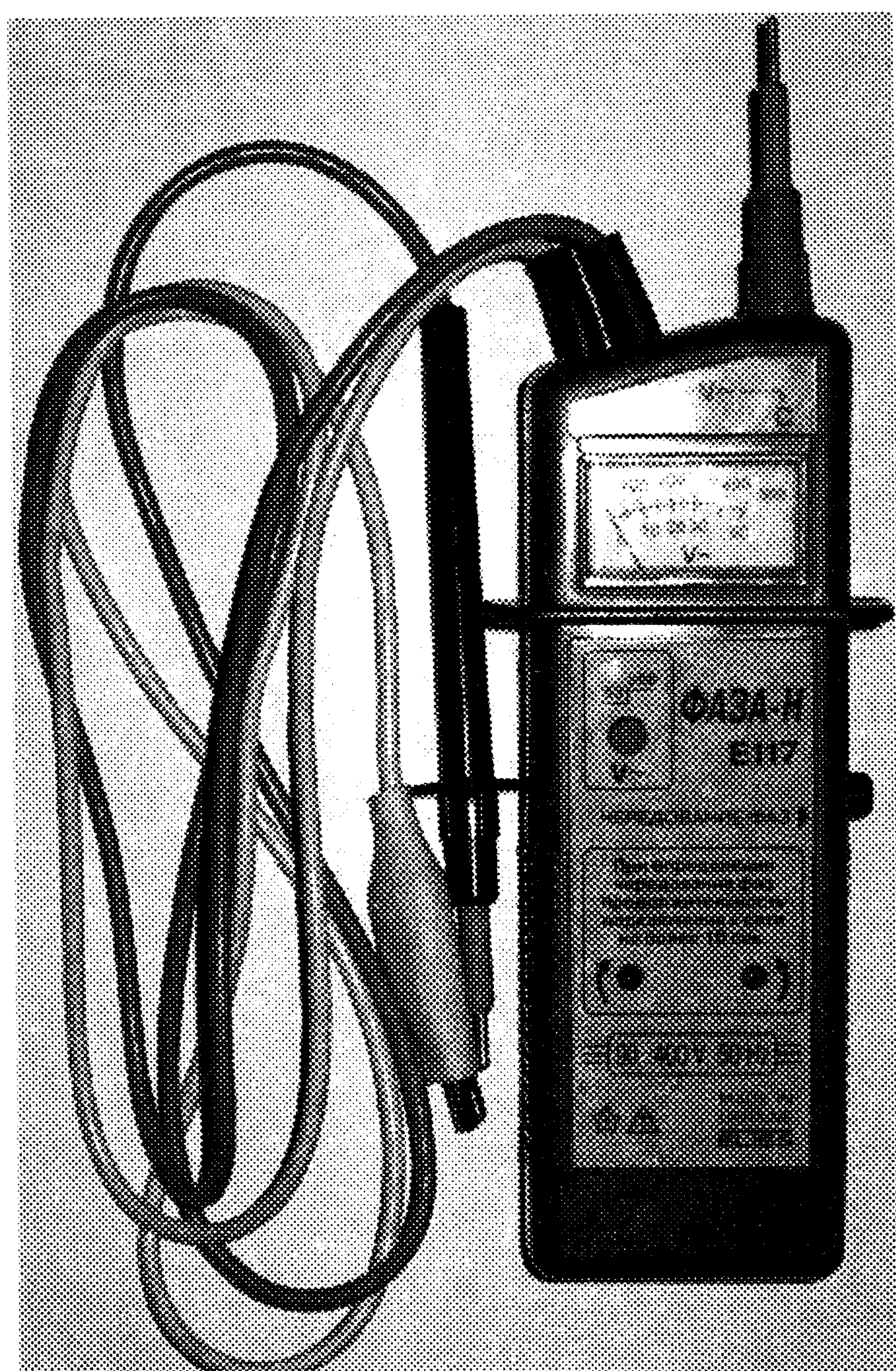


Рис. 4.2.4. Внешний вид прибора E-117

одним из главных условий для правильной работы электросчетчика, включенного по полукосвенной или косвенной схемам. На рисунке 4.2.4 показан внешний вид прибора Е-117.

Выбор приборов для выполнения указанных работ довольно велик и здесь все зависит от требований и финансовых возможностей пользователя.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему необходимо проверять правильность включения счетчика?
2. Какими приборами осуществляется проверка правильности включения счетчика?
3. Порядок проверки правильности включения счетчика.
4. С какой целью снимается вольтамперная характеристика трансформатора тока?

## **Тема 4.3. Ремонт, регулировка и поверка счетчиков**

### **4.3.1. Поверка и калибровка счетчиков.**

**Неисправности счетчиков.**

**Организация работ по ремонту и поверке счетчиков.**

**Поверка методом ваттметра-секундомера**

*Поверка средств измерений* — совокупность операций, выполняемых органами метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

Поверкой устанавливается пригодность счетчика к применению. Соответствующими стандартами установлено, что счетчики подлежат обязательной поверке. На счетчики, прошедшие поверку, ставится клеймо.

*Калибровка средств измерений* — совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору.

При калибровке устанавливается пригодность счетчика к применению, а также знак ошибки, но значение отклонения при калибровке определить нельзя.

Электрический счетчик [12, С. 97—129] в процессе эксплуатации теряет свою точность. Причины, нарушающие правильность работы счетчика, можно разделить на постоянные и случайные.

Постоянные причины действуют во всех случаях, на все счетчики и во все время эксплуатации. К числу таких причин относятся:

- а) износ деталей подпятника и подшипника;
- б) износ коллектора и щеток у счетчиков постоянного тока;
- в) наблюдающееся иногда постепенное ослабление со временем тормозного магнита.

Случайными причинами являются:

- а) неправильность или небрежность сборки, в результате чего счетчик, показавший удовлетворительные результаты при поверке его, в дальнейшем быстро начинает давать неправильные показания или вообще останавливается;
- б) нарушение регулировки из-за случайных сильных сотрясений счетчика (падение, удар) при транспортировке и установке;
- в) коррозия отдельных деталей счетчика;
- г) неправильность включения счетчика;
- д) систематическая большая перегрузка.

Для обеспечения своевременного выявления неправильно работающих счетчиков используются:

- а) контроль счетов, вручаемых потребителю;
- б) периодический осмотр установленных счетчиков;
- в) периодическая поверка установленных счетчиков.

Эти мероприятия являются хорошим средством для своевременного выявления тех неправильностей работы счетчиков и учета энергии, которые были отнесены к разряду случайных, однако остаются постоянно действующие причины, ухудшающие работу счетчика: износ деталей. Под действием этих причин трение в счетчике с течени-

ем времени возрастает, чувствительность его снижается, и это приводит к недоучету энергии, особенно при малых нагрузках.

Для предупреждения недоучета энергии необходим профилактический ремонт всех счетчиков. Через определенное время счетчики в плановом порядке должны сниматься и доставляться в мастерские для чистки механизма и последующей регулировки.

На основании Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей ПТЭЭП п. 2.11.9. [3] поверка расчетных средств учета (счетчиков) электрической энергии и образцовых средств измерений проводится в сроки, установленные государственными стандартами, а также после ремонта указанных средств.

В соответствии с ГОСТ 6570-96 «Счетчики электрические активной и реактивной энергии индукционные»:

Межповерочный интервал периодической поверки счетчиков — не менее:

- 6 лет для трехфазных счетчиков;
- 16 лет для однофазных счетчиков;
- 4 года для счетчиков класса точности 0,5.

Все неисправности счетчика [6, С. 59–61] обычно приводят к таким последствиям: остановка подвижной системы, завышенная погрешность, неправильная работа счетного механизма, самоход.

При неподвижном диске следует проверить наличие напряжения всех фаз на зажимах счетчика и значение тока в последовательных обмотках. Затем снимается векторная диаграмма. Если все измерения не выявили причину, то она кроется в неисправности счетчика.

Если имеются подозрения на большую погрешность счетчика, то необходимо произвести его контрольную поверку на месте установки. Поверка может производиться либо контрольным счетчиком, либо ваттметрами и секундомером. Применение образцового счетчика дает большую точность измерений. Применение этого метода возможно лишь в тех случаях, когда нагрузка неизменна во время

измерений либо она изменяется незначительно ( $\pm 5\%$ ). Нагрузка должна быть не менее 10% номинальной. Если эти условия невыполнимы, счетчик следует снять и проверить его в лабораторных условиях.

Для контрольной поверки счетчика необходимо иметь механический секундомер и образцовые однофазные ваттметры класса 0,2 или 0,1 или трехфазный класса 0,2 или 0,5. Ваттметрами класса 0,2 можно поверять счетчики класса 2,0 и менее точные. Метрологические требования при этом будут удовлетворены. Применяя те же ваттметры для поверки счетчиков класса 1,0, необходимо вносить поправки, учитывающие погрешность образцовых приборов. Иногда включаются также два амперметра и два или три вольтметра.

Приборы включаются, как показано на рисунке 4.3.1. Подключать их следует к зажимам переходной коробки или сборки зажимов.

До начала измерений вычисляются постоянная счетчика  $s$  по формуле (1.2.1) и цена деления ваттметра  $c_w$  по формуле

$$c_w = \frac{I_w U_w}{n_w}, \quad (4.3.1)$$

где  $I_w$ ,  $U_w$  — пределы измерения ваттметра по току и напряжению;

$n_w$  — число делений шкалы.

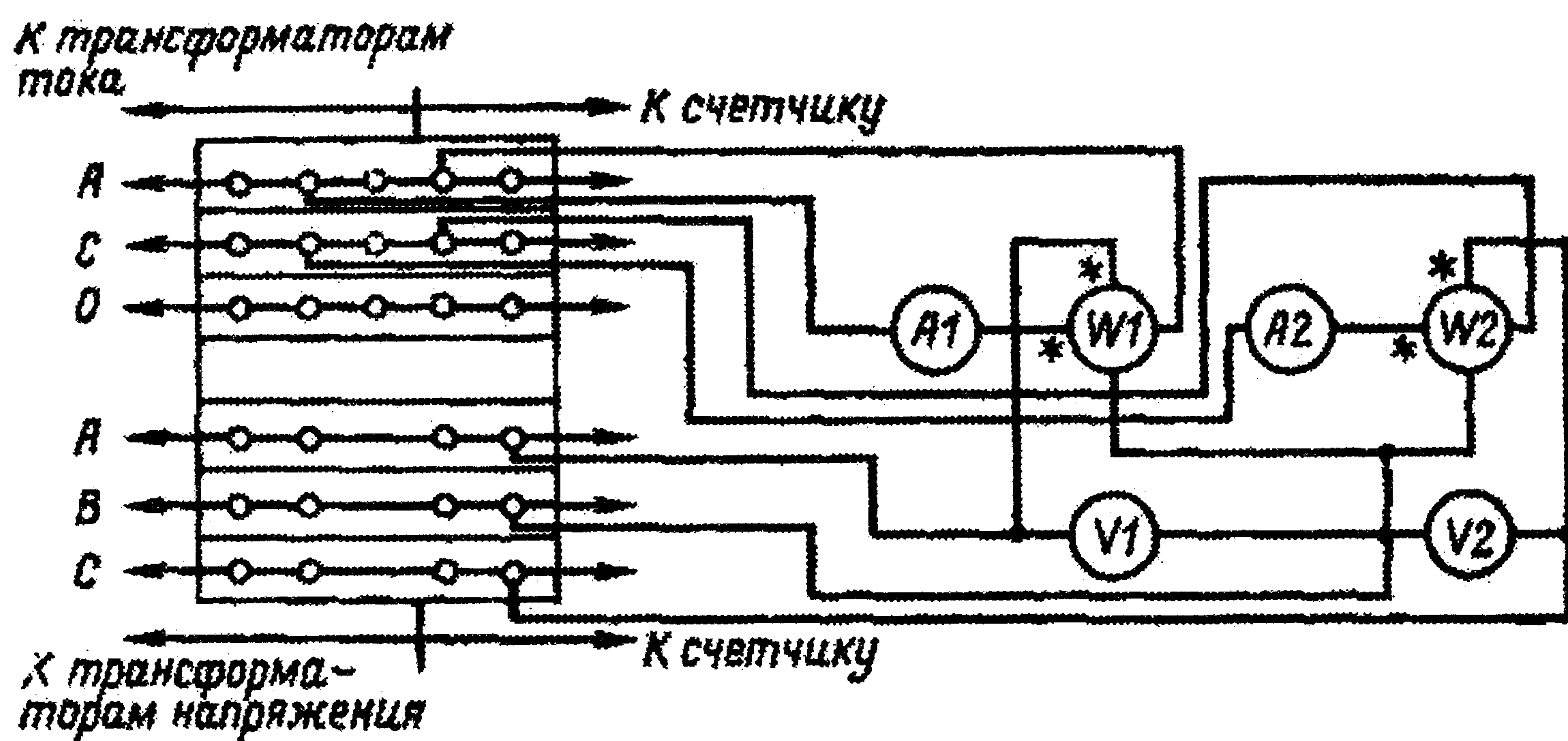


Рис. 4.3.1. Схема включения измерительных приборов для контрольной поверки счетчика

