



Т.В. Волкова
А.С. Бикмурзин

ВЫБОР КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ И КОНТРОЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ ВО ВТОРИЧНЫХ ЦЕПЯХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ



Т. Ю. Волкова, А.С.Бикмурзин

**Выбор контрольно-измерительных
приборов и контрольных кабелей во
вторичных цепях трансформаторов тока
и напряжения**



Методические указания

Уфа
УГАТУ
2005

УДК 621.316.925 (07)
ББК 31.27-05 (Я7)

Составители: Т. Ю. Волкова, А.С.Бикмурзин.

Методические указания к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Электроэнергетика»/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т.; Сост. Т.Ю.Волкова, А.С.Бикмурзин. 2005 – 46с.

Данные методические указания разработаны для помощи студентам при выполнении курсовых и дипломных проектов по разделу «Выбор электроизмерительных приборов и контрольных кабелей во вторичных цепях трансформаторов тока и напряжения на электростанциях и подстанциях». Методические указания предназначены для студентов направления подготовки дипломированных специалистов 140200 «Электроэнергетика», специальности 140205 «Электроэнергетические системы и сети».

Рецензенты: Л. Э. Рогинская, И.В. Вавилова.

Содержание

Введение.....	5
1 Выбор электроизмерительных приборов.....	6
2 Выбор контрольных кабелей.....	21
2.1 Материал проводов и жил контрольных кабелей.....	21
2.2 Выбор сечения проводов и жил контрольных кабелей.....	21
2.3 Выбор марки и конструкции кабелей.....	23
3 Примеры выбора электроизмерительных приборов.....	27
3.1 Пример выбора электроизмерительных приборов в цепи генератора.....	27
3.2 Пример выбора трансформаторов тока и напряжения для 1 секции шин 220 кВ.....	30
Приложение.....	36

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие методические указания разработаны с учетом опыта авторов по чтению дисциплины «Электроэнергетика» для студентов электроэнергетических специальностей в УГАТУ на кафедре «Электромеханика» и посвящено вопросам выбора электроизмерительных приборов и контрольных кабелей во вторичных цепях трансформаторов тока и напряжения на электростанциях и подстанциях.

В методических указаниях рассмотрен объем оснащения электростанций и подстанций контрольно-измерительными приборами, дается информация о применяемых в цепях измерения контрольных кабелей, а также показаны примеры выбора электроизмерительных приборов и контрольных кабелей во вторичных цепях трансформаторов тока и напряжения.

Для хорошего освоения материала данных методических указаний требуются знания разделов ранее изучаемых дисциплин: метрологии, стандартизации и сертификации, информационно-измерительной техники, теоретических основ электротехники.

Авторы рассчитывают, что данные методические указания окажут существенную помощь студентам вузов при выполнении курсовых и дипломных проектов по направлению 140200 «Электроэнергетика», специальности 140205 «Электроэнергетические системы и сети», а также для студентов направления подготовки дипломированных специалистов 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», специальности 140601 «Электромеханика».

Методические указания могут быть использованы студентами как дневного, так и заочного обучения.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных составляющих инженеров-электриков является получение навыков проектирования электротехнических устройств и объектов. Решению этой задачи и подчинено проектирование электрической части станций и подстанций. В процессе учебного проектирования необходимо выполнить ряд работ, основными из которых являются:

1. Подготовка исходной информации.

Исходную информацию следует разделить на внешнюю и внутреннюю. Источником внешней информации при курсовом проектировании служит задание на проект. При дипломном проектировании внешнюю информацию студент в соответствии с темой дипломного проекта находит при прохождении преддипломной практики. Исходной информацией в данном случае может быть: параметры системы (уровни напряжения, мощность короткого замыкания, конфигурация и т.п.); параметры нагрузки как электрической, так и тепловой; источники первичной энергии (топлива) и т.д. и т.п. Внутреннюю информацию получают в процессе проектирования. Так, например, при выборе трансформаторов необходимо предварительно определить расчетную мощность, передаваемую через трансформаторы, для выбора аппаратов и токоведущих частей необходимо знать токи в рабочих и аварийных режимах.

2. Проектирование главной электрической схемы.

Главной электрической схемой называют схему электрических и трансформаторных соединений между ее основными элементами, связанными с производством, преобразованием и распределением электроэнергии. Главная электрическая схема определяет основное электрооборудование и эксплуатационные свойства электроустановки. Поэтому понятие “главная электрическая схема” переносят на саму электроустановку. Отсюда следует, что под проектированием главной электрической схемы понимают проектирование самой установки.

3. Проектирование электроустановки собственных нужд (С.Н.): определение потребителей С.Н. и расчет их мощности, выбор источников питания С.Н., разработка схемы электроснабжения С.Н., расчет самозапуска электродвигателей С.Н., проектирование кабельного хозяйства, проектирование установки постоянного тока.

4. Разработка конструкции распределительного устройства: компоновка электротехнических устройств, защита от перенапряжений и заземление.

Из всей совокупности вопросов, решаемых при проектировании электрической части станций и подстанций, важное место занимает выбор контрольно-измерительных приборов и контрольных кабелей во вторичных цепях трансформаторов тока и напряжения. Этому вопросу и посвящены данные методические указания.

1 Выбор электроизмерительных приборов

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.

Выбор количества контрольно-измерительных приборов и расстановка этих приборов на электростанциях и подстанциях производится в соответствии с табл. 1.1 и рис.1, 2, 3, 4.

В ходе развития автоматизации учета и контроля режимов работы электросистем появляются новые требования в отношении установки приборов, поэтому, пользуясь табл. 1.1, необходимо проверить ее соответствие изменениям, вносимым в ПУЭ.

Технические данные контрольно-измерительных приборов приведены в табл. 1.2 и 1.3.

Как видно из табл. 1.2 и 1.3, щитовые приборы имеют класс точности от 0,5 до 2,5, изготавливаются и класса точности 4,0. Для измерений на отходящих линиях и на большинстве объектов применяются приборы класса точности 2,5, включаемые через измерительные трансформаторы класса точности 1,0.

Для трансформаторных и распределительных пунктов, а также в цепи электродвигателей допускается применение амперметров класса точности 4,0 с трансформаторами тока класса точности 3,0.

Для контроля за работой генераторов и другого отечественного оборудования (мощные трансформаторы, автотрансформаторы, синхронные компенсаторы) применяются приборы переменного тока класса точности 1,5 с измерительными трансформаторами класса точности 0,5, а ваттметры в цепях генераторов мощностью 100 МВт и более должны быть класса точности 1,0.

При отсутствии приборов требуемого класса точности допускается устанавливать приборы низшего класса точности, но соответственным образом отрегулированные и выверенные так, чтобы их основная погрешность не превышала погрешность требуемого класса точности. Например, при отсутствии приборов класса точности 1,5 можно применить приборы класса точности 2,5, отрегулировав и выверив так, чтобы основная погрешность не превышала 1%.

Для генераторов мощностью более 50 МВт, межсистемных воздушных линиях напряжением 220 кВ и выше, для трансформаторов 63 МВА и более должны применяться счетчики класса точности 0,5.

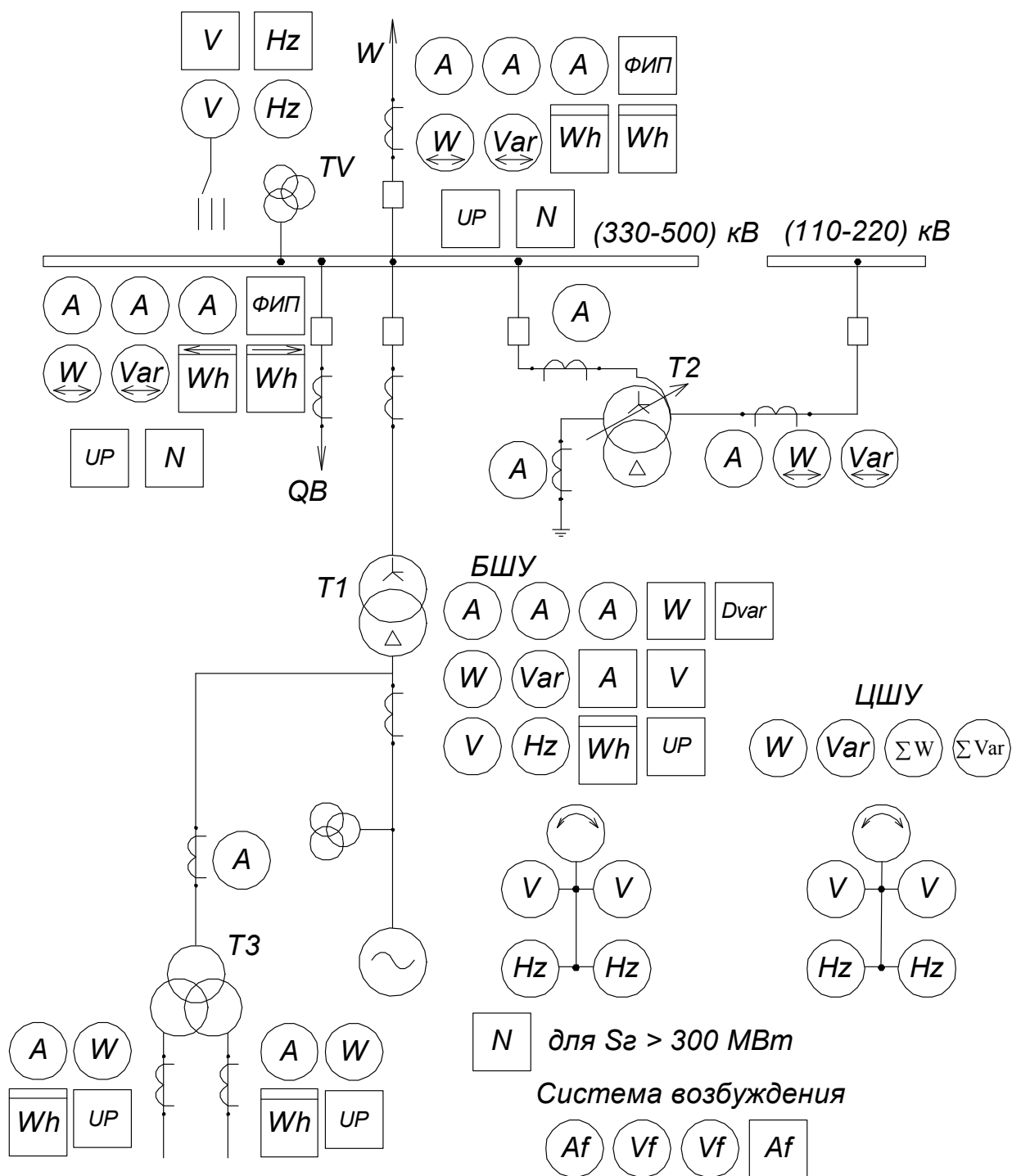


Рисунок 1 – Измерительные приборы в основных цепях блочной электростанции.

