

Рис. 4.51. Структурная схема управления сверхбыстродействующим выключателем: 1 — сигнал на отключение; 2 — источник световых импульсов; 3 — световод; 4 — фотодетектор; 5 — электромагнитный расцепитель; 6 — контакты выключателя; 7 — зарядное устройство

Для выключателей сверхвысоких напряжений особое значение имеет быстрота передачи отключающего импульса от привода к размыкающимся контактам. В этом случае применяются пневмомеханические устройства, в которых перемещение контактов осуществляется системой тяг и сжатым воздухом.

Для дальнейшего повышения быстродействия сигнал управления с потенциала земли может быть передан на высокий потенциал по световодам (рис. 4.51). Размыкание контактов происходит с помощью электромагнитного расцепителя, приводимого в действие разрядом конденсатора. Конденсатор заряжается от линии высокого напряжения через насыщающийся трансформатор.

## 4.7. Система измерений на электростанциях и подстанциях

Контроль за режимом работы основного и вспомогательного оборудования на электростанциях и подстанциях осуществляется с помощью контрольно-измерительных приборов.

В зависимости от характера объекта и структуры его управления объем контроля и место установки контрольно-измерительной аппаратуры могут быть различными. Приборы могут устанавливаться на главном щите управления (ГЩУ), блочном щите управления (БЩУ) и центральном щите (ЦЩУ) на электростанциях с блоками генератор — трансформатор и на местных щитах.

В зависимости от особенностей режима работы даже на аналогичных присоединениях количество контрольно-измерительных приборов может быть различным. В табл. 4.8 приведен рекомендуемый перечень измерительных приборов [4.9], [4.10].

На рис. 4.52 показано размещение измерительных приборов в основных цепях блочной электростанции: линии  $W$  330—500 кВ, блока  $G-T1$ , автотрансформатора связи  $T2$ , трансформатора собственных нужд  $T3$ , в цепи обходного выключателя  $QB$ .

На рис. 4.53 показано размещение измерительных приборов в основных цепях ТЭЦ. Более подробные указания о размещении измерительных приборов даны в табл. 4.8.

В ходе развития автоматизации учета и контроля режимов работы электросистем появляются новые требования в отношении установки приборов, поэтому, пользуясь табл. 4.8, необходимо проверить ее соответствие изменениям, вносимым в ПУЭ (подразд. 1.5, 1.6).