Поверку выполняют два человека. Один из них пускает секундомер при появлении красной черты в окошке счетчика, отсчитывает заданное число оборотов и, остановив секундомер, определяет время  $t$ . Число оборотов выбирают обычно кратным 20 и таким, чтобы время замера было не менее 1 мин. Второй человек через равные интервалы времени фиксирует и записывает показания ваттметров (не менее 10 измерений). По данным этих измерений определяется среднее арифметическое показание каждого ваттметра  $P_{1cp}$  и  $P_{2cp}$ , по которым можно определить среднюю суммарную мощность нагрузки

$$P_{cp} = (P_{1cp} + P_{2cp}) c_w. \quad (4.3.2)$$

Далее находится нормальное время

$$t_n = \frac{CN}{P_{cp}}. \quad (4.3.3)$$

Нормальное время счетчика — это время, за которое счетчик совершил бы заданное число оборотов при отсутствии погрешности.

Зная нормальное время  $t_n$  и фактическое время  $t$ , можно определить погрешность счетчика по формуле

$$\Delta = \frac{t_n - t}{t_n} \cdot 100\%. \quad (4.3.4)$$

*Пример:* Определить погрешность счетчика САЗУ класса 2,0 с номинальными параметрами 3х5 А; 3х100 В; 1 кВт·ч = 2500 оборотов диска. У контрольного ваттметра пределы 150 В, 5 А; число делений шкалы 150. Счетчик сделал 20 оборотов за 99,4 с.

За это время средние показания приборов в делениях шкалы:  $P_{1cp} = 23$ ;  $P_{2cp} = 38$ ;  $I_1 = I_2 = 2,2$  А;  $U = 100$  В.

Постоянная счетчика по (1.2.1)

$$C = (1000 \cdot 3600) / 2500 = 1440 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{об}.$$

Цена деления ваттметра по (4.3.1)

$$c_w = (5 \cdot 150) / 150 = 5 \text{ Вт} / \text{дел}.$$

Средняя мощность нагрузки по (4.3.2)

$$P_{cp} = (23+38) \cdot 5 = 305 \text{ Вт.}$$

Коэффициент мощности

$$\cos\varphi = 305 / (100 \cdot 2,2\sqrt{3}) = 0,9.$$

Нормальное время счетчика при данной нагрузке по (4.3.3)

$$t_H = (1440 \cdot 20) / 305 = 94,4 \text{ с.}$$

Погрешность счетчика по (4.3.4)

$$\Delta = (94,4 - 99,4) / 94,4 \cdot 100 = -5,3\%,$$

т.е. погрешность превышает допустимую, и счетчик подлежит замене.

Необходимо помнить, что таким образом определяется только погрешность счетчика, а не полная погрешность измерения электроэнергии. Последняя может быть определена, если образцовые приборы будут включены через образцовые измерительные трансформаторы.

#### **4.3.2. Порядок разборки и сборки счетчиков.**

**Ремонт, правка, чистка, смазка, замена деталей.**

**Подготовка к регулировке**

Содержание работ по ремонту трехфазного счетчика:

1. Внешний осмотр и чистка счетчика.
2. Включение счетчика в схему, проверка его работоспособности, чувствительности и устойчивости показаний.
3. Выявление и устранение мелких дефектов (подтяжка болтов, подкраска корпуса).
4. Вскрытие, осмотр и чистка внутренней части прибора.
5. Устранение повреждений корпуса (трещин, царапин), замена стекла, зажимов и неисправного крепежа.
6. Снятие электромагнитной системы.
7. Замена шарика подпятника.
8. Замена верхнего подшипника.
9. Ремонт и заправка осей.
10. Разборка, ремонт и сборка счетных механизмов.
11. Правка дисков.
12. Сборка и регулирование подвижной системы.

13. Проверка сцепления и положения барабанчиков.
14. Установка счетных механизмов.
15. Чистка и ремонт контактов.
16. Чистка и регулирование положения постоянного магнита.
17. Сборка и регулирование счетчика.
18. Подготовка счетчика к поверке.

Основная цель профилактического ремонта [12, С. 97—129] счетчиков переменного тока заключается в прочистке подпятника и верхнего подшипника. Примерно у 15% счетчиков оказывается необходимой замена изношенных частей: камня, шарика и колпачка верхнего подшипника.

Чистка подпятника и подшипника является обязательной операцией профилактического ремонта, кроме того, большинство крупных мастерских практикует полную чистку счетных механизмов у всех счетчиков, поступивших в мастерскую.

Ремонт электрических счетчиков, даже в самых мелких мастерских, производится всегда с подразделением различных операций между несколькими рабочими.

В большинстве мелких мастерских вся работа по ремонту счетчика распределяется между двумя рабочими: механиком и регулировщиком. Каждый механик получает партию в 10—20 шт. однотипных счетчиков и производит полностью чистку, окраску, исправляет или заменяет дефектные детали и затем передает счетчики регулировщику.

*Чистка деталей.* Укладочные ящики с дисками, иглодержателями и подпятниками поступают к отдельной небольшой бригаде механиков из двух-трех человек, между которыми распределяются следующие операции:

- а) промывка диска с осью;
- б) разборка и сборка подпятника с промывкой его деталей и промывка иглодержателя;
- в) полировка или замена шарика.

*Разборка подпятника.* Подпятник полностью разбирается для промывки и проверки состояния камня с шариком. Разборка пенала, вложенного в подшипник и состоя-

щего из оправы камня с напрессованной на него латунной гильзой, производится особым приемом.

Детали разобранного подпятника тщательно промываются в составе и бензине, обтираются сухой чистой тряпкой; после этого производится осмотр камня и шарика.

Трущиеся поверхности камня и шарика должны иметь зеркальную полировку; в микроскоп с увеличением X25 не должно замечаться никаких изъянов или царапин.

*Сборка подпятников.* После промывки и осмотра деталей и смены в надлежащих случаях камня или шарика подпятник собирается. Эта простая операция является одной из самых ответственных при ремонте счетчиков, так как качество сборки определяет надежность работы подпятника; малейшие следы загрязнения шарика или камня ведут к быстрой порче их во время эксплуатации.

*Чистка счетного механизма.* Счетные механизмы для чистки полностью разбираются. Все детали, за исключением циферблата, промываются в составе и в бензине и затем полируются

*Сборка счетчика.* Механик-сборщик, получив партию счетчиков, снимает с них колпаки и прежде всего производит общий осмотр каждого счетчика с опробованием всех винтов, крепящих электромагниты и тормозной магнит. Кроме того, в процесс общего осмотра входит проверка качества крепления стекол в колпаках, проверка омметром исправности параллельной обмотки счетчика и сверка фабричных номеров счетчиков с номерами в документах, сопровождающих партию счетчиков (карточки, наряд).

Окончив общий осмотр, механик приступает к устранению обнаруженных дефектов, т.е. заменяет испорченные винты, зажимы или полностью зажимные коробки; зачищает отдельные небольшие очаги коррозии металла и подкрашивает эти места лаком. После устранения замеченных недостатков производится продувка каждого счетчика струей сжатого воздуха. Для этой операции необходимо иметь в механическом отделении небольшие вытяжные шкафы. При продувке все части механизма счетчика тщательно протираются щетинной кистью.

Окончив устранение дефектов и продувку счетчиков, механик приступает к сборке, т.е. постановке на место ранее снятых подпятников, подшипников, дисков и счетных механизмов.

Вставив диск, подпятник и подшипник, механик регулирует высоту подшипника для обеспечения свободы движения диска в зазорах электромагнитов и тормозного магнита. Диск целесообразно ставить на такой высоте, чтобы верхние зазоры были немного больше нижних, это несколько уменьшает возможность торможения диска мелкими посторонними частицами, которые могут в дальнейшем попасть на диск или в зазоры.

Установив диск счетчика, механик окончательно закрепляет контргайку подпятника и ставит на место счетный механизм.

По окончании сборки счетчики осматриваются работниками ОТК, закрываются колпаками и передаются в регулировочное отделение. Описанный профилактический ремонт имеет ту особенность, что при нем не приходится производить разборку электромагнитных элементов счетчика. При наличии в счетчике повреждений, требующих полной разборки, ремонт значительно усложняется и должен быть отнесен к категории восстановительного.

*Контроль сборки счетчика.* Правильность положения диска в зазорах и свобода его движения проверяются при сборке только путем осмотра и проворачивания диска пальцем. Таким способом нельзя выявить мелкие дефекты, которые обнаруживаются в дальнейшем на проверочной установке у регулировщика и ведут к возврату счетчика к механику.

#### **4.3.3. Регулировка и поверка однофазного индукционного счетчика, трехфазного индукционного счетчика.**

##### **Установки для поверки счетчика**

Целью регулировки счетчика является [16, С. 17–20] приведение его параметров в соответствие с номинальными данными при выполнении всех требований дейст-

щего стандарта. Регулировке подлежат фазовый угол между рабочими потоками (внутренний угол), частота вращения диска при номинальной нагрузке и  $\cos \varphi = 1$ , компенсационный момент при 10%-й нагрузке и  $\cos \varphi = 1$  и устранение самохода. Регулировка производится при нагрузках и значениях  $\cos \varphi$  в соответствии с требованиями ГОСТ 6570-96 (см. ниже табл. 1 и 2). Рассмотрим кратко принципы указанных регулировок.

*Регулировка внутреннего угла.* Магнитная система цепи напряжения конструктивно выполняется так, чтобы угол сдвига фаз между рабочим магнитным потоком  $\Phi_U$  и магнитным потоком токовой цепи  $\Phi_I$  был заведомо несколько больше, чем  $90^\circ$ . Это достигается, во-первых, за счет большой индуктивности катушки напряжения, создающей отставание тока катушки от приложенного напряжения на угол около  $70^\circ$ , и, во-вторых, за счет шунтирующего магнитного потока  $\Phi_{ш}$ , значительно превышающего рабочий поток  $\Phi_U$ . Из рисунка 4.3.2 видно, что рабочий поток  $\Phi_U$  отстает от тока возбуждения  $I_U$  на угол, превышающий фазовый угол  $\alpha_2$  между током возбуждения  $I_U$  и общим потоком  $\Phi_{общ}$ , и отстает от потока  $\Phi_I$  на угол, близкий к  $90^\circ$ . Наиболее распространенным способом регулировки является увеличение угла  $\alpha_1$  между потоком  $\Phi_I$  и возбуждающим током  $I$  за счет увеличения активных потерь на пути потока  $\Phi_I$ . При этом уменьшается угол между потоками  $\Phi_I$  и  $\Phi_U$  от значения  $\psi$  до значения  $\psi$ . Внесение потерь на пути  $\Phi_I$  осуществляется наложением на токовый магнитопровод дополнительной обмотки  $\dot{\omega}_R$  (рис. 4.3.3), замкнутой на сопротивление петли из провода  $R$ . Сопротивление петли может изменяться перемещением короткозамыкающей перемычки  $П$ .