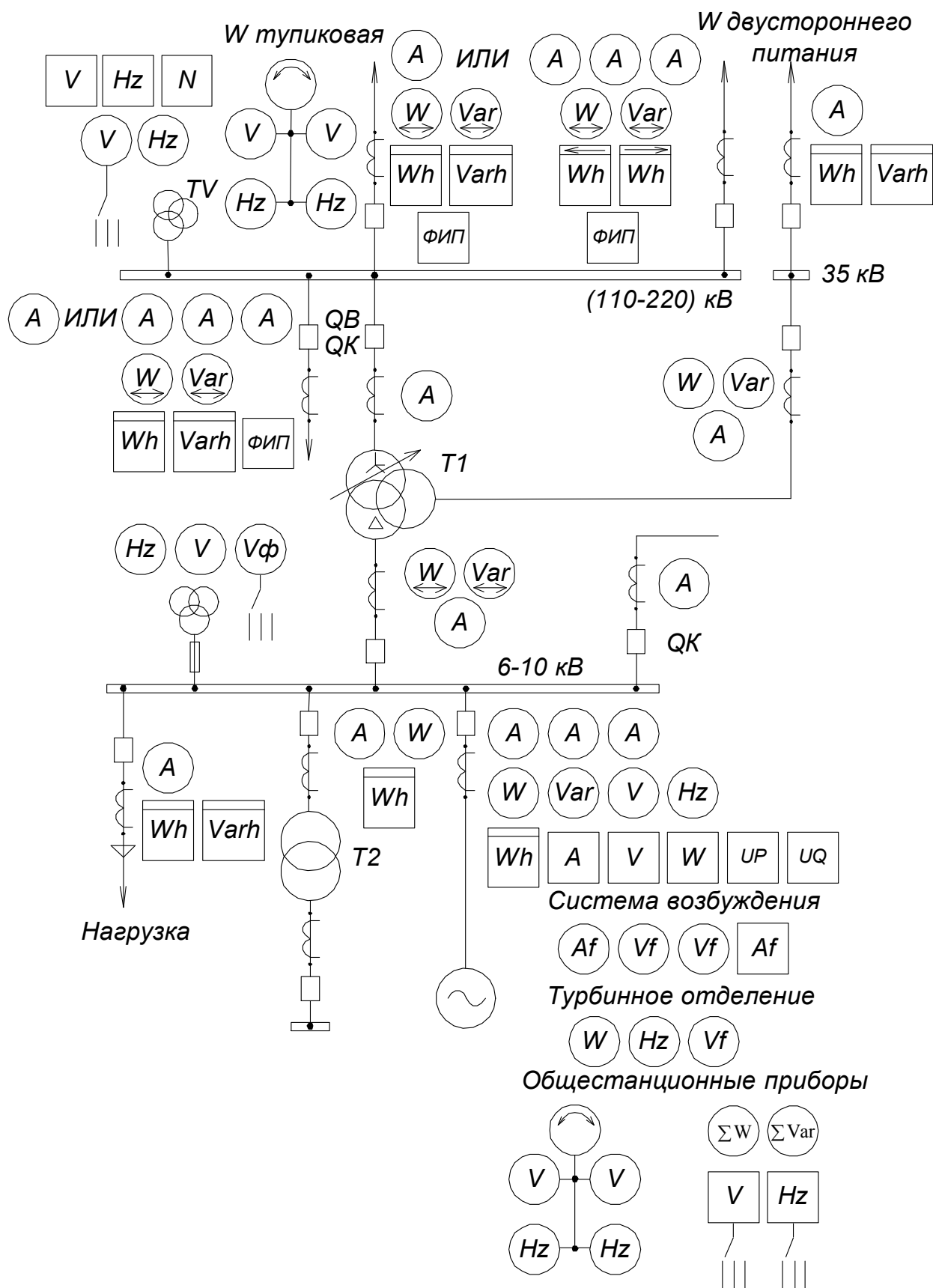


Рисунок 2 – Измерительные приборы в основных цепях электростанции (ТЭЦ).

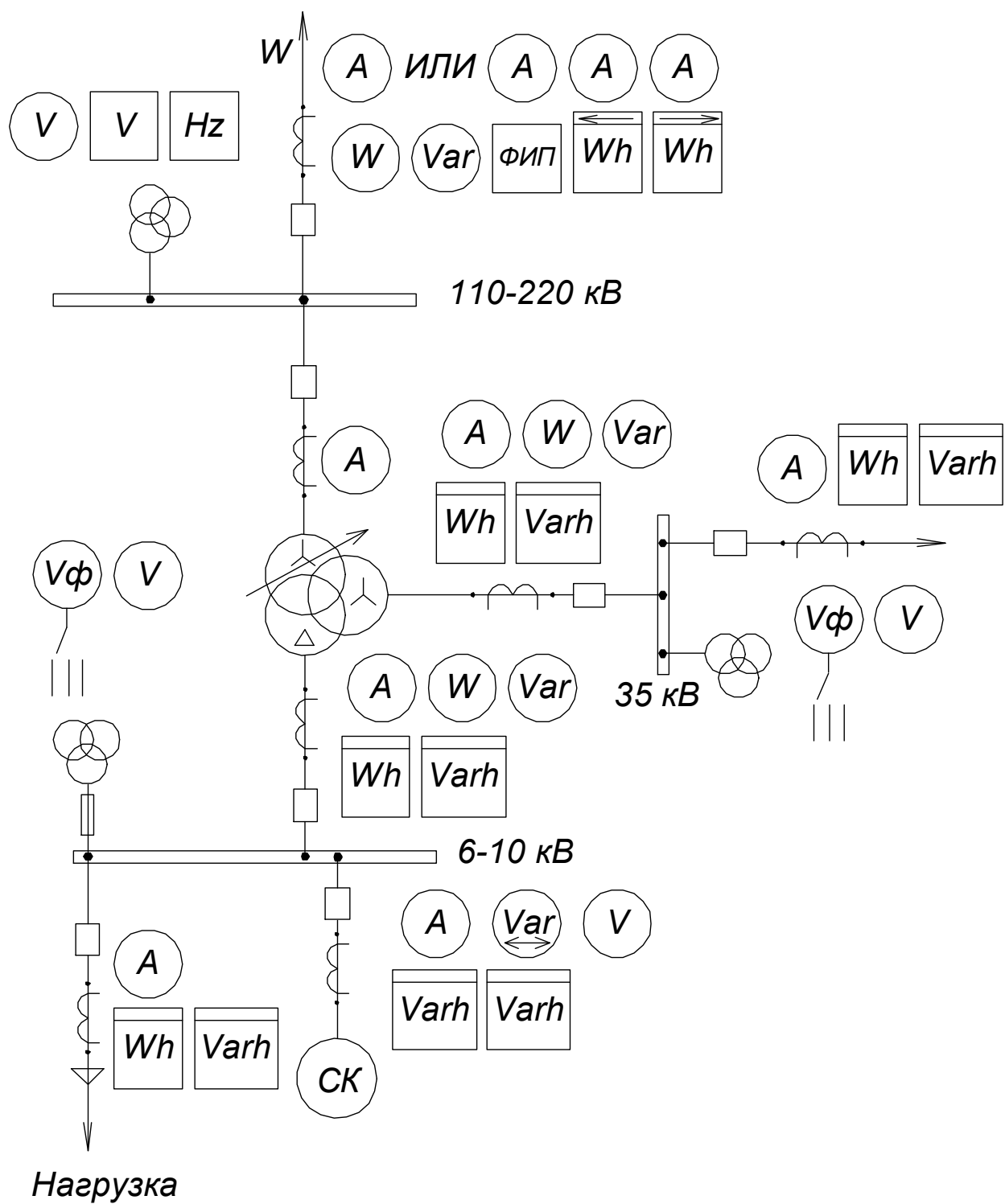


Рисунок 3 – Измерительные приборы в основных цепях понижающей ПС (с дежурством оперативного персонала на ПС).

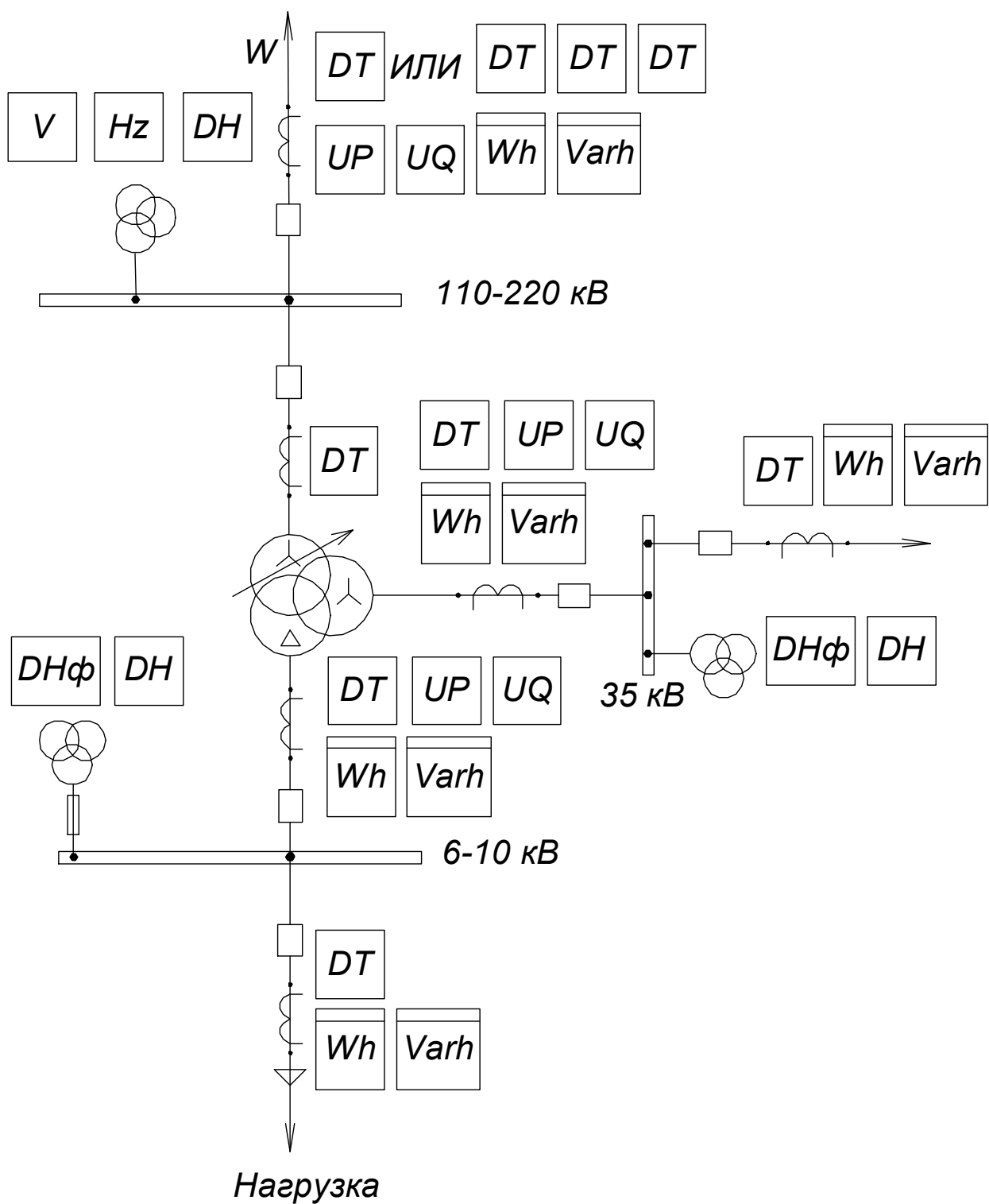


Рисунок 4 – Измерительные приборы в основных цепях понижающей ПС (без дежурства персонала на ПС).

