

3890



Министерство образования
Республики Беларусь

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра «Электрические станции»

**СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ
ПО СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРАМ
ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**Минск
БНТУ
2010**

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Электрические станции»

**СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ
ПО СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРАМ
ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Материалы для курсового
и дипломного проектирования
по электрической части электрических станций
и подстанций

Минск
БНТУ
2010

УДК 621.313.322:378.147.091.313(03)

~~ББК 31.261.62я7~~

С 74

Составитель
В.Н. Мазуркевич

Рецензенты:
В.Н. Сацукевич, М.И. Фурсанов

Издание содержит справочные данные по современным синхронным генераторам, системам их возбуждения, схемам подключения генераторов к сборным шинам и трансформаторам, по оборудованию этих схем, схемам релейной защиты с использованием микропроцессорных реле, схемам подключения контрольно-измерительных приборов и системам теплоконтроля.

© БНТУ, 2010

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА синхронных ГЕНЕРАТОРОВ И СВЕДЕНИЕ ПО ЗАМЕНЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ВЫРАБОТАННЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ НОВЫМИ

Синхронные генераторы предназначены для выработки электрической энергии промышленной частоты 50 Гц на стационарных и передвижных электростанциях. В качестве их приводного двигателя могут использоваться гидравлические, паровые или газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания (дизели).

В настоящих материалах гидрогенераторы не рассматриваются.

Основная масса турбогенераторов в России изготавливаются концерном «Силловые машины» (заводом «Электросила» г. Санкт-Петербург) [1], ОАО «Привод» г. Лысьва [2], НПО «Элсиб» г. Новосибирск [10]. Этими организациями выпускаются генераторы следующих типов:

– Т, ТА – с косвенным воздушным охлаждением обмотки статора и ротора и непосредственным охлаждением сердечника статора;

– ТФ – с непосредственным воздушным охлаждением обмотки ротора и сердечника ротора, с косвенным охлаждением обмотки статора;

– ТЗФ – с непосредственным охлаждением воздухом обмотки ротора, сердечника статора и косвенным охлаждением обмотки статора (по трехконтурной схеме);

– ТЗФА – асинхронизированные турбогенераторы, имеющие на роторе 2 обмотки возбуждения с непосредственной системой воздушного охлаждения;

– ТЗВ – с непосредственным охлаждением обмоток статора и ротора дисциплированной водой, с косвенным водяным охлаждением активной стали сердечника с заполнением внутреннего пространства генератора воздухом при атмосферном давлении;

– ТВФ – с непосредственным водородным охлаждением обмотки ротора по схеме самовентилиации и косвенным водородным охлаждением обмотки статора и непосредственным водородным охлаждением активной стали сердечника;

– ТВВ – с непосредственным охлаждением обмотки ротора и железа сердечника водородом и непосредственным охлаждением обмотки статора водой;

– ТВМ – с непосредственным охлаждением обмотки и железа статора кабельным маслом, обмотки ротора – водой.

Дополнительно в обозначений генератора буква «П» означает, что генератор предназначен для сопряжения с паровой турбиной; буква «Г» означает сопряжение генератора с газовой турбиной. В последнем случае в поставку генератора входит упорный подшипник со стороны турбины, и по требованию заказчика тиристорное пусковое устройство (ТПУ).

Турбогенераторы с воздушным охлаждением Т и ТА могут изготавливаться с замкнутой (З) или разомкнутой (Р) системой вентиляции. При разомкнутой системе вентиляции в поставку генератора входит комплексная воздухоочистительная установка (КВОУ).

Турбогенераторы марки Т (ОАО «Привод») могут быть выполнены в корпусном исполнении (К) или Э для контейнерных и плавучих электростанций.

Турбогенераторы изготавливаются в соответствии с ГОСТ по индивидуальным заказам с указанием исполнения (в общепромышленном, тропическом, экспортном исполнении). В комплект поставки входят: генератор заказанного типа, система возбуждения указанного в заказе типа, система охлаждения, запасные части и монтажные приспособления.

В настоящее время на электростанциях введенных в работу в конце прошлого столетия сроки эксплуатации генераторов значительно превышают назначенные сроки службы и их необходимо заменить новыми. Но чтобы уменьшить затраты при модернизации требуется чтобы новые генераторы устанавливались на существующие фундаменты и их мощность была выше чем у заменяемых. Сведения о замене турбогенераторов старых серий и единой серии ТВФ мощность от 25 мВт выработавших срок службы приводятся в табл. 1.1 [10].

Дизельные генераторы изготавливаются электротехническими заводами и предназначаются для работы в составе стационарных, передвижных, плавучих, контейнерных электростанций и аварийных агрегатов. Они имеют воздушные замкнутые или разомкнутые системы охлаждения. Возбуждение дизельных генераторов может быть статическое самовозбуждение или бесщеточное.

Таблица 1.1

Заменяемые турбогенераторы	Новые турбогенераторы	
	Завода «Электросила»	НПО «Элсиб»
T2-25-2, ТВ-25-2, ТВ2-30-2	ТФП-25-2	ТФ-25-2, ТФ-32-2
ТВ2-30-2	ТФП-36-2	–
T2-50-2, ТВ-50-2	ТФП-55-2, ТЗФП-50-2	ТФ-60-2
ТВФ-60-2	ТФП-60-2, ТЗФП-63-2	ТФ-60-2, ТФ-63-2
ТВ2-100-2	ТФП-110-2, ТЗФП-110-2	ТФ-110-2
ТВ2-150-2	ТФП-160-2, ТЗФП-160-2	ТФ-160-2
ТВФ-120-2	ТФП-110-2, ТЗФП-110-2	ТФ-110-2
ТГВ-200	ТФП-225-2	–

Буквы в марке дизельного генератора означают:

Г – генератор;

Д – дизельный;

С – синхронный или со статической системой возбуждения;

В – вентилируемый;

Б – бесщеточный;

М – модернизированный;

Ф – фланцевый.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СИНХРОННЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ [4,5,10]

Турбогенераторы ОАО «Привод» г. Лысьва [2]

Таблица 2.1

Тип турбогенератора	Активная мощность, кВт	Полная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ	Схема соединения обмоток	x_d'' о.е.	x_d' о.е.	x_d о.е.	Расчетная ориентировочная цена, тыс. у.е.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТК-1,5-2 РУХЛЗ	1500	1825	6,3/10,5	Δ/Y	0,11	0,175	1,87	54
ТК-2,5-2УЗ	2500	3125	6,3/10,5	Δ/Y	0,103	0,156	1,49	135
Т-2,5-2УЗ	2500	3125	3,15/6,3/10,5	$\Delta/Y/Y$	0,103	0,185	1,775	130
Т-4-2УЗ	4000	5000	3,15/6,3/10,5	$\Delta/Y/Y$	0,1108	—	—	208
ТК-4-2РУЗ	4000	5000	6,3/10,5	Δ/Y	0,11	—	—	215
Т-6-2УЗ	6000	7500	3,15/6,3/10,5	$Y/\Delta/Y$	0,118	—	—	306
ТК-6-2РУЗ	6000	7500	6,3/10,5	Δ/Y	0,12	—	—	310
Т-12-2УЗ	12000	15000	6,3/10,5	Δ/Y	0,129	—	—	600
Т-20-2УЗ	20000	25000	6,3/10,5	Δ/Y	0,121	0,181	2,02	970
Т-25-2УЗ-Г(П)	25000	31250	6,3/10,5	Δ/Y	0,131	—	—	1200
ТС-32-2ВЗ	32000	40000	6,3/10,5	Δ/Y	0,14	—	—	1550
Т-32-2ВЗ	32000	40000	6,3/10,5	Δ/Y	0,143	—	—	1500
ТС-63-2ВЗ-Г(П)	63000	78750	6,3/10,5	Δ/Y	0,18	0,277	2,3	2870
ТТК-25-2УЗ-П(Г)	25000	31250	6,3/10,5	Δ/Y	0,13	—	—	—
ТТК-40-2УЗ-П(Г)	40000	50000	6,3/10,5	Δ/Y	0,14	—	—	—
ТТК-50-2УЗ-П(Г)	50000	62500	10,5	Y	0,155	—	—	—
ТТК-63-2УЗ-П(Г)	63000	78750	10,5	Y	0,176	—	—	—
ТТК-70-2УЗ-Г(П)	70000	87500	10,5	Y	0,198	—	—	—
ТТК-80-2УЗ-П(Г)	80000	10000	10,5	Y	0,201	—	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТТК-80-2У3-П(Г)	80000	10000	10,5	У	0,201	–	–	–
ТТК-110-2У3-П(Г)	110000	137500	10,5	У	0,21	–	–	–
ТТК-160-2У3-П(Г)	160000	188000	15,75	У	0,226	–	–	–

Примечание: ТТК-турбогенераторы с трубчатым корпусом, исполнения IP 54.

Турбогенераторы концерна «Силовые машины» (завод «Электросила»)[1]

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТА-6-2У3	6000	7500	6,3/10,5	Δ/У	0,12/ 0,119	0,17/ 0,17	1,65/ 1,71	310
ТА-12-2КУ3	12000	15000	6,3/10,5	Δ/У	0,114/ 0,131	0,17/ 0,2	1,85/ 2,07	605
ТА-15-2/6,6ГЭ	15000	18750	6,3/10,5	Δ/У	0,13	–	–	745
ТАП-25-2У3	25000	31250	6,3/10,5	Δ/У	0,145	–	–	1210
ТФ-3-2У3	3000	3750	6,3	Δ	0,120	–	–	158
ТФП-18-2Т3	18000	22500	6,3/10,5/11	Δ/У	0,135	–	–	884
ТФ-36-2У3	36000	45000	10,5	У	0,15	–	–	1710
ТФП-40-2У3	40000	50000	6,3/10,5	Δ/У	0,14	0,19	1,73	1880
ТФ-60-2У3	60000	70590	10,5	У	0,18	0,277	2,3	2730
ТЗФП(Г)-63-2У3	63000	78750	6,3/10,5	Δ/У	0,136	–	–	2750
ТФГ(П)-110-2У3	110000	137500	10,5	УУ	0,187	0,26	2,73	4675
ТЗФП-80-2У3	80000	100000	10,5	УУ	0,203	–	–	3520
ТФГ(П)-160-2У3	160000	200000	15,75	УУ	0,153	0,223	2,53	6320
ТЗФП(Г)-110-2У3	110000	137500	10,5	УУ	0,19	–	–	4680
ТЗФП(Г)-160-2У3	160000	188200	15,75	У	0,21	–	–	6350

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТЗФ-220-2У3	220000	258800	15,75	У	0,22	—	—	8000
ТВФ-63-2У3	63000	78750	6,3/10,5	ΔУ	0,14	—	—	2820
ТВФ-120-2У3	120000	125000	10,5	УУ	0,205	—	—	5040
ТВФ-120-2У3	120000	125000	10,5	УУ	0,205	—	—	5040
ТВФ-200-2У3	200000	235300	15,75	УУ	0,21	—	—	7500
ТВВ-160-2ЕУ3	160000	188200	18	УУ	0,213	0,304	1,713	6400
ТВВ-220-2ЕУ3	220000	259000	15,75	УУ	0,1976	0,29	234	7950
ТВВ-320-2ЕКУ3	320000	376000	20	УУ	0,173	0,258	1,698	12000
ТВВ-350-2У3	350000	411800	20	УУ	0,18	—	—	13120
ТВВ-500-2ЕКУ3	500000	588200	20	УУ	0,242	0,355	2,56	18500
ТВВ-660-2У3	660000	825000	24	УУ	0,243	—	—	24350
ТВВ-800-2ЕКУ3	800000	889000	24	УУ	0,219	0,307	2,33	29600
ТВВ-1000-2У3	1000000	1111000	24	УУ	0,272	0,33	2,82	37000
ТВВ-1000-4У3 (1500 об/м)	1000000	1111000	24	УУ	0,32	0,45	2,4	39000
ТЗВ-63-2У3	63000	78750	6,3/10,5	УУ	0,153	0,224	1,199	2850
ТЗВ-110-2У3	110000	137500	10,5	УУ	0,19	—	—	4670
ТЗВ-220-2У3	220000	258800	15,75	УУ	0,1906	—	—	8010
ТЗВ-320-2У3	320000	376500	20	УУ	0,175	—	—	12100
ТЗВ-800-2У3	800000	888900	24	УУ	0,27	—	—	30000
ТЗВ-1000-2У3)	1000000	1111000	24	УУ	0,265	—	—	38000
ТЗВ-1000-4У3 (1500 об/м)	1000000	1111000	24	УУ	0,29	—	—	38500
ТЗВ-1200-2У3	1200000	1330000	24	УУУУ	0,248	0,358	2,418	45600

