

по совокупным результатам испытаний с привлечением завода-изготовителя.

Заключительный этап испытания электрооборудования выполняется по индивидуальным техническим программам, составленным заказчиком с привлечением наладочного персонала.

В учебном пособии рассмотрены вопросы испытания и наладки электрооборудования трансформаторных подстанций, устройств релейной защиты, наладки электроприводов, проверки и испытания электрических машин, проверки и регулировки электрических аппаратов, даны рекомендации по методике проведения наладочных работ на отдельных видах электрооборудования.

В учебном пособии изложены основные принципы и методы оценки состояния электрооборудования, соответствие его проектным требованиям, проверки и настройки вторичных устройств, конкретные вопросы проверки, испытаний и настройки аппаратуры, описаны аппараты и приборы, используемые при производстве наладочных работ, приводятся требования директивных норм, являющихся основным документом, на основании которого производится оценка состояния и возможности ввода электрооборудования в эксплуатацию; даются сведения по организации наладочных работ.

Целью данного учебного пособия является ознакомление студентов с комплексом вопросов, связанных с проведением работ по наладке электрооборудования, и их выполнение.

При написании учебного пособия были использованы материалы из справочной и технической литературы, рассматривающей вопросы испытаний и наладки электрооборудования и аппаратуры.

## ГЛАВА 1. | ОРГАНИЗАЦИЯ ПУСКОНАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

### 1.1. Общие сведения

Работы по наладке электроустановок выполняются организацией, производящей основные электромонтажные работы, которая несет ответственность за их объем и качество. Наладочные работы являются специализированной, завершающей частью комплекса электромонтажных работ.

Целью проводимых пусконаладочных работ является обеспечение необходимых электрических параметров и режимов работы электрооборудования для возможности комплексного или по узлам опробования технологических установок, заданных проектом технологических показателей и надежности работы всего оборудования; проверок и испытаний электрооборудования в соответствии с действующими нормативными и директивными документами.

Достижение указанных целей возможно при выполнении комплекса приемо-сдаточных испытаний электрооборудования в соответствии с объемом, который определяется ПУЭ и другими действующими инструкциями.

По результатам проведенных необходимых испытаний, настроек и опробований должно быть дано заключение о пригодности электроустановки к эксплуатации.

Пусконаладочные работы осуществляются по прямому договору наладочной организации с заказчиками. В этих договорах оговариваются объем, сроки и условия их выполнения, а также взаимные обязательства и гарантии. Обшие условия безопасности труда и производственной санитарии при выполнении пусконаладочных работ обеспечивает заказчик.



## 1.2. Проектная документация для производства пусконаладочных работ

Проект организации наладочных работ определяет техническую подготовку и организацию их проведения на объекте.

Проектная документация должна содержать в себе следующие пункты:

- объем в денежном и физическом выражении предстоящих наладочных работ (применительно к сметам);
- численность и квалификация наладочного персонала, необходимого для выполнения работ в установленные сроки, с учетом средней выработки;
- распределение исполнителей на объекте по времени и по участкам, узлам и т.д.;
- результаты анализа проектной документации, программы (задания) по наладке наиболее сложного электрооборудования;
- графики работ, в том числе графики совмещенного выполнения наладочных и монтажных работ;
- перечень технической и слаточной документации применительно к пунктам сметы (технологические карты, ПУЭ, инструкции и формы протоколов);
- перечень приборов, приспособлений, материалов и средств техники безопасности, необходимых для производства наладочных работ;
- для особых случаев специальные указания по технике безопасности с перечнем защитных средств;
- перечень замечаний по проекту, монтажу и дефектов электрооборудования (заполняется в процессе выполнения наладочных работ);
- предложения по организации и технической подготовке наладочного персонала (подбор инструкций, технических карт, справочной и технической литературы, проведение технической учебы и инструктажа).

## 1.3. Техническая подготовка к выполнению пусконаладочных работ

Для проведения наладочных работ должны быть выполнены определенные подготовительные мероприятия.

К ним относятся: изучение электрической части проекта и ее связь с технологией производства и технической документацией заводо-поставщиков электрооборудования; проведение поверочного расчета и согласование уставок реле управления и защиты; составление проекта производства наладочных работ; согласование графика производства работ; подборка необходимых инструкций и технической литературы; подборка и размножение в необходимом количестве форм протоколов; подготовка парка приборов и приспособлений; определение производственных помещений для хранения приборов и аппаратуры; помещений для лабораторий по проверке и настройке реле и отдельных электрических узлов; установление начала наладочных работ совместно с руководителем монтажных работ.

По объемам и срокам выполнения наладочных работ определяются участки, бригады и звенья на объекте. Участок или бригада должен возглавить квалифицированный инженер, имеющий опыт, старший инженер или рабочий по наладочным работам; руководителем звена должен быть инженер или квалифицированный техник в зависимости от сложности настраиваемого оборудования.

Задания и сроки для выполнения наладочных работ должен получить каждый участок, бригада, звено. При наличии на участке сравнительно большого количества сходных объектов целесообразно создание специализированных бригад (звеньев) по видам установок.

Питание временных электрических сетей выполняется открытым проводом соответствующего сечения с необходимой изоляцией и достаточной механической прочностью, мой изоляцией и достаточной механической прочностью, исключая возможность прикосновения к нему людей и повреждений в монтажных условиях. Питание по временным схемам должно выполняться через выключатели, рубильники или автомат закрытого исполнения с защитой.



Рабочее место должно иметь достаточное освещение и надежное ограждение во всех местах, где может повдаться напряжение; при производстве работ вывешивают предупредительные плакаты.

Техническая отчетная документация, подлежащая предъявлению заказчику во время проведения наладочных работ, должна содержать оперативные записи результатов испытаний и измерений по ходу работ в соответствующий бланк протокола.

#### 1.4. Порядок выполнения пусконаладочных работ

Пусконаладочные работы по электротехническим устройствам выполняются в несколько этапов.

В начале работы персонал пусконаладочной организации должен изучить полученную от заказчика электрическую часть проекта и ее связь с технологией производства с необходимой технической документацией предприятий-изготовителей. Далее разрабатывается и согласовывается с заказчиком рабочая программа и проект производства пусконаладочных работ (ПНР), который включает в себя мероприятия по технике безопасности.

На этой стадии работ от заказчика следует получить характеристики установок, электрических аппаратов, устройств защиты и автоматики, которые будут использоваться при проведении наладочных работ. Если в процессе анализа проекта, разработки рабочей программы и проекта производства работ будут выявлены замечания по проекту и оборудованию, то их следует передать заказчику.

На следующем этапе производят пусконаладочные работы вместе с электромонтажными, с подачей напряжения по временной схеме. В случае выявления в процессе испытания и настройки дефектов в электрооборудовании их устраняет заказчик, а дефекты и ошибки, допущенные в процессе монтажа, — электромонтажная организация. Проверка пусконаладочных работ заканчивается составлением протоколов по результатам испытания заземления, измерения и испытания изоляции, настройки защиты и релейно-контактной аппаратуры. Также оформляет-

ся один экземпляр исполнительных принципиальных схем объектов электрооборудования, включаемых под напряжение. Следующим этапом пусконаладочных работ производят подачу напряжения по постоянной схеме для индивидуальных испытаний электрооборудования. При этом выполняется настройка параметров электрооборудования, производится опробование схем управления, защиты и сигнализации, а также электрооборудования на холостом ходу с целью подготовки технологического оборудования к индивидуальным испытаниям. При этих испытаниях уточняются параметры, характеристики и значения срабатывания устройств защиты электроустановок.

На этом этапе заказчик обслуживает электрооборудование, вводимое в эксплуатацию. Электрооборудование считается принятым в эксплуатацию после того, как были проведены индивидуальные испытания технологического оборудования, после чего заказчику передаются протоколы испытаний электрооборудования повышенным напряжением, а также протоколы проверки устройств заземления и зануления и исполнительные принципиальные схемы. После окончания пусконаладочных работ оформляется акт технической готовности электрооборудования для комплексного опробования.

На заключительном этапе пусконаладочных работ производят комплексное опробование электрооборудования по согласованной программе. При комплексном опробовании проверяется взаимодействие электрических схем и систем электрооборудования в различных режимах, а также осуществляется обеспечение взаимных связей, регулировка и настройка характеристик и параметров отдельных устройств и функциональных групп электроустановок. Это производится с целью создания в электроустановке заданных режимов работы, ее опробование по полной схеме под нагрузкой для подготовки к комплексному опробованию технологического оборудования. При комплексном опробовании электрооборудования обслуживание электрооборудования осуществляет заказчик.

Окончание работ, производимых пусконаладочной организацией, оформляется подписанием акта по приемке пусконаладочных работ.



## ГЛАВА 2. ОБЩИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ НАЛАДОЧНЫХ РАБОТ

### 2.1. Выбор и типы приборов, методы и точность измерений

Существенной частью наладочных работ, проверок и испытаний являются различного рода измерения. От правильного выбора метода измерений и измерительных приборов с учетом условий производства и необходимой точности измерений зависят качество оценки оборудования, правильность заключения о пригодности его к эксплуатации и надежность его последующей работы.