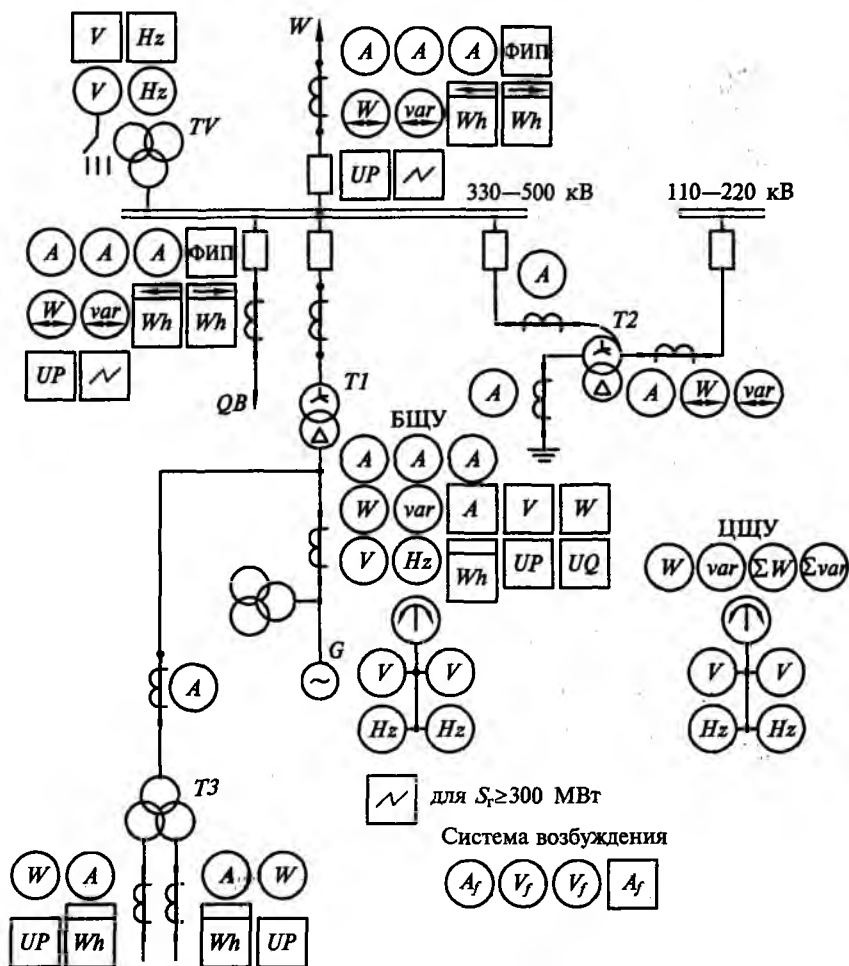


Рис. 4.52. Измерительные приборы в основных цепях блочной электростанции

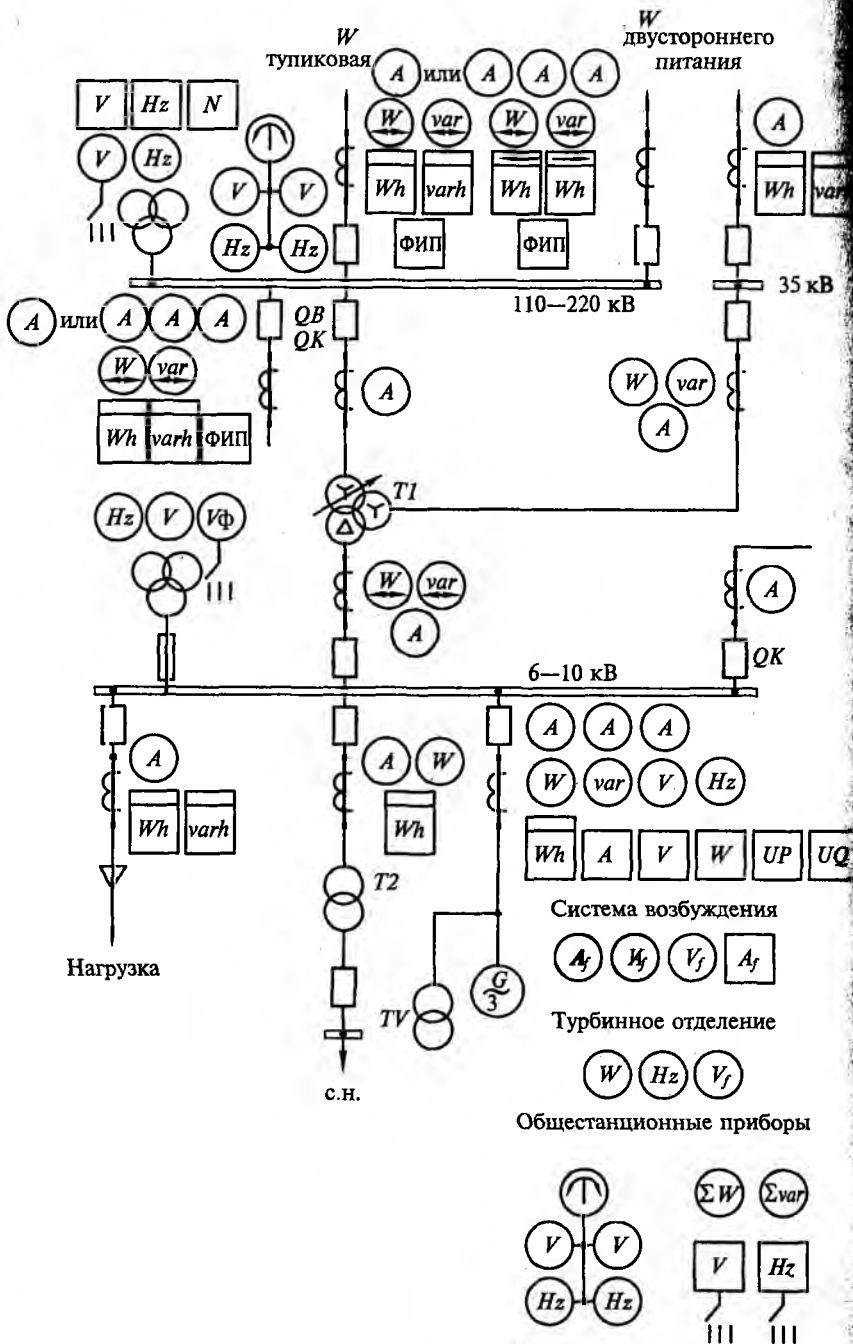


Рис. 4.53. Измерительные приборы в основных цепях ТЭЦ

## Контрольно-измерительные приборы на электростанциях и подстанциях

№ п/п	Цепь	Место установки приборов	Перечень приборов	Примечания
А 1	Электростанции Турбогенератора	Статор	Амперметр в каждой фазе для ТГ мощностью 12 МВт и выше, вольтметр, ваттметр, варметр, счетчик активной энергии, датчики активной и реактивной мощности. Регистрирующие приборы: ваттметр, амперметр и вольтметр (на генераторах 60 МВт и более)	<p>1. Перечисленные приборы устанавливаются на основных щитах управления (БЩУ или ГЩУ).</p> <p>2. На генераторах мощностью до 12 МВт в цепи статора устанавливается один амперметр.</p> <p>3. На групповом щите турбины устанавливаются ваттметр, частотомер в цепи статора (если нет БЩУ) и вольтметр в цепи возбуждения.</p> <p>4. При наличии БЩУ на ЦЩУ устанавливаются ваттметр и варметр.</p> <p>5. На ЦЩУ устанавливаются частотомер, суммирующие ваттметр и варметр</p>
		Ротор	Амперметр, вольтметр. Вольтметр в цепи основного и резервного возбуждений. Регистрирующий амперметр (на генераторах 60 МВт и более)	
2	Гидрогенератора	Статор	Такие же приборы, как и для турбогенератора	На ГЭС без постоянных дежурных вместо стационарных приборов предусматриваются места для переносных приборов
		Ротор	Амперметр, вольтметр	

№ п/п	Цепь	Место установки приборов		Перечень приборов	Примечания
3	Блока генератор— трансформатор	Генератор		Приборы по п.1	В цепи генератора устанавли- ваются осциллограф и прибо- ры синхронизации
		Блочный трансформатор	НН СН	—	
			ВН	Амперметр, ваттметр и варметр с двусторонней шкалой Амперметр	
4	Трансформатора связи с энергосис- темой или РУ раз- ных напряжений	Двухобмоточный	ВН НН	— Амперметр, ваттметр и варметр с двусторонней шкалой	У трансформаторов, работаю- щих в блоке трансформатор — линия, амперметры устанавли- ваются во всех фазах
		Трехобмоточный и автотрансформатор	НН СН ВН	То же » Амперметр	— — —
5	Линии или тран- сформатора собст- венных нужд	На одну секцию		Со стороны питания: ампер- метр, ваттметр, счетчик актив- ной энергии	На блочных ТЭС приборы ус- танавливаются на вводе 6,3 кВ
		На две секции		На вводе к секциям 6,3 кВ: амперметр, ваттметр, счетчик активной энергии, датчик активной мощности	—
6	Линии 6—10 кВ к потребителям	—		Амперметр, расчетные счетчики активной и реактивной энергии для линий, принадлежащих потребителю	Если по счетчикам не ведется денежный расчет, то счетчик реактивной энергии не устанавливается