Таблица 1.1

Контрольно - измерительные приборы на электростанциях и подстанциях

№ п/п	Цепь	Место установки прибора		Перечень приборов	Примечание
1	2	3		4	5
Электростанции					
1	Турбогенератор	Статор		Амперметр в каждой фазе, вольтметр, ваттметр, варметр, счетчик активной энергии, датчики активной и реактивной мощности Регистрирующие приборы: амперметр, ваттметр и вольтметр (на генераторах 60 МВт и более)	1. Перечисленные приборы устанавливаются на основных щитах управления (БЩУ или ГЩУ) 2. Если имеется БЩУ, то и на ГЩУ устанавливаются ваттметр и варметр 3. На генераторах до 12 МВт в цепи статора устанавливается амперметр в одной фазе 4. Если нет БЩУ, то на групповом щите турбины устанавливается ваттметр, частотомер в цепи статора, вольтметр в цепи возбуждения 5. На ГЩУ устанавливаются частотомер, суммирующие ваттметр и варметр
		Ротор		Амперметр, вольтметр Вольтметр в цепи основного и резервного возбуждителя Регистрирующий амперметр (на генераторах 60 МВт и более)	
2	Гидрогенератор	Статор		Те же приборы, что и для турбогенератора	На ГЭС без постоянных дежурных вместо стационарных приборов предусматриваются места для переносных приборов
		Ротор		Амперметр, вольтметр	
3	Блок генератор–трансформатор	Генератор		Приборы по п.1	В цепи генератора устанавливаются осциллограф и приборы синхронизации
		Блочный трансформатор	НН	—	
			СН	Амперметр, ваттметр и варметр	
			ВН	Амперметр	

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3		4	5
4	Трансформатор связи (с энергосистемой или РУ разных напряжений)	Двух-обмоточный	ВН	—	У трансформаторов, работающих в блоке “трансформатор-линия”, ток измеряется во всех трех фазах
			НН	Амперметр, ваттметр и варметр с двухсторонней шкалой	
		Трех-обмоточный или авто-трансформатор	НН	Амперметр, ваттметр, варметр	Для трансформаторов с реверсивной работой- ваттметры и варметры с двусторонней шкалой
			СН	Амперметр, ваттметр, варметр	
			ВН	Амперметр	
5	Линия с.н. или трансформатор с.н.	На одну секцию		Со стороны питания: амперметр, ваттметр, счетчик активной энергии	На блочных станциях приборы устанавливаются на вводе 6,3 кВ
		На две секции		На вводе к секциям 6,3: амперметр, ваттметр, счетчик активной энергии, датчик активной мощности	
6	Линия 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	Линия 35 кВ			Амперметр, расчетные счетчики активной и реактивной энергии (на тупиковых потребительских линиях)	

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
8	Линия 110-220кВ		Амперметр; ватт-метр, варметр, расчетные счетчики активной и реактивной энергии на тупиковых потребительских линиях; фиксирующий прибор для определения места к.з.	1. Для линий с пофазным управлением устанавливаются амперметры в каждой фазе 2. На линиях с двусторонним питанием ваттметр и варметр с двусторонней шкалой, два счетчика активной энергии со стопорами
9	Линия 330-750кВ		Амперметр в каждой фазе, ваттметр и варметр с двухсторонней шкалой, датчики активной и реактивной мощности, осциллограф, фиксирующий прибор для определения места к.з.	На линиях межсистемной связи устанавливаются счетчики активной энергии со стопорами
10	Сборные шины 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 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 трехфазных напряжений 2. На шинах 110 кВ устанавливается по одному осциллографу на секцию или систему шин: на шинах 150-220кВ— по два осциллографа

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
11	Сборные шины станции (но не высшего напряжения)	На каждой секции или системе шин	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения, частотомер, приборы синхронизации	1. На шинах 35 кВ вольтметры по примечанию к п.10 2. Приборы синхронизации устанавливаются при возможности синхронизации
		Общие приборы с переключением на любую секцию или систему шин	Два регистрирующих вольтметра для измерения междуфазных напряжений и два частотомера	-
12	Шины 6-10кВ с.н.		Вольтметр для измерения междуфазного напряжения и вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений.	-
13	Шиносоединительный или секционный выключатель		Амперметр	-
14	Обходной выключатель		Амперметр, ваттметр, варметр (с двусторонней шкалой), расчетные счетчики и фиксирующий прибор	-
15	Шунтирующий реактор		Амперметр, варметр	-
16	Шунтирующая емкость		Амперметр в каждой фазе, варметр	-

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5
17	Пони- тельный двухобмо- точный трансфор- матор	ВН	-	<p>1. Для трансформаторов и линий подстанций 220 кВ и ниже без постоянного дежурного персонала контроль за величинами тока, напряжения и мощности осуществляется с применением измерительных преобразователей (датчиков тока, напряжения, активной и реактивной мощности)</p> <p>2. На подстанциях с постоянным дежурством ваттметры устанавливаются только для трансформаторов 110 кВ и выше, а варметры – только для трансформаторов 220 кВ и выше (это же относится и к датчикам мощности на подстанциях без постоянного дежурного персонала)</p> <p>3. При возможности реверсивной работы трансформаторов (автотрансформаторов) ваттметры и варметры должны иметь двустороннюю шкалу, счетчики</p>
		НН	Амперметр, ваттметр, варметр счетчики активной и реактивной энергии	
18	Трехобмоточный трансформатор или автотрансформатор	ВН	Амперметр	
		СН	Амперметр, ваттметр, варметр счетчики активной и реактивной энергии	
		НН	То же, что и СН	

Продолжение таблицы 1.1

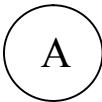
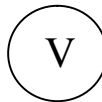

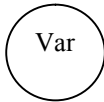


1	2	3	4	5
				<p>активной энергии со стопорами</p> <p>4. На трансформаторах с расщепленной обмоткой НН, а также присоединенной к шинам 6-10 кВ через сдвоенный реактор приборы устанавливаются в каждой цепи НН</p>
19	Синхронный компенсатор	Статор	Амперметр, вольтметр варметр с двусторонней шкалой ; счетчики реактивной энергии со стопорами	
		Ротор	Амперметр, вольтметр	
20	Сборные шины 6, 10 и 35 кВ	На каждой секции или системе шин	Вольтметр для измерения междуфазного напряжения и вольтметр с переключением для измерения трех фазных напряжений.	<p>1. На подстанциях без постоянного дежурного персонала контроль за напряжением осуществляется с применением измерительных преобразователей (датчиков)</p> <p>2. На транзитной подстанции напряжением 35 кВ устанавливается регистрирующий вольтметр, если шины 35 кВ подстанции являются контрольными точками по напряжению в энергосистеме</p>

Продолжение таблицы 1.1











21	Сборные шины 110-220 кВ	То же	Вольтметр для измерения трех междуфазных напряжений и регистрирующий вольтметр; осциллограф на транзитных подстанциях	
22	Сборные шины 330 кВ и выше	На каждой секции или системе шин	То же, что и в п.21, и регистрирующий частотомер	На подстанциях, где требуется точная синхронизация, устанавливается колонка синхронизации
23	Секционный или шиносоединительный выключатель	-	То же, что по п.13	-
24	Обходной выключатель	-	То же, что по п.14	-
25	Линии 6-10 кВ	-	То же, что по п.6, 7, 8, 9	Для линий 220 кВ и ниже см. примечание к п.17
26	Трансформатор с. н.	ВН	-	-
		НН	Амперметр, расчетный счетчик активной энергии	
27	Дугогасительная катушка	-	Регистрирующий амперметр	-

Таблица 1.2

Потребление мощности щитовыми электроизмерительными приборами,
включаемыми через измерительные трансформаторы

Наименование прибора	Условное графическое обозначение	Тип	Класс точности	Потребляемая мощность, В*А	
				катушка напряжения	катушка тока
1	2	3	4	5	6
Приборы стрелочные, показывающие					
Амперметр		Э-378	1,5	-	0,1
		Э-377	1,5	-	0,1
		Э-335	1,5	-	0,5
		Э-379	1,5	-	0,5
		Э-390	1,5	-	0,5
Вольтметр		Э-378	1,5	2	-
		Э-377	1,5	2	-
		Э-335	1,5	2	-
		Э-379	1,5	2	-
		Э-390	1,5	2	-
Ваттметр трехфазный для трехпроводных цепей		Д-305	1,5	2	0,5
		Д-335	1,5	1,5	0,5
		Д-335/1	1,5	1,5	0,5
		Д-304	1,5	2	0,5
		Д-301/1	1,5	1,5	1
		Д-390	1,5	5	2
То же, но для четырехпроводных цепей		Д-323	2,5	10	5
Варметр		Д-305	1,5	2	0,5
		Д-335	1,5	1,5	0,5
		Д-335/1	1,5	1,5	0,5
		Д-304	1,5	2	0,5
		Д-390	1,5	5	2
Фазометр трехфазный		Д-301	1,5	5	4
		Д-300	1,5	10	5
Частотомер		Э-373	2,5	1	-
		Э-372	2,5	0,7÷3	-
		Э-371	2,5	0,7÷3	-