Турбогенераторы НПО «Элсиб»[10]

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТВМ-160-2	160000	188200	18	Y	0,198	0,294	1,995	7000
ТВМ-320-2У3	320000	353000	20	Y	0,223	0,352	2,11	11500
ТВМ-500-2У3	500000	588200	36,75	Y	0,261	0,701	2,43	18000
ТФ-25-2	31250	25000	6,3/10,5	Δ/Y	0,128	0,3	2,01	–
ТФ-32-2	40000	32000	6,3/10,5	Δ/Y	0,11	0,241	2,4	–
ТФ-60-2	62500	60000	6,3/10,5	Δ Δ/Y Y	0,18	0,156	2,3	–
ТФ-63-2	78750	63000	6,3/10,5	Δ Δ/Y Y	0,13	0,19	2,3	–
ТФ-90-2	100000	90000	6,3/10,5	Δ Δ/Y Y	0,15	0,18	2,4	–
ТФ-110-2	137500	110000	10,5	YY	0,18	0,23	2,7	–
ТФ-160-2	188200	160000	15,75	YY	0,16	0,218	2,50	–

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ (F = 50 ГЦ)

Таблица 3.1

Тип генератора	Мощность, кВт	Коэффициент мощности	Напряжение, В	Частота вращения, об/мин	Реактивность X_d , о.е.	Схема соединения обмоток
СГДМ-11-40-6У2	325	0,8	400	1000	0,148	Y_0
СГДМ-11-46-4У2	500	0,8	400	1500	0,161	Y_0
СГДМ-11-42-4У2(4У3)	630	0,8	400	1500	0,159	Y_0
СГДС-15-54-8 УХЛ4	1000	0,8	10500	750	0,176	Y
СГДС-15-54-8 УХЛ4	1600	0,8	6300	750	0,15	Δ
СГДВ-15-74-8М УХЛ4	2000	0,8	6300	750	0,161	Y
ГС-600-1500-УХЛ2	600	0,8	400	1500	0,152	Y_0
ГС-315-1500-УХЛ2	315	0,8	400	1500	0,16	Y
ГС-600-1500-УХЛ2	600	0,8	400	1500	0,152	Y_0
ГСД-800-750-УХЛ4	800	0,8	6300	750	0,201	Y
ГСД-1600-1000-УХЛ2	1600	0,8	10500	1000	0,135	Y
ГСД-2500-1000-УХЛ2	2500	0,8	6300	1000	0,148	Y
СВГД-4000-6ТЗ *	4000	0,8	6300	1000	0,22	$\Delta(Y)$
СВГД-5600-6ТЗ *	5600	0,8	6300	1000	0,224	$\Delta(Y)$
СВГД-6300-6ТЗ *	6300	0,8	6300	1000	0,23	$\Delta(Y)$

* Используются на АЭС в качестве агрегатов надежного питания собственных нужд.

4. ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПЕРВИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

Трехфазные синхронные генераторы разных мощностей, разных систем охлаждения, разного конструктивного исполнения имеют разные схемы соединения фазных обмоток, разное количество выводов отдельных фаз, разные системы возбуждения.

В их цепях в зависимости от структурных схем выдачи мощности генераторные выключатели и разъединители могут устанавливаться или не устанавливаться.

В цепях генераторов выключатели устанавливаются в случае присоединения их к сборным шинам генераторного напряжения.

В блочных схемах выключатели устанавливаются, если генераторы соединяются с трехобмоточными трансформаторами или автотрансформаторами, в укрупненных и обобщенных блоках, а также в случае, если отпайкой от блока питается нагрузка на напряжении 6–10 кВ.

Установка генераторных выключателей в других случаях должна быть обоснована технико-экономически.

Примеры схем принципиальных первичных цепей турбогенераторов электростанций приведены на рис. 1, 2.

На рис. 1 приведены схемы цепей турбогенераторов мощностью до 60 МВт. Фазные обмотки их могут соединяться звездой (Y) или треугольником (Δ). Измерительные трансформаторы тока устанавливаются в линейных и нулевых выводах фазных обмоток. Трансформаторы напряжения подключаются к линейным выводам фаз. Чаще всего при этом могут использоваться один трехфазный трансформатор типа НАМИ и один, составленный из трех однофазных ($3 \times$ НОМ). Измерительные трансформаторы напряжения подключаются к выводам через разъединители и предохранители.

Если первичным двигателем генератора является газовая турбина, то для пуска агрегата может применяться тиристорное пусковое устройство (ТПУ), питающее при пуске агрегата статорную обмотку генератора переменным током регулируемой частоты. ТПУ подключается через специальный трансформатор, запитанный от секции собственных нужд генератора (на рис. 1а показано штриховыми линиями).

Если генератор оборудуется тиристорной системой самовозбуждения, то трансформатор питания этой системы (ТЕ) подключается к выводам генератора как показано на рис. 2а.

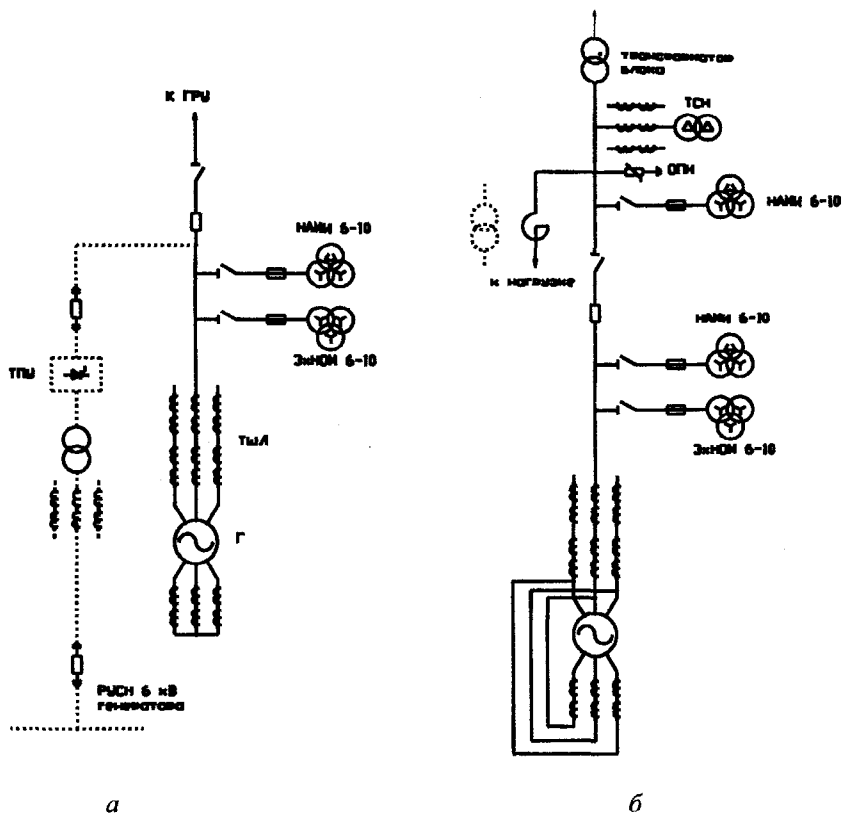


Рис. 1:

- a* – для генераторов со схемой соединения фазных обмоток Y ($P_r < 60$ МВт)
б – для генераторов со схемой соединения обмоток Δ ($P_r < 60$ МВт)

Генераторы большой мощности (≥ 60 МВт) в большинстве случаев имеют фазные обмотки, выполненные двумя параллельными ветвями. Каждая из ветвей соединяется звездой или треугольником и звезды между собой объединяются через трансформатор тока (рис. 2).

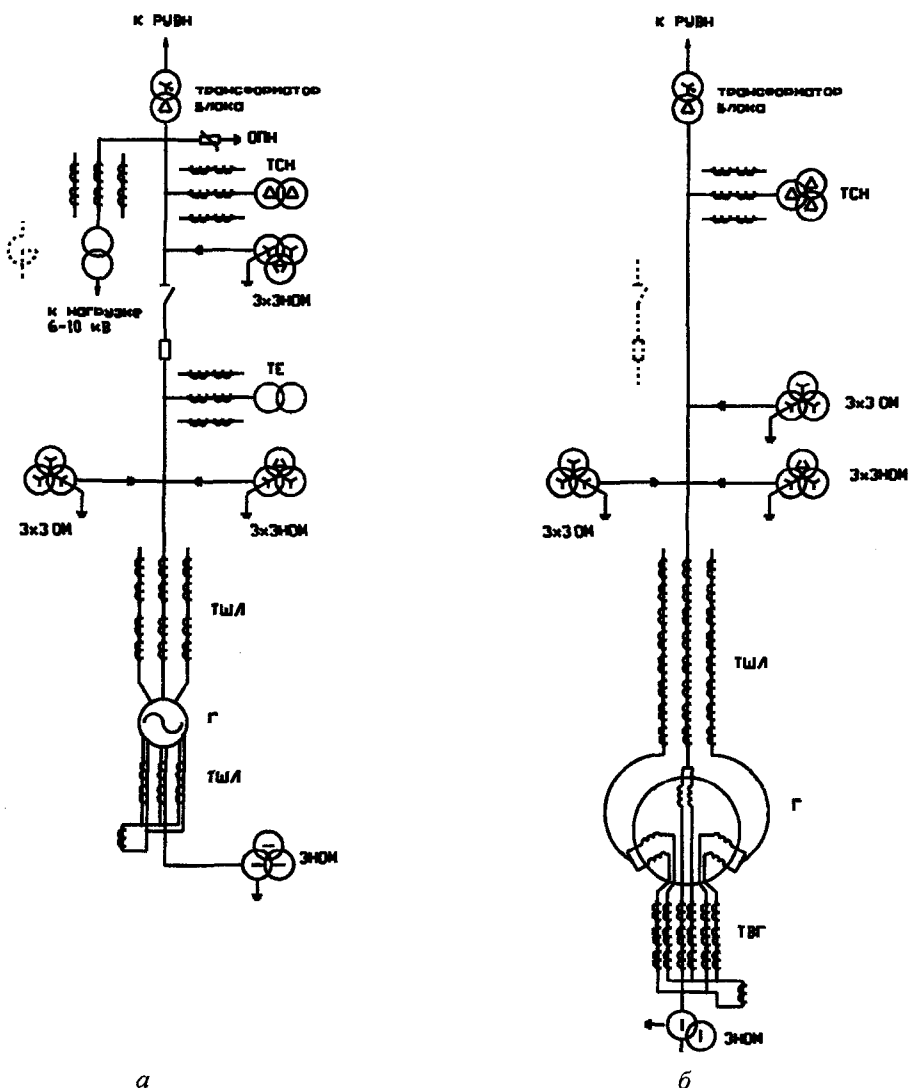


Рис. 2:

а – для генераторов 60–200 МВт с системой самовозбуждения и питанием нагрузки отпажкой от блока; б – для блочных генераторов 300–1200 МВт с системой независимого тиристорного возбуждения (место установки при необходимости выключателя показано пунктирными линиями)

Соединение генераторов с шинами генераторного распределительного устройства (ГРУ) или с блочными трансформаторами выполняется комплектными пофазно-экранированными токопроводами. Измерительные трансформаторы тока линейных выводов фаз встраиваются в токопровод, а в нулевых выводах – могут быть встроенными в токопровод или в корпус генератора. В случае установки их в токопроводе первичной обмоткой являются шины одной фазы обеих ветвей фазных обмоток генератора (рис. 2). Встроенные в нулевые выводы генератора трансформаторы тока устанавливаются в каждом выводе и могут иметь две или три вторичные обмотки (рис. 2б).