Измерительные приборы в зависимости от их назначения, области применения и условий работы должны выбираться по следующим основным принципам:

- 1) должна существовать возможность измерения исследуемой физической величины;
- 2) пределы измерения прибора должны охватывать все возможные значения измеряемой величины. При большом диапазоне измерений какой-либо величины целесообразно использовать многопределные приборы;
- 3) прибор должен обеспечивать требуемую точность измерений. Поэтому необходимо обращать внимание не только на класс выбираемого прибора, но и на факторы, влияющие на дополнительную погрешность измерений: несинусоидальность токов и напряжений, влияние температуры, а также внешних магнитных и электрических полей и т.п.;

4) при проведении некоторых измерений важную роль играет экономичность (потребление) измерительного прибора, его масса, габариты, равномерность шкалы, быстроту действия, возможность считывания показаний непосредственно по шкале и пр.;

5) подключение прибора не должно существенно влиять на работу исследуемого устройства, поэтому при выборе приборов следует учитывать их внутреннее сопротивление;

6) прибор должен удовлетворять общим техническим требованиям техники безопасности при производстве измерений устанавливаемыми стандартами;

7) не допускается использовать приборы: с явными дефектами измерительной системы, корпуса и т.д.; истекшим сроком проверки; не соответствующие по классу изоляции напряжениям, на которые подключается прибор.

Электроизмерительные приборы по своему принципу действия подразделяются на электромагнитные (обозначенные на шкале Э), полиризованные, магнитоэлектрические (М), электродинамические (Д), ферродинамические, магнитоиндукционные, электростатические, вибрационные, тепловые, биметаллические, выпрямительные, термомолекулярные (Т), электронные (Ф). На шкале измерительного прибора должно быть изображено условное обозначение, классифицирующая погрешность и условия измерений.

В практике производства наладочных работ чаще всего измерения производят методом непосредственной оценки по предварительно отградуированному прибору (тока, напряжения, мощности и т.п.). Достаточно широко используются измерения методом сравнения (сопротивлений — с помощью мостов, напряжений и ЭДС — с помощью потенциометров). Оба этих метода относятся к способу прямого измерения. Достаточно широко при выполнении наладочных работ применяется также метод косвенного измерения. При этом методе измеряемая величина определяется расчетным путем по предварительно измеренным прямым способом вспомогательным величинам (мощность по показаниям амперметра и вольтметра, тангенс угла диэлектрических потерь  $\tan \delta$  по показаниям ваттметра, вольтметра и амперметра и т.п.). Более точными являются методы прямого измерения, а из них в первую очередь метод сравнения.

Классы точности выбранных приборов и методы измерения влияют на точность измерения.



При проведении наладочных работ практически могут быть использованы приборы класса точности 0,5–2,5 для измерения на наладиваемом оборудовании.

## 2.2. Измерение тока и напряжения

Измерение тока и напряжения в цепях постоянного тока производится амперметрами и вольтметрами мультитеплектической системы, которые обладают высокой точностью, чувствительностью и перестраиваемой способностью. Однако в отдельных случаях могут также применяться приборы электроматной системы. Измерение тока и напряжения в цепях переменного тока промышленной частоты производится амперметрами и вольтметрами электроматной, выпрямительной, электронной, электродинамической и термоэлектрической систем. Наиболее широко применение при наладочных работах нашли приборы электроматной системы, которые прочны, недороги и обладают достаточной точностью. Также в настоящее время нашли применение многоцелевые универсальные приборы, имеющие достаточно большое внутреннее сопротивление при измерениях напряжения. Однако точность этих приборов невелика и сильно зависит от формы кривой тока или напряжения.

Важным при одновременном измерении тока и напряжения является место установки приборов в схеме, которое выбирается в зависимости от их внутреннего сопротивления. Если внутреннее сопротивление вольтметра соизмеримо с сопротивлением проверяемого аппарата, то амперметр нельзя устанавливать до вольтметра, чтобы проходящий через него ток не вошел в измерение. В этом случае должно быть достаточно низким внутреннее сопротивление амперметра, чтобы падение напряжения на нем не повлияло на результат измерения напряжения на проверяемом аппарате.

Для расширения пределов измерения амперметров применяются измерительные трансформаторы тока (перемный ток) или наружные шунты (постоянный ток), а для расширения пределов измерения вольтметров — измерительные трансформаторы напряжения (переменное

напряжение) или добавочные резисторы (постоянное и переменное напряжение). При этом необходимо помнить, что применение измерительных трансформаторов вносит в результат измерений дополнительную погрешность. Чем бы погрешность не превышала допустимую, определенной классом точности применяемого измерительного трансформатора, его вторичную обмотку необходимо включить на номинальное сопротивление. Номинальным сопротивлением вторичной обмотки цепи трансформатора тока является то наибольшее, а трансформатора напряжения — то наименьшее сопротивление, на которое можно включить эту обмотку, не превысив погрешность выше допустимой. При применении трансформаторов тока и трансформаторов напряжения измеренные значения тока и напряжения определяются по следующим формулам:

$$I_{\text{изм}} = I_{\text{прод}} \cdot k_{\text{ам}}, \\ U_{\text{изм}} = U_{\text{прод}} \cdot k_{\text{ам}},$$

где  $I_{\text{прод}}, U_{\text{прод}}$  — показания амперметра и вольтметра соответственно;

$k_{\text{ам}}, k_{\text{ам}}$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения соответственно.

Амперметры прямого включения и трансформаторы тока включаются в цепь только при снятом напряжении. В тех случаях, когда необходимо производить измерения без разрыва проводника, используется переносной трансформатор тока в виде клещей. Магнитопровод трансформатора тока разъемный, благодаря чему он может охватывать провод, образующий первичную обмотку. На корпусе такого трансформатора, для удобства измерения, может быть укреплен амперметр. Токи измерительные клещи не обладают высокой точностью, но для ориентировочных измерений их достаточно.

## 2.3. Измерение мощности

Для измерения мощности в цепях постоянного тока и активной и реактивной мощности в цепях однофазного и трехфазного тока в абсолютном большинстве применяются



приборы электродинамической и ферродинамической систем классов точности 0,2—0,5. Мощность в цепях постоянного и однофазного тока может быть также определена косвенным методом (метод амперметра — вольтметра) путем двух прямых измерений: напряжения на нагрузке и тока, протекающего через нее. На рис. 2.1 приведены две схемы включения амперметра и вольтметра.

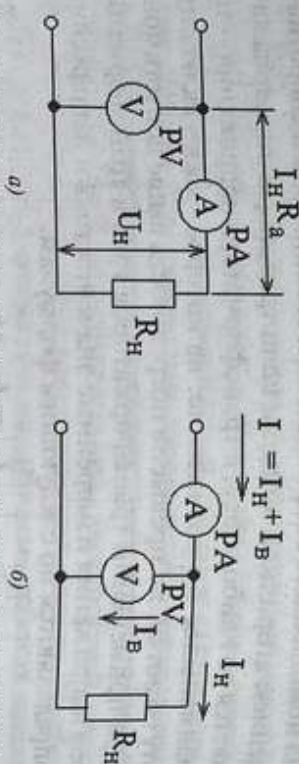


Рис. 2.1. Схема измерения мощности методом амперметра — вольтметра: а — сопротивление нагрузки велико по сравнению с сопротивлением амперметра; б — сопротивление нагрузки мало по сравнению с сопротивлением вольтметра

Выбор той или иной схемы обусловлен допускаемой методической погрешностью измерения, вызываемой соизмеримостью внутренних сопротивлений приборов и сопротивлений нагрузки.

Схема на рис. 2.1 а применяется, когда сопротивление нагрузки относительно велико. В этой схеме вольтметр включен параллельно источнику питающего напряжения и показывает суммарное напряжение на нагрузке и падение напряжения на внутреннем сопротивлении амперметра. В этом случае измеренное значение мощности равно:

$$P_{изм} = U \cdot I = I_n \cdot (U_n + I_n \cdot R_a) = P_n + I_n^2 \cdot R_a,$$

где  $P_n$ ,  $I_n$ ,  $U_n$  — мощность, ток и напряжение в нагрузке;  $R_a$  — внутреннее сопротивление амперметра;  $I_n^2 \cdot R_a$  — ошибка в измерении мощности.

Схема на рис. 2.1 б применяется, когда сопротивление нагрузки относительно мало. Ошибка измерения в данной схеме вызвана тем, что амперметр измеряет суммарный ток через нагрузку и внутреннее сопротивление вольтметра. Измеренное значение мощности равно:

$$P_{изм} = U \cdot I = U_n \cdot (I_n + I_v) = P_n + U_n^2 / R_v = P_n + P_v,$$

где  $I_v$ ,  $P_v$  — ток и мощность, потребляемые вольтметром;

$R_v$  — внутреннее сопротивление вольтметра;

$U_n^2 / R_v$  — ошибка в измерении мощности.

Рассмотренный метод требует одновременного снятия показаний двух приборов, при неизменных значениях напряжения и тока.

Аналогично методу амперметра — вольтметра включение ваттметра возможно двумя способами (рис. 2.2).