Продолжение таблицы 1.2

1	2	3	4	5	6
Синхроноскоп		Э-327 Э-35	$\pm 3^\circ$ $\pm 3^\circ$	- -	- -
Приборы регистрирующие					
Амперметр		Н-3093 Н-394 Н-344 Н-343	 2,5 1,5 2,5	- - - -	6,0 10 10 10
Вольтметр		Н-344 Н-343	1,5 2,5	10 10	- -
Ваттметр		Н-3095 Н-348	1,5	6 10	6 10
Варметр					
Частотомер		Н-397	2,5	10	-
Фазометр		Н-398	2,5	10	10
Измерительные преобразователи (датчики)					
Измерительные преобразователи активной мощности 3-х фазных 3-х проводных цепей переменного тока		Е-728 Е-748 Е-812 Е-849-М1	1,0 0,5 1,0 1,0	10 3 1 0,2	1 1 1 0,2
То же, но реактивной мощности		Е-729 Е-813 Е-849-М1	1,0 1,0 1,0	10 1 0,2	1 1 0,2
Измерительные преобразователи переменного тока		Е-810 Е-854	0,5 0,5	- -	1 0,5

Продолжение таблицы 1.2


1	2	3	4	5	6
То же, напряжения переменного тока		E-800 E-855	0,5 0,5	3 1	- -

Таблица 1.3

Счетчики

Наименование прибора	Условное графическое обозначение	Тип	Класс точности	Параметры катушек					
				напряжения			тока		
				потребл. мощность, В·А	кол-во катушек	cos φ	потребл. мощность, Вт	кол-во катушек	cos φ
Счетчик ватт-часов трехфазный для трехпроводных цепей		ЦЭ6804	1	2,5	2	0,38	0,1	2	1
		ЦЭ6805В	0,5	1	2	0,38	0,2	2	1
		ЦЭ6808В	0,2	1	2	0,38	0,1	2	1
		ЦЭ6803В	2,0	2	2	0,38	0,1	2	1
Счетчик вольт-ампер-часов реактивный для трехпроводных цепей		ЦЭ6811	1	1	2	0,38	0,3	2	1

Для генераторов мощностью 12-50 МВт, межсистемных линий напряжением 110-150 кВ, а также для трансформаторов мощностью от 10 до 40 МВА должны применяться счетчики класса точности 1,0. Эти счетчики, а также все расчетные счетчики должны присоединяться к измерительным трансформаторам класса точности 0,5.

Для технического учета допускается применение измерительных трансформаторов тока класса точности 1,0. На такие же автотрансформаторы тока

должны включаться датчики мощности, используемые для ввода информации в вычислительные устройства.

Щитовые приборы и датчики тока и мощности, используемые для всех видов измерений, должны включаться через измерительные трансформаторы тока класса точности не ниже 3,0.

2 Выбор контрольных кабелей

2.1 Материал проводов и жил контрольных кабелей

На электростанциях и подстанциях, а также на промышленных предприятиях для вторичных цепей следует применять наравне с контрольными кабелями с медными жилами контрольные кабели с алюминиевыми жилами из мягкого отожженного алюминия за исключением вторичных цепей:

- а) основного и вспомогательного оборудования тепловых электростанций и гидроэлектростанций с генераторами 100 МВт и более;
- б) подстанций с высшим напряжением 220 кВ и выше;
- в) взрывоопасных помещений классов В-1 и В-1а;
- г) механизмов доменных цепей;
- д) с рабочим напряжением не выше 60 В при диаметре жил кабелей и проводов от 0,5 до 1,0 мм.

2.2 Выбор сечения проводов и жил контрольных кабелей

Выбор сечения проводов и жил кабелей во вторичных цепях определяется условиями механической прочности, требуемой точности для измерительных приборов и надежного срабатывания реле и приводов в цепях релейной защиты и оперативного тока.

2.2.1 Выбор сечения проводов и жил контрольных кабелей по условию механической прочности

- жилы контрольных кабелей для присоединения под винт к зажимам панелей и аппаратов должны иметь сечение не менее $1,5 \text{ мм}^2$ для меди (при применении специальных зажимов - не менее $1,0 \text{ мм}^2$) и $2,5 \text{ мм}^2$ для алюминия; для неотчетливых вторичных цепей, для цепей контроля и сигнализации допускается присоединение под винт кабелей с медными жилами сечением 1 мм^2 .

- в цепях с рабочим напряжением 100 В и выше сечение медных жил кабелей, присоединяемой пайкой, должно быть не менее $0,5 \text{ мм}^2$.

- в цепях с рабочим напряжением 60 В и ниже диаметр медных жил кабелей, присоединяемых пайкой, должен быть не менее $0,5 \text{ мм}^2$.

2.2.2 Проверка сечения проводов и жил контрольных кабелей по допустимому классу точности измерительных трансформаторов

Выбор сечения проводов и жил контрольных кабелей по условиям точности показаний измерительных приборов определяется дополнительной нагрузки от проводов на трансформаторы тока в токовых цепях и потерей напряжения в проводах цепей трансформаторов напряжения.

В каталогах на трансформаторы тока указывается номинальная допустимая нагрузка трансформатора тока в выбранном классе точности ($Z_{2\text{НОМ}}$ или $S_{2\text{НОМ}}$).

Вторичная нагрузка Z_2 состоит из сопротивления приборов, сопротивления соединительных проводов и переходного сопротивления контактов. Если учесть, что индуктивное сопротивление токовых цепей невелико, то вполне допустимо принять $Z_2 = r_2$, т.е.

$$r_2 = r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}}, \quad (2.1)$$

где $r_{\text{приб}} = S/I_{2\text{НОМ}}^2$ – сопротивление приборов;

$r_{\text{конт}}$ – сопротивление контактов принимается 0,05 Ом при 1-3 приборах и 0,1 Ом при большем числе проводов;

$r_{\text{пров}}$ – сопротивление соединительных проводов зависит от их длины и сечения.

Чтобы трансформатор тока работал в выбранном классе точности, необходимо выдержать условие

$$r_{\text{приб}} + r_{\text{пров}} + r_{\text{конт}} \leq Z_{2\text{НОМ}}, \quad (2.2)$$

откуда

$$r_{\text{пров}} \leq Z_{2\text{НОМ}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{конт}}. \quad (2.3)$$

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

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}}, \text{ мм}^2; \quad (2.4)$$

где ρ – удельное сопротивление материала провода, Ом*мм²/м; для меди $\rho = 0,0175$, для алюминия $\rho = 0,028$; $r_{\text{пров}}$ – сопротивление соединительных проводов, Ом; $l_{\text{расч}} = K \cdot l_{\text{действ}}$ – расчетная длина соединительных проводов, Ом; $l_{\text{действ}}$ – длина соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов, м; ориентировочно можно принять по табл. 2.1; K – коэффициент, зависящий от схемы соединения трансформаторов тока; $K = 1$ – трансформаторы тока соединены в полную звезду; $K = \sqrt{3}$ – используются трансформаторы тока 2-х фаз, соединенные в неполную звезду; $K = 2$ – используется трансформатор тока одной фазы.

Таблица 2.1

Длина соединительных проводов от трансформаторов тока до приборов

Наименование цепи	$I_{\text{действ}}, \text{ М}$
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 напряжением:	
35 кВ	60-75
110 кВ	75-100
220 кВ	100-150
330-500 кВ	150-175
Синхронные компенсаторы	25-40

2.2.3 Сечение проводов и жил контрольных кабелей в цепях релейной защиты выбирается по условиям надежности срабатывания защит при всех видах коротких замыканий. Подробная методика расчета изложена в соответствующей учебной литературе по релейной защите и здесь не рассматривается.

2.2.4 Особенности выбора сечения проводов и жил контрольных кабелей в цепях трансформаторов напряжения.

Выбор сечения проводов и жил контрольных кабелей в цепях трансформаторов напряжения измерительных приборов определяется потерей напряжения в соединительных проводах:

- до расчетных счетчиков должно быть не более 0,5%;
- до измерительных приборов не более 1,5% при нормальной нагрузке.

Для упрощения расчетов при учебном проектировании можно принять сечение жил контрольных кабелей не ниже допустимого по механической прочности, а вторичная нагрузка не должна повышать номинальную мощность трансформатора напряжения в выбранном классе точности, при этом следует иметь в виду, что для однофазных трансформаторов напряжения, соединенных в звезду, следует брать суммарную мощность всех трех фаз, а соединенных по схеме открытого треугольника – удвоенную мощность одного трансформатора напряжения.

2.3 Выбор марки и конструкции кабелей

После определения необходимого сечения проводов или жил контрольного кабеля следует принять ближайшее стандартное сечение жилы кабеля, выбрать марку и конструкцию кабеля.

Контрольные кабели предназначены для работы в сетях переменного тока напряжением до 660 В или в сетях постоянного тока напряжением до 1000 В.

Контрольные кабели (ГОСТ 1508-78) изготавливают с медными или алюминиевыми жилами, изолированными резиной или пластмассой (поливинилхлоридом, полиэтиленом, самозатухающим полиэтиленом). Оболочка кабеля бывает из свинца, поливинилхлоридного пластика и негорючей резины. Отдельные марки кабеля имеют броневого покрова.

Таблица 2.2

Сечение жил кабелей

Сечение медных жил, мм ²	0,75	1,0	1,5	2,5	4	6	-
Сечение алюминиевых жил, мм ²	-	-	-	2,5	4	6	10

Таблица 2.3

Число жил кабелей

Кабели с медными жилами	4	5	7	10	14	19	27	37	52	61
Кабели с алюминиевыми жилами	4	5	7	10	14	19	27	37	-	-

В целях удешевления строительства, сокращения количества кабелей и упрощения кабельной прокладки действующими правилами допускается объединение в одном кабеле цепей различного назначения (токовых цепей, цепей напряжения и цепей оперативного постоянного тока), идущих из одного помещения (РУ) в другое в пределах одной первичной цепи. Допускается также объединение цепей одного назначения для разных первичных цепей. Пределом может быть только допустимое по конструктивным соображениям количество жил в одном кабеле. Например, контрольные кабели с сечением жил 1,5 и 2,5 мм² изготавливаются с числом жил соответственно до 52 (61) и 37 в одном кабеле, кабели же с сечением 4 и 6 мм² – до 10. Другим условием, ограничивающим объединение цепей в одном кабеле, является необходимость иметь разные сечения жил для цепей разного назначения. В частности, это относится к цепям трансформаторов тока, где для измерительных приборов применяют сечение 2,5-6 мм², для реле защиты 2,5- 10 мм². Поэтому токовые цепи приходится выделять в отдельные кабели. В некоторых случаях такое выделение не производится, а для токовых цепей спариваются жилы кабеля.

Исходя из изложенного, **при учебном проектировании определяются лишь сечение и количество жил кабелей** (рекомендуется в каждом кабеле предусматривать одну – три резервные жилы) любого присоединения отдельно для цепей измерительных приборов и отдельно для цепей релейной защиты (последнее лишь для случая, если производится детальная разработка схемы релейной защиты, в основном для специальности 0302 “Релейная защита и автоматика энергосистем”).