Регулировка выполняется по ваттметру при установленных номинальных токе и напряжении и  $\cos \varphi = 0$  передвижением перемычки так, чтобы при точно нулевом показании ваттметра диск счетчика был неподвижен. При этом надо иметь в виду, что при уменьшении сопротивления, т.е. при увеличении тока в обмотке  $w_R$  угол сдвига между рабочими потоками уменьшается.

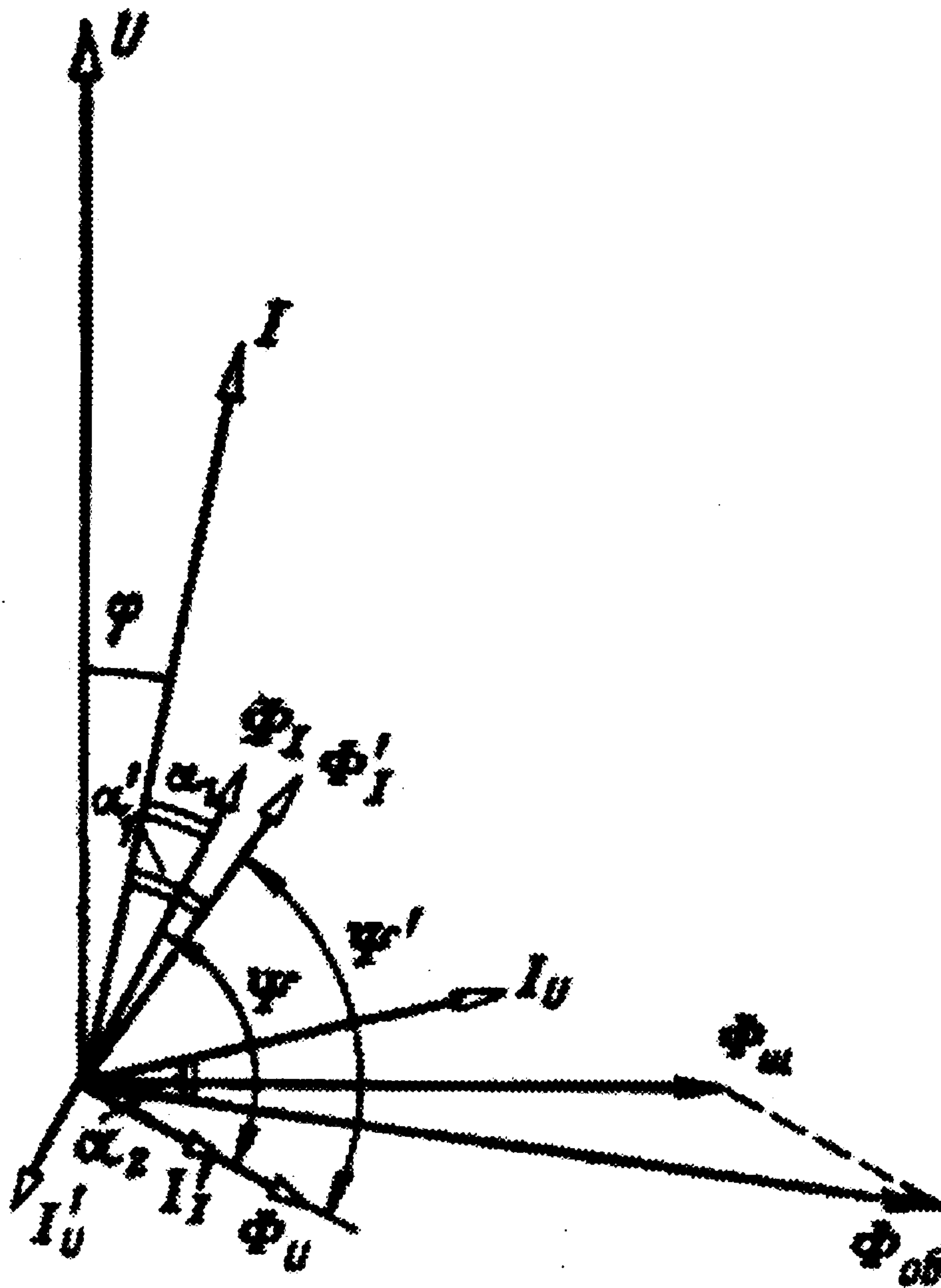


Рис. 4.3.2. Векторная диаграмма индукционного счетчика

Иногда регулировка внутреннего угла осуществляется путем наложения на магнитопровод последовательной цепи несколько короткозамкнутых витков, а в воздушный зазор шунтирующего магнитопровода параллельной цепи помещают медную пластинку, могущую перемещаться. Тогда регулировка грубо осуществляется путем перекусывания короткозамкнутых витков и плавно путем перемещения медной пластинки в зазоре. Эта пластинка, создавая дополнительные потери, увеличит угол сдвига между током возбуждения и шунтирующим потоком. Увеличение тока в пластинке будет уменьшать угол сдвига между рабочими потоками.

Рис. 4.3.3. Принципиальная схема устройства регулирования внутреннего угла счетчика

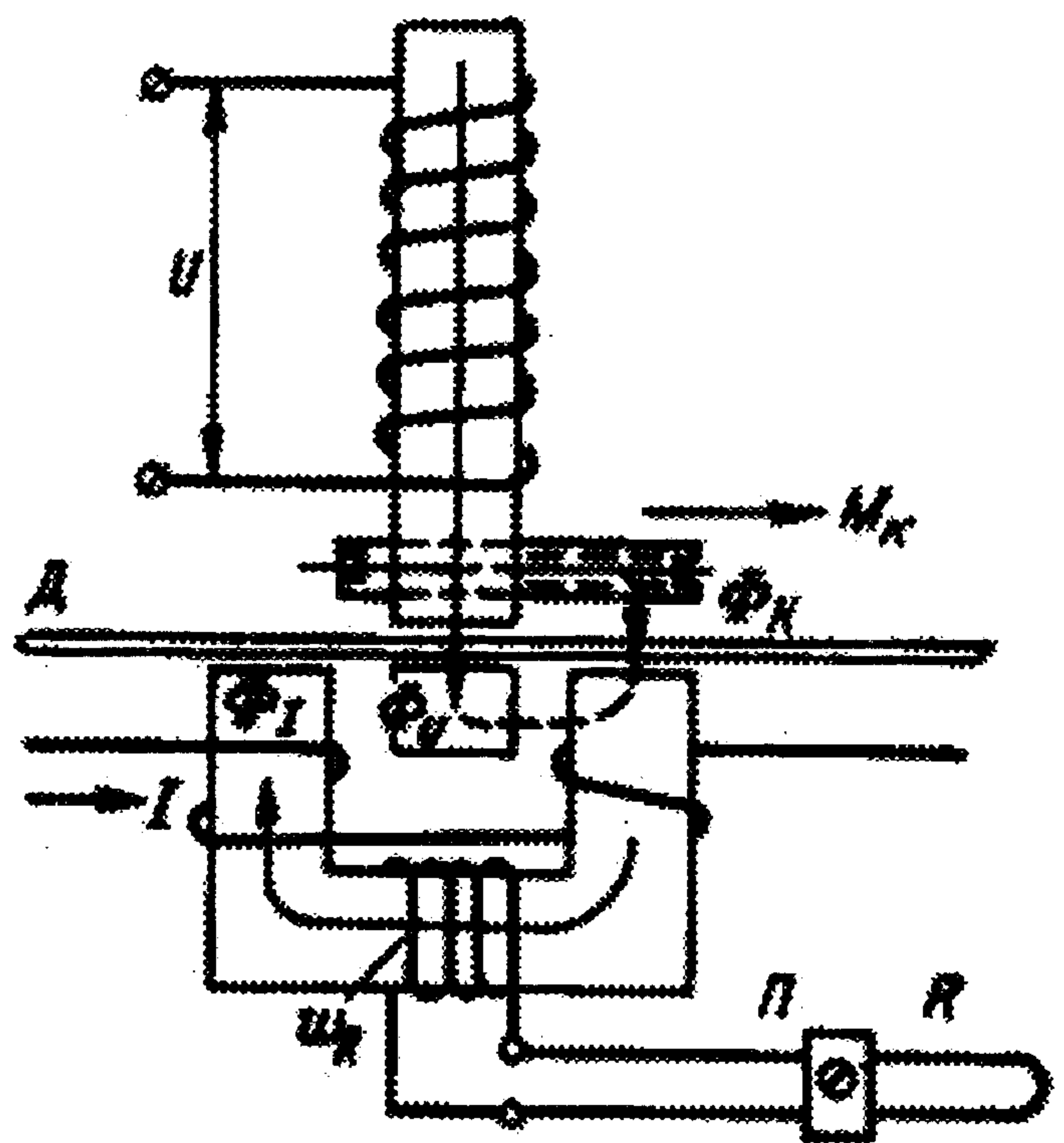


**Рис. 4.3.3. Принципиальная схема устройства регулирования внутреннего угла счетчика**

*Регулировка тормозного и компенсационного моментов.* Путем перемещения полюсов тормозного магнита добиваются нормальной частоты вращения диска при установленной номинальной нагрузке и  $\cos \varphi = 1$ , исходя из номинального значения постоянной счетчика с допустимой по классу точности погрешностью (см. ниже). При нагрузке 10% номинальной и  $\cos \varphi = 1$  производят регулировку компенсационного момента путем ввинчивания и вывинчивания винта  $K$  (см. рис. 4.3.3), добиваясь соответствующей этой нагрузке частоты вращения диска. При этом проверяется отсутствие самохода диска в пределах 80–110% номинального напряжения, и при наличии такового устраняется путем подгибания или отгибания крюка из стальной проволоки, помещаемого на оси диска и притягиваемого к стальной пластинке, намагничиваемой магнитным потоком сердечника цепи напряжения. При регулировке самохода проверяют заданную чувствительность счетчика, т.е. тот наименьший ток, при котором диск начинает непрерывно вращаться.

Все регулировки взаимно связаны, и поэтому, производя регулировку при одном режиме, подправляют ее при другом режиме. Погрешности счетчика при всех регламентированных режимах не должны выходить из пределов по допускаемым погрешностям. Кривая погрешностей, построенная для всех режимов, называется *нагрузочной кривой счетчика* и определяется экспериментально.

Противоречивые требования при регулировках на малых нагрузках (отсутствие самохода, заданная чувствительность, заданная погрешность), зависимость от индукционных тормозных моментов, создаваемых токовым электромагнитом, которые возрастают пропорционально квадрату тока нагрузки, заданные пределы по погрешности приводят к типичной форме нагрузочной кривой, изображенной для примера на рисунке 4.3.4 а для трехфазного трансформаторного счетчика класса 2,0 при  $\cos \varphi = 1$ .