7	Линии 35 кВ	—		Амперметр, расчетные счетчики активной и реактивной энергии	То же

			на тупиковых потребительских линиях	
8	Линии 110—120 кВ	—	Амперметр, ваттметр, варметр, фиксирующий прибор, используемый для определения места КЗ, расчетные счетчики активной и реактивной энергии на тупиковых потребительских линиях	1. Для линий с пофазным управлением устанавливаются три амперметра. 2. На линиях с двусторонним питанием ваттметр и варметр с двусторонней шкалой, два счетчика активной энергии со стопорами
9	Линии 330—750 кВ	—	Амперметр в каждой фазе, ваттметр и варметр с двусторонней шкалой, осциллограф, фиксирующий прибор для определения места КЗ, датчики активной и реактивной мощности	На линиях межсистемной связи устанавливаются счетчики активной энергии со стопорами
10	Сборных шин генераторного напряжения	На каждой секции или системе шин	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения, вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений, частотомер, приборы синхронизации: два частотомера, два вольтметра и синхроскоп	Приборы синхронизации устанавливаются при возможности синхронизации
		Приборы с переключением на секцию или систему шин	Два регистрирующих вольтметра для измерения междуфазных напряжений и два частотомера	—
11	Шин 6 кВ собственных нужд	—	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения и вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений	—

№ п/п	Цепь	Место установки приборов	Перечень приборов	Примечания
12	Электродвигателя	Статор	Амперметр	На двухскоростных электродвигателях устанавливаются амперметры в каждой обмотке
13	Сборных шин высшего напряжения электростанции	На каждой секции или системе шин	Вольтметр с переключением для измерения трех междуфазных напряжений; регистрирующие приборы; частотомер, вольтметр и суммирующий ваттметр (на электростанциях мощностью 200 МВт и более); приборы синхронизации: два частотомера, два вольтметра, синхроскоп; осциллограф	1. На шинах 35 кВ устанавливается один вольтметр для контроля междуфазного напряжения и один вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений. 2. На шинах 110 кВ устанавливается по одному осциллографу на секцию, на шинах 150—220 кВ — по два осциллографа
14	Шиносоединительного и секционного выключателей	—	Амперметр	—
15	Обходного выключателя	—	Амперметр, ваттметр и варметр с двусторонней шкалой, расчетные счетчики и фиксирующий прибор	—
16	Шунтирующего реактора	—	Амперметр, варметр	—
17	Шунтирующей емкости	—	Амперметр в каждой фазе, варметр	—