Таблица 2.4

Контрольные кабели

Марка	Материал жилы	Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Число изолированных жил
Кабели с резиновой изоляцией			
КРСГ, КРСБ, КРСБГ, КРСК	М М	1; 1,5; 2,5; 4; 6	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37 4, 7, 10
КРВГ, КРВГЭ, АКРВГ, АКРВГЭ	М	0,75; 1,0; 1,5	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52
КРВБ, АКРВБ, КРВБГ, АКРВБГ, КРВББГ, АКРВББГ, КРНГ, АКРНГ, КРНБ, АКРНБ, КРНБГ, АКРНБГ, КРНБГц, АКРНБГц, КРНББг, АКРНББг	М, А М, А А	2,5 4; 6 10	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37 4, 7, 10 4, 7, 10
Кабели с поливинилхлоридной изоляцией			
Кабели с полиэтиленовой изоляцией	М М, А М, А А	0,75; 1,0; 1,5 2,5 4; 6 10	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27 37, 52, 61 4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37 4, 7, 10 4, 7, 10
КПВГ, АКПВГ, КПВБ, АКПВБ, КПВБГ, АКПВБГ, КПВББГ, АКПВББГ, КПББШв, АКПББШв, КППБШв, КПСтШв, АКПСтШв, КПсВГ, АКПсВГ, КПсВГЭ, АКПсВГЭ, КПсВБ, АКПсВБ, КПсВБГ, АКПсВБГ, КПсВББГ, АКПсВББГ, КПсББШв, АКПсББШв, КПсПБШв	М М, А М, А А	0,75; 1,0; 1,5 2,5 4; 6; 10	4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37, 52, 61 4, 5, 7, 10, 14, 19, 27, 37 4, 7, 10 4, 7, 10

Марку контрольного кабеля составляют буквенная и цифровая части.

Буквенная часть характеризует конструктивное устройство контрольного кабеля и материал, из которого изготовлены токоведущие жилы, изоляция и защитные оболочки, а **цифровая** часть указывает количество жил и их сечение.

Буквенная часть расшифровывается следующим образом.

Первая буква: А – кабель с алюминиевыми жилами. Если буква А на первом месте отсутствует, то это означает, что кабель с медными жилами.

Вторая буква; К – контрольный кабель. Если буква К на втором месте отсутствует, то это означает, что кабель силовой.

Третья буква обозначает материал изоляции жил кабеля:

Р – резина;

В – поливинилхлорид;

П – полиэтилен;

Пс – самозатухающий полиэтилен.

Четвертая буква обозначает материал оболочки кабеля:

С – свинец;

В – поливинилхлоридный пластикат;

Н – негорючая резина.

Пятая буква обозначает вид брони:

Б – броня из двух стальных лент с противокоррозионным покрытием;

К – броня из круглых оцинкованных проволок;

Бб – броня из одной профилированной стальной оцинкованной ленты;

Далее для кабеля в поливинилхлоридном шланге ставят буквы Шв, а для кабеля, экранированного алюминиевой или медной фольгой, - букву Э.

Кроме того, буква Г в марке кабеля указывает на отсутствие защитного покрова из негорючего материала.

Буква П в конце буквенной части марки кабеля, написанная через тире, означает, что кабель плоский.

Например, контрольный кабель с 10 медными жилами сечением $2,5 \text{ мм}^2$, имеющим резиновую изоляцию, с оболочкой из поливинилхлоридного пластиката, броней из двух стальных лент с противокоррозионным покрытием без внешнего защитного покрова из негорючего материала обозначают КРВБГ – 10×2,5.

Следует отметить, что в помещениях могут прокладываться контрольные кабели всех марок без внешнего защитного покрова из негорючего материала. При этом в тех помещениях, где исключена возможность механических повреждений кабеля, прокладывают преимущественно небронированные кабели.

Для прокладки в земляной траншее следует применять бронированные кабели (например, КРСБ).

Если известно, что на кабель могут действовать значительные растягивающие усилия, то необходимо применять кабель, имеющий броню, защищающую от этих усилий. Например, кабель марки КРСК и др.

3 Примеры выбора электроизмерительных приборов

3.1 Пример выбора электроизмерительных приборов в цепи генератора

Выбрать измерительные приборы и контрольные кабели для цепи генератора типа ТГВ-200-2, $U_n = 15,75$ кВ, работающего в блоке с трансформатором ТДЦ – 250000/220. Генератор соединен с трансформатором экранированным токопроводом типа ТЭКН-20/200-220, в который встроены трансформаторы тока ТШЛ-20Б-10000/5/5, трансформаторы напряжения ЗОМ-1/15, ЗНОМ-15.

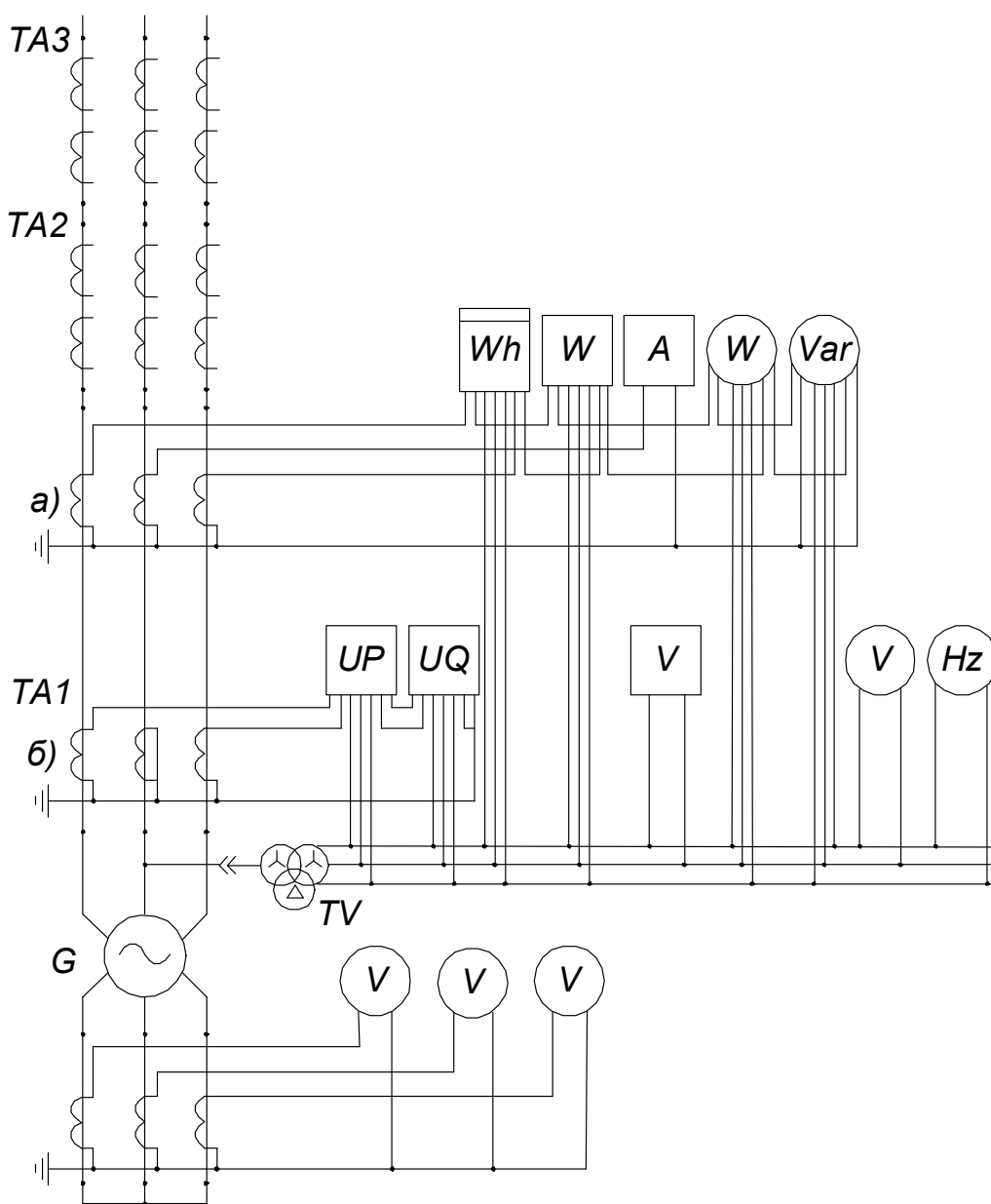


Рисунок 5 – Пример подключения контрольно-измерительных приборов блока 200 МВт.

Решение

По табл. 1.1 определяем необходимый для нормальной эксплуатации генератора объем оснащения его измерительными приборами.

Распределяем измерительные приборы по трансформаторам тока таким образом, чтобы счетчики, регистрирующие приборы и ваттметры были включены на трансформаторы тока класса точности 0,5 (так как мощность генератора более 50 МВт), датчики мощности – на трансформаторы тока класса точности не ниже 1,0 (см. рис. 5).

Для рационального размещения приборов на панели щита управления и для соблюдения требований технической эстетики необходимо учитывать габаритные размеры приборов (особенно лицевой стороны). Например, если устанавливается амперметр с размерами 120×120 мм, то и другие стрелочные приборы желательно выбрать с этими же габаритами размерами.

Подсчитываем вторичную нагрузку на трансформаторы тока, распределяя её по фазам. Потребление приборов см. табл. 1.2 и 1.3.

Трансформатор тока ТА1 (обмотка а, см. рис.5, табл. 3.1).

Из табл.3.1 видно, что наиболее нагружены фазы А и С, поэтому расчет ведем для этих фаз.

Определяем допустимое сопротивление жил контрольного кабеля.

По справочным данным на трансформатор тока типа ТШЛ-20Б-10000/5/5 определяем номинальную нагрузку $Z_{ном} = 1,2$ Ом (в классе точности 0,5).

Принимаем $r_{конт} = 0,1$ Ом, так как число приборов больше 3-х.

Сопротивление приборов

$$r_{приб} = \frac{S_{приб.}}{I_{2ном}^2} = \frac{7,2}{5^2} = 0,288 \text{ Ом.} \quad (3.1)$$

Допустимое сопротивление жил кабеля

$$r_{пров} = Z_{2ном} - (r_{приб} + r_{конт}) = 1,2 - (0,288 + 0,1) = 0,812 \text{ Ом.} \quad (3.2)$$

Таблица 3.1

№ п.п.	Наименование прибора	Тип	Нагрузка по фазам, В·А		
			А	В	С
1	Амперметр регистрирующий	Н-3093	-	6	-
2	Ваттметр	Д-335	0,5	-	0,5
3	Варметр	Д-335	0,5	-	0,5
4	Ваттметр регистрирующий	Н-3095	6	-	6
5	Счетчик активной энергии	ЦЭ6805В	0,2	-	0,2
Итого			7,2	6	7,2

Определяем сечение провода.