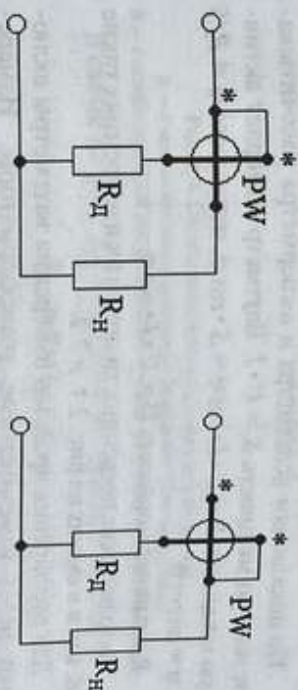


Рис. 2.2. Измерение мощности ваттметром: а — токовая обмотка включена последовательно с нагрузкой; б — обмотка напряжения включена параллельно нагрузке

Включение ваттметра в схему производится с соблюдением полярности обмоток, и для правильного его подключения один из каждой пары зажимов (последовательной и параллельной цепи) обозначают звездочками и называют генераторным зажимом. Генераторные зажимы подключают к одному полюсу источника.

Обе схемы дают погрешность, обусловленную теми же причинами, что и в соответствующих схемах на рис. 2.1.

При использовании электродинамических ваттметров следует учитывать сильную зависимость их показаний от cos φ нагрузки. Показания прибора могут быть истинными лишь при cos φ, близком к номинальному для прибора, в противном случае — со значительными погрешностями.

В тех случаях, когда необходимо определить активную и реактивную мощности, можно воспользоваться схемой на рис. 2.3.



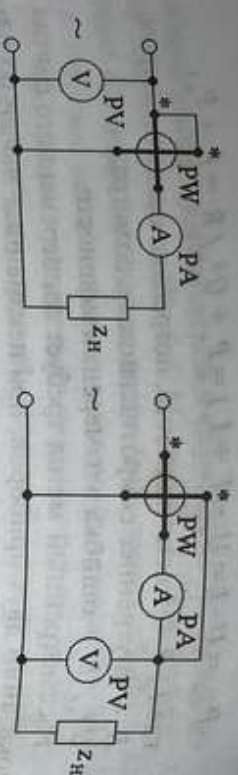


Рис. 2.3. Схемы измерения мощности однофазного переменного тока:  
а — амперметр включен последовательно с нагрузкой;  
б — вольтметр включен параллельно с нагрузкой

По показаниям вольтметра и амперметра рассчитывают полную мощность  $S = U \cdot I$ . Ваттметр измеряет активную мощность  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi$ , откуда  $\cos \varphi = P/S$  и  $\varphi = \arccos \varphi$ .

Реактивная мощность  $Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi$ .

Методические погрешности при этих измерениях такие же, как и в схемах на рис. 2.1. и 2.2.

Для расширения пределов измерения ваттметры включают через измерительные трансформаторы. Измерения мощности в низковольтных цепях с большими токами производятся ваттметром с трансформаторами тока по схеме на рис. 2.4 а. Для выравнивания потенциала между обмотками тока и напряжения ваттметра и устранения тем самым опасности для их изоляции выходы Л1 и И1 трансформатора тока соединяют между собой. В этом случае заземление вторичной обмотки трансформатора тока не производится. Измерение мощности в цепях высокого напряжения производится ваттметром, включенным через трансформаторы тока и напряжения (рис. 2.4 б).

Выходы вторичных обмоток трансформаторов тока и напряжения, обозначенные как И1 и а соответственно заземлены, поэтому потенциал между обмотками ваттметра равен нулю. В приведенных схемах необходимо обратить внимание на правильность включения генераторных зажимов ваттметра и соответствующих выводов измерительных трансформаторов. В схеме на рис. 2.4 а значение измеряемой мощности определяется по формуле:

$$P_{изм} = P_w \cdot k_{тн} \cdot k_{тн}^2$$

где  $P_w$  — показание ваттметра,  
 $k_{тн}$  — коэффициент трансформации трансформатора тока.

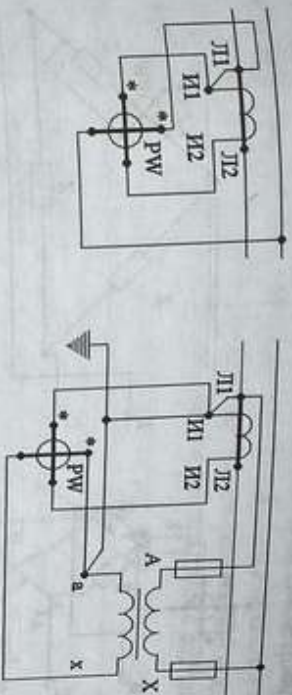


Рис. 2.4. Схемы включения однофазного ваттметра:  
а — с использованием измерительного трансформатора тока;  
б — с использованием измерительных трансформаторов тока и напряжения

В схеме на рис. 2.4 б значение измеряемой мощности

$$P_{изм} = P_w \cdot k_{тн} \cdot k_{тн}^2$$

где  $k_{тн}$ ,  $k_{тн}^2$  — коэффициенты трансформации трансформатора тока и напряжения соответственно. Мощность в цепи трехфазного тока может быть измерена с помощью одного, двух и трех ваттметров.

Метод одного прибора применяют в трехфазной симметричной системе (комплексное сопротивление фаз одинаково). Активная мощность всей системы равна утроенной мощности потребления по одной из фаз.

При измерении активной мощности в трехфазных схемах в практике наладочных работ используются однофазные ваттметры, включаемые в различные схемы.

При соединении нагрузки звездой с доступной нулевой точкой или при соединении нагрузки треугольником, когда имеется возможность токовую обмотку ваттметра включить последовательно с нагрузкой, можно использовать схемы включения прибора, показанные на рис. 2.5.

Если нагрузка соединена звездой с недоступной нулевой точкой или треугольником, то можно применить схему с искусственной нулевой точкой (рис. 2.6).

Искусственная нулевая точка создается с помощью резисторов и в этом случае сопротивления должны быть равны:

144 217



$$R_u + R_{\text{см}} = R_b = R_c,$$

где  $R_{\text{см}}$  — сопротивление обмотки напряжения ваттметра.

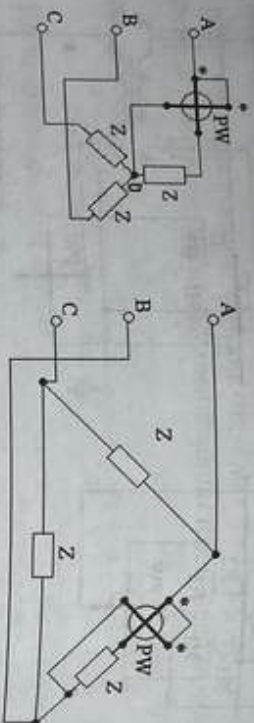


Рис. 2.5. Схема включения ваттметра в трехфазную цепь:  
а — по схеме звезды с доступной нулевой точкой;  
б — по схеме треугольника

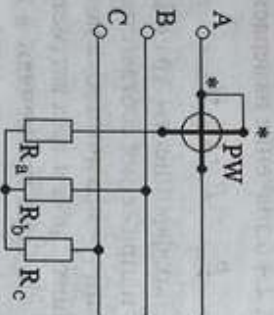


Рис. 2.6. Схема измерения мощности трехфазного переменного тока с искусственной нулевой точкой

При этом условии на каждом из резисторов будет фазное напряжение.

Для измерения реактивной мощности методом одного прибора в трехфазной симметричной системе токовые концы ваттметра включают в рассечку любой фазы, а концы обмотки напряжения — на две другие фазы (рис. 2.7 а).

В трехфазных цепях при симметричной системе напряжений векторы линейных напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  отстоят от соответствующих фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$  на угол  $90^\circ$  (рис. 2.7 б).

Показание ваттметра в рассматриваемой схеме будет равно:

$$P_W = U_{BC} \cdot I_A \cdot \cos \varphi \cdot (U_{BC} \cdot I_A) = U_{BC} \cdot I_A \cdot \cos (90^\circ - \varphi) = U_{BC} \cdot I_A \cdot \sin \varphi = U_A \cdot I_A \cdot \sin \varphi$$

Так как реактивная мощность при полной симметрии в трехфазной системе определяется следующим выражением:  $Q = \sqrt{3} \cdot U_A \cdot I_A \cdot \sin \varphi$ , то для получения реактивной мощности всей цепи необходимо умножить показания ваттметра на  $\sqrt{3}$ .

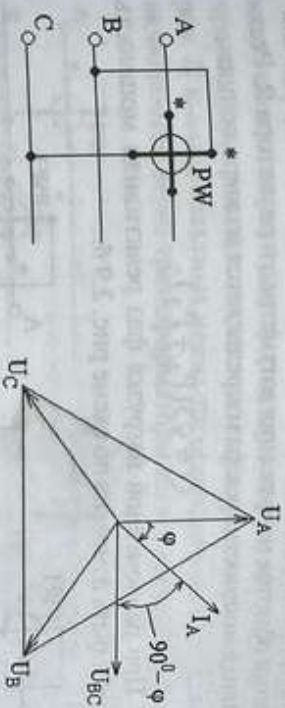


Рис. 2.7. Схема измерения реактивной мощности трехфазного переменного тока одним ваттметром:  
а — схема включения прибора; б — векторная диаграмма

Следует заметить, что даже при незначительной асимметрии фаз применение данного метода приводит к большим погрешностям, поэтому он применим только в лабораторной практике.

Методом двух приборов можно пользоваться как при симметричной, так и при несимметричной нагрузке фаз. Измерения можно производить двумя одноэлементными ваттметрами или одним двухэлементным. Существуют три равноценных варианта для измерения активной мощности (рис. 2.8).