# Подстанции

18	Понижающего двухобмоточного трансформатора	ВН НН	— Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактив- ной энергии	1. Ваттметр — только для трансфо- раторов 110 кВ и выше. 2. Варметр — только для трансформаторов 220 кВ и выше. 3. Если поток мощности через трансформатор может меняться по направлению, то устанавливаются ваттметры и варметры с двусто- ронней шкалой и два счетчика со стопорами. 4. На трансформаторах с расщеп- ленной обмоткой НН, а также на присоединенных к шинам 6—10 кВ через сдвоенный реак- тор приборы устанавливаются в каждой цепи НН
19	Трехобмоточного трансформатора или автотрансфор- матора	ВН СН НН	Амперметр Амперметр, ваттметр, варметр, счетчики активной и реактив- ной энергии То же	То же
20	Синхронного ком- пенсатора	Статор Ротор	Амперметр, вольтметр, вар- метр с двусторонней шкалой, счетчики реактивной энергии со стопорами Амперметр, вольтметр	—



№ п/п	Цепь	Место установки приборов	Перечень приборов	Примечания
21	Сборных шин 6, 10, 35 кВ	На каждой секции или системе шин	Вольтметр для измерения междупазного напряжения и вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений	На транзитной подстанции на шинах 35 кВ устанавливается регистрирующий вольтметр, если шины подстанции являются контрольными точками по напряжению в системе
22	Сборных шин 110—220 кВ	То же	Вольтметр с переключателем на три междупазных напряжения и регистрирующий вольтметр; осциллограф на транзитных подстанциях, фиксирующий прибор ( $U_0$ )	То же
23	Сборных шин 330 кВ и выше	»	То же, что и по п. 22, и регистрирующий частотомер	На подстанции, где требуется точная ручная синхронизация, устанавливается колонка синхронизации
24	Секционного, шинно-соединительного и обходного выключателей	—	То же, что и по пп. 14, 15	—
25	Линии 6—500 кВ	—	То же, что и по пп. 6, 7, 8, 9	—
26	Трансформатора собственных нужд	ВН НН	— Амперметр, расчетный счетчик активной энергии	—
27	Дугогасительного реактора	—	Регистрирующий амперметр	—

Наибольшее количество измерительных приборов необходимо в цепи мощных генераторов, где осуществляется контроль за нагрузкой во всех фазах, за активной и реактивной мощностью, ведется учет выработанной электроэнергии, а также контролируются ток и напряжение в цепи ротора и в цепи возбуждения. Кроме показывающих приборов, устанавливаются регистрирующие (самопишущие) приборы: ваттметры в цепи статора генератора для контроля за активной мощностью, амперметры и вольтметры. Кроме того, в цепи каждого генератора предусматриваются датчики активной и реактивной мощности  $UP$ ,  $UQ$ , которые передают значение измеряемого параметра к суммирующим ваттметру и варметру на ЦЩУ или ГЩУ, к устройствам телемеханики.

На межсистемных линиях 330—500 кВ контролируются токи в каждой фазе, так как выключатели 330—500 кВ имеют пофазное управление и перетоки активной и реактивной мощности. Кроме того, на подстанции устанавливаются осциллографы, записывающие фазные напряжения трех фаз, токи трех фаз, напряжение нулевой последовательности и т.д. Эти записи позволяют выявить картину того или иного аварийного режима.

На линиях высокого напряжения устанавливаются приборы, фиксирующие параметры, необходимые для определения места повреждения (ФИП).

Если объект, в цепях которого необходимо контролировать ток, мощность или другие величины, находится далеко от щита управления (от нескольких сотен до тысяч метров), то сопротивление проводов от приборов до измерительных трансформаторов будет настолько большим, что погрешность измерения возрастет до недопустимого значения. В этом случае используются измерительные преобразователи тока, активной и реактивной мощности. Измерительный преобразователь (датчик) включается в цепь измеряемого параметра через трансформаторы тока и напряжения, а на выходе он дает постоянный ток, который линейно зависит от измеряемого параметра. Постоянный ток на выходе датчиков не превышает 5 мА, поэтому соединительные провода от датчика до измерительного прибора могут быть меньшего сечения. На рис. 4.54 показана функциональная схема включения измерительного преобразователя активной мощности  $UP$  и измерительного прибора.