Трехфазные измерительные трансформаторы напряжения состоят из трех однофазных трансформаторов с заземленной первичной обмоткой (ЗНОМ, ЗОМ).

Подключаются трансформаторы напряжения к фазам токопровода через втычные разъемы.

В блочной схеме генератор-двухобмоточный трансформатор при необходимости устанавливается генераторный выключатель. Место его установки показано на рис. 2б пунктирными линиями.

5. ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Для включения и отключения генераторов в их цепях устанавливаются специальные выключатели – генераторные выключатели. Их особенностью является:

- большие номинальные токи;
- высокое содержание апериодической составляющей в токе отключения;
- большие значения параметров восстанавливающегося напряжения на контактах;
- коммутация в режимах рассогласования фаз при ошибках во время синхронизации, при выпадении генератора из синхронизма, при работе защиты от потери возбуждения и др.;
- высокие требования к механическому и коммутационному ресурсу.

В наибольшей степени соответствуют всем техническим требованиям элегазовые генераторные выключатели фирм АBB и AREVA. Но эти выключатели изготавливаются на большие токи и предназначены для генераторов мощностью свыше 200 МВт. Для генераторов меньшей мощности продолжают использоваться маломасляные генераторные выключатели серии МГТ-10, МГУ и др., хотя эти выключатели технически устарели. Появившиеся в последнее время вакуумные генераторные выключатели хотя и широко рекламируются, но опыта эксплуатации не имеют, и их следует применять с осторожностью.

Фирмой АBB и AREVA изготавливаются генераторные выключатели и специальные генераторные комплексы (элегазовые генераторные распределительные устройства – ЭГРУ). В состав ЭГРУ входят: выключатель, разъединитель, заземляющие ножи, измерительные трансформаторы тока, устройства защиты от перенапряжений, конденсаторы, разъединитель для подключения тиристорного пускового устройства (для газотурбинных генераторов). И хотя такое решение является наиболее технически совершенным, однако стоимость такого комплекса практически в 2 раза превышает стоимость отдельной установки того же оборудования. Кроме того, такие комплексы имеют только два встроенных трансформатора тока с двумя или тремя сердечниками, мощности которых невелики. В результате для питания вторичных цепей защит и устройств автоматики, принятых в республике приходится дополнительно уста-

навливать трансформаторы тока, чем еще больше удорожается установка комплекса.

В этой связи генераторные комплексы целесообразно устанавливать только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Технические данные современных генераторных выключателей приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Технические данные генераторных выключателей

Изготовитель	Тип выключателей	$U_{\text{НОМ}}$ KV	$I_{\text{НОМ}}$ КА	$I_{\text{НОМ.ОТК}}$ КА	$\beta = \frac{i_a}{\sqrt{2}I_{\text{НОМ.ОТК}}}, \%$	Предельный сквозной ток $i_{\text{СКВ}}$, КА	Номинальный ток включения $i_{\text{ВКЛ}}$, КА	Ток термической стоимости $I_{\text{T}}/t_{\text{T}\infty}$ КА/С
Фирма АВВ	HEG1	12	8,5	63	75	160	63	63/1
	HEGC3	18	7,7	63	75	160	63	63/1
	HEC3/4	24	12	100	75	300	300	100/1
	HEC5/6	24	13	120	75	360	360	120/1
	HEC4/6 генерат.компл.	24	13/24 с принуд.охл.	120	75	360	360	120/1
	HEC7/8 генерат.-компл.	36	24/38 с принуд.охл.	160/1200	75	360	360	160/1 200/1
	HEC1	12	7,2	63	75	160	63	63/1
Фирма AREVA	FKG1	27,5	24	120	75	300	120	120/1
	FKG2	24	9,5	63	76	160	63	63/1
	PKG	36	17/50 с при- нуд. охл.	275	75	500	275	275/1
Концерн высоко- вольтный союз	МГТ-10	10	3,2; 4,0; 5,0	45	10	120	45	45/3
	МГУ-20	20	6,3; 9,5 (с принуд. охл.)	90	10	300	90	105/3
	ВГМ-15	15	11,2	90	-	320	90	105/3
	ВГТ-10 (вакуумный)	10	4,0 5,0	63	-	160	63	63/3
	МГТ-10	10	3,15 4,00 5,6	90	-	160	90	90/3

6. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ И СИЛОВЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ

Электрическое соединение генераторов с распреустройствами и силовыми трансформаторами может быть выполнено жесткими, гибкими и комплектными токопроводами. Обычно жесткие и гибкие токопроводы применяются для генераторов до 60–100 МВт. Рекомендации по их расчету и выполнению приведены в [5].

При мощности генераторов больше 25–60 МВт соединение генераторов с повышающими трансформаторами осуществляется комплектными пофазно-экранированными токопроводами. Токопроводы выполняются с электронепрерывными экранами и включают в себя монтажные блоки нулевых выводов генераторов, блоки линейных выводов, размещаемые в машинном зале и предусматривающие возможность установки генераторного выключателя и разъединителя; блоки содержащие измерительные трансформаторы тока и напряжения; блоки открытой части токопровода с отпайками к трансформатору СН; блоки подсоединения токопроводов к трансформаторам. Охлаждение токопроводов до 15 кА естественное воздушное, при больших токах – принудительное воздушное.

Завод ОАО «Мосэлектрощит» изготавливает пофазно-экранированные токопроводы серий ТЕНЕ и ТЭНП – токопроводы генераторные, пофазно-экранированные с электронепрерывными экранами, с естественным (Е) или принудительным (П) охлаждением. По заказу токопроводы могут быть укомплектованы блоками с генераторными выключателями разных типов, встроенными: тороидальными трансформаторами тока типов ТШ, ТШВ, ТШЛ, ТШЛО, ТПОЛ и др.; трансформаторами напряжения ЗНОЛ, ЗНОЛП и др.; разрядниками или ОПН, разъединителями типов РВПЗ-2, РВРЗ-2, РВРЗ-16, РР43-2 с приводами; проходными изоляторами ИП и др.

Технические данные генераторных токопроводов приведены в табл.6.1, 6.2 [6].

Таблица 6.1

Токопроводы комплектные пофазно-экранированные генераторного напряжения
ОАО «Завод Электрощит» (г. Москва)

Типы токопроводов	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Ток электродинамической стойкости, кА	Ток термической стойкости кА (t = 3 сек)	Удельные потери на фазу при номинальном токе, Вт/пог.м
1	2	3	4	5	6
ТЭНЕ-6-2000-128 УХЛ1	6	2000	128	50	70
ТЭНЕ-6-3150-128 УХЛ1	6	3150	128	50	170
ТЭНЕ-10-3150-128 УХЛ1	10	3150	128	50	160
ТЭНЕ-10-4000-250 УХЛ1	10	4000	250	100	240
ТЭНЕ-10-4000-300 УХЛ1	10	4000	300	120	240
ТЭНЕ-10-5000-250 УХЛ1	10	5000	250	100	370
ТЭНЕ-10-5500-375 УХЛ1	10	5500	375	150	370
ТЭНЕ-10-6000-300 УХЛ1	10	6000	300	120	450
ТЭНЕ-10-6000-575 УХЛ1	10	6000	375	230	450
ТЭНЕ-10-6300-250 УХЛ1	10	6300	250	100	490
ТЭНЕ-20-1000-375 УХЛ1	20	1000	375	150	20
ТЭНЕ-20-1600-375 УХЛ1	20	1600	375	150	40
ТЭНЕ-20-1600-560 УХЛ1	20	1600	560	220	30
ТЭНЕ-20-1800-560 УХЛ1	20	1800	560	220	40
ТЭНЕ-20-2000-375 УХЛ1	20	2000	375	150	70
ТЭНЕ-20-2000-560 УХЛ1	20	2000	560	220	50
ТЭНЕ-20-2500-900 УХЛ1	20	2500	900	360	80
ТЭНЕ-20-3150-128 УХЛ1	20	3150	128	50	150
ТЭНЕ-20-5000-250 УХЛ1	20	5000	250	100	330
ТЭНЕ-20-5000-375 УХЛ1	20	5000	375	150	330

Продолжение табл. 6.1

1	2	3	4	5	6
ТЭНЕ-20-5500-375 УХЛ1	20	5500	375	150	400
ТЭНЕ-20-6300-300 УХЛ1	20	6300	300	120	320
ТЭНЕ-20-7200-300 УХЛ1	20	7200	300	120	420
ТЭНЕ-20-8000-300 УХЛ1	20	8000	300	120	520
ТЭНЕ-20-9000-300 УХЛ1	20	9000	300	120	650
ТЭНЕ-20-10000-300 УХЛ1	20	10000	300	120	720
ТЭНЕ-20-11250-400 УХЛ1	20	11250	400	160	800
ТЭНЕ-20-12500-400 УХЛ1	20	12500	400	160	850
ТЭНЕ-20-15000-560 УХЛ1	20	15000	560	220	830
ТЭНЕ-20-1600-560 УХЛ1	20	16000	560	220	880
ТЭНЕ-20-20000-560 УХЛ1	20	20000	560	220	1390
ТЭНЕ-20-22000-600 УХЛ1	20	22000	600	240	1370
ТЭНЕ-24-2000-750 УХЛ1	24	2000	750	300	40
ТЭНЕ-24-3150-750 УХЛ1	24	3150	750	300	100
ТЭНЕ-24-3150-900 УХЛ1	24	3150	900	360	100
ТЭНЕ-24-10000-560 УХЛ1	24	10000	560	220	730
ТЭНЕ-24-18000-560 УХЛ1	24	18000	560	220	1300
ТЭНЕ-24-20000-560 УХЛ1	24	20000	560	220	1470
ТЭНЕ-24-24000-560 УХЛ1	24	24000	560	220	2100
ТЭНЕ-27-5000-750 УХЛ1	27	5000	750	300	240
ТЭНЕ-27-20000-560 УХЛ1	27	20000	560	220	1380
ТЭНЕ-35-1000-300 УХЛ1	35	1000	300	120	50
ТЭНЕ-35-3150-750 УХЛ1	35	3150	750	300	100
ТЭНЕ-35-9000-300 УХЛ1	35	9000	300	120	540
ТЭНЕ-35-10000-300 УХЛ1	35	10000	300	120	670
ТЭНЕ-35-20000-560 УХЛ1	35	20000	560	220	1380

Окончание табл. 6.1

1	2	3	4	5	6
ТЭМП-24-18700-560 Т1	24	18700	560	220	—
ТЭМП-24-23500-560 Т1	24	23500	560	220	—
ТЭМП-24-24000-560 УХЛ1	24	24000	560	220	—
ТЭМП-24-29500-560 Т1	24	29500	560	220	—
ТЭМП-24-31500-560 УХЛ1	24	31500	560	220	—
ТЭМП-24-33000-600 УХЛ1	24	33000	600	240	—

Таблица 6.2

Токопроводы комплектные пофазно-экранированные генераторного напряжения
ОАО «Завод Электропульт» (Санкт-Петербург)