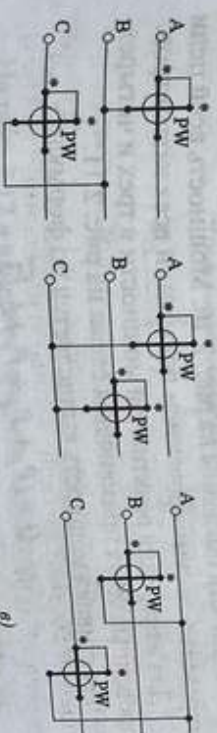


Рис. 2.8. Включение ваттметра в трехфазной системе по схеме Арона в различные фазы



Активная мощность всех трех фаз определяется как сумма показаний двух ваттметров.

Для измерения реактивной мощности двумя ваттметрами применяется схема с искусственной нулевой точкой (рис. 2.9 а). Искусственная нулевая точка необходима для получения фазных напряжений, которые должны подаваться на обмотки напряжений приборов. Для создания нулевой точки необходимо выполнить условие равенства сопротивлений обмоток напряжения ваттметров и резистора R. Реактивная мощность трех фаз определяется из выражения:

$$Q = \sqrt{3}(P_1 + P_2).$$

При равномерной нагрузке фаз реактивная мощность может быть измерена по схеме рис. 2.9 б.

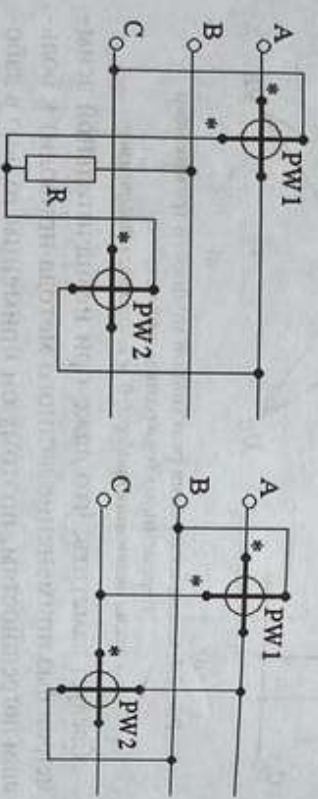


Рис. 2.9. Схемы измерения реактивной мощности трехфазного переменного тока двумя ваттметрами

Реактивная мощность трехфазной цепи в этом случае получается умножением суммы показаний ваттметров на  $\sqrt{3}/2$ .

Метод трех приборов применяется при любой нагрузке фаз. Схемы включения ваттметров для измерения активной мощности показаны на рис. 2.10. Мощность всей цепи определяется суммированием показаний всех ваттметров. Для измерения реактивной мощности в трех и четырехпроводных сетях применяется схема на рис. 2.11.

Реактивная мощность вычисляется по формуле:

$$Q = (P_A + P_B + P_C) / \sqrt{3},$$

где  $P_A, P_B, P_C$  — показания ваттметров, включенных в фазы A, B, C.

На практике обычно применяются одно-, двух-, и трехэлементные трехфазные ваттметры соответственно методу измерения.

Для расширения пределов измерения ваттметров можно применять все приведенные выше схемы при подключении приборов через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

В трехфазных цепях низкого напряжения ваттметры включаются через трансформаторы тока, если токи цепи превышают номинальные токи измерительных приборов. В высоковольтных цепях трехфазного тока ваттметры включаются через трансформаторы тока и напряжения.

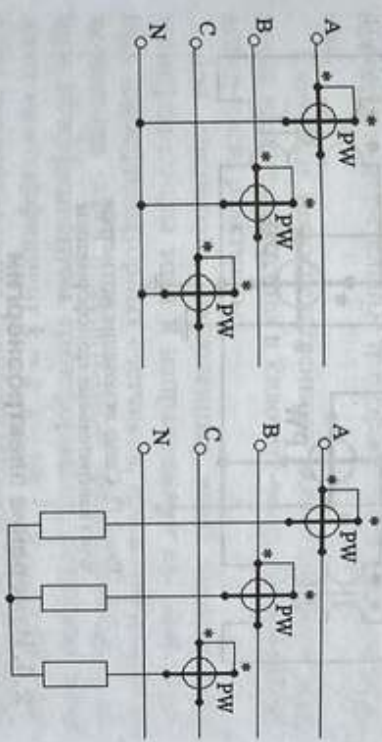


Рис. 2.10. Схема измерения активной мощности трехфазного переменного тока тремя ваттметрами: а — при наличии нулевого провода; б — с искусственной нулевой точкой

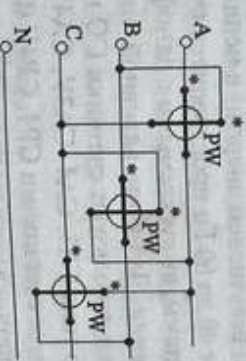


Рис. 2.11. Схема измерения реактивной мощности тремя ваттметрами

На рис. 2.12 в качестве примера показана схема измерения мощности по методу двух приборов при включении их через измерительные трансформаторы тока и напряжения.



Значение измеряемой мощности ваттметрами определяется по формуле:

$$P = P_{\text{изм}} \cdot k_{\text{ам}} \cdot k_{\text{тн}},$$

где  $P_{\text{изм}}$  — показание ваттметра;  
 $k_{\text{ам}}$  и  $k_{\text{тн}}$  — коэффициенты трансформации трансформатора тока и напряжения.

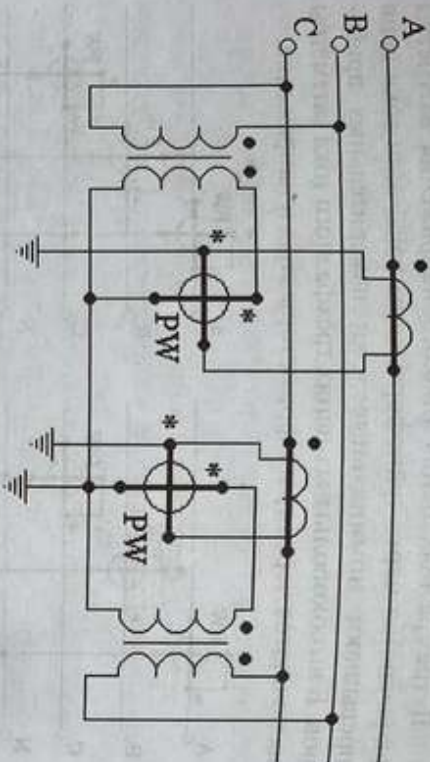


Рис. 2.12. Схема включения ваттметров через измерительные трансформаторы

## 2.4. Измерение электроэнергии

Электрическая энергия в цепях постоянного тока измеряется счетчиками магнитоэлектрической, электродинамической, ферродинамической и электродинамической систем. Учет активной и реактивной энергии в цепях переменного тока частотой от 40 до 60 Гц производится счетчиками индукционной системы, выпускаемыми в однофазном и трехфазном исполнении. Для учета активной энергии в цепях однофазного тока используют счетчики СО и СОУ, а в цепях трехфазного тока — САЗ, СА4, САЗУ, СА4У. Реактивная энергия измеряется счетчиками СР4, СР4У (цифра 3 в обозначении типа счетчика указывает, что он предназначен для трехпроводной сети, 4 — для четырехпроводной).

Универсальные счетчики типов СОУ, САЗУ, СА4У предназначены для включения только с измерительными трансформаторами. Счетчики остальных типов выпускают как

для непосредственного включения, так и для включения через измерительные трансформаторы.

Счетчики активной энергии имеют следующие классы точности: 0,5; 1,0; 2,0 и 2,5, а реактивной — 1,5; 2,0; 3,0. Класс точности счетчиков для включения через измерительные трансформаторы не ниже 2,0.

Выбор класса точности счетчиков зависит от назначения, способа включения и вида измеряемой энергии.

По назначению счетчики можно разделить на следующие категории: расчетные и предназначенные для технического (контрольного) учета, а по способу включения — на счетчики непосредственного включения и включающиеся через измерительные трансформаторы тока и напряжения.

Счетчики непосредственного включения дают показания непосредственно в киловатт-часах или киловольтампер-часах реактивных.

Для счетчиков, включенных через измерительные трансформаторы тока и напряжения, и для универсальных трансформаторных счетчиков, предназначенных для включения через измерительные трансформаторы с любым коэффициентом трансформации, показания умножают на коэффициент  $k = k_{\text{тн}} \cdot k_{\text{ам}}$ , где  $k_{\text{тн}}$  и  $k_{\text{ам}}$  — коэффициенты трансформации трансформаторов тока и напряжения. Корпуса, а также вторичные (одноименные) зажимы трансформаторов тока и напряжения рекомендуются заземлять.

Правила и схемы включения счетчиков учета активной и реактивной энергии аналогичны правилам и вариантам схем включения ваттметров. Зажимы счетчиков, обозначенные буквами «Г» и «Н», означающие «генератор» и «нагрузка», аналогичны звездочкам у генераторных зажимов ваттметров.

На рис. 2.13 приведены схемы включения однофазных счетчиков типов СО и СОУ.