Применение измерительных преобразователей дает следующие преимущества перед традиционным подключением измерительных приборов непосредственно к трансформаторам тока и напряжения:

уменьшается нагрузка трансформаторов тока и напряжения, так как потребляемая преобразователем мощность не превышает  $1 \text{ В} \cdot \text{А}$  по токовым цепям и  $10 \text{ В} \cdot \text{А}$  по цепям напряжения;

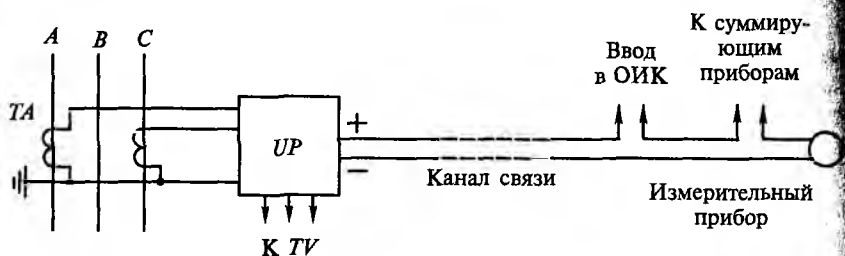


Рис. 4.54. Структурная схема телеизмерительного устройства

создается возможность передачи информации в реальном времени в оперативно-информационный комплекс;  
уменьшается сечение контрольных кабелей;  
легко осуществляется измерение по «вызову», так как преобразователи могут работать с разомкнутой цепью;  
для всех измерений применяется простейший прибор — миллиамперметр.

Если передающее устройство (датчик) и приемное устройство (прибор) находятся друг от друга на расстоянии не более нескольких километров, то применяют проводную систему телеизмерения (ближнего действия).

Если объект контроля находится от пункта управления на расстоянии десятков и сотен километров, то для передачи телеизмерений применяются специальные устройства телемеханики, работающие по высокочастотным каналам связи.

Измерение по «вызову» производится на общий для нескольких присоединений комплект измерительных приборов. Необходимость измерений по «вызову» возникает при большом количестве присоединений, когда индивидуальное измерение параметров с установкой измерительных приборов на каждой панели управления приводит к неоправданному увеличению габаритов щита управления и усложняет оперативное наблюдение. В схемах избирательного измерения на контролируемых объектах устанавливаются индивидуальные измерительные преобразователи, которые выдают в систему измерений унифицированный аналоговый сигнал постоянного тока 0—5 мА. Для централизованного измерения применяют аналоговые приборы, градуированные в относительных единицах и позволяющие оценить относительные значения контролируемых параметров и их отклонение от номинальных значений в процентах. Для уточнения контролируемых параметров дополнительно к аналоговым приборам на панели централизованного измерения устанавливается цифровой прибор, который с помощью переключателя может подключаться к любому контролируемому параметру параллельно аналоговому прибору. Это измерение позволяет оценить параметр в именованных единицах.

Контроль по «вызову» не применяется на линиях 330 кВ и выше, а также на генераторах и трансформаторах, где измерения должны производиться непрерывно (ПУЭ, п. 1.6.4).

## 4.8. Измерительные трансформаторы тока

### 4.8.1. Общие положения

*Трансформатор тока предназначен для уменьшения первичного тока до значений, наиболее удобных для измерительных приборов и реле, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения.*

Трансформатор тока имеет замкнутый магнитопровод 2 (рис. 4.55, а) и две обмотки — первичную 1 и вторичную 3. Первичная обмотка включается последовательно в цепь измеряемого тока  $I_1$ , ко вторичной обмотке присоединяются измерительные приборы, обтекаемые током  $I_2$ .

Трансформатор тока характеризуется номинальным коэффициентом трансформации

$$K_I = \frac{I_{1\text{ ном}}}{I_{2\text{ ном}}},$$

где  $I_{1\text{ ном}}$  и  $I_{2\text{ ном}}$  — номинальные значения первичного и вторичного тока соответственно.

Значения номинального вторичного тока приняты равными 5 и 1 А.