Для генератора 200 МВт применяется контрольный кабель с медными жилами.

Так как токовые катушки приборов включены на трансформаторы тока

$$l_{\text{расч}} = l_{\text{дейст}} = 40 \text{ м.}$$

$$q = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{прор}}} = \frac{0,0175 \cdot 40}{0,812} = 0,86 \text{ мм}^2. \quad (3.3)$$

Принимаем контрольный кабель с ближайшим большим стандартным сечением, например, КРСГ – 7×2,5.

Аналогично определяем сечение жил кабеля для соединения приборов с трансформаторами тока ТА₁ (обмотка “б”, рис. 5).

Для соединения трансформаторов напряжения с приборами принимаем сечение жил контрольного кабеля с учетом механической прочности, т.е.

$q = 2,5 \text{ мм}^2$, например, кабель КРСГ - 5×2,5.

Производим подсчет вторичной нагрузки трансформатора напряжения. Это лучше сделать в виде таблицы.

Таблица 3.2

Вторичная нагрузка трансформатора напряжения для генератора 200 МВт

Наименование прибора	Тип прибора	Потребл. мощность одной катушки, В·А	Число катушек	cos φ	sin φ	Число приборов	Общая потребляемая мощность	
							P, Вт	Q, В·А
Вольтметр	Э-377	2	1	1	0	1	2	-
Вольтметр регистрирующий	Н-3093	6	1	1	0	1	6	-
Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Ваттметр регистрирующий	Н-3095	6	2	1	0	1	12	-
Варметр	Д-335	1,5	2	1	0	1	3	-
Датчик активной мощности	Е-812	1	-	1	0	1	1	-
Датчик реактивной мощности	Е-813	1	-	1	0	1	1	-
Счетчик активной энергии	ЦЭ6805В	1	2	0,38	0,925	1	0,38	0,925
Частотомер	Э-372	3	1	1	0	1	3	-
ИТОГО							31,38	0,925

Вторичная нагрузка на трансформатор напряжения составит

$$S_{2\Sigma} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{31,38^2 + 0,975^2} = 31,4 \text{ В}\cdot\text{А} \quad (3.4)$$

Допустимая вторичная нагрузка одной фазы трансформатора напряжения типа ЗНОЛ 06-10 в классе точности 0,5 равна 75 В·А, а так как установлено 3 однофазных трансформатора напряжения, соединенных в звезду, то их

$S_{2\text{ном}} = 75 \cdot 3 = 225 \text{ В}\cdot\text{А} > 31,4 \text{ В}\cdot\text{А}$, т.е. трансформатор напряжения будет работать в выбранном классе точности.

3.2 Пример выбора трансформаторов тока и напряжения для 1 секции шин 220 кВ

Выбрать трансформаторы тока и напряжения для 1 секции шин 220 кВ подстанции 220/110/10 кВ. Подстанция с постоянным дежурством персонала, размещение приборов в соответствии с табл. 1.1 Выключатели типа ВГБ-500-40/2000 У1. Силовой автотрансформатор АТДЦТН-200 000/220/110.

Решение.

Выбор трансформаторов тока

В учебном проектировании в пределах одного распределительного устройства трансформаторы тока выбираются однотипными по цепи самого мощного присоединения. Поэтому, прежде чем выбрать трансформаторы тока, определяем самую мощную цепь.

Самой мощной является цепь автотрансформатора.

$$I_{\text{н.цепи}} = \frac{0,65 \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{0,65 \cdot 200}{\sqrt{3} \cdot 220} = 341 \text{ А} \quad (3.5)$$

$$I_{\text{мах.цепи}} = \frac{1,3 \cdot S_{\text{ном.т}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{1,3 \cdot 200}{\sqrt{3} \cdot 220} = 682 \text{ А} \quad (3.6)$$

где $U_{\text{уст.}}$ – номинальное напряжение установки, кВ; $I_{\text{н.цепи}}$ – номинальный ток цепи, А; $I_{\text{мах.цепи}}$ – максимальный ток цепи, А.

В данном примере на напряжении 220 кВ выбираем трансформаторы тока, встроенные во вводы выключателей. Трансформаторы тока встраиваются во вводы выключателей типа ВГБ, ВГБУ, У, С, РМ, РМР. Данные по встроенным трансформаторам тока представлены в таблице П 3. Для выключателей ВГУ, ВГТ, ВМТ, ВБН, ВБЭ, НРЛ, ЛТВ устанавливаются отдельно стоящие трансформаторы тока. Трансформаторы тока для данных выключателей представлены в таблице П 2.

Трансформаторы тока выбираются по условиям:

$$U_{н.ТА} \geq U_{уст.}, \quad (3.7)$$

где $U_{н.ТА}$ – номинальное напряжение трансформатора тока, кВ,
 $220 \text{ кВ} = 220 \text{ кВ}$

$$I_{н.ТА} \geq I_{ном.цепи}, \quad (3.8)$$

где $I_{н.ТА}$ – номинальный ток трансформатора тока, А.

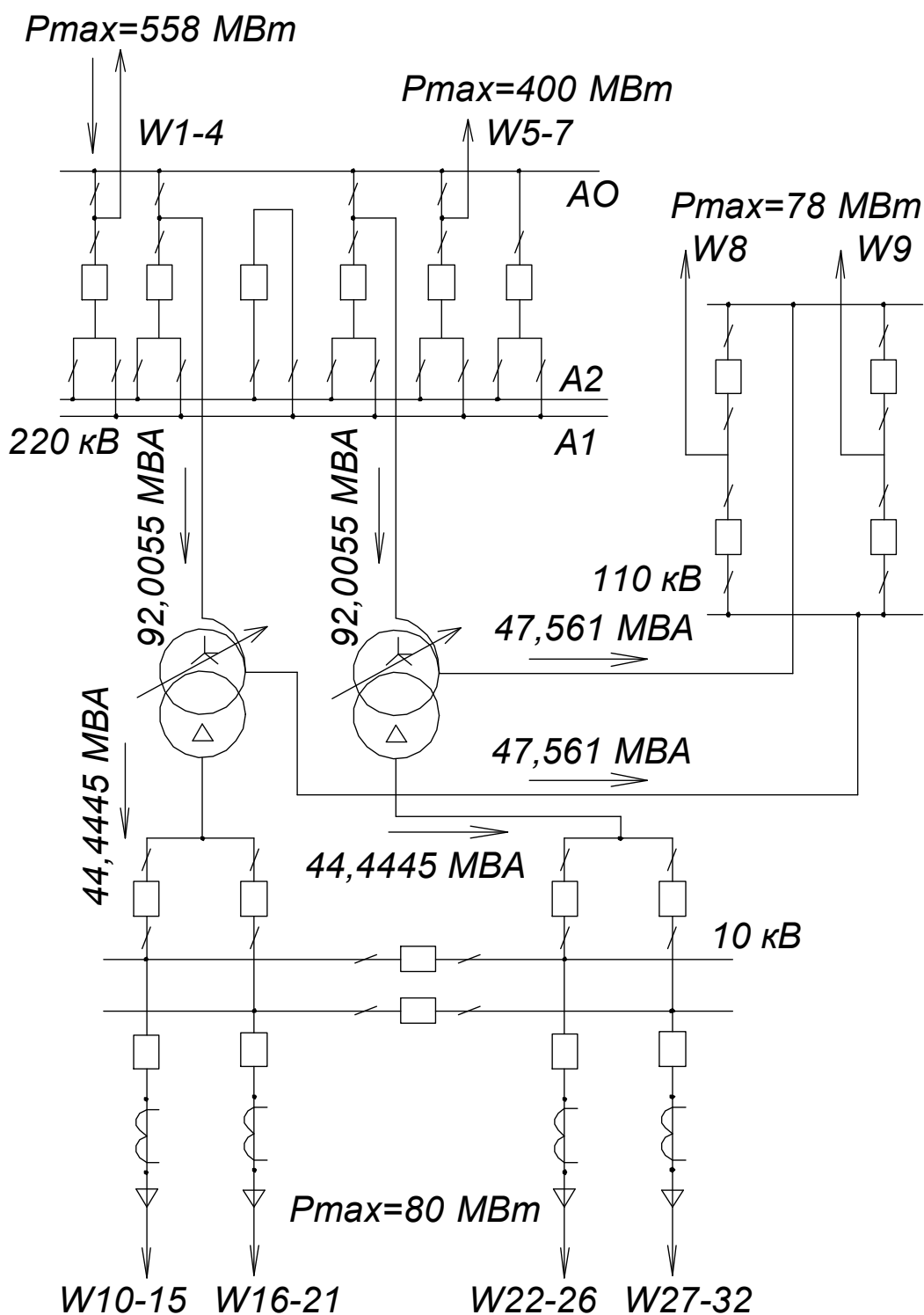


Рисунок 6 – Подстанция 220/110/10 кВ.

$$1000 \text{ A} > 426 \text{ A}$$

$$I_{н.ТА} \geq I_{max}. \quad (3.9)$$

$$1000 \text{ A} > 853 \text{ A}$$

Для уменьшения погрешностей первичный ток трансформатора должен быть как можно ближе к действительному току цепи.

Выбранные трансформаторы тока проверяются:

- на динамическую устойчивость

$$i_{пр скв.} \geq i_{уд} , \quad (3.10)$$

$$i_{пр СКВ} = K_{эд} * I_{ном1ТА} \geq i_{уд} , \text{ кА}, \quad (3.11)$$

где $K_{эд}$ – коэффициент электродинамической стойкости [паспортные данные];

$$26 \text{ кА} > 13,0797 \text{ кА}$$

- на термическую устойчивость

$$B_{к доп.} \geq B_{к расч}. \quad (3.12)$$

$$4800 \text{ кА}^2 * \text{с} \geq 5,657 \text{ кА}^2 * \text{с}$$

- на вторичную нагрузку

$$Z_{2ном} \geq Z_{2расч} \quad (3.13)$$

$$Z_{2ном} = S_{2.ном} / I_{2.ном}^2 = 30 / 1^2 = 30 \text{ Ом} \quad (3.14)$$

где $S_{2.ном}$ – номинальная вторичная нагрузка, ВА; $I_{2.ном}$ – номинальный вторичный ток, А.

Т.к. индуктивное сопротивление приборов очень мало, то будем считать что $Z_2 \approx r_2$.

r_2 определяется по формуле:

$$r_2 = r_{приб.} + r_{пров.} + r_{конт}. \quad (3.15)$$

Определяется потребляемая мощность приборов. Расчеты представляются в табличной форме.