Тип токопровода	Номинальное напряжение, кВ	Номинальный ток, А	Стойкость, электродинамическая, кА
ТЭКНЕ-ЭП-6-2000-128 УХЛ1,Т1	6	2000	128
ТЭКНЕ-ЭП-6-3150-128 УХЛ1,Т1	6	3150	128
ТЭКНЕ-ЭП-10-3150-128 УХЛ1,Т1	10	3150	128
ТЭКНЕ-ЭП-10-4000-250 УХЛ1,Т1	10	4000	250
ТЭКНЕ-ЭП-10-5000-250 УХЛ1,Т1	10	5000	250
ТЭКНЕ-ЭП-10-6300-250 УХЛ1,Т1	10	6300	250
ТЭКНЕ-ЭП-20-1600-375 УХЛ1,Т1	20	1600	375
ТЭКНЕ-ЭП-20-1600-560 УХЛ1,Т1	20	1600	560
ТЭКНЕ-ЭП-20-1800-560 УХЛ1,Т1	20	1800	560
ТЭКНЕ-ЭП-20-2000-375 УХЛ1,Т1	20	2000	375
ТЭКНЕ-ЭП-20-2000-560 УХЛ1,Т1	20	2000	560
ТЭКНЕ-ЭП-20-5500-375 УХЛ1,Т1	20	5500	375
ТЭКНЕ-ЭП-20-6300-300 УХЛ1,Т1	20	6500	300
ТЭКНЕ-ЭП-20-8000-300 УХЛ1,Т1	20	8000	300
ТЭКНЕ-ЭП-20-10000-300 УХЛ1,Т1	20	10000	300
ТЭКНЕ-ЭП-20-11250-400 УХЛ1,Т1	20	11250	400
ТЭКНЕ-ЭП-20-16000-560 УХЛ1,Т1	20	16000	560
ТЭКНЕ-ЭП-20-16000-560 УХЛ1,Т1	20	16000	560
ТЭКНЕ-ЭП-20-20000-560 УХЛ1,Т1	20	20000	560

7. СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ

7.1. Системы возбуждения турбогенераторов

Для питания обмоток возбуждения турбогенераторов изготавливаются следующие типы систем возбуждения:

- системы тиристорные самовозбуждения – СТС;
- системы тиристорные независимые – СТН;
- системы диодные независимые – СДН;
- системы бесщеточные диодные – СБД;
- системы тиристорные самовозбуждения реверсивные – СТСР;
- системы возбуждения резервных электромашинных агрегатов – СВР.

Все системы возбуждения комплектуются современной преобразовательной и коммутационной аппаратурой, микропроцессорными системами регулирования, управления и защиты. Основное исполнение систем – двухканальное со 100 % резервированием преобразовательно-регулирующей части.

По требованию заказчика системы возбуждения могут быть оснащены одноканальными тиристорными преобразователями и двухканальными автоматическими регуляторами возбуждения.

Питание тиристорного преобразователя в системах СТС осуществляется от возбуждательного трансформатора ТЕ, подключенного к выводам обмотки статора генератора (рис. 4 и рис. 2а). Системы независимого возбуждения (СТН, СДН, СБД) питаются от вспомогательного генератора (возбудителя) соединенного с валом ротора основного генератора (рис. 5, 6 и рис. 1, 2б).

Системы возбуждения обеспечивают следующие режимы работы генераторов:

- начальное возбуждение;
- холостой ход;
- включение в сеть методом точной синхронизации или самосинхронизации;
- работу в энергосистеме с нагрузками и перегрузками в соответствии с диаграммой мощности генератора;
- форсировку возбуждения с заданной кратностью по напряжению и току;
- разгрузку по реактивной мощности до значения $\cos \varphi = 1$;

– развозбуждение при нарушениях в энергосистеме (с отрицательным потолочным напряжением не ниже 75 % положительного потолочного напряжения);

– гашение поля генератора;

– электрическое торможение агрегата.

В системах возбуждения предусматриваются следующие защиты:

– цепей ротора от замыкания на землю;

– цепей ротора от перенапряжений (посредством тиристорного разрядника FV);

– от перегрузки обмотки ротора (с интегральной характеристикой срабатывания);

– от недопустимой длительности форсировки;

– от короткого замыкания на шинах постоянного тока;

– от повышения напряжения генератора на холостом ходу;

– от потери возбуждения;

– при пробое диодов вращающегося выпрямителя бесщеточных систем;

– максимально токовая защита, токовая отсечка, токовая дифзащита выпрямительного трансформатора и др.

Большинство этих защит выполнена в отдельном двухканальном микропроцессорном устройстве, на аналогичной автоматическому регулятору возбуждения программно-аппаратной основе [1, 2].

На рис. 3 приведена структурная схема тиристорной системы самовозбуждения. В схеме используются следующие обозначения: AVR – автоматический регулятор возбуждения; КМ – контактор начального возбуждения; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; UE – устройство начального возбуждения; TE – выпрямительный трансформатор; ТА, TV – измерительные трансформаторы тока и напряжения генератора (G).

На рис. 4 приведена структурная схема тиристорной независимой системы возбуждения. Она обладает важным преимуществом – ее параметры не зависят от процессов, протекающих в энергосистеме поскольку тиристорный выпрямитель генератора получает питание от вспомогательного синхронного генератора (GE), вращающегося на одном валу с главным генератором.

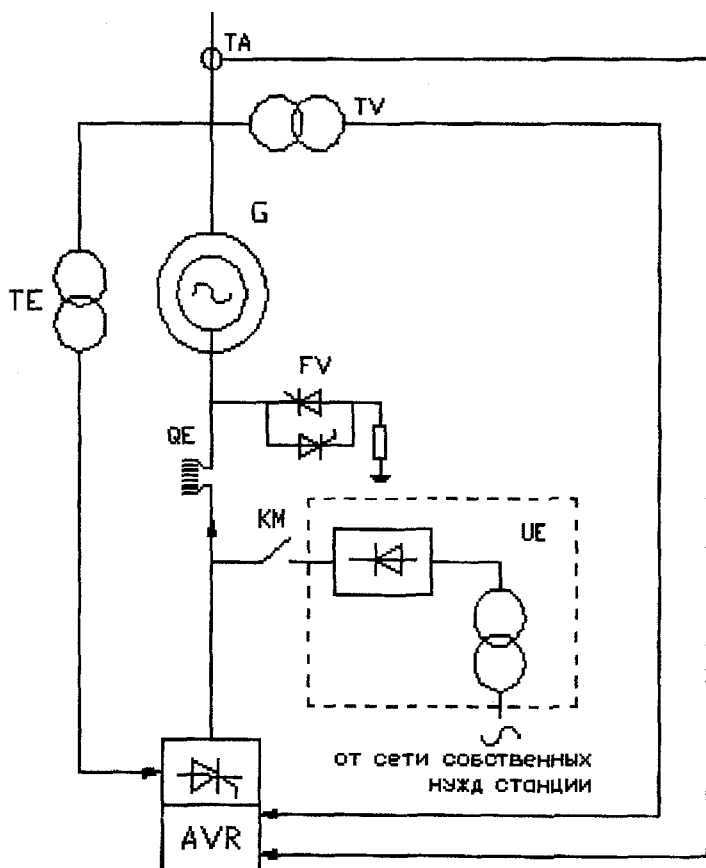


Рис. 3. Структурная схема системы тиристорного самовозбуждения

На рис. 5 приведена структурная схема системы бесщеточной диодной с тиристорным возбуждением возбудителя.

Бесщеточный возбудитель представляет собой синхронный генератор обращенного типа, якорь которого с обмоткой трехфазного переменного тока и диодным выпрямителем жестко соединен с ротором турбогенератора. Обмотка возбуждения возбудителя расположена на статоре возбудителя.

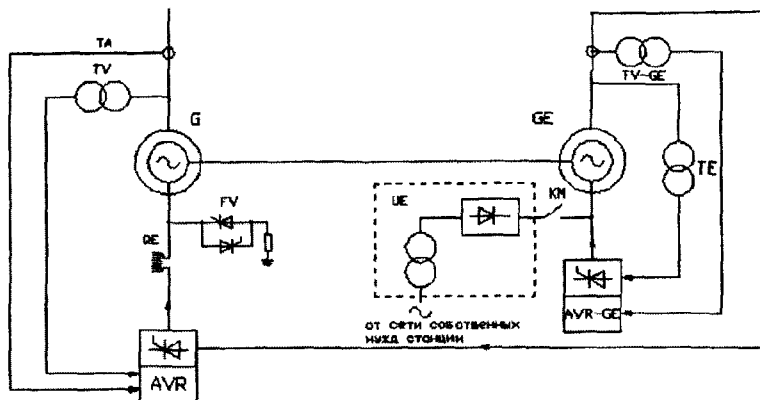


Рис. 4. Структурная схема тиристорной независимой системы возбуждения: AVR – GE – автоматический регулятор возбуждения вспомогательного генератора; TV – GE – измерительный трансформатор напряжения вспомогательного генератора

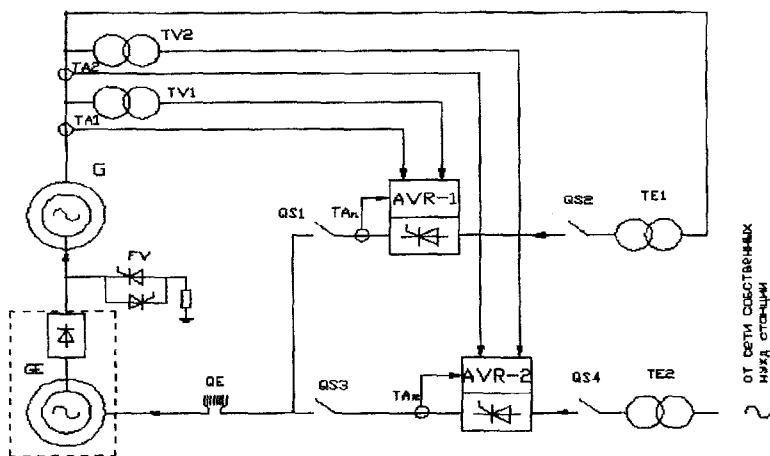


Рис. 5. Структурная схема бесщеточной диодной схемы с тиристорным возбуждением возбудителя: AVR – 1, AVR – 2 – автоматические регуляторы возбуждения основного и резервного каналов; QS1, QS2, QS3, QS4 – разъединители; TA1, TA2 – датчики тока возбуждения возбудителя; TE1, TE2 – выпрямительные трансформаторы

7.2. Системы возбуждения дизельных генераторов

Дизельные генераторы оснащаются системами смешанного самовозбуждения (статическими диодно-тиристорными, в которых осуществляется токовое компаундирование (с электрическим или магнитным суммированием напряжения и тока статора)) или бесщеточными диодными с магнитоэлектрическими подвозбудителями (рис. 6).

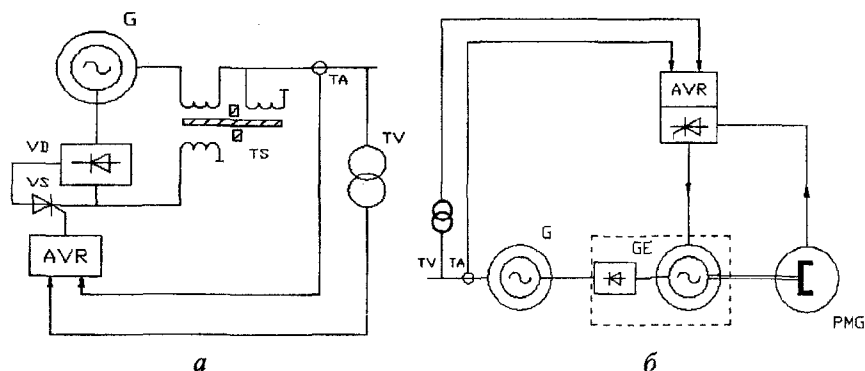


Рис. 6. Система возбуждения дизельных генераторов:

а – статическая система смешенного самовозбуждения; *б* – бесщеточная диодная система; TS – трехобмоточный суммирующий трансформатор с магнитным шунтом; VS – тиристор; PMБ – магнитно-электрический подвозбудитель; VD – диодный выпрямитель

По данным референц-листов ОАО «Электросила» за период с 1988 по 2008 г. на работающих в разных странах мира 210 электростанциях с системой возбуждения СТС работают 78 генераторов, с системой СТН – 67, с системой СБД – 57, с системой СТСР – 17 генераторов. Мощности генераторов различны от 15 до 1200 МВт. Следовательно, все системы возбуждения генераторов до 800 МВт используются в равной мере. И только для генераторов мощностью 800 МВт и более применяется исключительно система СБД.

8. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ

8.1. Защита генераторов работающих на сборные шины

Генераторы, работающие на сборные шины имеющие мощность более 1 МВт и номинальное напряжение более 1 кВ согласно ПУЭ должны иметь следующий набор защит:

- 1) от многофазных замыканий в обмотке статора;
- 2) от однофазных замыканий на землю в обмотке статора;
- 3) от двойных замыканий на землю, одно из которых в статоре генератора;
- 4) от витковых замыканий в обмотке статора;
- 5) от внешних КЗ;
- 6) от перегрузки токами обратной последовательности (генераторы более 30 МВт);
- 7) от симметричной перегрузки статора;
- 8) от перегрузки ротора (для генераторов с непосредственным охлаждением проводников);
- 9) от первого или второго замыкания на землю в обмотке ротора;
- 10) от асинхронного режима с потерей возбуждения.

На генераторах 1 МВт и менее требуется установка защит по пунктам 1, 2, 3, 5, 7.

Защиты статора и ротора выполняются раздельно. При этом могут использоваться группы электромеханических или микропроцессорных реле (устройств), включающих в себя набор элементов, требующихся для осуществления конкретных защит.

В настоящей работе рассматриваются только защиты, выполненные на микропроцессорных реле.

При срабатывании защит от внутренних повреждений генератора они действуют на отключение генераторного выключателя, автомата гашения поля возбуждения (АГП) и останов турбины.

Защиты от внешних коротких замыканий (КЗ) действуют на отделение секции шин генераторного распределительного устройства (ГРУ) к которой подключен генератор с одной (меньшей) выдержкой времени, а с другой (большей) – на отключение генератора.

Отключение генератора предусматривается и при срабатывании технологических защит турбины, так же дифзащиты секции шин ГРУ.

При выполнении защиты генераторов с помощью микропроцессорных реле необходимо чтобы при неисправности одного устройства или потере его оперативного тока оставшиеся в работе обеспечивали защиту с достаточным быстродействием при всех видах повреждений. Поэтому защиты разносятся по разным реле – применяется полное или частичное дублирование. Для мощных генераторов применяется полное дублирование, для малой и средней мощности – частичное. При этом необходимо питание взаиморезервируемых реле осуществлять от разных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН).

Если питание реле оперативным током осуществляется от одной аккумуляторной батареи – то разные реле подключаются к разным шинкам оперативного тока через отдельные автоматические выключатели.

При наличии на выключателе двух соленоидов отключения – каждое реле действует на отдельный соленоид.

При отказе в отключении генераторного выключателя предусматривается устройство резервирования отказа выключателя (УРОВ). УРОВ действует с выдержкой времени и производит отключение выключателей всех источников питания секции шин ГРУ, к которой подключен генератор с отказавшим выключателем.

Защиты ротора и регулирование возбуждения генератора в настоящее время выполняются отдельными микропроцессорными устройствами, поставляемыми фирмами изготовителями генераторов. Завод «Электросила» комплектует системы возбуждения устройством AVR и блоком защиты ротора типа МУЗА. Лысьвенский турбогенераторный завод комплектует системы возбуждения автоматическими цифровыми регуляторами напряжения типа КОСУР.

На рис. 7 приведена схема расстановки защитных устройств фирмы ALSTOM и распределение их по измерительным трансформаторам для защиты генераторов мощностью 60 МВт [8].

Генератор подключен к сборным шинам ГРУ через генераторный выключатель. Схема соединения обмотки статора – звезда (или треугольник). Генератор оборудован косвенной системой охлаждения.

Измерительные ТТ установлены в каждой фазе и соединены «звездой». На рис. 7 и других рисунках раздела условно показаны ТТ в одной фазе.

Защита от замыканий на землю обмотки статора генератора выполнена с использованием трансформатора тока нулевой последовательности (ТНП). Комплект КЗР-2 не подключен и включается при замыкании на землю в роторе.

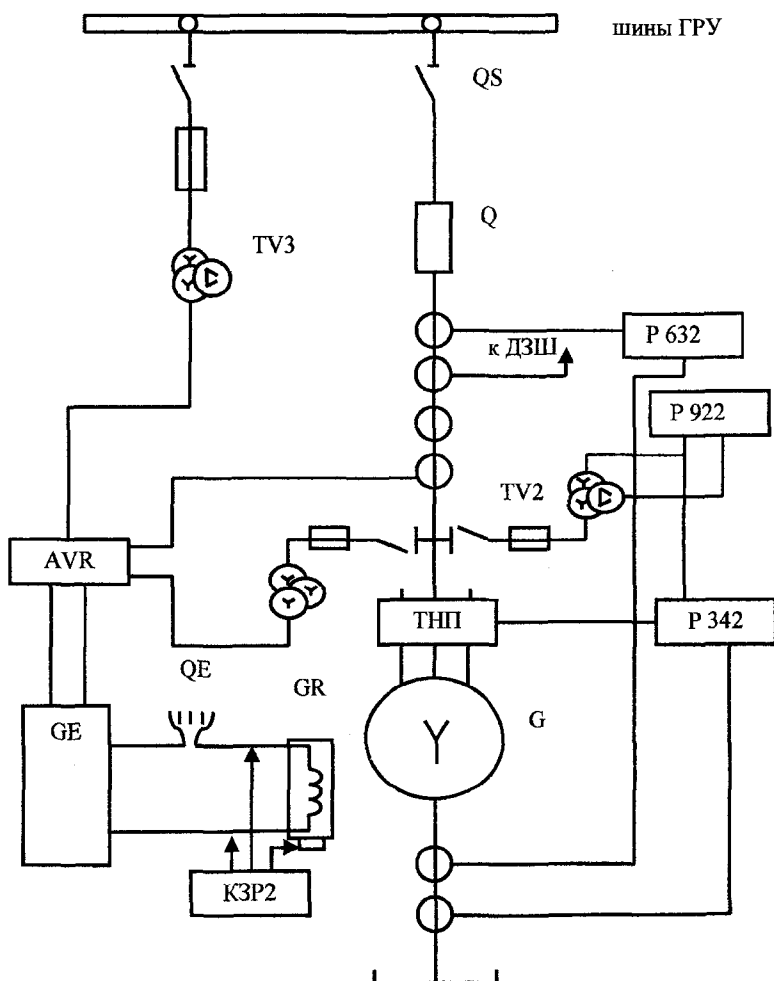


Рис. 7. Расстановка защитных устройств типа МІСОМ для генератора мощностью до 60 МВт: AVR – автоматический регулятор возбуждения; GE – возбудитель генератора; GR – ротор генератора; QE – автомат гашения поля ротора

Выполняемые функции используемых реле серии MICOM указаны в табл. 8.1

Таблица 8.1

Тип или серия устройства	Выполняемая функция	Примечание
MICOM P631	Дифференциальная защита генераторов. УРОВ	
MICOM P342	МТЗ с блокировкой по напряжению. Защита статора от замыканий на землю. Защита статора от двойных замыканий на землю. Защита от перегрузки. Токовая защита обратной последовательности. Защита обратной мощности. Форсировка возбуждения. Защита от повышения напряжения. УРОВ	Может быть реализована дистанционная защита и защита от асинхронного режима. Защита от замыканий на землю выполняется с помощью трансформатора тока нулевой последовательности (ТНП)
MICOM P922	Блокировка по напряжению МТЗ, форсировка возбуждения	
КЗР-2	Защита от второго замыкания на землю в роторе	Переносной комплект, подключаемый при замыкании на землю в одной точке к выводам и валу ротора
AVR	Начальное возбуждение. Синхронизация (точная и самосинхронизация). Регулирование напряжения по ПИД-закону. Ограничение токов ротора и статора по величине и времени. Ограничение минимального возбуждения в режиме недо возбуждения. Стабилизация колебаний мощности генератора при аварийных качаниях в энергосистеме	

На рис. 8 приведена схема расстановки защитных реле и распределение их по измерительным трансформаторам для защиты генератора 60 МВт и более.

Выполняемые функции конкретных реле перечисляются в табл. 8.2

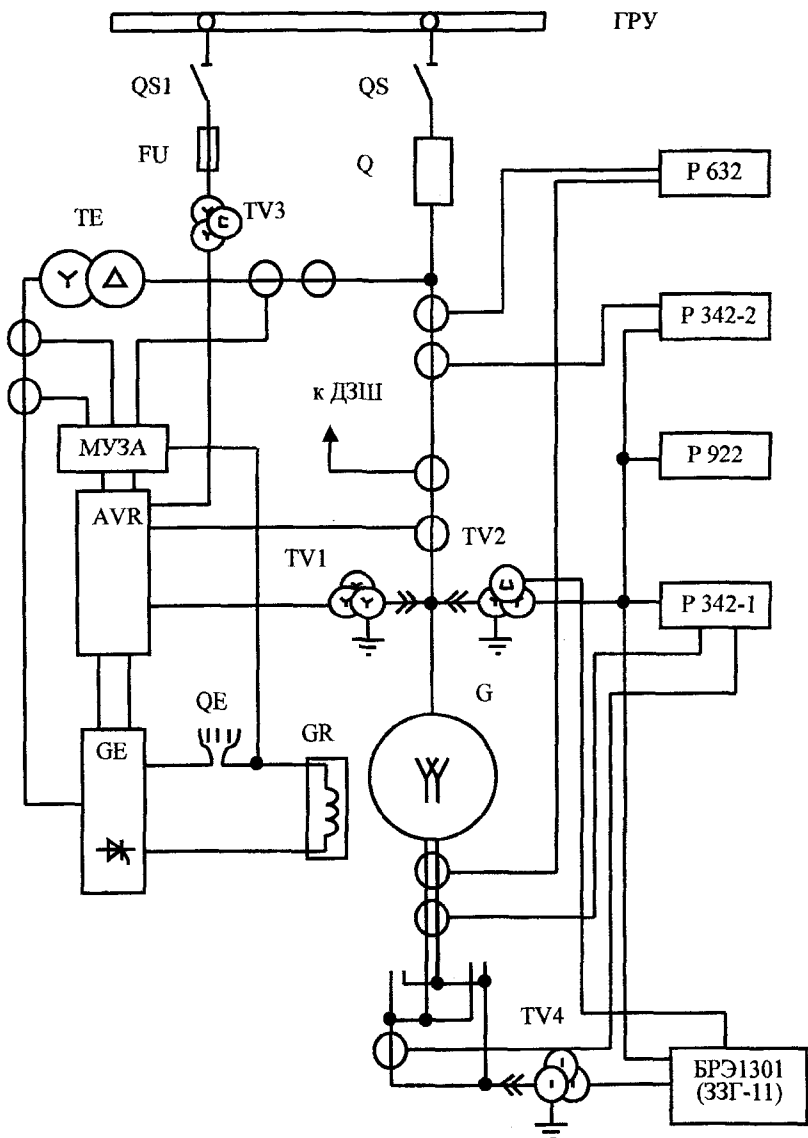


Рис. 8. Расстановка защитных устройств типа MICOM для защиты генератора мощностью 60 МВт и более

Таблица 8.2

Тип устройства	Выполняемые функции	Примечания
МІСОМ Р632	Дифференциальная защита. УРОВ	
МІСОМ Р342-1	МТЗ с блокировкой по напряжению. Поперечная дифзащита. Защита от перегрузки по току статора. Токовая защита обратной мощности. Форсировка возбуждения	МТЗ выполнено с блокировкой по напряжению обратной последовательности
МІСОМ Р342-2	Дистанционная защита генератора. Защита от перегрузки с тепловой характеристикой. Токовая защита обратной мощности	
МІСОМ Р922	Блокировка по напряжению МТЗ. Защита от повышения напряжения генератора. Блокировка регулятора турбины по частоте. Форсировка возбуждения	Форсировка возбуждения выполняется по снижению напряжения прямой последовательности
БРЭ 1301 (ЗЗГ-11)	Защита от замыканий на землю обмотки статора	
AVR	Начальное возбуждение. Синхронизация. Регулирование напряжения генератора. Ограничение токов ротора и статора по величине и времени. Ограничение минимального возбуждения в режиме недо возбуждения. Стабилизация колебаний мощности генератора при аварийных качаниях в энергосистеме	Может использоваться точная или самосинхронизация
МУЗА	Защита ротора от замыканий на землю. Защита ротора от перегрузки с интегральной характеристикой. Защита от недопустимой длительности форсировки возбуждения. Защита от коротких замыканий в цепях возбуждения. МТЗ, токовая отсечка и дифзащита выпрямительного трансформатора(ТЭ). Защита от превышения допустимой температуры выпрямительного трансформатора(ТЭ). Защита от повышения напряжения генератора на холостом ходу. Защита от потери возбуждения генератора. Защита от асинхронного хода	

Генератор имеет две параллельные ветви обмотки статора и оборудован системой непосредственного охлаждения. Применена тиристорная система самовозбуждения (СТС). Трансформатор системы возбуждения (ТЭ) подключён к выводам статора генератора до генераторного выключателя. Автоматический регулятор возбуждения (AVR) и устройство защит системы возбуждения (МУЗА) – производства завода «Электросила». Кроме микропроцессорных реле серии МІСОМ для защиты обмотки статора от замыканий на землю применено блок-реле БРЭ 1301 исполнения 33Г-11. Применено частичное дублирование защит.