Дважды такими счетчиками, включенными по схеме, аналогичной рис. 2.8 или 2.9, можно измерить соответственно расход активной или реактивной энергии в сети трехфазного тока при симметричной и несимметричной



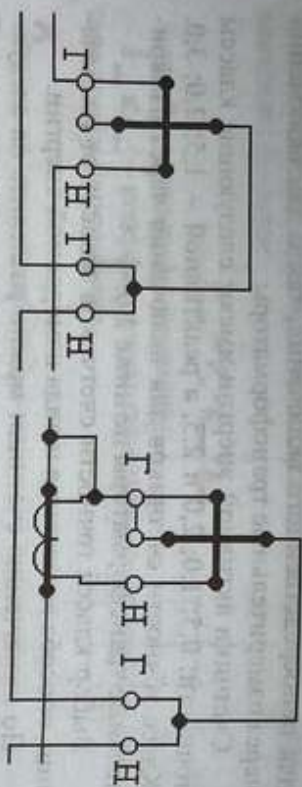


Рис. 2.13. Схема включения однофазных счетчиков:  
а — типа СО; б — типа СОУ

нагрузке. С помощью схемы на рис. 2.10 и 2.11 однофазными счетчиками можно измерить расход активной или реактивной энергии в трехфазной сети при любой асимметричной нагрузке.

При сложной асимметрии нагрузок фаз активная энергия в трех- и четырехпроводных сетях учитывается с помощью трехфазных четырехпроводных счетчиков типов СА4 и СА4У, которые имеют три измерительных элемента и учитывают расход электроэнергии пофазным суммированием. На рис. 2.14 а приведена схема включения счетчика СА4, а на рис. 2.14 б, счетчика СА4У с использованием трансформатора тока.

В трехфазных трехпроводных сетях учет выполняют трехэлементными счетчиками типов СА3, СА3У, включенными по схеме двух ваттметров.

В последнее время рядом предприятий начал выпуск электрических счетчиков нового поколения.

Для измерения активной энергии в однофазных двухпроводных цепях переменного тока выпускается счетчик электрической энергии СЭ — 0401, имеющий класс точности 2,0.

Порог чувствительности счетчика — 5,5 Вт. Сила тока от 0,05 до 50 А. Для отображения работы счетчика на панели выведены три светодиода индикатора, один из которых отображает наличие напряжения в сети, два других мигают с частотой, пропорциональной потребляемой мощности. Счетчик СЭ-0401 имеет импульсные (тепловые) выходы основного и поверочного передаточного

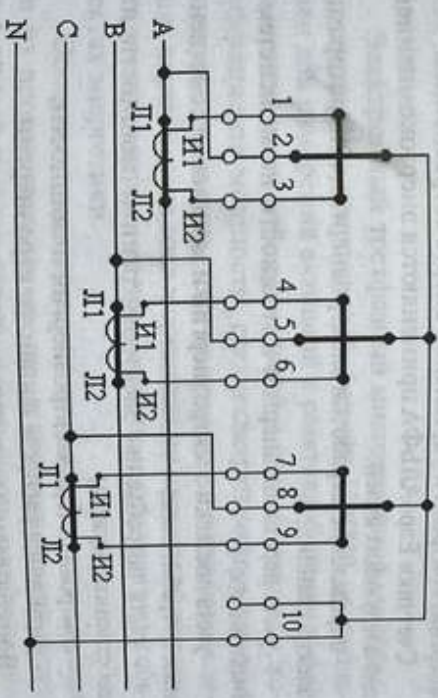
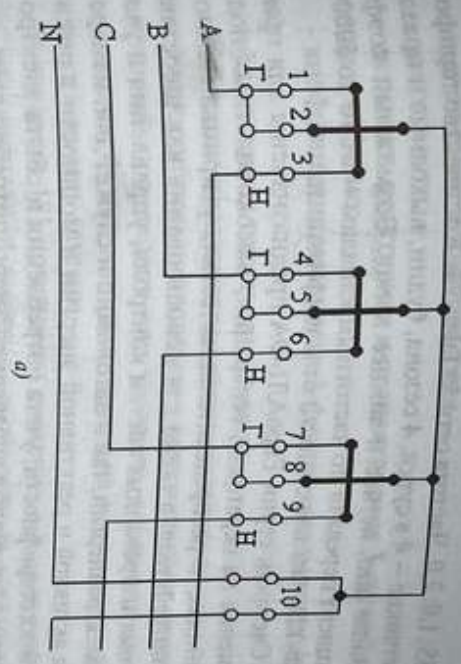


Рис. 2.14. Схема внутренних включений счетчиков:  
а — типа СА4; б — типа СА4У с трансформаторами тока

устройства. Основное передающее устройство с передаточным числом 500 имп/кВт·ч, поверочное — 800 имп/кВт·ч. Для обеспечения функционирования основного и поверочного передающих устройств необходимо подать на соответствующие зажимы устройства питающее напряжение постоянного тока.

Московским предприятием «ТОО СП АББ ВЭИ Микропро» выпускаются многофункциональные микропроцессорные счетчики электроэнергии серии ЕвроАЛБФА типов ЕА02, ЕА05, ЕА10, ЕА20 с классом точности 0,2S;



0,5S; 1,0; 2,0. Частота сети  $50 \text{ Гц} \pm 5\%$ . Количество тарифов  
счетчиков — 4 в сутки, 4 сезона, будни, выходные и празд-  
ничные дни, летнее и зимнее время. Возможный коэф-  
фициент передачи по частотным каналам — от 10 до 50000  
Имп/кВт·ч в зависимости от модификации.

Счетчики серии ЕвроАЛБФА предназначены для при-  
менения на перетоках, генерации, высоковольтных под-  
станциях, в распределительных сетях, у промышленно-  
автоматизированных систем контроля, управления и уче-  
та электроэнергии, так и автономно и служат для изме-  
рения активной и реактивной энергии и мощности в режи-  
ме многотарифности; учета потребления и сбыта электро-  
энергии; контроля и управления энергопотреблением.

Счетчики ЕвроАЛБФА применяются энергокомпаниями  
для следующих целей:

- определение выработки электроэнергии генераторами  
электростанций;
- учета перетоков энергии и мощности на межсистем-  
ных линиях;
- учета поставки электроэнергии и мощности собствен-  
ным потребителям;
- учета потребления электроэнергии и мощности на  
собственные нужды;
- контроля потерь электроэнергии и мощности;
- управления распределением электроэнергии.

Потребителем электроэнергии счетчики ЕвроАЛБФА  
применяются для:

- точного учета потребленной энергии и мощности в ре-  
жиме многотарифности;
- автоматизации производства;
- прогнозирования величины заявленной мощности  
для предприятия;
- выбора графика потребления энергии;
- учета реактивной мощности;
- передачи измеренных параметров энергопотребления  
для служб энергосбыта.

Набор дополнительных величин, измеряемых (вычис-  
ляемых) и отображаемых счетчиками EA02 и EA05:

- напряжение и токи пофазно;
- частота сети;
- активная, реактивная и полная энергия 3-фазной си-  
стемы и пофазно;
- коэффициент мощности 3-фазной системы и пофаз-  
но;

- фазные углы тока и напряжения.

В счетчике предусмотрен режим тестирования для про-  
ведения калибровки, проверки и режим ошибки, переход  
в который происходит при условиях, влияющих на его  
нормальное функционирование или на сохранность запи-  
санных в память данных.

В каталоге [8] приведены сведения о новых счетчи-  
ках электрической энергии, выпущенных в последнее  
время.

Электронный трехфазный многотарифный микропро-  
цессорный универсальный счетчик ЦЭ6850 предназна-  
чен для измерения активной и реактивной электрической  
энергии, активной, реактивной и полной мощности, ко-  
эффициента мощности, среднеквадратического значения  
напряжения и силы тока по трем фазам в трехфазных це-  
пях переменного тока и организации многотарифного уче-  
та электроэнергии на промышленных предприятиях и объ-  
ектах энергетики.

Область применения: учет мощностей в энергосистемах  
и на промышленных предприятиях; технический и ком-  
мерческий учет межсистемных перетоков, выработки и ис-  
пользования электроэнергии; измерение параметров сети  
и управления нагрузками; использование в составе любых  
автоматизированных системах технического и коммерче-  
ского учета.

Измерение активной и реактивной электроэнергии и  
мощности в трехфазных трехпроводных и четырёхпровод-  
ных цепях переменного тока может осуществляться счет-  
чиками ЦЭ 6850 по 4-м тарифам в 8-ми временных зонах  
суток. Счетчик имеет технологический запас по погрешно-  
сти измерения, два реле для управления нагрузками, защи-  
ту от хищения электроэнергии. Предприятие-изготовитель  
счетчика ЦЭ6850 — концерн «Энергомера».



## НПП ГРАН СИСТЕМА-С

трической энергии переменного тока «Гран-Электро СС-301». Счетчики предназначены для измерения активной и реактивной энергии и мощности в режиме многотарифности, учета потребления и сбыта электроэнергии, контроля и управления энергопотреблением.

Область применения счетчиков «Гран-Электро СС-301»:

- для энергосистем: определение выработки электроэнергии; учет потоков энергии и мощности; контроль потерь энергии и мощности; управление распределением энергии;

- для потребителей: учет потребляемой энергии и мощности в режиме многотарифности, выбор тарификации; учет реактивной мощности; прогнозирование величины заявленной мощности; передача измеренных параметров энергопотребления для Энергосбыта.