Таблица 3.3

Вторичная нагрузка трансформаторов тока 220 кВ

Наименование прибора	Тип прибора	Потребляемая мощность, ВА
Амперметр	Э335	0,5

$$r_{\text{приб}} = \frac{S_{\text{приб.}}}{I_{2\text{ном}}^2} = \frac{0,5}{1^2} = 0,5 \text{ Ом}; \quad (3.16)$$

$r_{\text{конт.}} = 0,05 \text{ Ом}$, т.к. число приборов меньше 3-х;

$$r_{\text{пров.}} = z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб.}} - r_{\text{конт.}} = 30 - 0,5 - 0,05 = 29,45 \text{ Ом.} \quad (3.17)$$

Определяем сечение проводов.

Согласно ПУЭ сечение меди должно быть не менее $2,5 \text{ мм}^2$

$$S = (0,0175 \cdot 120) / 29,45 = 0,07 \text{ мм}^2.$$

Выбираем кабель КВВГ – 2,5 с числом жил 37.

Зная теперь сечение кабеля, определяем истинное значение $r_{\text{пров.}}$

$$r_{\text{пров}} = \frac{\rho \cdot l_{\text{расч}}}{S} = \frac{0,0175 \cdot 120}{2,5} = 0,84 \text{ Ом.} \quad (3.18)$$

Таким образом, $z_{2\text{расч}}$ будет равно:

$$z_{2\text{расч}} = r_{\text{пров.}} + r_{\text{приб}} + r_{\text{конт.}} = 0,84 + 0,5 + 0,05 = 1,39 \text{ Ом} \quad (3.19)$$

$$z_{2\text{ном}} = 30 \text{ Ом} > z_{2\text{расч}} = 1,39 \text{ Ом} \quad (3.20)$$

Трансформаторы тока ТВ – 220 – 1000/1 удовлетворяет всем требованиям.

Выбор трансформаторов напряжения.

Выбор трансформаторов напряжения для шин 220 кВ.

Трансформаторы напряжения выбираются по следующим условиям:

$$1) U_{\text{номТВ}} \geq U_{\text{уст}}; \quad (3.21)$$

2) По схеме соединения.

Выбранные трансформаторы необходимо проверить на вторичную нагрузку, причем в режиме, когда одна система шин выводится в ремонт:

$$S_{2\text{ном}} \geq S_{2\text{расчет.}}; \quad (3.22)$$

Устанавливаем трансформатор напряжения НКФ – 220 – 83У1

$$U_{\text{номТВ}} = 220 \text{ кВ} = U_{\text{уст.}} = 220 \text{ кВ}$$

Таблица 3.3

Расчетная вторичная нагрузка трансформаторов напряжения для распределительного устройства 220кВ

Наименование цепи	Наименование прибора	Тип прибора	Потребляемая мощность	Кол-во катушек	Кол-во приборов	S _{расчет.}
Обходной выключатель	Ваттметр	Д-335	1,5	2	1	3
	Варметр	Д-304	1,5	2	1	3
	Счетчик активной энергии	ЦЭ6805В	1	2	1	2
	Счетчик реактивной энергии	Ц6811	1	2	1	2
	Фиксирующий прибор	ФИП	3	1	1	3
Линия 220 кВ	Ваттметр	Д-335	1,5	2	7	21
	Варметр	Д-304	1,5	2	7	21
	Фиксирующий прибор	ФИП	3	1	7	21
	Счетчик активной энергии	ЦЭ6805В	1	2	2	4
	Счетчик реактивной энергии	Ц6811	1	2	2	4
Сборные шины 220кВ	Вольтметр	Э-378	2	1	1	2
	Вольтметр регистрирующий	Н-348	10	1	1	10
	Фиксирующий прибор	ФИП	3	1	1	3
	Осциллограф				1	
Релейная защита линии	Микропроцессорная		0,5		7	3,5
	Микропроцессорная		0,5		7	3,5

$$S_{2 \text{ расчет.}} = 106 \text{ ВА}$$

$$S_{2 \text{ ном}} = 3 \cdot 400 = 1200 \text{ ВА} > 106 \text{ ВА}$$

Выбранный трансформатор напряжения типа НКФ-220-83У1 проходит по вторичной нагрузке. Устанавливаем 2 трансформатора напряжения на 2 системы шин.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П 1

Трансформаторы напряжения

Тип	Номинальное на- пряжение, U _н ,		Номинальная мощ- ность, В·А, в классе точности				Максимальная мощность, S _{max} В·А,
	ВН, кВ	НН, В					
			0,2	0,5	1	3	
НОС – 0,5	0,38	100		25	50		100
	0,5	100		25	50		100
НОМ - 6	3	100		30	50		240
	6	100		50	75		400
НОМЭ - 6	6	100		50	75		400
НТМК - 10	10	100		120	200		960
НТМИ – 6-66	6	100		50	75	200	400
НТМИ – 10-66	10	100;100/3		120	200	500	960
НОЛ – 08-10	10 11	100 100-110	50	75	150	300	640
ЗНОЛ – 06-10	6/√3	100/3	30	50	75	200	400
	10/√3			75	150		640
	15/√3		50	75	150	300	640
	20/√3		50	75	150	300	640
	24/√3		50	75	150	300	640
ЗНОЛ - 35	35/√3	100/√3		150	300	600	1000
НОМ - 15	13,8	100		75	150		640
	15,75			75	150		640
	18			75	150		640
ЗНОМ – 15-63	6/√3	100/√3		50	75		400
	10/√3	100/√3		50	75		400
	13,8/√3	100/√3		75	150		640
	15,75/√3			75	150		640
НКФ – 110-58	110/√3	100/√3		400	600	1200	2000
НКФ – 220-58	150/√3	100/√3		400	600	1200	2000
	220/√3	100/√3		400	600	1200	2000
НКФ – 330-73	330/√3	100/√3		400	600	1200	2000
НКФ – 500-78	500/√3	100/√3			500	1000	2000
НДЕ - 500	500/√3	100/√3		300	500	1000	1200
НДЕ – 750	750/√3	100/√3		300	500	1000	1200
НДЕ - 1150	1150/√3	100/√3			300	600	1200

Таблица П 2

Трансформаторы тока

Тип	Номинальное напряжение, U_n , кВ	Класс точности	Ном. вторичный ток, А	Номинальный первичный ток, $I_{ном}$, А	Ток термической стойкости, кА		Ток электродинамической стойкости, кА	Ном. предельная кратность обмотки	Номинальная мощность, S_n , В·А	
					1с	3с			изм. обм.	защит. обм.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТВЛМ-6 У3	6	1-10Р	5	10	0,64	-	3,5	4,5	15	-
				20	1,32		7,0			
				30	1,96		10,6			
				50	3,6		17,6			
				75	4,9		26,4			
				100	6,9		35,2			
				150	9,7		52			
				200	13,8		52			
				300	17,5		52			
				400	20		520			
ТЛК-10 У3	10	0,5 1 10Р	5	30	3,2	1,6	8	10	10	10
				50	8	4	25	10		
				75	20	10	52	8		
				100	20	10	52	10		
				150	20	10	52	10		
				200	20	10	52	10		
				300	31,5	16	52	10		
				400	31,5	16	52	10		
				600		31,5	52	10		
				800		31,5	81	10		
				1000		31,5	81	10		
				1500		31,5	81	10		
ТЛО-10	10	0,2; 0,2S 0,5; 0,5S 5Р или 10Р	5	50	10;20	-	26;52	30	5; 10; 30	10; 15; 30
				75	10;20		26;52			
					31,5		81			
				100-200	20		52			
					31,5		81			
					40		100			
				300-600	31,5		81			
					40		100			
				800-1500	40		100			

Продолжение таблицы П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТЛШ-10	10	0,2; 0,2S 0,5; 0,5S 10P;5P	5	1500 2000 3000 4000 5000	-	31	80	10,5 15,7 18	20; 30	15
ТЛШ-10-I	10	0,2; 0,2S 0,5; 0,5S	5	1500 2000 3000	-	31,5	81	15,7	20	-
ТОЛ-10-I испол- нение 1-2	10	0,5 или 1; 10P	5	5 10 15 20 30 40 50 75 80 100 150 200 300-400 500-1000	0,4 0,78 1,2 1,56 2,5 3 5 5,85 6,23 10 12,5 20 31,5 40	0,23 0,45 0,68 0,9 1,49 1,8 2,5 3,38 3,6 5,5 7 10 16 40	1 1,97 3 3,93 6,25 7,56 17,6 14,7 15,7 25,5 31,8 51 81 102	10	10	15
ТОЛ-10-I испол- нение 3-4	10	0,5 или 1; 10P	5	30 40 50 75 80 100 150	3,2 4,3 8 20 20 20 20	1,9 2,5 4,6 11,6 11,6 11,6 11,6	8 10 20 51 51 51 51	10	10	15
ТВК-10 УХЛЗ	10	0,5 10P	5	20;30; 50;100; 150;200; 300;400; 600;800; 1000; 1500	1,88- 31,5	-	7,0- 76,5	-	10	15

Продолжение таблицы П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТЛМ-10 УТЗ	10	0,5 10P	5	50;100; 150;200; 300;400; 600;800; 1000; 1500	2,8- 26,0	-	17,6-100	-	10	15
ТШЛП-10	10	0,2;0,5 10P	5	1500; 2000; 3000	31,5	-	-	-	30	30
ТОЛ-35Б-II У1	35	0,5 10P/ 10P	5	15;20; 30;40; 50;75; 100;150; 200;300; 400;600; 800; 1000; 1500; 2000	-	0,7- 55	3-141	20	30	30
ТОЛ-35Б-III У1	35	0,5 10P/ 10P	5 (1)	500; 1000; 2000; 3000	-	49- 57	125-145	18	30	50
ТФЗМ-35А У1	35	0,5 10P	5	15;20; 30;40; 50;75; 100;150; 200;300; 400;600; 800; 1000		0,6- 37	3-134	28	2	0,8
ТФЗМ-35Б IУ1	35	0,5 10P	5	15;20; 30;40; 50;75; 100;150; 200;300; 400;600; 800; 1000		0,7- 55	3-141	20	1,2	1,2

Продолжение таблицы П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТФЗМ-35Б ПУ1	35	0,5 10Р	5	500; 1000; 2000; 3000		49; 57	125;145	18	30	50
ТГФ-110	110	0,2	1 (5)	100;150; 200;300; 400; 600;750; 1000; 1500; 2000	-	40 30	80 60	20	30	-
ТГ-145	110	0,2 5Р 10Р	5 (1)	осн. исполн.: 300;600; 1200 возм. исполн.: 400-800; 500- 1000; 1000- 2000; 1500- 3000	31,5	20	80	20	20	20, 30, 40
ТФЗМ-110Б ПУ1	110	1 10Р	1 (5)	50-100; 75-150; 100-200; 150-300; 200-400; 300-600; 400-800	-	2- 28	10-126	20	4	1,2
ТФЗМ-110Б ПХЛ1	110	0,5 10Р	5	750- 1500; 1000- 2000	-	60	200	30	20	20