Выполняемые функции конкретных реле перечисляются в табл. 8.2.

Защита генераторов, работающих на сборные шины, может быть выполнена и по типовым решениям ООО «АББ Автоматизация» г. Чебоксары [9]. Этой фирмой разработаны комплектные шкафы защит генераторов (ШЭЗГ) с применением микропроцессорных реле (терминалов) серии REX 316*4, REG 216, REX5XX, SPACOM. Одновременно шкафы являются устройствами нижнего уровня АСУ ТП.

Для защит генераторов до 32 МВт включительно применяются шкафы серии ШЭЗГ11XX. Генераторы более 32 МВт защищаются шкафами ШЭЗГ 21XX.

На рис. 9 показан пример выполнения защиты генератора с непосредственным охлаждением мощностью 60 МВт.

Генератор имеет схему соединения обмоток – «двойная звезда» и оснащен бесщеточной диодной системой возбуждения с тиристорным возбуждением возбудителя.

Защиты в системе возбуждения не показаны.

В шкафу установлено 2 комплекта защит. Применено частичное дублирование защит.

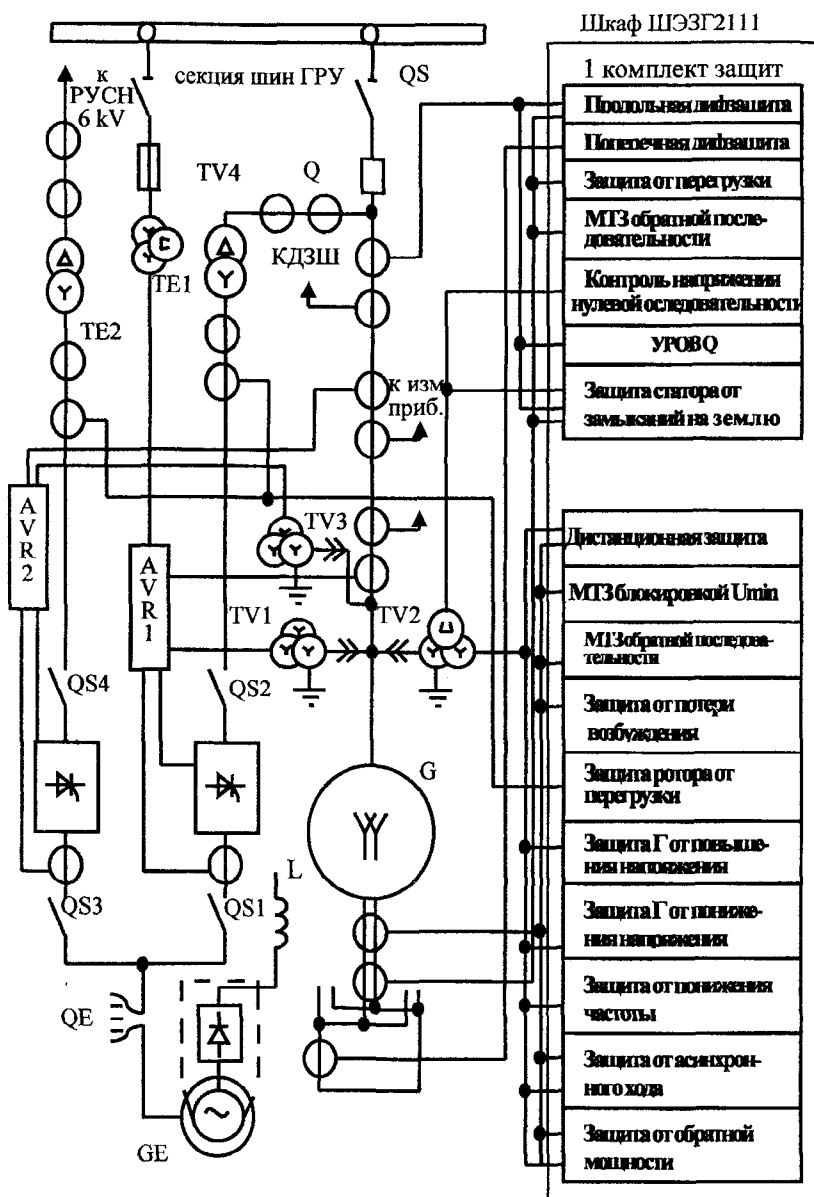


Рис. 9. Выполнение защиты генератора мощностью 60 МВт с помощью шкафа ШЭЗГ2111

7.2. Защита генераторов, работающих в блоке с трансформаторами

Генераторы, работающие в блоке с повышающими трансформаторами (автотрансформаторами) могут быть подключены к трансформаторам непосредственно или через генераторный выключатель. Особенностью их технологической схемы является блочное соединение котла и турбины.

В этой связи на блоках создаются 4 системы электрической защиты: защиты генератора, блочного трансформатора, трансформатора собственных нужд, общие защиты блока. При срабатывании они действуют на отключение выключателя генератора, если он установлен или выключателя блока, развозбуждение и отключение АГП, отключение выключателей низшего напряжения трансформатора собственных нужд, остановку турбины, отключение котла [7].

При остановке турбины от действия технологических защит или от ключа управления должен быть автоматически отключен генератор (блок). В связи с этим необходимо предусматривать воздействие некоторых технологических защит в цепи электрических защит и действие всех электрических защит от внутренних повреждений в цепи технологических защит котла и турбины.

На энергоблоках с газотурбинными установками недопустим переход генератора в двигательный режим. При его возникновении генератор должен немедленно отключаться с помощью защиты обратной мощности. Кроме того на тиристорном пусковом устройстве должна предусматриваться специальная защита, работающая в диапазоне частот 2–72 Гц.

Согласно ПУЭ и руководящих указаний на блочных генераторах должны быть установлены защиты от:

1) замыканий на землю на стороне генераторного напряжения (в зависимости от мощности и системы охлаждения либо защита по напряжению $3U_0$, имеющая мертвую зону со стороны нейтрали (для блоков 3–160 МВт), либо 100 % защита от замыканий на землю в остальных случаях);

2) многофазных замыканий в обмотке статора и на его выводах – дифференциальная защита с током срабатывания меньше номинального;

3) витковых замыканий в обмотках статора (поперечная дифзащита при наличии параллельных ветвей в обмотке статора);

4) внешних КЗ – МТЗ с блокировкой по напряжению или дистанционная защита;

5) перегрузки токами обратной последовательности (для генераторов 30 МВт и более). В зависимости от мощности и типа системы охлаждения требуется одноступенчатая защита обратной последовательности, ступенчатая защита либо защита с зависимой от тока выдержкой времени. Кроме того должна быть дополнительная ступень защиты с действием на сигнал;

6) симметричной перегрузки статора (для генераторов меньше 200 МВт защита действует с независимой выдержкой времени на сигнал, для более мощных – устанавливается защита от перегрузки с зависимой от тока выдержкой времени и действием на отключение);

7) перегрузки ротора для генераторов с непосредственным охлаждением проводников (для генераторов до 160 МВт – защита имеет независимую выдержку времени, большей мощности – с зависимой от тока выдержкой времени. В последнем случае в цепь ротора устанавливается специальный датчик постоянного тока и реле БЭ – 1102 производства ЧЭАЗ);

8) замыкания на землю обмотки ротора (обычно применяется устройство с наложением напряжения низкой частоты);

9) асинхронного режима с потерей возбуждения (обычно применяется реле сопротивления со специальной характеристикой).

Для защит блочного трансформатора должны быть установлены:

10) дифференциальная защита – от КЗ в обмотках и на выводах трансформатора;

11) газовая защита – от витковых замыканий в обмотках трансформатора;

12) защита от внешних КЗ и резервная от КЗ внутри трансформатора – МТЗ на стороне высшего напряжения (ВН) с блокировкой по напряжению на стороне низшего напряжения (НН) трансформатора;

13) защита от замыканий на землю в сети высшего напряжения. Используется токовая защита нулевой последовательности, включённая на трансформаторы тока в нейтрали блочного трансформатора. Для работы в режиме с изолированной нейтралью (трансформаторы 110 и 220 кВ) дополняется защитой по $3U_0$, включённой на ТН шин, на которые подключаются блок, с контролем отсутствия тока $3I_0$ в нейтрали трансформатора и срабатывания защиты на смежном блоке с заземлённой нейтралью;

14) защита от потери охлаждения системы ДД и Ц трансформатора. Защита контролирует ток нагрузки на трансформаторе и его температуру и в зависимости от этих данных с различными выдержками времени отключает блок в случае остановки всех охладителей;

15) ускорение защит при неполнофазном режиме: специальная высокочувствительная ступень защиты нулевой последовательности ускоряется по факту неполнофазного отключения выключателя;

16) при наличии генераторного выключателя предусматривается устройство сигнализации замыкания на землю на стороне НН блочно-го трансформатора (при отключенном генераторном выключателе);

17) дифференциальная защита ошиновки высшего напряжения.

Для защиты трансформатора собственных нужд блока требуются следующие защиты:

18) защита от КЗ в обмотках и на выводах трансформатора – дифференциальная защита;

19) защита от витковых замыканий в обмотках ТСН – газовая;

20) защита от внешних междуфазных КЗ и резервная от КЗ внутри трансформатора – МТЗ с блокировкой по напряжению или дистанционная на сторонах ВН и НН трансформатора;

21) защита от перегрузки с действием на сигнал.

Общие защиты блока:

22) общая дифзащита блока, охватывающая ошиновку стороны ВН, трансформатор и генератор. Для блоков, имеющих генераторный выключатель с целью обеспечения селективности общей защиты блока с отдельными дифзащитами генератора и трансформатора в защиту вводится выдержка времени 0,2–0,3 сек.

Защиты по пунктам 1, 2, 3, 7, 8, 10, 11, 17, 18, 19 являются основными от внутренних повреждений. При срабатывании они действуют на отключение блока и останов турбины. В случае отказа выключателя блока (генераторного или при его отсутствии выключателя на стороне ВН) блок должен отключаться от сети с помощью УРОВ.

Резервирование защит от внутренних повреждений осуществляется общей дифзащитой блока (пункт 22).