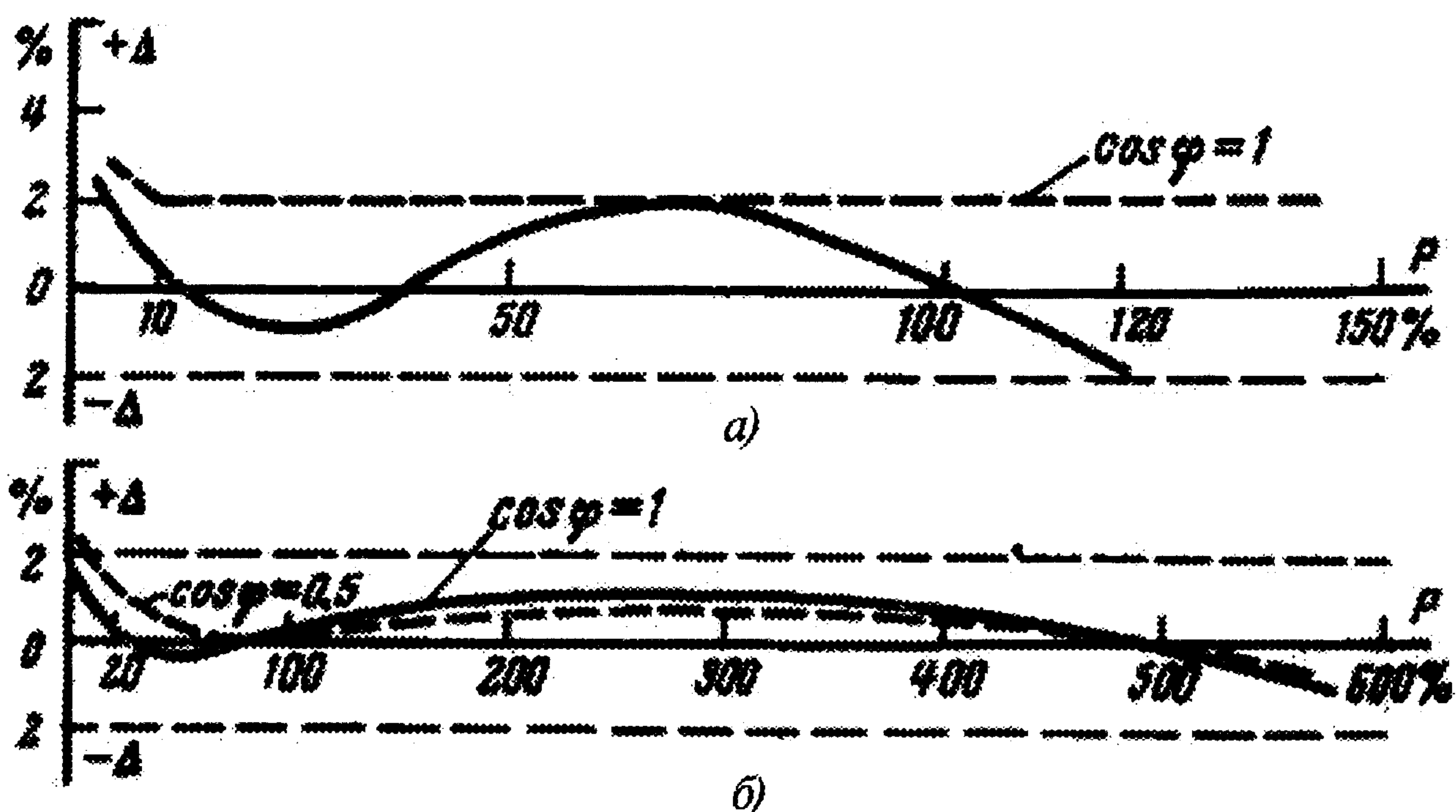


Рис. 4.3.4. Нагрузочная кривая счетчика (примеры)

Как видно из кривой, регулировкой достигнута нулевая погрешность при 10%-й и 100%-й нагрузке. В интервале 40–100% погрешность положительна (на пределе) и после 100% переходит в отрицательную область. На рисунке 4.3.4 б изображена нагрузочная кривая однофазного счетчика СО-И448 класса 2,0 с перегрузочной способностью 600%. Как видно из кривой, погрешность во всех зонах нагрузки не выходит за пределы  $\pm 1\%$ . Переход в область отрицательных погрешностей наступает примерно после нагрузки 500%.

Поверка счетчика [17] электрической энергии заключается в установлении основной его погрешности. Основная погрешность электрического счетчика определяется по формуле

$$\gamma_c = \frac{C_n - C_d}{C_d} 100\%, \quad (4.3.5)$$

где  $C_n$  — номинальная постоянная счетчика, определяемая по передаточному числу, указанному на щитке счетчика;

$C_d$  — действительная постоянная счетчика, определяемая при поверке.

Часто погрешность счетчика электрической энергии выражают не через номинальную и действительную постоянные, а через нормальное  $t_n$  и действительное  $t_d$  время:

$$\gamma_c = \frac{t_n - t_d}{t_d} 100\%, \quad (4.3.6)$$

где  $t_n$  — нормальное время, в течение которого правильно работающий счетчик при нагрузке мощностью  $P$  должен сделать  $N_t$  оборотов диска;

$t_o$  — действительное время, в течение которого счетчик при нагрузке  $P$  сделал  $N_t$  оборотов диска.

Из возможных методов поверки счетчиков электрической энергии наибольшее распространение получили методы:

1) контроля скорости вращения диска счетчика по показаниям образцового ваттметра и секундомера;

2) сравнения показаний поверяемого и образцового счетчиков.

Второй метод применяют при экспертизе или ревизии на месте установки, на заводах-изготовителях, а также в крупных мастерских по ремонту электрических счетчиков. В лабораторной практике при поверке единичных счетчиков более распространен метод ваттметра и секундомера.

Электрические схемы поверки счетчиков приведены на рисунке 4.3.5. В качестве образцового используют электродинамический ваттметр класса 0,5 при поверке счетчиков классов 2; 2,5 и 4 и класса 0,2 — при поверке счетчиков более высоких классов точности. Амперметр и вольтметр, предназначенные для контроля напряжения и тока, могут быть классов 1 или 1,5. Секундомеры, применяемые для поверки счетчиков, не должны иметь погрешность, превышающую 0,1 сек при интервале 60 сек (среднее арифметическое из 10 отсчетов). Для расширения пределов измерения образцового ваттметра применяют измерительные трансформаторы класса 0,2. В помещении, где производят поверку счетчиков, температура должна быть 18—23 °С.

До поверки действительной постоянной или действительного времени счетчик необходимо разогреть в течение 15 мин номинальным током при номинальном напряжении. Время прогрева счетчика можно использовать для вычислений номинальной постоянной  $C$  показаний образцового ваттметра  $\alpha_w$  соответствующих всем нагрузкам, при которых должна производиться поверка счетчика; нормального времени  $t_n$ , необходимого в дальнейшем

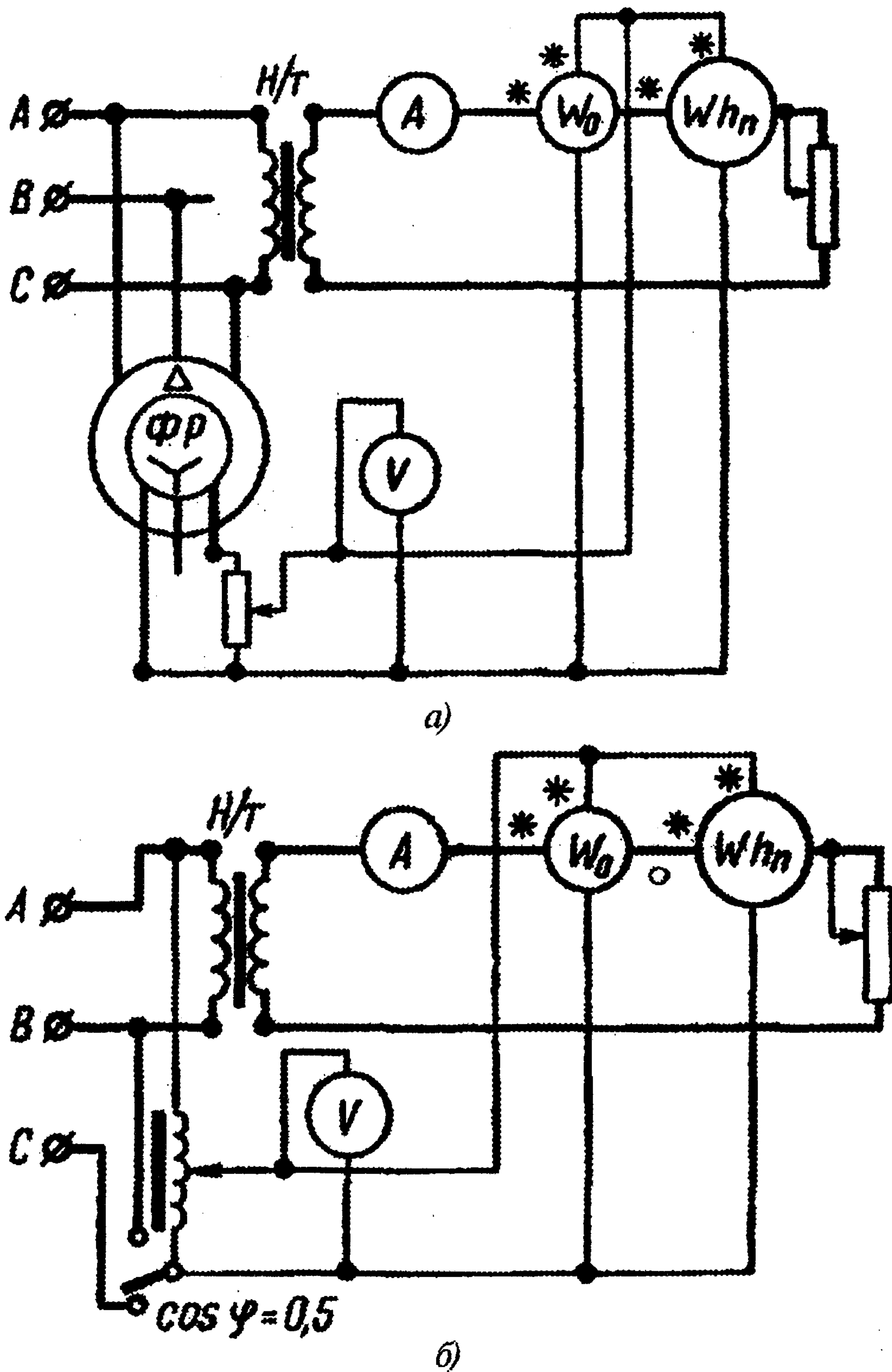


Рис. 4.3.5. Схемы поверки индукционных счетчиков электрической энергии:  
а — с фазорегулятором; б — без фазорегулятора

при определении основной погрешности. Эти вычисления производят по следующим формулам:

$$C_n = \frac{1000 \cdot 3600}{N_{\text{кВт} \cdot \text{ч}}} \text{Вт} \cdot \text{сек} / \text{об}, \quad (4.3.7)$$

$$\alpha_w = \frac{P_w}{C_w} \text{— или —} \frac{P_w}{k_i k_U C_w} \text{дел}, \quad (4.3.8)$$

$$t_n = \frac{C_n N_t}{P_w} \text{сек}, \quad (4.3.9)$$

где  $C_n$  — номинальная постоянная поверяемого счетчика;

$N_{кВтч}$  — число оборотов диска поверяемого счетчика, соответствующее 1 кВтч;

$P_w$  — мощность нагрузки по образцовому ваттметру;

$C_w$  — цена деления (постоянная) образцового ваттметра;

$k_I$  и  $k_U$  — коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов, через которые включен образцовый ваттметр (если нужно расширить его пределы измерения);

$t_n$  — нормальное время поверяемого счетчика;

$N_t$  — число оборотов диска, выбранное для определения нормального времени  $t_n$  или действительной постоянной  $C_d$  поверяемого счетчика.

Изменение показаний счетчика за время его предварительного прогрева (15 мин) позволяет одновременно поверить правильность работы счетного механизма. В самом деле, произведение мощности  $P_w$  (по образцовому ваттметру), поддерживаемой неизменной на время прогрева счетчика, должно быть равно разности показаний счетного механизма до и после пятнадцатиминутного прогрева, т.е.

$$P_w t_{np} = A_{C15} - A_{C0}, \quad (4.3.10)$$

где  $P_w$  — показание образцового ваттметра, поддерживаемое за все время прогрева неизменным;

$t_{np}$  — время прогрева (по секундомеру);

$A_{C15}$  — показание счетного механизма по истечении 15 мин прогрева;

$A_{C0}$  — показание счетного механизма в момент включения счетчика для прогрева.