Помимо измерения основных параметров энергопотребления по всем видам электроэнергетики, счетчик измеряет такие параметры качества электроэнергии, как фазные значения напряжений, токов, мощностей, коэффициентов мощности, частоты сети.

Счетчики электрической энергии электронные multifunctionальные ЭЭ 8005, изготавливаемые РУП «Витебский завод электроизмерительных приборов» (ВЗЭП), предназначены для учета активной и реактивной электроэнергии в трехфазных трех- и четырехпроводных цепях переменного тока.

Область применения: комплектование систем многотарифного учета электроэнергии на предприятиях промышленности, энергетики, сельского хозяйства и в бытовом секторе.

Особенностями счетчиков ЭЭ 8005 являются:

- многотарифный учет активной и реактивной электроэнергии в двух направлениях;
- большое количество измеряемых параметров сети;
- возможность управления нагрузкой;
- обмен данными с персональным компьютером по средствам последовательного интерфейса.

ОАО «Московский завод электроизмерительных приборов» (МЗЭП) выпускает счетчики электрической энергии трехфазные электронные СТС-560 и цифровые комбинированные счетчики электроэнергии СТС 5605.

Счетчики серии СТС-560 предназначены для учета активной и реактивной энергии в трех- и четырехпроводных сетях трехфазного переменного тока на промышленных предприятиях и у бытовых потребителей, а также для работы в составе автоматизированных систем контроля и учета энергопотребления (АСКУЭ).

Счетчики серии СТС 5605 являются трехфазными многотарифными, электронными, цифровыми, комбинированными приборами, сочетающими в себе multifunctionальный микропроцессорный счетчик и измеритель показателей качества электроэнергии.

Счетчики серии СТС 5605 трансформаторного включения предназначены для измерения активной и реактивной электроэнергии на промышленных предприятиях и объектах энергетики и применяются в системах АСКУЭ для передачи измеренных величин на диспетчерский пункт контроля, учета и распределения электрической энергии.

К особенностям счетчиков серии СТС 5605 можно отнести следующие функции:

- измерение активной электроэнергии в трехфазных трех- и четырехпроводных сетях по двум направлениям;
- измерение реактивной электрической энергии по квадратам;
- определение суммарной (по трем фазам) активной и реактивной мощности;
- формирование профиля нагрузок;
- учет кратковременных и длительных перерывов в подаче электропитания.

Более полные технические характеристики и конструктивные особенности описанных выше счетчиков приведены в [8].



## 2.5. Измерение электрического сопротивления

Выбор метода измерения электрического сопротивления постоянному току зависит от его ожидаемого значения и требуемой точности. Основными методами измерения сопротивлений являются: косвенный, метод непосредственной оценки и мостовой.

Метод амперметра-вольтметра (косвенный метод) является достаточно распространенным методом измерения в практике наладочных работ. Приборы, используемые при измерении этим методом, с учетом недостаточной его точности, должны выбираться класса не менее 0,2. Вольтметр необходимо подключать непосредственно к измеряемому сопротивлению отдельными проводниками. Измерения производятся при нескольких значениях тока (не менее 3–5). За результат принимается среднее значение сопротивления, подсчитываемое по формуле:

$$R = (U_1/I_1) + (U_2/I_2) + \dots + (U_n/I_n)/n,$$

где  $U_1, U_2, \dots, U_n$  — напряжения, соответствующие производимым измерениям, В;

$I_1, I_2, \dots, I_n$  — токи, соответствующие производимым измерениям, А;

$n$  — количество произведенных измерений.

На рис. 2.15 приведены схемы измерения больших и малых сопротивлений методом амперметра-вольтметра.

Для схемы рис. 2.15 а:

$$R_x = (U/I_x) = I(U_x + U_a)/I = R_x + R_a.$$

Относительная методическая погрешность измерения составляет:

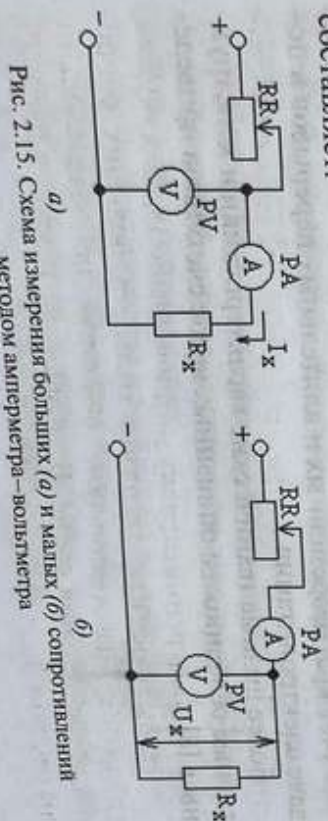


Рис. 2.15. Схема измерения больших (а) и малых (б) сопротивлений методом амперметра-вольтметра

$$\delta = \Delta R_x / R_x = R_a / R_x.$$

Для схемы рис. 2.15 б:

$$R_x = U/I = U_x/(I_x + I_a) = U_x/(1 + R_x/R_a).$$

Относительная методическая погрешность измерения

$$\delta = -R_x/(R_a + R_x),$$

где  $R_a$  и  $R_x$  — сопротивления амперметра и вольтметра.

Погрешность измерения по методу амперметра-вольтметра рассчитывается по формуле:

$$\delta = \gamma_v (U_a/U_x) + \gamma_a (I_a/I_x),$$

где  $\gamma_v, \gamma_a$  — классы точности вольтметра и амперметра;  $U_a, I_a$  — пределы измерений вольтметра и амперметра.

Непосредственное измерение сопротивлений постоянному току выполняется омметрами. Если значения сопротивлений более 1 Ом, применяют омметры с последовательной схемой измерения (рис. 2.16 а), а для измерения малых сопротивлений — с параллельной схемой (рис. 2.16 б).

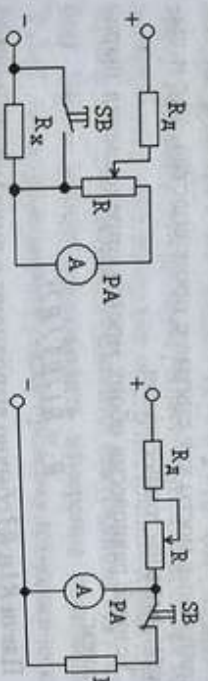


Рис. 2.16. Схема омметров с последовательной (а) и параллельной (б) схемой соединения

При использовании омметров с целью компенсации измерения напряжения питания необходимо произвести установку стрелки прибора. Для последовательной схемы стрелка устанавливается на нуль при шунтированном перед меряемом сопротивлении. Для параллельной схеме перед началом измерения стрелку устанавливают на отметку «∞».

Чтобы охватить диапазон малых и больших сопротивлений, изготавливают омметры по параллельно-последовательной схеме. В этом случае имеются две шкалы отсчета  $R_x$ .



Наиболее высокая точность может быть достигнута при использовании мостового метода измерения. Средние сопротивления (10 Ом — 1 МОм) измеряют с помощью одностороннего моста (рис. 3.17 а), а малые — с помощью двойного (рис. 2.17 б).

Измеряемое сопротивление  $R_x$  включают в одно из плеч моста, диагонали которого подключают соответственно к источнику питания и нуль-индикатору, в качестве последнего могут быть использованы гальванометр, микроамперметр с нулем по середине шкалы.

Отсчет измеряемого сопротивления производится по значению, установленному ручками магазинных сопротивлений.

В одинарных мостах результат измерений учитывает сопротивление проводов, которыми они присоединяются к измеряемому сопротивлению. Это является основным недостатком таких мостов. Недостаток одинарных мостов устранен в двойных мостах, позволяющих измерять сопротивления до  $10^{-6}$  Ом.

В практике наладочных работ находят применение измерительные мосты как снятые с производства, так и выпускаемые в настоящее время.

Условие равновесия обоих мостов определяется выражением:

$$R_x = R1 (R3 / R2).$$

Плечи  $R1$  и  $R3$  обычно выполняют в виде магазинных сопротивлений (магазинный мост).

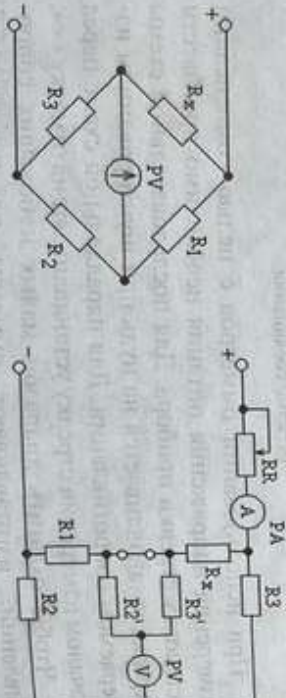


Рис. 2.17. Мостовые схемы измерения сопротивлений: а — одинарный мост; б — двойной мост

Одинарный мост типа ММВ применяется как прибор для грубых измерений. Пределы измерения этого моста 0,5—5000 Ом с погрешностью 1—2 %.

По схеме двойного моста, снятого с производства, устроен измерительный мост МД-6, позволяющий производить измерения в пределах  $11-10^{-6}$  Ом.

Нашедший широкое применение мост Р329 позволяет производить измерения как по одинарной схеме (в пределах  $10^{-3}-10^{-3}$  Ом), так и по двойной (в пределах  $100-10^{-6}$  Ом).