Коэффициент трансформации трансформаторов тока не является строго постоянной величиной и может отличаться от номинального значения вследствие погрешности, обусловленной наличием тока намагничивания. Токовая погрешность определяется по выражению

$$\Delta I\% = \frac{K_I I_2 - I_1}{I_1} 100.$$

Погрешность трансформатора тока зависит от его конструктивных особенностей: сечения магнитопровода, магнитной проницаемости материала магнитопровода, средней длины магнитного пути, значения  $I_1 w_1$ . В зависимости от предъявляемых требований выпускаются трансформаторы тока с классами точности 0,2; 0,5; 1; 3; 10. Указанные цифры представляют собой токовую погрешность в процентах номинального тока при нагрузке первичной обмотки током 100—120 % для первых трех классов и 50—120 % для двух последних. Для трансформаторов тока классов точности 0,2; 0,5 и 1 нормируется также угловая погрешность.

Погрешность трансформатора тока зависит от вторичной нагрузки (сопротивление приборов, проводов, контактов) и от кратности

Чем больше каскадов обмотки, тем больше их активное и реактивное сопротивления, возрастают погрешности, и поэтому трансформаторы НКФ-330, НКФ-500 выпускаются только в классах точности 1 и 3. Кроме того, чем выше напряжение, тем сложнее конструкция трансформаторов напряжения, поэтому в установках 500 кВ и выше применяются трансформаторные устройства с емкостным отбором мощности, присоединенные к конденсаторам высокочастотной связи  $C1$  с помощью конденсатора отбора мощности  $C2$  (рис. 4.64, *a*). Напряжение, снимаемое с  $C2$  (10—15 кВ), подается на трансформатор  $TV$ , имеющий две вторичные обмотки, которые соединяются по такой же схеме, как и у трансформаторов НКФ или ЗНОМ. Для увеличения точности работы в цепь его первичной обмотки включен дроссель  $L$ , с помощью которого контур отбора напряжения настраивается в резонанс с конденсатором  $C2$ . Дрос-

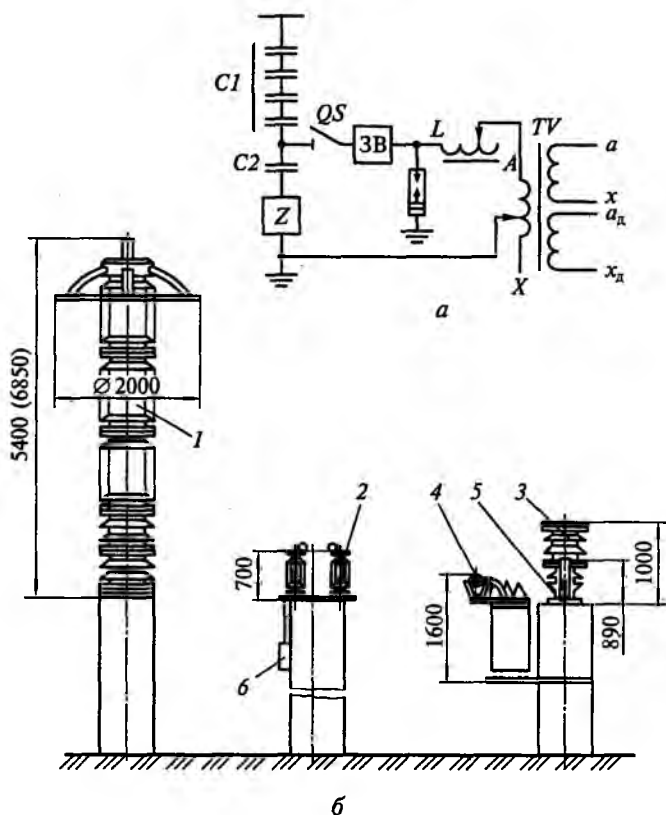


Рис. 4.64. Трансформатор напряжения НДЕ:

*a* — схема; *б* — установка НДЕ-500-72: 1 — делитель напряжения; 2 — разъединитель; 3 — трансформатор напряжения и дроссель; 4 — заградитель высокочастотный; 5 — разрядник; 6 — привод

сель  $L$  и трансформатор  $TU$  встраиваются в общий бак и заливаются маслом. Заградитель  $ЗВ$  не пропускает токи высокой частоты в трансформатор напряжения. Фильтр присоединения  $Z$  предназначен для подключения высокочастотных постов защиты. Такое устройство получило название емкостного трансформатора напряжения НДЕ. На рис. 4.64, б показана установка НДЕ-500-72.

При надлежащем выборе всех элементов и настройке схемы устройство НДЕ может быть выполнено на класс точности 0,5 и выше. Для установок 750 и 1150 кВ применяются трансформаторы НДЕ-750 и НДЕ-1150.

## 4.10. Выбор измерительных трансформаторов

### 4.10.1. Выбор трансформаторов тока

*Трансформаторы тока выбирают:*

по напряжению установки  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сет.ном}}$ ;

току  $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{прод.расч}}$ ;  $I_{\text{ном}} \geq I_{\text{прод.расч}}$ .