После предварительного прогрева поверяют счетчик на самоход. Для этого размыкают цепь нагрузки, устанавливают напряжение, приложенное к параллельной обмотке, равным 110% нормального и следят за диском. Если при этом он останавливается, когда специальная метка на диске видна в смотровом окошке, можно считать, что самоход отсутствует. Затем поверяют чувствительность счетчика. Для этого в токовую цепь включают большое регулируемое сопротивление (1000 Ом), устанавливают в цепи номинальное напряжение и находят величину максимальной

мощности, при которой диск счетчика начинает непрерывно вращаться (сделает больше одного оборота).

Отношение этой мощности трогания  $P_{mp} = U_n I_{mp}$  к номинальной мощности  $P_n = U_n I_n$  определяет порог чувствительности, или сокращенно. чувствительность счетчика, в процентах, т.е.

$$S_{сч} = \frac{P_{mp}}{P_n} 100\% = \frac{P_{mp}}{U_n I_n} 100\%. \quad (4.3.11)$$

Опыт выполняют при  $\cos \varphi = 1$ . Чувствительность счетчика в зависимости от класса точности должна быть в пределах 0,5—1,0%.

Счетчики электрической энергии переменного тока следует поверять при различных  $\cos \varphi$ . Это осуществляется при помощи фазорегулятора в схеме, показанной на рисунке 4.3.5 а. Если фазорегулятор отсутствует, то нужные сдвиги в  $0^\circ$  и  $60^\circ$  можно получить (рис. 4.3.5 б), переключая переключатель.

Для повышения точности поверки счетчиков можно рекомендовать следующее: время, за которое отсчитывают число оборотов диска, должно быть не менее 50—70 сек. Пускать секундомер (начинать отсчет времени) следует при совпадении метки на диске с фиксированной точкой на неподвижной части счетчика. Одновременно с пуском секундомера надо начинать отсчет оборотов, мысленно считая: «ноль, один, два» и т.д., а не начинать сразу с два». Таким образом, будет исключена возможная ошибка на один оборот, так как счет «один» будет не в момент пуска секундомера, а спустя один оборот. Все данные поверки должны быть нанесены в протокол установленной формы. Аналогично поверяются трехфазные счетчики электрической энергии и другие специальные типы счетчиков.

*Допустимые погрешности счетчиков по ГОСТ 6570-96:*

Систематическая составляющая относительной погрешности трехфазных счетчиков, нагруженных одинаково в каждой фазе (в дальнейшем — равномерная нагрузка) и при симметричном трехфазном напряжении, приложенном к цепям напряжения (с отклонением не более 2%),

а также однофазных счетчиков не должна превышать пределов  $\Delta_{\text{сд}}$  допускаемых значений для соответствующего класса точности, указанных в таблицах 5 и 6 для счетчиков активной энергии и счетчиков реактивной энергии соответственно (см. таблица 1 – Пределы  $\Delta_{\text{сд}}$  для счетчиков активной энергии).

Таблица 1

Пределы  $\Delta_{\text{сд}}$  для счетчиков активной энергии

| Значение<br>тока                                          | Коэффици-<br>циент<br>мощности | Пределы $\Delta_{\text{сд}}$ , %, не более,<br>для счетчиков активной энергии<br>классов точности |           |           |           |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                                                           |                                | 0,5                                                                                               | 1,0       | 2,0       | 2,5       |
|                                                           | $\cos \varphi$                 |                                                                                                   |           |           |           |
| 5 % номи-<br>нального                                     | 1,0                            | $\pm 1,0$                                                                                         | $\pm 1,5$ | $\pm 2,5$ | -         |
| От 10 до 20 %<br>номинального                             | 1,0                            | -                                                                                                 | -         | -         | $\pm 3,5$ |
| От 10 %<br>номинального<br>до максималь-<br>ного включ.   | 1,0                            | $\pm 0,5$                                                                                         | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ | -         |
| От 20 % но-<br>минального<br>до максималь-<br>ного включ. | 1,0                            | -                                                                                                 | -         | -         | $\pm 2,5$ |
| 10 % номи-<br>нального                                    | 0,5 инд.                       | $\pm 1,3$                                                                                         | $\pm 1,5$ | $\pm 2,5$ | -         |
| 10 % номи-<br>нального                                    | 0,8 емк.<br>0,5 емк.*          | $\pm 1,3$                                                                                         | $\pm 1,5$ | -         | -         |
| От 20 %<br>номинального<br>до максималь-<br>ного включ.   | 0,5 инд.                       | $\pm 0,8$                                                                                         | $\pm 1,0$ | $\pm 2,0$ | $\pm 4,0$ |
| От 20 %<br>номинального<br>до максималь-<br>ного включ.   | 0,8 емк.                       | $\pm 0,8$                                                                                         | $\pm 1,0$ | -         | -         |
| От 20 до 100 %<br>номиналь-<br>ного*                      | 0,25 инд.                      | $\pm 2,5$                                                                                         | $\pm 3,5$ | -         | -         |
|                                                           | 0,5 емк.                       | $\pm 1,5$                                                                                         | $\pm 2,5$ | -         | -         |
| * По требованию заказчика                                 |                                |                                                                                                   |           |           |           |

Пределы  $\Delta_{\text{сд}}$  для счетчиков реактивной энергии

| Значение тока                                | Коэффициент мощности   | Пределы $\Delta_{\text{сд}}$ , %, не более, для счетчиков реактивной энергии классов точности |           |           |
|----------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                                              | $\sin \varphi$         | 1,5                                                                                           | 2,0       | 3,0       |
| 10 % номинального                            | 1,0                    | $\pm 2,5$                                                                                     | $\pm 3,0$ | $\pm 4,0$ |
| От 20 % номинального до максимального включ. | 1,0                    | $\pm 1,5$                                                                                     | $\pm 2,0$ | $\pm 3,0$ |
| От 20 % номинального до максимального включ. | 0,5 инд.<br>(или емк.) | $\pm 1,5$                                                                                     | $\pm 2,0$ | $\pm 3,0$ |

### Установки для поверки счетчика

Поверка электросчетчиков выполняется органами метрологического контроля.

При выполнении данных работ применяют различные специализированные установки, например **ЦУ6800**. Она имеет следующие характеристики: установка класса точности 0,25, для массовой поверки индукционных и электронных электросчетчиков активной энергии класса точности 1,0 и электросчетчиков реактивной энергии класса 1,5. Позволяет производить поверку до 30 электросчетчиков одновременно. В модификации ЦУ6800И (со стабилизированными источниками тока и напряжения) — до 12 электросчетчиков. В модификации ЦУ6800Р (с блоком гальванической развязки) — до 18 однофазных электросчетчиков. Внешний вид установки ЦУ6800 показан на рисунке 4.3.6.

Конструктивно установка ЦУ6800 состоит из пульта управления (1), образцового электросчетчика ЦЭ6806 (2) (класс точности 0.1), стендов для подключения 6 электросчетчиков (3) (от 1 до 5 стендов) и высокостабильных источников тока (4) и напряжения (5) с защитой от короткого замыкания цепи напряжения и разрыва цепи тока.

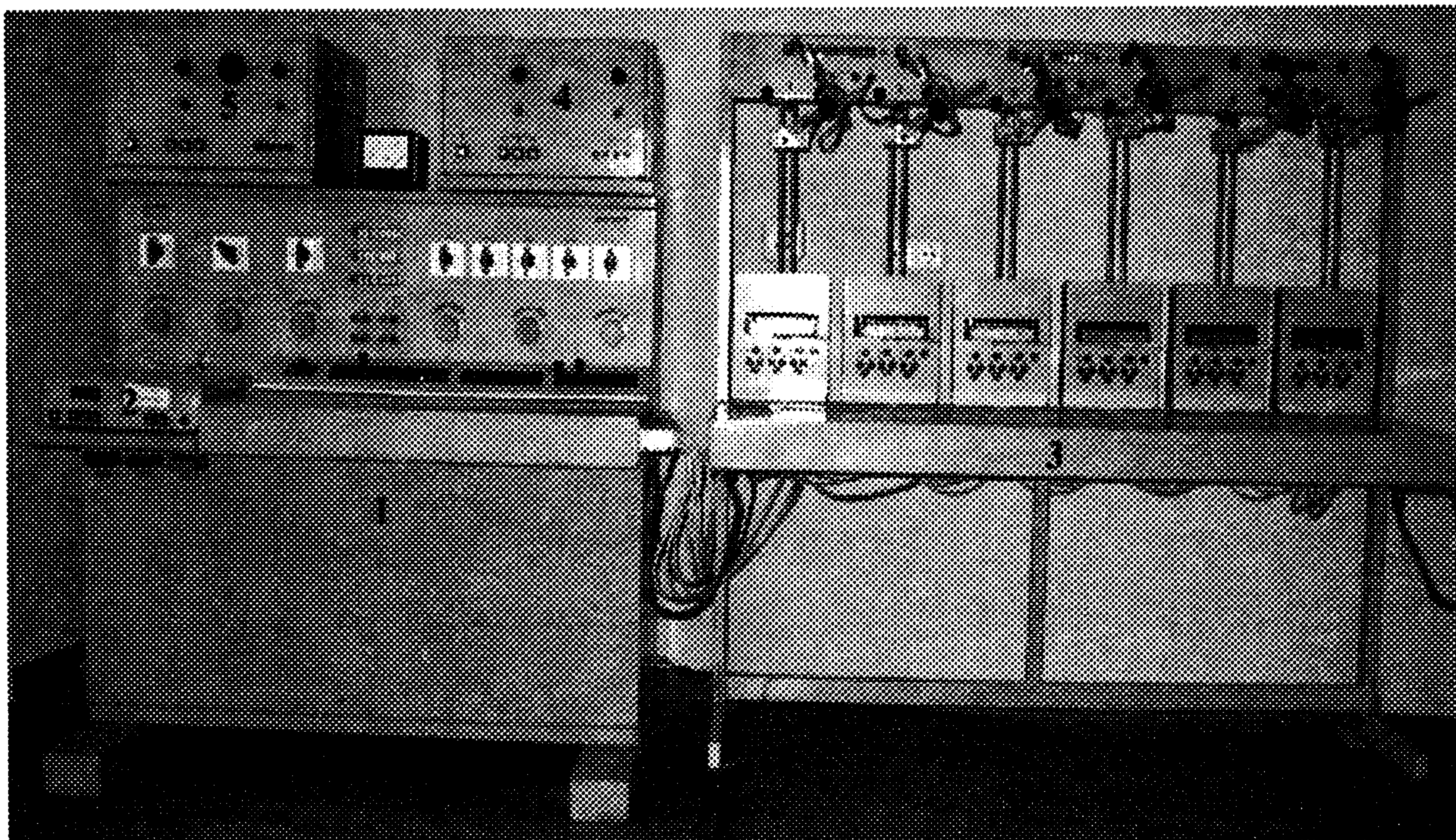


Рис. 4.3.6. Внешний вид установки ЦУ6800

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите причины, нарушающие правильность работы счетчика.
2. Как производится поверка счетчика с применением ваттметра и секундомера?
3. Что входит в содержание работ по ремонту счетчика?
4. Как производится регулировка тормозного и компенсационного моментов?
5. Какие установки применяются для поверки счетчиков?

### **Тема 4.4. Определение расхода электроэнергии, мощности нагрузки, коэффициента мощности по показаниям счетчиков**

Для определения расхода электроэнергии [6, С. 52–54], учитываемого универсальным трансформаторным счетчиком за какой-либо промежуток времени, необходимо разность показаний, взятых в начале и в конце этого промежутка, умножить на пересчетный коэффициент.

Пересчетный коэффициент  $K_{\pi}$  определяется по формуле

$$K_{\pi} = K_I K_U \quad (4.4.1)$$

где  $K_I$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока;

$K_U$  — коэффициент трансформации трансформатора напряжения.