Резервирование защит смежных элементов (шин, линий, автотрансформаторов и пр.) обеспечивается защитами по пунктам 4, 5, 12, 13. Резервные защиты блоков обычно имеют 2-3 выдержки времени: защиты статора с первой выдержкой времени действуют на деление шин, со второй отключается выключатель стороны ВН

блока, с третьей производится полная остановка блока. Защиты ротора с первой выдержкой времени действуют на развозбуждение, отключение АРВ, а со второй – на останов генератора и т. д.

На турбогенераторах дополнительно должна предусматриваться защита от повышения напряжения, вводимая автоматически в работу при холостом ходе блока и действующая на отключение АГП. Кроме того предусматривается: блокировка регулятора «до себя» при повышении и понижении частоты; реле обратной мощности; автоматика по сбросу и набросу мощности на генератор.

При выполнении защит блоков тепловых электростанций (ТЭС) на микропроцессорных реле при мощностях генераторов до 300–500 МВт с целью уменьшения затрат применяется частичное дублирование защит. В случае использования генераторов большей мощности, а также при любой их мощности на АЭС все основные и значительная часть резервных защит дублируются.

Цепи газовой защиты блочных трансформаторов и трансформаторов собственных нужд блоков, цепи технологических защит турбин подключаются на свободные дискретные входы микропроцессорных реле обычно резервных защит.

На рис. 10 приведена схема расстановки защитных устройств фирмы ALSTOM для защиты блока генератор-трансформатор мощностью до 160 МВт.

Блок не имеет генераторного выключателя. Нейтраль блока на строке ВН может быть заземлена или разземлена. Применяется частичное дублирование защитных устройств. Резервные защиты распределяются между двумя комплектами MICOM 342. Защита от замыканий на землю статора выполняется по напряжению $3U_0$. Защиты ротора осуществляются устройствами системы возбуждения и на рис. 10 не показаны. Измерительные ТТ установлены во всех фазах и соединены по схеме полной звезды.

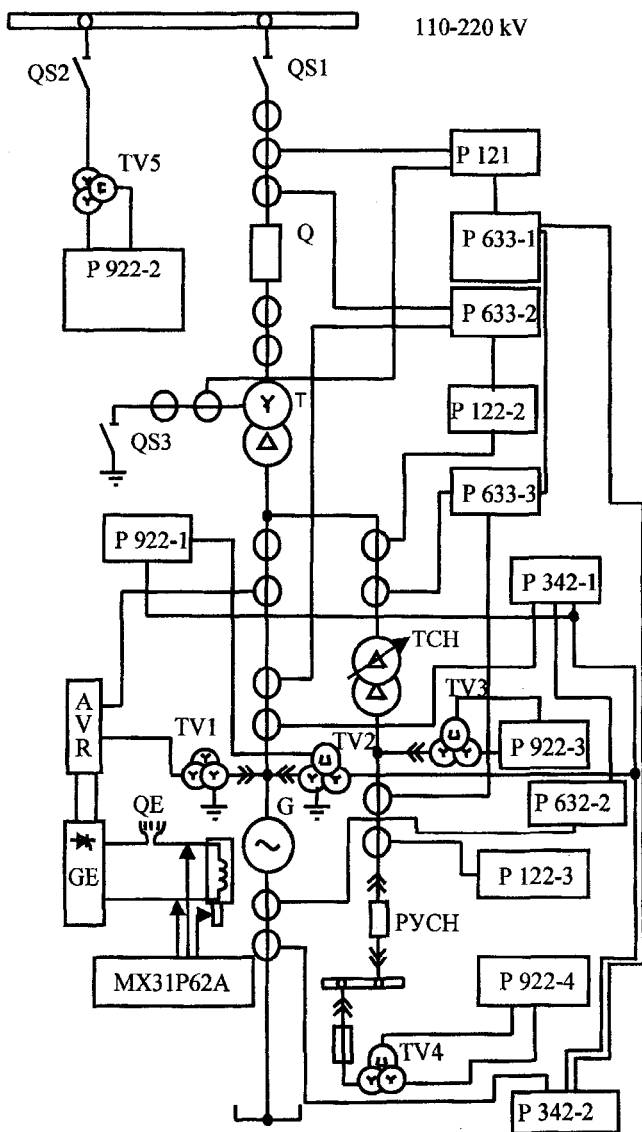


Рис. 10. Схема подключения защитных устройств серии MICOM фирмы Alstom для защиты блока генератор-трансформатор мощностью до 160 МВт

Распределение защит по комплектам указано в табл.8.3

Таблица 8.3

Тип устройства 1	Выполняемые функции 2	Примечание 3
Р632-2 Включено на ТТ выводов и нейтрали Г	Дифзащита генератора	
Р342-1 Включено на ТТ нейтрали и ТН генератора	Дистанционная защита. Защита от перегрузки по току статора. Токовая защита обратной последовательности. Защита от асинхронного режима. Реле обратной мощности. Форсировка возбуждения	
Р342-2 Включено на ТТ нейтрали и ТН генератора	Дистанционная защита. Защита от перегрузки с тепловой характеристикой. Токовая защита обратной последовательности. Реле обратной мощности	
Р922-1 Включено на ТН генератора	Блокировка по напряжению МТЗ ВН блочного трансформатора. Защита от повышения напряжения генератора. Блокировка регулятора турбины по частоте. Форсировка возбуждения по снижению U прямой последовательности	Выполняется по линейному напряжению и U_2 . Способ форсировки выбирается по проекту
РГ2А Подключено к выводам и валу ротора	Защита ротора от замыканий на землю. Защита ротора от перегрузки по напряжению с независимой выдержкой времени	Может не устанавливаться если соответствующие устройства входят в состав системы возбуждения
Р633+Р122-1 Включено на ТТ ВН, выводов генератора, ТТ стороны ВН, ТСН, ТТ нейтрали блочного Т	Дифзащита блока. МТЗ стороны ВН блочного Т с блокировкой по напряжению. Защита от замыкания на землю со стороны ВН блочного Т. Ускорение земляной защиты при неполнофазном режиме. МТЗ стороны ВН трансформатора СН с блокировкой по напряжению.	
Р633-2 Включено на ТТ: ВН трансформатора, выводов генератора, ТТ встроенные в выводы ВН ТСН	Дифзащита трансформатора. МТЗ стороны ВН блочного Т с блокировкой по напряжению. МТЗ генератора с блокировкой по напряжению. МТЗ стороны ВН ТСН с блокировкой по использованию блокировки от защит стороны 6 кВ	

1	2	3
МІСОМ Р922-2 Включено на шин- ный ТН стороны ВН	Защита от замыканий на землю блока с разземленной нейтралью	
МІСОМ Р633 Включено на ТТ стороны ВН и НН ТСН	Дифзащита ТСН. МТЗ стороны ВН ТСН с блокировкой по напряжению. Защита ТСН от перегрузки с тепловой характеристикой. МТЗ стороны НН ТСН с блокировкой по напряжению	Блокировка по напряжению вы- полнена от реле Р922-3
МІСОМ Р922-3 Включено на ТН выводов НН ТСН	Блокировка по напряжению МТЗ ВН и НН ТСН. Сигнализация замыканий на землю на стороне 6 кВ ТСН. Пуск АВР секции. Грунтовая защита мак- симального гапжжения	Блокировка выпол- няется по линейно- му напряжению и U_2
МІСОМ Р122-3 Включено на ТТ и ТН выводов НН ТСН	МТЗ стороны НН ТСН с блокировкой по напряжению. Блокировка токовой защиты стороны ВН ТСН – логическая дифзащита. Токовая защита от замы- каний на землю при заземлении ней- трали СН через резистор	Блокировка от вну- треннего органа на- пряжения по линей- ному напряжению
МІСОМ Р922-4 Включено на ТН секции 6 кВ СН	Групповая защита минимального напряжения. Пуск АВР секции 6 кВ СН. Сигнализация замыкания на зем- лю секции 6 кВ.	

На рис. 11 приведена схема подключения защитных устройств серии МІСОМ фирмы ALSTOM для защиты блока генератор-трансформатор мощностью более 160 МВт.

Блок имеет генераторный выключатель и два выключателя на стороне высшего напряжения. Отпаечный трансформатор собственных нужд имеет расщепленную обмотку низшего напряжения. Генератор выполнен с параллельными ветвями обмотки статора. Нейтраль высшего напряжения блочного трансформатора заземлена наглухо.

Защиты выполнены с частичным дублированием. Дифзащита генератора, трансформатора и ошиновки дублируются дифзащитой блока не имеющей выдержки времени. Основные защиты генератора выполнены на реле МІСОМ Р343. Второй комплект защит выполняется на реле МІСОМ Р342.

Защиты ротора выполнены в составе системы возбуждения и на рис. 11 не показаны.

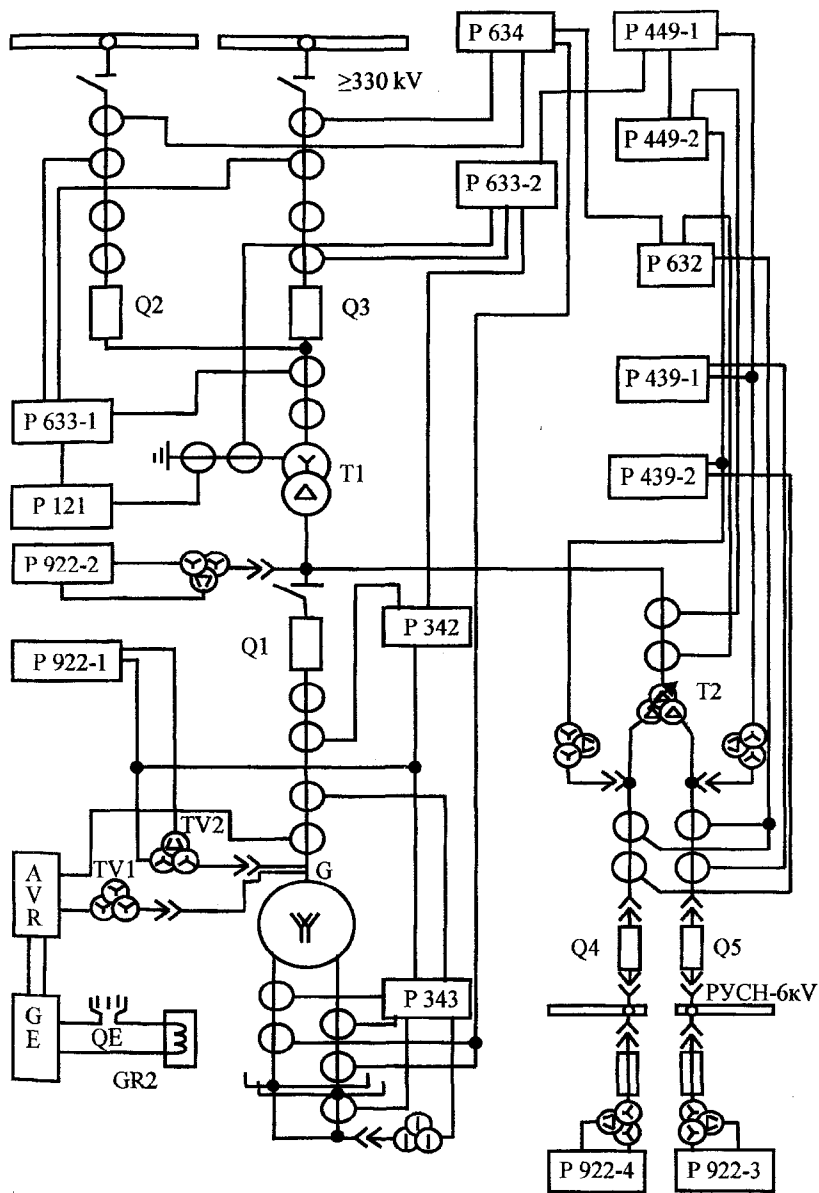


Рис.11. Схема подключения защитных устройств серии MICOM фирмы Alstom для защиты блока генератор-трансформатор мощностью более 160МВт

В качестве резервной защиты трансформатора собственных нужд (ТСН) – используется дистанционная защита, выполняющая на реле МІСОМ Р449. Дифзащита дублируется токовой, включенной по схеме логической селективности.