Номинальный ток должен быть как можно ближе к рабочему току установки, так как недогрузка первичной обмотки приводит к увеличению погрешностей;

конструкции и классу точности;

электродинамической стойкости:

$$k_{\text{эд}} \sqrt{2} I_{\text{I ном}} \geq i_{\text{уд}}; i_{\text{дин}} \geq i_{\text{уд}},$$

где  $i_{\text{уд}}$  — ударный ток КЗ по расчету;  $k_{\text{эд}}$  — кратность электродинамической стойкости по каталогу;  $I_{\text{I ном}}$  — номинальный первичный ток трансформатора тока;  $i_{\text{дин}}$  — ток электродинамической стойкости по каталогу.

Электродинамическая стойкость шинных трансформаторов тока определяется устойчивостью самих шин распределительного устройства, вследствие этого такие трансформаторы по этому условию не проверяются;

по термической стойкости

$$(k_{\text{т}} I_{\text{I ном}})^2 t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}}; I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}} \geq B_{\text{к}},$$

где  $k_{\text{т}}$  — кратность термической стойкости по каталогу;  $t_{\text{тер}}$  — время термической стойкости по каталогу;  $B_{\text{к}}$  — тепловой импульс по расчету;  $I_{\text{тер}}$  — ток термической стойкости;

вторичной нагрузке:

$$Z_2 \leq Z_{2\text{ном}},$$

где  $Z_2$  — вторичная нагрузка трансформатора тока;  $Z_{2\text{ном}}$  — номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности.

Рассмотрим подробнее выбор трансформаторов тока по вторичной нагрузке. Индуктивное сопротивление токовых цепей не велико, поэтому  $Z_2 \approx r_2$ . Вторичная нагрузка состоит из сопротивления приборов, соединительных проводов и переходного сопротивления контактов:

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}}.$$

Сопротивление приборов определяется по выражению

$$r_{\text{приб}} = S_{\text{приб}} / I_2^2,$$

где  $S_{\text{приб}}$  — мощность, потребляемая приборами;  $I_2$  — вторичный номинальный ток прибора.

Сопротивление контактов принимается 0,05 Ом при двух-трех приборах и 0,1 Ом при большем числе приборов. Сопротивление соединительных проводов зависит от их длины и сечения. Чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности, необходимо выдержать условие:

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пр}} + r_{\text{к}} \leq Z_{2\text{ном}},$$

откуда

$$r_{\text{пр}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}}.$$

Зная  $r_{\text{пр}}$ , можно определить сечение соединительных проводов

$$q = \frac{\rho l_{\text{расч}}}{r_{\text{пр}}},$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление материала провода. Провода с медными жилами ( $\rho = 0,0175$ ) применяются во вторичных цепях основного и вспомогательного оборудования мощных электростанций с агрегатами 100 МВт и более, а также на подстанциях с высшим напряжением 220 кВ и выше. В остальных случаях во вторичных цепях применяются провода с алюминиевыми жилами

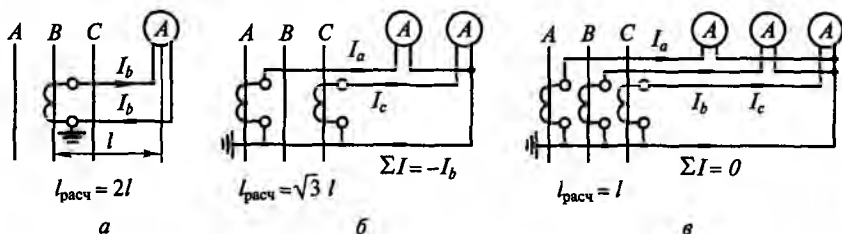


Рис. 4.65. Схемы соединения измерительных трансформаторов тока и приборов:

*а* — включение в одну фазу; *б* — включение в неполную звезду; *в* — включение в полную звезду

( $\rho = 0,0283$ );  $l_{\text{расч}}$  — расчетная длина, зависящая от схемы соединения трансформаторов тока (рис. 4.65).

Длину соединительных проводов от трансформатора тока до приборов (в один конец) можно принять для разных присоединений приблизительно равной, м:

Все цепи ГРУ 6—10 кВ, кроме линий к потребителям .....	40—60
Цепи генераторного напряжения блочных электростанций .....	20—40
Линии 6—10 кВ к потребителям .....	4—6
Все цепи РУ:	
35 кВ .....	60—75
110 кВ .....	75—100
220 кВ .....	100—150
330—500 кВ .....	150—175
Синхронные компенсаторы .....	25—40

Для подстанций указанные длины снижают на 15—20 %.