Согласно требованию ГОСТ на съемных щитках этих счетчиков должны быть надписи «Трансформатор тока», «Трансформатор напряжения», «К...», рядом с которыми абонентом проставляются коэффициенты трансформации и пересчетный коэффициент.

*Пример 1.* Определить расход электроэнергии за месяц. Показания счетчика САЗУ = И670 1.05 0 ч. 00 мин — 2438.1; 1.06 0 ч. 00 мин — 2462,8. Счетчик включен через трансформаторы тока с  $K_I = 150/5$  и трансформатор напряжения  $K_U = 6000/100$ .

Пересчетный коэффициент

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

Разность показаний  $2462,8 - 2438,1 = 24,7$ .

Расход электроэнергии за месяц

$$W_a = 24,7 \cdot 1800 = 44460 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

Пересчетный коэффициент трансформаторного счетчика, у которого коэффициенты трансформации, указанные на табличке счетчика, совпадают с фактическими, равен десятичному коэффициенту. Этот коэффициент (обычно 10 или 100) проставляется на счетчике справа от последнего знака счетного устройства. Если же коэффициенты трансформации установленных измерительных трансформаторов отличаются от указанных на табличке счетчика, то пересчетный коэффициент определяется по формуле

$$K_{\pi} = \frac{K'_I \cdot K'_U}{K''_I \cdot K''_U}, \quad (4.4.2)$$

где  $K'_I$  и  $K'_U$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и трансформаторов напряжения, к которым подключен счетчик;

$K''_I$  и  $K''_U$  — коэффициенты трансформаторов тока и напряжения, указанные на щитке счетчика.

При первой возможности в таких случаях трансформаторные счетчики подлежат замене на универсальные трансформаторные.

*Пример 2.* На щитке счетчика указано: трансформатор тока с  $K_I = 100/5$ ; трансформатор напряжения — с  $K_U = 3000/100$ . Счетчик подключен к трансформаторам тока с  $K_I = 200/5$  и к трансформатору напряжения с  $K_U = 6000/100$ . Тогда пересчетный коэффициент по (4.4.2)

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

По показаниям счетчиков активной и реактивной энергии можно определить средневзвешенный  $\operatorname{tg}\varphi$  присоединения по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi = W_p / W_a, \quad (4.4.3)$$

где  $W_p$  — количество энергии, учтенное счетчиком реактивной энергии за тот же период;

$W_a$  — количество энергии, учтенное счетчиком активной энергии за данный промежуток времени.

*Пример 3.* За сутки счетчик активной энергии учел расход 18 000 кВт·ч, счетчик реактивной энергии 9000 квар·ч. Тогда по (4.4.3)

$$\operatorname{tg}\varphi = 9000 / 18000 = 0,5.$$

Если оба счетчика имеют одинаковое передаточное число и одинаковый пересчетный коэффициент, то это позволяет определить значение  $\operatorname{tg}\varphi$  в данный момент. Для этого необходимо за небольшой промежуток времени (30—60 с) одновременно отсчитать число оборотов  $n_p$  счетчика реактивной энергии и число оборотов  $n_a$  счетчика активной энергии, тогда

$$\operatorname{tg}\varphi = n_p / n_a. \quad (4.4.4)$$

При отсутствии счетчика реактивной энергии значение  $\operatorname{tg}\varphi$  может быть определено по одному счетчику актив-

ной энергии. Для этого необходимо кратковременно, на 30—60 с, снять со счетчика напряжение фазы *A* и отсчитать число оборотов диска. Затем цепь напряжения фазы *A* восстанавливается, снимается напряжение с фазы *C* и отсчитывается число оборотов диска за то же время. Нагрузка при этом должна быть близка к постоянной. Если обозначить  $n_1$  большее число оборотов, а  $n_2$  — меньшее, то  $\operatorname{tg}\varphi$  можно определить по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{3}(n_1 - n_2)}{n_1 + n_2}. \quad (4.4.5)$$

Число  $n_2$  берется с отрицательным знаком при вращении диска в обратную сторону, что имеет место, если  $\operatorname{tg}\varphi > 1,73$ .

*Пример 4.* За 60 с число оборотов диска при отключении фазы *A*  $n_1 = 33$ , а при отключении фазы *C*  $n_2 = 20$ , тогда по (4.4.5)

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{1,73(33 - 20)}{33 + 20}.$$

По счетчику активной энергии при наличии секундомера может быть определена активная мощность нагрузки присоединения в данный момент. Для этого необходимо отсчитать число оборотов диска за промежуток времени 30—60 с. Нагрузка при этом не должна существенно изменяться. Тогда мощность нагрузки  $P$ , кВт, определяется по формуле

$$P = K_I K_U \frac{3600n}{Nt}, \quad (4.4.6)$$

где  $K_I$  и  $K_U$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения;

$n$  — отсчитанное число оборотов диска;

$t$  — время, с;

$N$  — передаточное число счетчика.

*Пример 5.* Счетчик с передаточным числом 1 кВт·ч = 2500 оборотов диска подключен к трансформаторам тока с  $K_I = 300/5$  и к трансформатору напряжения с  $K_U = 6000/100$ . Диск счетчика сделал 15 оборотов за 58 с. Активная мощность нагрузки присоединения равна по (4.4.6)

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

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое пересчетный коэффициент?
2. Как определяется  $\operatorname{tg}\varphi$  при отсутствии счетчика реактивной энергии?
3. Как определяется мощность нагрузки?
4. Как определяется пересчетный коэффициент, если коэффициенты трансформации трансформаторов отличаются от указанных в табличке счетчика?

### **Тема 4.5. Техника безопасности при эксплуатации электрических счетчиков**

Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок [4] требуют:

8.1. Для обеспечения безопасности работ, проводимых в цепях измерительных приборов, устройств релейной защиты и электроавтоматики, вторичные цепи (обмотки) измерительных трансформаторов тока и напряжения должны иметь постоянные заземления. В сложных схемах релейной защиты для группы электрически соединенных вторичных обмоток измерительных трансформаторов допускается выполнять заземление только в одной точке.

8.2. При необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов, устройств релейной защиты, электроавтоматики цепь вторичной обмотки трансформатора тока предварительно закорачивается на специально предназначенных для этого зажимах или с помощью испытательных блоков.

Во вторичной цепи между трансформаторами тока и установленной закороткой не допускается производить работы, которые могут привести к размыканию цепи (в ред. Приказа Минэнерго РФ от 20.02.03).

8.3. При работах во вторичных устройствах и цепях трансформаторов напряжения с подачей напряжения от постороннего источника должны быть приняты меры, исключающие возможность обратной трансформации.

8.4. Проверка, опробование действия устройств релейной защиты, электроавтоматики, в том числе с отключением или включением коммутационных аппаратов, должны производиться в соответствии с п. 2.3.11 настоящих Правил *(в ред. Приказа Минэнерго РФ от 20.02.03)*.

2.3.11. При монтаже, ремонте и эксплуатации вторичных цепей, устройств релейной защиты, измерительных приборов, электроавтоматики, связи, включая работы в приводах и агрегатных шкафах коммутационных аппаратов, независимо от того, находятся они под напряжением или нет, производителю работ допускается по распоряжению отключать и включать вышеуказанные устройства, а также опробовать устройства защиты и автоматики на отключение и включение выключателей с разрешения оперативного персонала.

8.5. Производителю работ, имеющему группу IV, из числа персонала, обслуживающего устройства релейной защиты, электроавтоматики и т.д., разрешается совмещать обязанности допускающего. При этом он определяет меры безопасности, необходимые для подготовки рабочего места. Подобное совмещение разрешается, если для подготовки рабочего места не требуется выполнения отключений, заземления, установки временных ограждений в части электроустановки напряжением выше 1000 В.

8.6. Производителю работ, имеющему группу IV, единолично, а также членам бригады, имеющим группу III (на условиях, предусмотренных п. 2.2.13 настоящих Правил), разрешается работать отдельно от других членов бригады во вторичных цепях и устройствах релейной защиты, электроавтоматики и т.п., если эти цепи и устройства расположены в РУ и помещениях, где токоведущие части напряжением выше 1000 В отсутствуют, полностью ограждены или расположены на высоте, не требующей ограждения *(в ред. Приказа Минэнерго РФ от 20.02.03)*.

8.7. Персонал энергоснабжающих организаций работы с приборами учета потребителя проводит на правах командированного персонала. Эти работы проводятся бригадой в составе не менее двух работников.

В помещениях РУ записывать показания электросчетчиков допускается работнику энергоснабжающей организации, имеющему группу III, в присутствии представителя потребителя.

8.8. В электроустановках напряжением до 1000 В потребителей, имеющих обслуживающий персонал по совместительству или по договору (детские сады, магазины, поликлиники, библиотеки и др.), подготовку рабочего места и допуск к работе с приборами учета электрической энергии может проводить оперативный персонал соответствующих энергоснабжающих организаций по утвержденному перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации, бригадой из двух работников, имеющих группы III и IV, в присутствии представителя потребителя *(в ред. Приказа Минэнерго РФ от 20.02.03)*.

8.9. Работы с приборами учета электроэнергии должны проводиться со снятием напряжения. В цепях электросчетчиков, подключенных к измерительным трансформаторам, при наличии испытательных коробок следует снимать напряжение со схемы электросчетчика в указанных коробках.

8.10. Работу с однофазными электросчетчиками оперативный персонал энергоснабжающих организаций, имеющий группу III, может проводить единолично при снятом напряжении по утвержденному перечню работ, выполняемых в порядке текущей эксплуатации. При отсутствии коммутационного аппарата до электросчетчика в деревянных домах, в помещениях без повышенной опасности эту работу допускается проводить без снятия напряжения при снятой нагрузке.

8.11. При выполнении работ, указанных в п. п. 8.8, 8.10 настоящих Правил, за работниками должен быть закреплен приказом или распоряжением руководства энергоснабжающей организации территориальный участок (район, квартал, округ и т.п.). В бланках заданий оперативный персонал должен отмечать выполнение технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ в электроустановках.

8.12. В энергоснабжающих организациях для проведения работ с приборами учета должны быть составлены инструкции или технологические карты по каждому виду работ.

Основные средства защиты [5, С. 63], применяемые при работе со счетчиками:

- однополюсные и двухполюсные указатели напряжения;
- электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки;
- инструмент с изолирующими рукоятками.

В качестве дополнительных защитных средств применяют:

- диэлектрические галоши;
- диэлектрические ковры;
- изолирующие подставки;
- изолирующие колпаки.