Мост Р333 представляет собой одинарный мост и широко применяется при наладочных работах для измерения сопротивлений в пределах  $5 \cdot 10^{-3}-999,9 \cdot 10^3$  Ом. Кроме измерений сопротивлений постоянному току мост Р333 позволяет определять места повреждения кабеля по схеме петля Варлея и Муррея, а также измерять асимметрию проводов.

Прибор универсальный измерительный Р4833 предназначен для измерений сопротивлений по схеме одинарного моста в пределах  $10^{-2}-10^6$  Ом (двухажимная схема измерения) и в пределах  $10^{-4}-2 \cdot 10^2$  Ом (четырёхажимная схема измерения). Класс точности прибора при использовании в качестве моста постоянного тока — 0,1. Кроме измерения сопротивлений постоянному току прибор Р4833 может производить измерение постоянных ЭДС и напряжений, а также проверку технологических приборов.

Измерение сопротивления переменному току может быть произведено методом амперметра-вольтметра по схемам рис. 2.15. Если необходимо определить составляющие полного сопротивления, используют метод трех приборов: амперметра — вольтметра — ваттметра. Большие сопротивления измеряют по схеме рис. 2.18 а, малые сопротивления — по схеме на рис. 2.18 б.

Значения полного сопротивления определяют по следующим формулам:

$$Z = U / I; R = P / I^2; x = \sqrt{Z^2 + R^2} = \sqrt{U^2 I^2 - P^2} / I^2,$$

где  $P, U, I$  — показания ваттметра, вольтметра и амперметра соответственно.



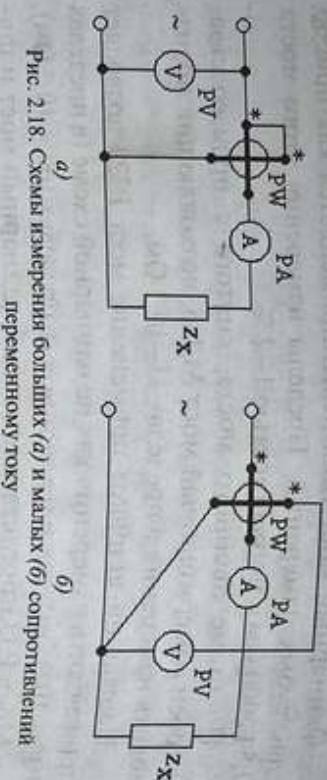


Рис. 2.18. Схемы измерения больших (а) и малых (б) сопротивлений переменному току

Для измерения полного сопротивления и его составляющих можно использовать метод сравнения неизвестного сопротивления  $Z_x$  с известным активным сопротивлением  $R_o$ . При последовательном соединении  $Z_x$  и  $R_o$  (рис. 2.19 а) полное сопротивление и его составляющие определяются по формулам:

$$Z_x = R_o \cdot U_x / U_o,$$

$$\cos \varphi = (U^2 - U_x^2 - U_o^2) / 2U_x \cdot U_o.$$

При параллельном соединении  $Z_x$  и  $R_o$  (рис. 2.19 б):

$$Z_x = R_o \cdot I_x / I_o,$$

$$\cos \varphi = (I^2 - I_x^2 - I_o^2) / 2I_x \cdot I_o,$$

$$R_x = Z_x \cos \varphi; X_x = \sqrt{Z_x^2 - R_x^2}.$$

Для измерения полного сопротивления, а также его активной и реактивной составляющих широко применяются разнообразные мосты переменного тока. Питание мостов

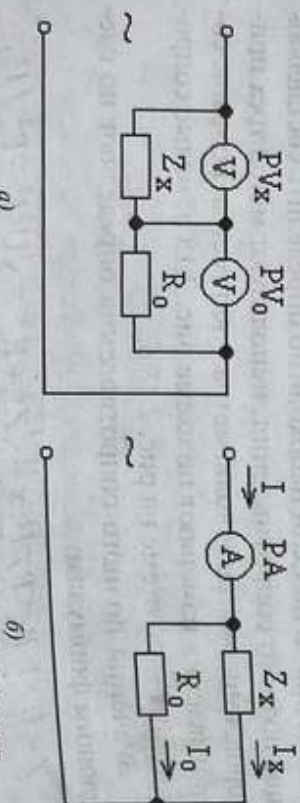


Рис. 2.19. Схемы измерения сопротивлений по методу сравнения: а — последовательное соединение сравниваемых сопротивлений; б — параллельное соединение

осуществляется токами той частоты, на которой требуется произвести измерения.

Измерения малых сопротивлений, в том числе сопротивлений паяк якорных обмоток машин постоянного тока и переходных сопротивлений контактов выключателей, могут быть произведены контактомерами, изготовляемыми в энергосистемах КМС-63, КМС-68. Приборы КМС-63 и КМС-68 позволяют производить измерения в пределах 500—2500 мкОм с погрешностью 5%. Приборы снабжены специальными маркированными шупами.

Измерение малых сопротивлений, например сопротивления паяк якорных обмоток машин постоянного тока, могут производиться микрометрами типа М246, представляющими собой логометрический прибор с оптическим указателем. Прибор снабжен специальными самозащитающимися шупами, с помощью которых он плотно прижимается к измеряемому сопротивлению.

При наладочных работах также используют микрометры Ф415, Ф4104.

Прибор ИВ-3М предназначен для проверки качества паяк стержней обмоток электрических машин.

Прибор М-1 предназначен для измерения переходных сопротивлений контактов коммутационной аппаратуры с номинальным напряжением до 500 кВ. Прибор снабжен специальными проводами, позволяющими производить измерения контактов с земли вблизи оборудования.

Измерения сопротивления постоянному току малых значений (обмоток силовых трансформаторов, генераторов) могут производиться с большой точностью при помощи потенциометров постоянного тока, в которых используется принцип компенсационного метода измерения. При измерениях используются потенциометры типов ПП-63 и КП-59.

Измерение сопротивления постоянному току независимо от метода производят при установившемся тепловом режиме, при котором температура окружающей среды отличается от температуры измеряемого объекта не более чем на  $\pm 3^\circ\text{C}$ . Для объективного сравнения измеренного сопротивления следует произвести его температурный



пересчет к необходимой температуре по следующему формулам:

Для обмоток из меди

$$R_2 = R_1 [(235 + t_2) / (235 + t_1)]$$

для обмоток из алюминия

$$R_2 = R_1 [(245 + t_2) / (245 + t_1)],$$

где  $R_2$  — сопротивление, приводимое к температуре  $t_2$ ;  $R_1$  — сопротивление, измеренное при температуре  $t_1$ . Обычно для удобства сравнения полученные результаты измерений приводят к температуре 15 °С.

## 2.6. Измерение коэффициента мощности, фазы и определение порядка чередования фаз в электроустановках

Непосредственно коэффициент мощности измеряют фазометром электродинамической (Д578, Д5000), ферродинамической (Д120) или электромагнитной (Э120, Э500) систем. Универсальный фазоуказатель типа Э500 предназначен также для определения фазового угла между векторами тока и напряжения (Э500/1) или между векторами напряжений (Э500/2). Прибор рассчитан на напряжение питания 110 или 380 В, а по току — на 5 А. Погрешность приборов типа Э500 не более  $\pm 5\%$ .

Порядок чередования фаз и углы фазового сдвига могут быть определены с помощью одного из следующих приборов: однофазного фазометра (например Д578), вольтамперфазоиндикатора ВАФ-85М, однофазного ваттметра, электронного осциллографа.

Наиболее универсальным прибором, широко применяемым в практике наладочных работ и эксплуатационных проверок, является ВАФ-85М. Прибор позволяет производить кроме определения порядка чередования фаз также измерения значения и фазы тока (до 10 А), напряжения промышленной частоты (до 250 В) и токов небаланса (до 250 мА) в релейных защитах. Прибором ВАФ-85М можно определить наличие переменного магнитного поля, а также примерно его величину. Измерение фазы прибо-

ром производится с помощью фазозависимого механического выпрямителя, включаемого последовательно с индикатором. Значение фазы любого измеряемого напряжения или тока будет определяться относительно линейного напряжения  $U_{ав}$ , принятого за опорное. Определив фазу тока или напряжения относительно  $U_{ав}$ , можно будет определить и фазу их относительно друг друга, что обычно требуется при проверке релейной защиты.

В настоящее время освоен выпуск цифрового вольтамперфазометра ВАФ-А. Универсальный прибор ВАФ-А предназначен для: измерения напряжения постоянного тока (до 460 В); измерения действующего значения напряжения (до 460 В) и силы переменного тока (до 10 А) промышленной частоты; измерения угла сдвига фазы между током и током (при комплектации прибора двумя токоизмерительными клещами), между напряжением и напряжением, между током и напряжением (до  $\pm 180^\circ$ ), с одновременно вычислением полной мощности в цепи; определения последовательности чередования фаз в трехфазных системах как со средней точкой, так и без нее; измерения частоты переменного напряжения и тока (45–65 Гц). Отличительными особенностями прибора ВАФ-А являются: полная автоматизация выбора режима работы и диапазона измерения на основании установленных приоритетов; жидкокристаллический дисплей на две строки по 16 символов для одновременного отображения до 4-х измеряемых параметров; подсветка дисплея для работы в условиях слабой освещенности; удобство работы с труднодоступными токоведущими линиями; универсальное питание (батареиное питание включается автоматически, при удалении из гнезда колодки кабеля сетевого питания).