В качестве соединительных проводов применяют многожильные контрольные кабели с бумажной, резиновой, полихлорвиниловой или полиэтиленовой изоляцией в свинцовой, резиновой, полихлорвиниловой или специальной теплостойкой оболочке. По условию прочности сечение не должно быть меньше  $4 \text{ мм}^2$  для алюминиевых жил и  $2,5 \text{ мм}^2$  для медных жил (ПУЭ, п. 3.4.4). Сечение больше  $6 \text{ мм}^2$  обычно не применяется.

#### 4.10.2. Выбор трансформаторов напряжения

*Трансформаторы напряжения выбираются:*

по напряжению установки  $U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сст.ном}}$ ;

конструкции и схеме соединения обмоток;

классу точности;

вторичной нагрузке  $S_{\text{ном}} \geq S_{2\Sigma}$ ,

где  $S_{\text{ном}}$  — номинальная мощность в выбранном классе точности, при этом следует иметь в виду, что для однофазных трансформаторов, соединенных в звезду, следует взять суммарную мощность всех трех фаз, а для соединенных по схеме открытого треугольника — удвоенную мощность одного трансформатора;  $S_{2\Sigma}$  — нагрузка всех измерительных приборов и реле, присоединенных к трансформатору напряжения, В·А.

Для упрощения расчетов нагрузку приборов можно не разделять по фазам, тогда

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{(\sum S_{\text{приб}} \cos \varphi_{\text{приб}})^2 + (\sum S_{\text{приб}} \sin \varphi_{\text{приб}})^2} = \sqrt{P_{\text{приб}}^2 + Q_{\text{приб}}^2}.$$



Если вторичная нагрузка превышает номинальную мощность в выбранном классе точности, то устанавливают второй трансформатор напряжения и часть приборов присоединяют к нему.

Сечение проводов в цепях трансформаторов напряжения определяется по допустимой потере напряжения. Согласно ПУЭ потеря напряжения от трансформаторов напряжения до расчетных счетчиков должна быть не более 0,5%, а до щитовых измерительных приборов — не более 1,5% при нормальной нагрузке.

Для упрощения расчетов при учебном проектировании можно принимать сечение проводов по условию механической прочности 1,5 мм<sup>2</sup> для медных и 2,5 мм<sup>2</sup> для алюминиевых жил.

**Пример 4.1.** Выбрать ошиновку в цепи генератора G2 (рис. 4.66) и сборные шины 10 кВ. Значения токов КЗ приведены в табл. 4.9. Принять  $T_{\max} = 6000$  ч, среднемесячную температуру наиболее жаркого месяца 30 °С.

**Решение.** Сборные шины по экономической плотности тока не выбираются (ПУЭ, п. 1.3.28), поэтому выбор сечения шин производим по допустимому току.

Наибольший ток в цепи сборных шин

$$I_{\max} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cdot 0,95 \cos \varphi} = \frac{63 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,5 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 4563 \text{ А.}$$

Принимаем по табл. ПЗ.5 шины коробчатого профиля 2(125 × 55 × 6,5) мм<sup>2</sup> сечением 2 × 1370 мм<sup>2</sup>,  $I_{\text{доп. ном}} = 4640$  А.

Поправочный коэффициент на температуру воздуха (30 °С) по табл. ПЗ.8 равен 0,94, тогда  $I_{\text{доп}} = 0,94 \cdot 4640 = 4362$  А, что меньше  $I_{\max}$ , поэтому выбираем шины 2(150 × 65 × 7) мм<sup>2</sup> сечением 2 × 1785 мм<sup>2</sup>;  $I_{\text{доп}} = 0,94 \cdot 5650 = 5311 \text{ А} > I_{\max} = 4563 \text{ А}$ .

Проверка сборных шин на термическую стойкость. Интеграл Джоуля по формуле (3.46)

Таблица 4.9

Значения токов КЗ

Точка КЗ	Источник	$I_{\text{кз}}, \text{ кА}$	$I_{\text{кз}}, \text{ кА}$	$i_{\text{кз}}, \text{ кА}$	$i_{\text{кз}}, \text{ кА}$
К-1, $U=110 \text{ кВ}$	Система	6,62	6,62	1,4	15
	Генераторы G1, G2	2,294	2,02	1,62	6,26
	Итого:	8,914	8,64	3,02	21,26
К-2, $U=10 \text{ кВ}$	Система	19,23	19,23	9,49	51,5
	Генератор G1	14,5	10,3	12,27	40,0
	Генератор G2	31,25	22,19	26,44	86,14
	Итого:	64,98	51,72	48,20	177,64