*Порядок замены счетчика:*

- записывают показание счетчика, осматривают его внешнее состояние и целостность пломб на кожухе и крышке зажимной коробки;

- снимают нагрузку, выворачивают предохранители, отключают автоматические выключатели;

- проверяют отсутствие напряжения на металлической панели и крышке счетчика однополюсным указателем напряжения;

- определяют фазный и нулевой питающие провода. Отсоединяют от зажима фазный провод и на него надевают изолирующий колпак;

- отсоединяют от зажима счетчика нулевой провод и на него надевают изолирующий колпак;

- отключают провода нагрузки;

- отворачивают нижние винты крепления счетчика, верхний винт ослабляют или выворачивают, снимают старый счетчик и устанавливают новый;

- присоединение проводов осуществляют в обратной последовательности;

- проверяют надежность крепления проводов в колодке зажимов потягиванием каждого из них вниз;
- проверяют отсутствие самохода;
- вворачивают предохранители или включают автоматические выключатели. Включают нагрузку;
- проверяют вращение диска;
- крышку коробки зажимов пломбируют.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему при необходимости разрыва токовой цепи измерительных приборов цепь вторичной обмотки трансформатора тока предварительно закорачивается?
2. Назовите основные средства защиты, применяемые при работе со счетчиками.
3. Расскажите о порядке замены счетчика.
4. С какой группой допуска разрешается производить работы со счетчиками?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основныетехнические данные трансформаторов  
напряжения отечественного производства

| Тип       | Номинальное напряжение обмоток, кВ |               |                     | Номинальная мощность, В·А для классов точности |     |     |     | Максимальная мощность, В·А | uk*, % |
|-----------|------------------------------------|---------------|---------------------|------------------------------------------------|-----|-----|-----|----------------------------|--------|
|           | ВН                                 | НН (основной) | НН (дополнительной) | 0,2                                            | 0,5 | 1   | 3   |                            |        |
| НОС-0,5   | 0,38                               | 0,1           | -                   | -                                              | 25  | 50  | 100 | 200                        | 4.4    |
|           | 0,5                                | 0,1           | -                   | -                                              | 25  | 50  | 100 | 200                        | 4.2    |
| НОМ-6     | 3                                  | 0,1           | -                   | -                                              | 30  | 50  | 150 | 240                        | 3,58   |
|           | 6                                  | 0,1           | -                   | -                                              | 50  | 75  | 200 | 400                        | 6,15   |
| НОМ-10    | 10                                 | 0,1           | -                   | -                                              | 75  | 150 | 300 | 640                        | 6,4    |
| НОМ-15    | 13,8                               | 0,1           | -                   | -                                              | 75  | 150 | 300 | 640                        | 3,6    |
|           | 15,75                              | 0,1           | -                   |                                                | 75  | 150 | 300 | 640                        | 4,63   |
|           | 18                                 | 0,1           | -                   | -                                              | 75  | 150 | 300 | 640                        | 4,5    |
| НОМ-35    | 35                                 | 0,1           | -                   | -                                              | 150 | 250 | 600 | 1200                       | 3,87   |
| НОЛ-08-6  | 6                                  | 0,1           | -                   | 30                                             | 50  | 75  | 200 | 400                        | 3,47   |
| НОЛ-08-10 | 10                                 | 0,1           | -                   | 50                                             | 75  | 150 | 300 | 640                        | 4,95   |
| НТС-0,5   | 0,38                               | 0,1           | -                   | -                                              | 50  | 75  | 200 | 400                        | 3,76   |
|           | 0,5                                | 0,1           | -                   | -                                              | 50  | 75  | 200 | 400                        | 3,76   |
| НТМК-6-48 | 3                                  | 0,1           | -                   | -                                              | 50  | 75  | 200 | 400                        | 2,98   |
|           | 6                                  | 0,1           | -                   | -                                              | 75  | 150 | 300 | 640                        | 3,92   |
| НТМК-10   | 10                                 | 0,1           | -                   | -                                              | 120 | 200 | 500 | 960                        | 3,07   |
| НТМИ-6    | 3                                  | 0,1           | 0,1/3               | -                                              | 50  | 75  | 200 | 400                        | 3,01   |
|           | 6                                  | 0,1           | 0,1/3               | -                                              | 75  | 150 | 300 | 640                        | 5,23   |
| НТМИ-10   | 10                                 | 0,1           | 0,1/3               | -                                              | 120 | 200 | 500 | 960                        | 5      |
| НТМИ-18   | 13,8                               | 0,1           | 0,1/3               | -                                              | 120 | 200 | 500 | 960                        | 4,08   |
|           | 15,75                              | 0,1           | 0,1/3               | -                                              | 120 | 200 | 500 | 960                        | 4,32   |
|           | 18                                 | 0,1           | 0,1/3               | -                                              | 120 | 200 | 500 | 960                        | 4,32   |

| Тип           | Номинальное напряжение обмоток, кВ |                  |                        | Номинальная мощность, В·А для классов точности |     |     |      | Максимальная мощность, В·А | и $\kappa^*$ , % |
|---------------|------------------------------------|------------------|------------------------|------------------------------------------------|-----|-----|------|----------------------------|------------------|
|               | ВН                                 | НН<br>(основной) | НН<br>(дополнительной) | 0,2                                            | 0,5 | 1   | 3    |                            |                  |
| ЗНОЛ-09-6     | 6/ $\sqrt{3}$                      | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 30                                             | 50  | 75  | 200  | 400                        | 3,55             |
| ЗНОЛ-09-10    | 10/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 4,8              |
| ЗНОЛ-06-6     | 6/ $\sqrt{3}$                      | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 30                                             | 50  | 75  | 200  | 400                        | 3,55             |
| ЗНОЛ-06-10    | 10/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 4,8              |
| ЗНОЛ-06-15    | 13,8/ $\sqrt{3}$                   | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 5,12             |
|               | 15,75/ $\sqrt{3}$                  | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 5,12             |
| ЗНОЛ-06-20    | 18/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 5,02             |
|               | 20/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 5,02             |
| ЗНОЛ-06-24    | 24/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3**                | 50                                             | 75  | 150 | 300  | 640                        | 5,03             |
| ЗНОМ-15-72    | 6/ $\sqrt{3}$                      | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 50  | 75  | 200  | 400                        | 3,42             |
| ЗНОМ-15-2     | 10/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 75  | 150 | 300  | 640                        | 4,63             |
| ЗНОМ-15-72    | 13,8/ $\sqrt{3}$                   | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | 60                                             | 90  | 150 | 300  | 640                        | 4,57             |
|               | 16,75/ $\sqrt{3}$                  | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | 60                                             | 90  | 150 | 300  | 640                        | 5,1              |
| ЗНОМ-20       | 18/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | 60                                             | 90  | 150 | 300  | 640                        | 5,6              |
|               | 20/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 75  | 150 | 300  | 640                        | 5,25             |
| ЗНОМ-24       | 24/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 150 | 250 | 600  | 980                        | 4,4              |
| ЗНОМ-35-65    | 35/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 150 | 250 | 600  | 1200                       | 6                |
| НКФ-110-57    | 110/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | 400 | 600 | 1200 | 2000                       | 4,05             |
| НКФ-110-58*** | 66/ $\sqrt{3}$                     | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 400 | 600 | 1200 | 2000                       | 3,55             |
| ПКФ-110-58*** | 110/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1/3                  | -                                              | 400 | 600 | 1200 | 2000                       | 4,43             |
| НКФ-220-58    | 150/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | 400 | 600 | 1200 | 2000                       | 3,83             |

| Тип         | Номинальное напряжение обмоток, кВ |                  |                        | Номинальная мощность, В·А для классов точности |     |     |      | Максимальная мощность, В·А | $u_k^*$ , % |
|-------------|------------------------------------|------------------|------------------------|------------------------------------------------|-----|-----|------|----------------------------|-------------|
|             | ВН                                 | НН<br>(основной) | НН<br>(дополнительной) | 0,2                                            | 0,5 | 1   | 3    |                            |             |
| НКФ-220-58  | 220/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | 400 | 600 | 1200 | 2000                       | 4,13        |
| НКФ-330     | 330/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | 400 | 600 | 1200 | 2000                       | 4,35        |
| НКФ-400     | 400/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | -   | 500 | 1000 | 2000                       | 5,45        |
| НКФ-500     | 500/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | -   | 500 | 1000 | 2000                       | 4,48        |
| НДЕ-500**** | 500/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | 300 | 500 | 1000 | 1200                       | 1,9         |
| НДЕ-750**** | 750/ $\sqrt{3}$                    | 0,1/ $\sqrt{3}$  | 0,1                    | -                                              | 300 | 500 | 1000 | 1200                       | 1,9         |

\* Приведены значения  $u_k$ , %, между обмотками ВН и НН (основной), отнесенные к максимальной мощности.

\*\* Может быть выполнена на 0,1 кВ (например, для использования в цепях управления возбуждением генераторов).

\*\*\* Предназначены для сетей с изолированной нейтралью.

\*\*\*\*  $u_k$ , %, соответствует активному сопротивлению (индуктивное компенсируется емкостью делителя напряжения).

*Примечание.* Мощность, указанная для трансформаторов напряжения типов ЗНОЛ, ЗНОМ, НКФ и НДЕ, является суммарной мощностью основной и дополнительной вторичных обмоток.

# СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

*Аккредитация на право поверки средств измерений* — официальное признание уполномоченным на то государственным органом полномочий на выполнение поверочных работ.

*Групповой щиток* — устройство, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты (или только аппараты защиты) для отдельных групп светильников, штепсельных розеток и стационарных электроприемников. ПУЭ 7.1.6.

*Квартирный щиток* — групповой щиток, установленный в квартире и предназначенный для присоединения сети, питающей светильники, штепсельные розетки и стационарные электроприемники квартиры. ПУЭ 7.1.7.

*Калибровка средств измерений* — совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору.

*Лицензия на изготовление (ремонт, продажу, прокат) средств измерений* — документ, удостоверяющий право заниматься указанными видами деятельности, выдаваемый юридическим и физическим лицам органом государственной метрологической службы.

*Метрологический контроль и надзор* — деятельность, осуществляемая органом государственной метрологической службы (государственный метрологический контроль и надзор) или метрологической службой юридического лица, в целях проверки соблюдения установленных метрологических правил и норм.

*Метрологическая служба* — совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

*Проверка средств измерений* — совокупность операций, выполняемых органами метрологической службы (другими уполномоченными на то органами, организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям.

*Потребитель (абонент) электрической энергии* — юридическое лицо, осуществляющее пользование электрической энергией (мощностью).

*Расход электроэнергии на хозяйственные нужды электростанций и электрических сетей* — потребление электроэнергии вспомогательными и непромышленными подразделениями, находящимися на балансе электрических станций и предприятий электрических сетей, необходимое для обслуживания основного производства, но непосредственно не связанное с технологическими процессами производства тепловой и электрической энергии на электростанциях, а также передачи и распределения электрической энергии.

*Расход электроэнергии на собственные нужды электростанций и подстанций* — потребление электроэнергии приемниками, обеспечивающими необходимые условия функционирования электростанций и подстанций в технологическом процессе выработки, преобразования и распределения электрической энергии.

*Расход электроэнергии на производственные нужды* — это потребление электроэнергии районными котельными и электробойлерными установками, как состоящими на самостоятельном балансе, так и на балансе электростанций, а также на перекачку воды гидроаккумулирующими электростанциями и перекачивающими установками.

*Распределительный пункт (РП)* — устройство, в котором установлены аппараты защиты и коммутационные аппараты (или только аппараты защиты) для отдельных электроприемников или их групп (электродвигателей, групповых щитков). ПУЭ 7.1.5.

Счетчики, учитывающие интегрированную реактивную мощность (далее — реактивная электроэнергия) за учетный период, называются *счетчиками реактивной энергии*.

Счетчики, учитывающие активную электроэнергию, называются *счетчиками активной энергии* (далее — счетчики).

*Средства учета* — совокупность устройств, обеспечивающих измерение и учет электроэнергии (измерительные трансформаторы тока и напряжения, счетчики электрической энергии, телеметрические датчики, информационно-измерительные системы и их линии связи) и соединенных между собой по установленной схеме.

*Средства измерений* — техническое устройство, предназначенное для измерений.

*Сертификат об утверждении типа средства измерений* — документ, выдаваемый уполномоченным на то государственным органом, удостоверяющий, что данный тип средств измерений утвержден в порядке, предусмотренном действующим законодательством, и соответствует установленным требованиям.

*Энергоснабжающая организация* — коммерческая организация независимо от организационно-правовой формы, осуществляющая продажу потребителям произведенной или купленной электрической и (или) тепловой энергией.

*Этажный распределительный щиток* — щиток, установленный на этажах жилых домов и предназначенный для питания квартир или квартирных щитков. ПУЭ 7.1.8.

*Электроустановками* называются совокупность машин, аппаратов, линий электропередач и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения электрической энергии и преобразования ее в другой вид.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Правила устройства электроустановок*, 7-е изд. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.

2. *Правила учета электрической энергии*. Сборник основных нормативно-технических документов, действующих в области учета электрической энергии. Главгосэнергонадзор России. — М.: АОЗТ «Энергосервис», 1998.