Продолжение таблицы П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
TG-245	220	0,5 10P	5 (1)	осн. исполн.: 500; 1000; 2000 возм. исполн.: 500- 1000; 300-600- 1200; 400-800- 1600; 2000	31,5	20	80	20	20	20
ТФЗМ- 220Б ШУ1	220	0,5 10P	1 (5)	300- 600- 1200	-	9,8- 19,6- 39,2	25-50- 100	15	30	30
ТФЗМ- 220Б ШХЛ1	220	0,5 10P	1 (5)	500- 1000- 2000	-	9,8- 19,6- 39,2	25-50- 100	25	30	50
ТФРМ- 330Б У1	330	0,2 10P	1 (5)	1000- 2000; 1500- 3000	-	63	160	20	30	40
ТФУМ- 330А У1	330	0,5 10P	1 (5)	500- 1000- 2000	-	19,3- 38,6- 72,2	49,5-99- 198	20;15; 18	50	50
ТФЗМ- 500Б ІХЛ1	500	0,5 10P	1	500- 1000- 2000	-	34- 68- 68	90-180- 180	18	30	75
ТФРМ- 500Б У1	500	0,5 10P	1	1000- 2000; 1500- 3000	-	47	120	18;15; 12	30	40
ТФРМ- 500Б ІІ-У1	500	0,5 10P	1	2000- 4000	-	47	120	18;15; 12	30	40

Продолжение таблицы П 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ТФРМ-750А У1	750	0,5 10Р	1	1000-2000; 1500-3000	-	47	120	12	30	40
ТФРМ-750А I-Y1	750	0,5 10Р	1	2000-4000	-	47	120	12	30	40

Таблица П 3

Трансформаторы тока, встраиваемые в выключатели

Тип	Номинальное напряжение, U_n , кВ	Ном. вторичный ток, А	Номинальный первичный ток, $I_{ном}$, А	Время	Ток термической стойкости, кА	Ток электродинамической стойкости, кА	Ном. предельная кратность обмотки	Номинальная мощность, S_n , В·А, В классе точности			
								0,5	1	3	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ТВ-35-П-150/5	35	5	50	4	10	25	2	-	-	-	0,4
			75					-	-	-	0,8
			100					-	-	-	0,8
			150					-	-	-	1,2
ТВ-35-П-300/5	35	5	100	4	10	25	2	-	-	-	0,8
			150				2	-	-	-	1,2
			200				2	-	-	-	1,6
			300				7	-	-	1,2	...
ТВ-35-П-600/5	35	5	200	4	10	25	2	-	-	-	1,6
			300				7	-	-	1,2	...
			400				8	-	-	1,6	...
			600				14	-	1,2	...	...
ТВ-35-III-200/5	35	5	75	4	25	62,5	...	-	-	-	0,8
			100				...	-	-	-	0,8
			150				5	-	-	0,8	...
			200				9	-	-	-	0,8
ТВ-35-III-300/5	35	5	100	4	25	62,5	...	-	-	-	0,8
			150				5	-	-	0,8	...
			200				9	-	-	0,8	...
			300				16	-	0,4	...	...

Продолжение таблицы П 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TB-35-III-600/5	35	5	200	4	25	62,5	9	-	-	0,8	...
			300				16	-	0,4	...	...
			400				12	-	0,8	...	...
			600				30	0,4	...	...	...
TB-35-III-1500/5	35	5	600	4	25	62,5	30	0,4	...	...	...
			750				20	1,2	...	...	...
			1000				22	1,2	...	...	...
			1500				16	1,2	...	...	...
TB-35-IV-1200/1	35	1	600	4	50	125	25	-	30	...	...
			800				30	30	...	...	...
			1000				36	30	...	...	...
			1200				41	30	...	...	...
TB-35-IV-1200/5	35	5	600	4	50	125	25	-	1,2	...	...
			800				30	1,2	...	...	...
			1000				36	1,2	...	...	...
			1200				41	1,2	...	...	...
TB-35-IV-2000/5	35	5	1000	4	50	125	36	1,2	...	...	...
			1200				41	1,2	...	...	...
			1500				33	1,2	...	...	...
			2000				24	1,2	...	...	...
TB-35-IV-3000/5	35	5	1200	4	50	125	41	1,2	...	...	...
			1500				33	1,2	...	...	...
			2000				24	1,2	...	...	...
			3000				16	1,2	...	...	...
TB-110-I-200/5	110	5	75	3	20	50	...	-	-	-	0,4
			100				...	-	-	-	0,8
			150				...	-	-	-	0,8
			200				22	-	-	0,4	1,2
TB-110-I-300/5	110	5	100	3	20	50	...	-	-	-	0,8
			150				...	-	-	-	0,8
			200				22	-	-	0,4	1,2
			300				20	-	-	0,6	1,6
TB-110-I-600/5	110	5	200	3	20	50	22	-	-	0,4	1,2
			300				20	-	-	0,6	1,6
			400				15	-	-	1,2	...
			600				25	0,4	0,8	2,0	...
TB-110-I-1000/5	110	5	400	3	20	50	15	-	0,4	1,2	...
			600				25	0,4	0,8	2,0	...
			750				15	0,8	1,0	3,0	...
			1000				25	1,2	2,0	-	...

Продолжение таблицы П 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TB-110-II-200/5	110	5	75	3	50	125	...	-	-	-	0,6
			100				5	-	-	-	0,8
			150				10	-	-	-	0,8
			200				20	-	0,4	0,8	...
TB-110-II-300/5	110	5	100	3	50	125	5	-	-	-	0,8
			150				10	-	-	-	0,8
			200				20	-	0,4	0,8	...
			300				20	-	0,6	1,2	...
TB-110-II-600/5	110	5	200	3	50	125	34	-	-	0,6	...
			300				50	-	0,6	...	...
			400				40	-	1,0	...	...
			600				60	1	...	...	...
TB-110-II-1000/1	110	1	500	3	50	125	50	25	60	...	...
			600				50	30	60	...	...
			750				37	50	60	...	...
			1000				50	50	60	...	...
TB-110-II-2000/1	110	1	1000	3	50	125	50	50	60	...	...
			1200				42	50	60	...	...
			1500				33	50	60	...	...
			2000				25	50	60	...	...
TB-220-I-600/5	220	5	200	3	25	62,5	...	-	-	1,6	...
			300				20	-	0,8	...	...
			400				20	-	1,2	...	...
			600				18	0,4	0,8	2,0	...
TB-220-I-1000/5	220	5	400	3	25	62,5	20	-	-	1,2	...
			600				18	-	0,8	2,0	...
			750				32	0,6	1,2	...	...
			1000				25	0,8	2,0	...	...
TB-220-I-2000/5	220	5	500	3	25	62,5	13	-	-	2,0	...
			1000				25	0,8	1,2	...	...
			1500				16	1,2	...	...	...
			2000				12	2,0	...	...	...
TB-220-I-1000/1	220	1	400	3	25	62,5	15	-	-	40	...
			600				22	10	20	40	...
			750				25	15	40	...	...
			1000				25	30	...	...	...

Продолжение таблицы П 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TB-220-I-2000/1	220	1	500 1000 1500 2000	3	25	62,5	19 25 16 13	- 30 40 50	20.........	...	...
TB-220-II-1200/5	220	5	600 800 1000 1200	3	40	100	50 50 40 33	- 0,8 1,2 1,2	0,6.........	...	...
TB-220-II-2000/5	220	5	1000 1200 1500 2000	3	40	100	40 33 27 20	1,2 1,2 1,2 1,2	............	...	...
TB-220-II-1200/1	220	1	600 800 1000 1200	3	40	100	50 50 40 33	- 20 30 30	15.........	...	...
TB-220-II-2000/1	220	1	1000 1200 1500 2000	3	40	100	40 33 27 20	30 30 30 30	............	...	...

Литература

1. Алиев И.И. Справочник по электротехнике – 4-е изд., перераб. и доп. – Серия «Справочники». – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 480с., ил.
2. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.: ил
3. Правила устройства электроустановок.: Введены в действие с 1 ноября 2003 г./ М-во энергетики РФ. – 7-е изд. – СПб.: Деан.
4. Правила технической эксплуатации станций и сетей Российской Федерации: утв. Приказом Минэнерго России от 19.06.2003 №229. – М.: ЭНАС, 2003. – 352с.
5. Электрооборудование станций и подстанций: Учебник для сред. проф. образования / Л.Д.Рожкова, Л.К.Карнеева, Т.В.Чиркова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
6. Электротехнический справочник: В 4 т. Т.2. Электротехнические изделия и устройства / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. И.Н. Орлов) – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 518 с.
7. Справочник по проектированию электроэнергетических систем / В.В. Ершевич, А.Н. Зейлигер, Г.А. Илларионов и др.; Под ред. С.С. Рокотяна и И.М. Шапиро. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
8. Номенкл. справочник научно-производственного объединения ОАО "ЭЛСИБ".
630088, г.Новосибирск, ул.Сибирияков-Гвардейцев, 56.
Тел.: (3832) 42-69-27, 42-04-37.
Отдел маркетинга, тел.: (3832) 42-00-66, 42-71-84.
Московское представительство, тел.: (095) 924-16-02
E-mail: elsib@elsib.ru.
Сайт компании www.elsib.ru
9. Каталог изготовителя АО "Электроаппарат"; разработчик: АО "НИИ-ВА".
Телефон изготовителя в Санкт-Петербурге (812) 217-01-82.
Адрес: 199106 Санкт-Петербург, 24-я линия, д. 3/7.
Телефон разработчика в Санкт-Петербурге (812) 217-83-10.
Адрес: 199106 Санкт-Петербург, 24-я линия, д. 15/2.
10. Номенкл. каталог на 2001 год ОАО Холдинговая Компания "Электрозавод".
105023, г. Москва, ул. Электрозаводская, 21.
Тел. (техническая информация): (095) 962-17-26
E-mail: enfo@electrozavod.ru
Сайт компании www.electrozavod.ru
11. Рекламный лист компании "Schneider Electric".

Центр информационной поддержки: (095) 797 32 32.

Телефон представительства в Москве (095) 797-40-00.

Адрес: 129281 Москва, ул. Енисейская, 37.

Телефон представительства в Санкт-Петербурге (812) 112-41-43.

Адрес: 191126 Санкт-Петербург, ул. Звенигородская, 3.

Телефон представительства в Екатеринбурге (3432) 69-44-62.

Адрес: 620219 Екатеринбург, ул. Белинского, 34, офис 77.

Сайт компании www.schneider-electric.ru

12. Рекламный лист промышленной группы "Таврида Электрик".

Отдел новых проектов, тел.: (095) 943-02-16.

Адрес: 123298 Москва, ул. Маршала Бирюзова 1.