Определение порядка чередования фаз необходимо для правильного подключения электрооборудования к действующим установкам, правильной эксплуатации электроустановок и обеспечения правильной работы устройств релейных защит и автоматики.

Определение порядка чередования фаз производится обычно фазоуказателем индукционной системы типа И517 (рис. 2.20), представляющим собой асинхронный коротко-



ЗАМКНУТЫЙ ДВИГАТЕЛЬ, который подключается к зажимам питающей сети.

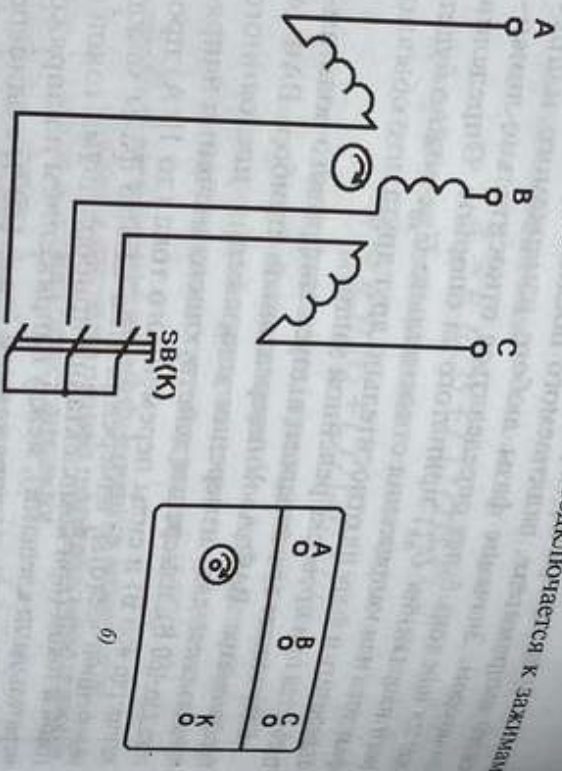


Рис. 2.20. Принципиальная схема (а) и внешний вид (б) фазоуказателя типа IS17

Фазы проверяемой системы напряжения подключаются к зажимам фазоуказателя в соответствии с маркировкой его выводов. При прямом чередовании фаз (А – В – С) и нажатии кнопки SB(K) диск, расположенный на валу двигателя, будет вращаться по направлению указанной на нем стрелки или против – при обратном чередовании фаз (А – С – В). Фазоуказатель IS17 рассчитан на напряжение от 50 до 500 В, диапазон частот 40–60 Гц, длительность включения не более 3 с.

## 2.7. Измерение времени

При наладке и проверке релейной защиты и автоматики, испытаниях электрических машин, аппаратов необходимо производить измерение различных промежутков времени, связанных с работой и автоматикой в целом. Промежутки реле и устройств защиты и автоматики могут быть от миллисекунд до десятков секунд или нескольких минут. Точность измерений временных промежутков также раз-

лична. Большое время срабатывания (20 с и более) может быть измерено обычным пружинным секундомером. В лабораторной практике наибольшее распространение получили лабораторные переносные электрические секундомеры типов ПВ-53 и П14-2М. Секундомер ПВ-53 позволяет измерять промежутки времени в пределах от 0,01 до 10 с. Прибор имеет две шкалы. Цена деления большой шкалы 0,01 с, верхний предел 1 с.

Секундомер ПВ-53 (рис. 2.21) представляет собой вибрационное устройство на базе поляризованного реле.

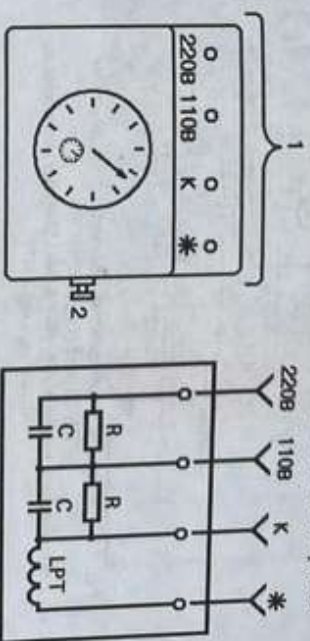


Рис. 2.21. Внешний вид (а) и принципиальная схема (б) секундомера ПВ-53: 1 – зажимы для подключения; 2 – кнопка возврата стрелки на нуль; R – встроены резисторы; C – конденсаторы; LPT – обмотка секундомера

Зажимы К и \* секундомера используются для шунтирования обмотки электромагнита LPT при остановке секундомера во время измерения, зажимы 110 и 220 – для питания и запуска прибора при измерениях, резисторы R – для ограничения тока при шунтировании обмотки LPT.

Примеры измерения времени работы контактов различных реле (устройств) с помощью секундомера ПВ-53 показаны на рис. 2.22.

При замыкании рубильника подается напряжение (ток) на реле (устройство) и секундомер. Как только замкнутся (разомкнутся) контакты реле, секундомер остановится, показав на шкале время замыкания (размыкания) контактов после подачи на реле напряжения.

Перед измерением и после него следует с помощью кнопки возврата установить стрелку на нуль. Измерение



Времени складывается из показаний малой и большой стрелок.

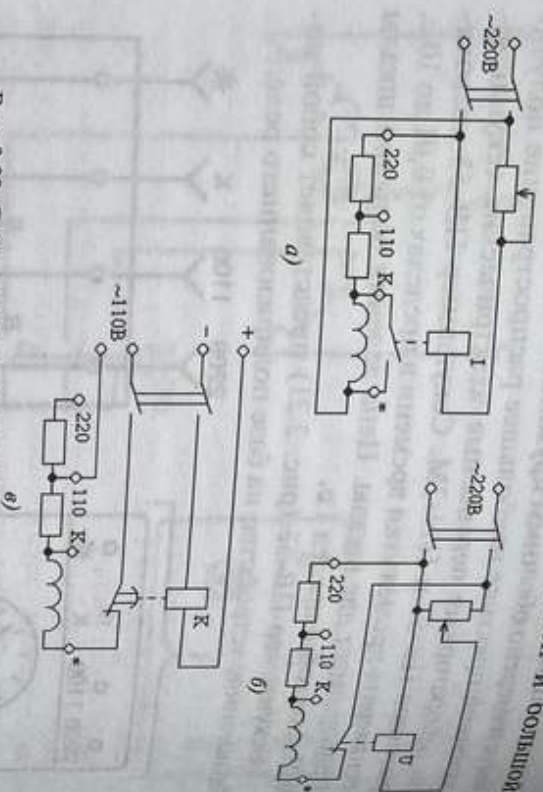


Рис. 2.22. Схемы измерения выдержки времени секундомером ПВ-53 реле (устройств): а — с замыкающими контактами; б — с размыкающими контактами;

в — времени

Секундомер П14-2М представляет собой электромеханический прибор с электродвигателем, запускаемый подачей напряжения на него и останавливаемый снятием напряжения по истечении некоторого времени. Предел измерения секундомера П14-2М составляет 10 мин.

Для измерения времени включения и отключения механизмов масляных выключателей при наладке быстродействующих защит, где требуется с достаточной точностью определить временные промежутки, составляющие тысячные доли секунды, применяют прибор Ф-291 — измеритель временных параметров с цифровым отсчетом.

Прибор полностью собран на интегральных микросхемах и полупроводниковых элементах, имеет пятизначный цифровой отсчет показаний, обеспечивает их запоминание и ручной сброс.

Он позволяет измерять временные параметры реле (время срабатывания и отпускания реле с замыкающим или размыкающим контактом) с учетом вибрации контактной при питании обмоток реле от внешнего источника по-

стоянного или переменного тока, а также разность времени срабатывания (отпускания) любой комбинации этих контактов.

Время, исчисляемое в миллисекундах, может быть измерено миллисекундомером типа ЭМС-54. Пределы измерения прибора ЭМС-54 5—500 мс.

Широкое применение находит измеритель временных параметров реле типа Ф-738, который предназначен для измерения времени срабатывания различных реле и замыкания или размыкания их контактов или разности времени срабатывания любой комбинации двух пар замыкающих и размыкающих контактов при срабатывании реле. Пределы измерения 1мс — 10 с на четырех поддиапазонах. Прибор имеет цифровой отсчет.

Для измерения коротких интервалов времени могут использоваться электронные частотомеры, электронные осциллографы, имеющие калиброванную длительность горизонтальной развертки и светолучевые осциллографы.

## 2.8. Измерение характеристик изоляции

По своей физической сущности любая изоляция, применяемая в электрических машинах и аппаратах, является конденсатором. Поэтому физические процессы, происходящие в изоляции при приложении к ней напряжения, ходящие в изоляции при приложении к ней напряжения, аналогичны тем, которые имеют место в электрическом конденсаторе.

Основным показателем состояния изоляции является ее сопротивление  $R_u$  постоянному току. Измерение на переменном токе не производится, потому что в этом случае показания приборов зависят бы не только от измеряемого сопротивления изоляции, но и от емкостного сопротивления испытываемой цепи, особенно это относится к кабельным и воздушным линиям, имеющим большую емкость. Измеренное значение  $R_u$  позволяет определить наличие грубых внутренних и внешних дефектов (механические повреждения, увлажнение, загрязнение и т.д.). Наличие этих дефектов приводит к снижению сопротивления изоляции.