3. *Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей* (утверждены приказом № 6 Минэнерго РФ 13.01.2003 г.).

4. *Межотраслевые правила по охране труда* (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ Р М-016-2001. РД 153-34.0-03. 150-00. — С. 160. (Утверждены в 2001 г. с изменениями в 2003 г.).

5. *Схемы включения счетчиков электрической энергии*. Практическое пособие. — М.: Авт.- сост. В.А. Рошин, Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. — 64 с.

6. *Труб И.И.* Обслуживание индукционных счетчиков и цепей учета в электроустановках, 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомизд, 1983. — 80 с., ил. — (Б-ка электромонтера. Вып. 553).

7. *Степанов Ю.А, Степанов Д.Ю.* Оптимизация измерительного комплекса учета электрической энергии и релейной защиты. — М.: Энергоатомиздат, 1998. — 208 с.: ил. — (Б-ка электромонтера; Вып. 655).

8. *Голоднов Ю.М.* Схемы включения электроизмерительных приборов. — М.: Энергия, 1979. — 80 с.: ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 494).

9. *Котур В.И.* и др. Электрические измерения и электроизмерительные приборы. — М.: Энергоатомизд, 1986. — 400 с.

10. *Счетчики электрической энергии* трехфазные индукционные. Паспорт ОПТ.468.015 ПС (Техническое описание и инструкция по эксплуатации). 2006.

11. *Вострокнутов Н.Н.* Информационно-измерительная техника и электрические измерения. Москва, ГУ УМК по горному, нефтяному и энергетическому образованию, 2001.
12. *Вострокнутов Н.Г.* Электрические счетчики и их эксплуатация. — Госэнергоиздат, Москва, 1959. — 278 с.
13. *Справочник по электроизмерительным приборам* под редакцией К. К. Илюнина. — М: Энергоиздат, 1983.
14. *Красник В.В.* Управление электрохозяйством предприятий: Произв.-практ. пособие. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. — 160 с.: ил.
15. *Демидова-Панферова Р.М.* Электрические измерения. — М.: Энергоиздат, 1982.
16. *Минин Г.П.* Измерение электроэнергии. — М.: Энергия, 1974.
17. *Алукер Ш.М.* Электрические измерения изд-во «Колос», 1966.
18. *Автоматизация учета и управления энергопотреблением.* Автор-сост. Заниров Д.Т. — Пермь, 1988.
19. *Федотов Б.Н.* Схемы электрических счетчиков. — Госэнергоатомиздат, 1960. — 44 с.
20. Каталог «Приборы и системы учета энергоресурсов». — Метроника, 2004.
21. *Гуржий А.Н.* Электрические и радиотехнические измерения, — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 272 с.
22. *Шишмарев В.Ю.* Электрорадиоизмерения. — М.: Издат. центр «Академия», 2004. — 336 с.
23. *Труб И.И.* Монтаж и эксплуатация счетчиков электроэнергии. — М.: Энергия, 1972. — 48 с.
24. *Сибикин Ю.Д., Сибикина М.Ю.* Электробезопасность при эксплуатации электроустановок промышленных предприятий: Учеб. для нач. проф. образования. — М.: ИРПО; ПрофОбрИздат, 2002. — 240 с.

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Для заметок

Для заметок

# **СОДЕРЖАНИЕ**

## **ВВЕДЕНИЕ**

|                                                                                                                                                                                    |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>Электроэнергия – промышленная продукция<br/>энергосистем. Значение точного учета<br/>электроэнергии. Основные нормативные<br/>материалы по учету электрической энергии.....</b> | <b>3</b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|

|                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РАЗДЕЛ 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ<br/>И ТРЕБОВАНИЯ К УЧЕТУ<br/>ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ .....</b> | <b>7</b>  |
| <b>Тема 1.1. Требования к учету электроэнергии .....</b>                           | <b>7</b>  |
| <b>Контрольные вопросы.....</b>                                                    | <b>14</b> |
| <b>Тема 1.2. Классификация<br/>и технические характеристики счетчиков.....</b>     | <b>15</b> |
| <b>Контрольные вопросы.....</b>                                                    | <b>19</b> |

|                                                                                                                                                     |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>РАЗДЕЛ 2. ИНДУКЦИОННЫЕ СЧЕТЧИКИ<br/>ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.<br/>ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ<br/>В ЦЕПЯХ УЧЕТА<br/>ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.....</b> | <b>20</b> |
| <b>Тема 2.1. Однофазные индукционные счетчики<br/>электрической энергии.....</b>                                                                    | <b>20</b> |
| <b>2.1.1. Конструкция и принцип действия<br/>измерительного механизма<br/>индукционной системы .....</b>                                            | <b>20</b> |
| <b>2.1.2. Вращающий и тормозной момент<br/>индукционного счетчика.<br/>Типы однофазных счетчиков.....</b>                                           | <b>22</b> |

|                                                        |    |
|--------------------------------------------------------|----|
| Контрольные вопросы.....                               | 32 |
| Тема 2.2. Трехфазные индукционные счетчики             |    |
| активной и реактивной энергии .....                    | 32 |
| 2.2.1. Устройство и принцип действия                   |    |
| трехфазных счетчиков                                   |    |
| для измерения активной энергии .....                   | 32 |
| 2.2.2. Устройство и принцип работы                     |    |
| счетчиков для измерения                                |    |
| реактивной энергии .....                               | 37 |
| Контрольные вопросы.....                               | 41 |
| 2.2.3. Типы трехфазных                                 |    |
| индукционных счетчиков                                 |    |
| активной и реактивной энергии,                         |    |
| выпускаемых промышленностью.....                       | 42 |
| Тема 2.3. Измерительные трансформаторы                 |    |
| в цепях учета электрической энергии .....              | 61 |
| 2.3.1. Назначение, типы,                               |    |
| технические характеристики,                            |    |
| конструкция, технические параметры                     |    |
| трансформаторов тока и напряжения.                     |    |
| Требования ПУЭ к измерительным                         |    |
| трансформаторам при подключении                        |    |
| расчетных счетчиков                                    |    |
| и счетчиков технического учета.....                    | 61 |
| Контрольные вопросы.....                               | 69 |
| Тема 2.4. Схемы включения индукционных счетчиков ..... | 69 |
| 2.4.1. Область применения однофазных,                  |    |
| трехфазных, трехпроводных                              |    |
| и четырехпроводных сетей.                              |    |
| Схемы включения                                        |    |
| однофазного счетчика.....                              | 69 |

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.2. Схемы включения трехфазных<br>индукционных счетчиков ..... | 73 |
| Контрольные вопросы.....                                          | 78 |

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РАЗДЕЛ 3. ЭЛЕКТРОННЫЕ (СТАТИЧЕСКИЕ)<br>СЧЕТЧИКИ АКТИВНОЙ<br>И РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ.<br>АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ<br>СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА<br>ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ..... | 79 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Тема 3.1. Электронные (статические) счетчики<br>активной и реактивной энергии ..... | 79 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.1. Преимущества и недостатки<br>электронных счетчиков.<br>Область применения электронных<br>счетчиков. Принцип работы,<br>элементная база электронного<br>счетчика с аналоговым<br>преобразователем..... | 79 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.2. Принцип работы,<br>элементная база,<br>технические характеристики<br>микропроцессорных счетчиков.<br>Схемы подключения<br>электронных счетчиков..... | 85 |
| Контрольные вопросы.....                                                                                                                                    | 89 |

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Тема 3.2. Понятие об автоматизации учета<br>электроэнергии.<br>Автоматизированные системы контроля<br>и учета электроэнергии ..... | 90 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| 3.2.1. Термины и определения. |  |
|-------------------------------|--|

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| История создания информационных<br>измерительных систем (ИИС) учета<br>электроэнергии.              |    |
| Состав комплекса технических средств<br>автоматизированных систем<br>контроля и учета энергии ..... | 90 |
| Контрольные вопросы.....                                                                            | 93 |
| 3.2.2. Структурные схемы локальной<br>и многоуровневой ИИС.                                         |    |
| Особенности ИИС,<br>созданных на базе<br>микропроцессорных счетчиков .....                          | 93 |
| Контрольные вопросы.....                                                                            | 95 |

## **РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИБОРОВ**

### **УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ..... 96**

#### **Тема 4.1. Установка и подключение**

##### **электросчетчиков ..... 96**

##### **4.1.1. Организация эксплуатации приборов учета электроэнергии.**

**Требования ПУЭ к помещениям  
и месту установки новых счетчиков  
по условиям эксплуатации счетчиков,  
удобства и безопасности  
производства работ  
с электрическими счетчиками ..... 96**

##### **4.1.2. Требования к материалу и сечению кабелей вторичных цепей учета.**

**Маркировка жил кабелей.  
Объем наладочных работ в цепях учета  
на отключенной установке.**

|                                                                                                                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Коммутационные аппараты<br>в цепях подключения счетчиков.<br>Установка испытательных<br>блоков и испытательных<br>переходных коробок .....                                   | 101 |
| Контрольные вопросы.....                                                                                                                                                     | 108 |
| Тема 4.2. Проверка схем включения и работы<br>счетчиков на месте установки.....                                                                                              | 108 |
| 4.2.1. Производство работ<br>с однофазными счетчиками.<br>Правила подключения счетчиков,<br>правила выполнения вторичных<br>цепей трансформаторов тока<br>и напряжения ..... | 108 |
| Контрольные вопросы.....                                                                                                                                                     | 113 |
| Тема 4.3. Ремонт, регулировка и поверка счетчиков .....                                                                                                                      | 113 |
| 4.3.1. Поверка и калибровка счетчиков.<br>Неисправности счетчиков.<br>Организация работ по ремонту<br>и поверке счетчиков. Проверка<br>методом ваттметра-секундомера .....   | 113 |
| 4.3.2. Порядок разборки и сборки счетчиков.<br>Ремонт, правка, чистка, смазка,<br>замена деталей.<br>Подготовка к регулировке.....                                           | 118 |
| 4.3.3. Регулировка и поверка<br>однофазного индукционного счетчика,<br>трехфазного индукционного счетчика.<br>Установки для поверки счетчика .....                           | 121 |
| Контрольные вопросы.....                                                                                                                                                     | 132 |

|                                                                                                                                         |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Тема 4.4. Определение расхода электроэнергии,<br/>мощности нагрузки,<br/>коэффициента мощности<br/>по показаниям счетчиков .....</b> | <b>132</b> |
| <b>Контрольные вопросы.....</b>                                                                                                         | <b>136</b> |
| <b>Тема 4.5. Техника безопасности<br/>при эксплуатации<br/>электрических счетчиков .....</b>                                            | <b>136</b> |
| <b>Контрольные вопросы.....</b>                                                                                                         | <b>140</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ .....</b>                                                                                                                 | <b>141</b> |
| <b>СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....</b>                                                                                                            | <b>144</b> |
| <b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>                                                                                            | <b>147</b> |

Учебное пособие  
для средних профессиональных  
учебных заведений

Тихомиров М.М.

## **ПРИБОРЫ УЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

Оригинал-макет Д.В. Смышляев  
Корректор Т.В. Кулинич

*Оформление — Издательский Дом «Ин-Фолио»*

Подписано к печати 29.08.2011 г. Формат 84x108<sup>1/32</sup>.  
Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Гарнитура NewtonС. Печ. л. 10.  
Тираж 1000 экз. Заказ № 6386.

Издательский Дом  
«Ин-Фолио»

400087, г. Волгоград, ул. Новороссийская, 43.

Тел.: 8 (8442) 33-84-35, 98-23-20, 32-53-22.

Факс: 8 (8442) 33-84-35.

*E-mail: infolio-izdat@yandex.ru*

Сайт издательства: *www. infolio-izdat.ru*

Отпечатано с электронных носителей издательства.

ОАО "Тверской полиграфический комбинат". 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.

Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34, Телефон/факс: (4822)44-42-15

Home page - [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронная почта (E-mail) - [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru)





**ИНФОРМ**  
ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