Распределение защитных функций между комплектами реле указано в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Распределение защитных функций между комплектами реле

Тип устройства	Выполняемые функции	Примечания
МІСОМ Р343 Включено на ТТ выводов и нейтрали Г, ТН со стороны выводов и нейтрали Г	Продольная дифзащита генератора. Дистанционная защита. Защита от перегрузки по току статора. Поперечная дифзащита. Токовая защита обратной последовательности. Защита от асинхронного режима. Реле обратной мощности. 100% защита статора от замыканий на землю. Защита от несанкционированного включения выключения генератора. Форсировка возбуждения	При необходимости могут быть использованы органы наброса и сброса мощности
МІСОМ Р342 Включено на ТТ выводов Г и ТН Г	Дистанционная защита генератора. Защита от перегрузки с тепловой характеристикой. Токовая защита обратной последовательности Защита от замыканий на землю по $3U_0$. Реле обратной мощности. Форсировка возбуждения	Способ форсировки выбирается по проекту
МІСОМ Р922-1 Включено на ТН генератора	Защита от повышения напряжения генератора. Блокировка по напряжению МТЗ со стороны нейтрали Г. Блокировка регулятора турбины по частоте. Форсировка возбуждения по снижению U прямой последовательности	Блокировка по напряжению выполняется по линейному напряжению и U_2
МІСОМ Р633-1 Включено на ТТ встроенные в выводы ВН и нейтрали Т, выводы ТСН и ТТ выводов Г	Дифзащита трансформатора. Дифференциальная защита обмотки ВН трансформатора от замыканий на землю	
МІСОМ Р633-2 Включено на ТТ ВН и встроенные выводы ВН трансформатора	Дифзащита ошиновки ВН трансформатора	

Тип устройства	Выполняемые функции	Примечания
МІСОМ Р121 Включено на ТТ встроенные в выво- ды ВН и нейтрали Т	МТЗ стороны ВН с блокировкой по на- пряжению. Защита от замыканий на землю стороны ВН трансформатора. Ускорение земляной защиты при непол- ноформатной режиме	Блокировка по линейному на- пряжению вы- полняется от реле МІСОМ Р922-1
МІСОМ Р922-2 Подключено к ТН стороны НН транс- форматора	Блокировка по напряжению МТЗ ВН блочного трансформатора. Сигнализация замыкания на землю на выводах и оши- новках Т	Блокировка по линейному на- пряжению и U_2
МІСОМ Р 634 Включено на ТТ ВН блока, выводов нейтрали Г, выво- дов ВН ТСН	Дифзащита блока. МТЗ генератора с блокировкой по напряжению	Блокировка по напряжению вы- полняется от реле МІСОМ Р 922
МІСОМ Р 632 Включено на ТТ стороны ВН, выво- дов НН ТСН	Дифзащита трансформатора СН	
МІСОМ Р439-1,2 Включено на ТТ стороны ВН и ТН выводов НН ТСН	Дистанционная защита стороны ВН ТСН. Токовое реле стороны ВН логиче- ской дифзащиты ТСН	
МІСОМ Р449-1,2 Включено на ТТ и ТН стороны НН ТСН	Дистанционная защита стороны НН ТСН. Блокировка токовой защиты сто- роны ВН - логическая дифзащита. Токо- вая защита от замыканий на землю при заземлении нейтрали сети 6 кВ СН через резистор. Защита от перегрузки стороны НН ТСН	Блокировка осу- ществляется от внутреннего ор- гана напряжения по линейному на- пряжению
МІСОМ Р922-3,4 Включено на ТН секции 6 кВ СН	Групповая защита минимального напря- жения. Пуск АВР секции 6 кВ СН. Сиг- нализация замыканий на землю секций 6 кВ СН	

На блоках, мощностью 300 МВт и более, на всех блоках атомных электростанций схемы защит выполняются с полным дублированием основных и большей части резервных защит. Защиты при этом выполняются в виде двух одинаковых комплектов, включенных на разные трансформаторы тока и напряжения, разные аккумуляторные батареи и соленоиды отключения выключателя.

Поскольку защиты генератора, трансформатора и ошиновки дублируются, то общая дифзащита блока при этом не предусматривается.

Защита ротора генератора от перегрузки выполняется с зависимой характеристикой на устройстве БЭ 1302 производства ЧЭАЗ.

Защиты трансформаторов собственных нужд аналогичны приведенному на рис. 11

Защиты блоков могут быть выполнены с использованием шкафов ШЭЗГ 12ХХ, 22ХХ, 25ХХ производства ООО «АББ Автоматизация». Комплекс из шкафов ШЭЗГ 1211 и ШЭЗГ 1221 предназначены для защит блоков мощностью до 300 МВт, имеющих высшее напряжение 110 или 220 кВ; ШЭЗГ 2211 и ШЭЗГ 2221 – для блоков мощностью свыше 300 МВт с высшим напряжением 220 кВ и более. Комплекс из шкафов ШЭЗГ 2511 и ШЭЗГ 2521 применяется для защиты блоков мощностью свыше 300 МВт и высшим напряжением 500 кВ и выше.

На рис. 12 приведена схема распределения защит блока мощностью 160 МВт между шкафами ШЭЗГ 1211 и ШЭЗГ 1221 и подключение их к измерительным трансформаторам.

Генератор имеет две параллельные ветви обмотки статора, оснащён системой самовозбуждения. В его цепи установлен генераторный выключатель. Нейтраль блока на стороне ВН может быть заземлена или разземлена. В системе защит применяется частичное дублирование. Защита от замыканий на землю обмотки статора выполняется по напряжению $3U_0$ и дублируется защитой с контролем напряжения третьей гармоники.

Защиты трансформатора собственных нужд блока выполняются отдельным комплектом реле и на рис. 12 не показаны.

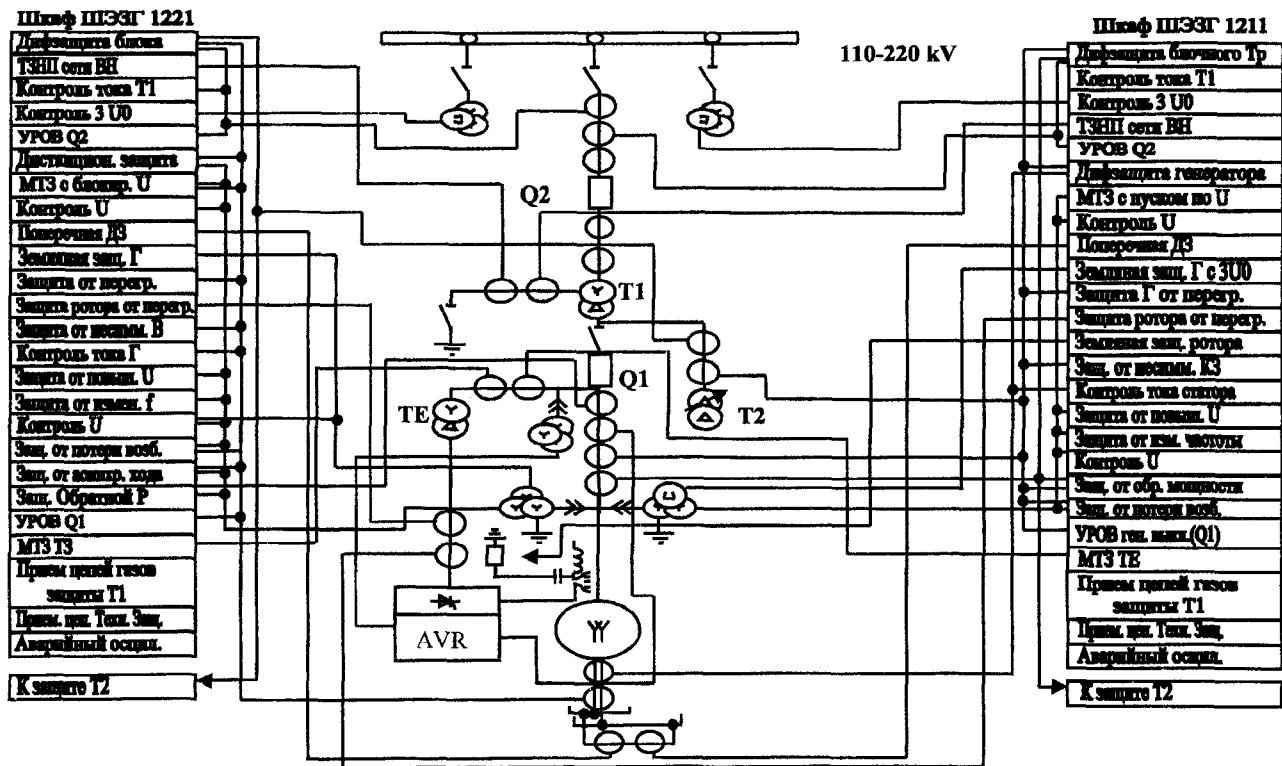


Рис. 12. Выполнение защиты блока генератор-трансформатор мощностью 160 МВт с помощью шкафов ШЭЗГ1211 и ШЭЗГ1221.

9. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ

Контроль за режимом работы генераторов и их тепловым состоянием осуществляется с помощью контрольно-измерительным приборам и автоматизированной системы теплоконтроля.

Необходимые контрольно-измерительные приборы устанавливаются на блочном и центральном щитах управления блочных электростанций (КЭС, ТЭЦ, АЭС) или на главном щите управления и щите турбины не блочных ТЭЦ. По показывающим приборам дежурный персонал осуществляет контроль за током нагрузки всех фаз, напряжением, выдаваемой активной и реактивной мощностями, током и напряжением ротора и возбуждителя, количеством выработанной энергии и др.. Кроме показывающих приборов предусматриваются регистрирующие приборы и датчики активной и реактивной мощности, передающие значение измеряемых мощностей к суммирующим приборам и устройствам телемеханики или АСУ ТП.

Минимальный объем оснащения генераторов контрольно-измерительными приборами указывается в «Руководящие указания по объему оснащения тепловых электростанций контрольно-измерительными приборами, средствами регулирования, технологической защиты, блокировки и сигнализации» и приведен в табл. 9.1 (4, 5).

Питание контрольно-измерительных приборов осуществляется от измерительных трансформаторов тока и напряжения, установленных в цепях генераторов. Схемы подключения измерительных приборов к измерительным трансформаторам генератора, работающего на сборные шины приведено на рис. 13а блочного генератора – на рис. 14.

Таблица 9.1

Цепи	Перечень приборов
Статора	Амперметр в каждой фазе, вольтметр, ваттметр, варметр, счетчик активной энергии, датчики активной и реактивной мощности. Регистрирующие приборы: ваттметр, амперметр, вольтметр (на Г 60 мВт и более)
Ротора	Амперметр, вольтметр, вольтметр в цепи основного и резервного возбуждений. На генераторах 60 мВт и выше устанавливается регистрирующий амперметр
Блочного трансформатора	На стороне СН: амперметр, ваттметр и варметр с двухсторонней шкалой На стороне ВН: амперметр

Примечания

1. На генераторах до 12 мВт в цепи статора устанавливается 1 амперметр.

2. Перечисленные приборы устанавливаются на щитах управления – БЩУ или ГЩУ.

При наличии БЩУ на ЦЩУ устанавливается ваттметр и варметр.

Если нет БЩУ – на групповом щите турбины устанавливаются ваттметр, частотомер в цепи статора и вольтметр в цепи возбуждения.

На ЦЩУ устанавливают частотомер, суммирующие ваттметр и варметр.

3. В цепях статоров генератор мощностью больше 300 мВт устанавливается осциллограф.

4. В цепях генераторов устанавливаются 2 колонки синхронизации (каждая содержит 2 вольтметра, 2 частотомера, синхроскоп.

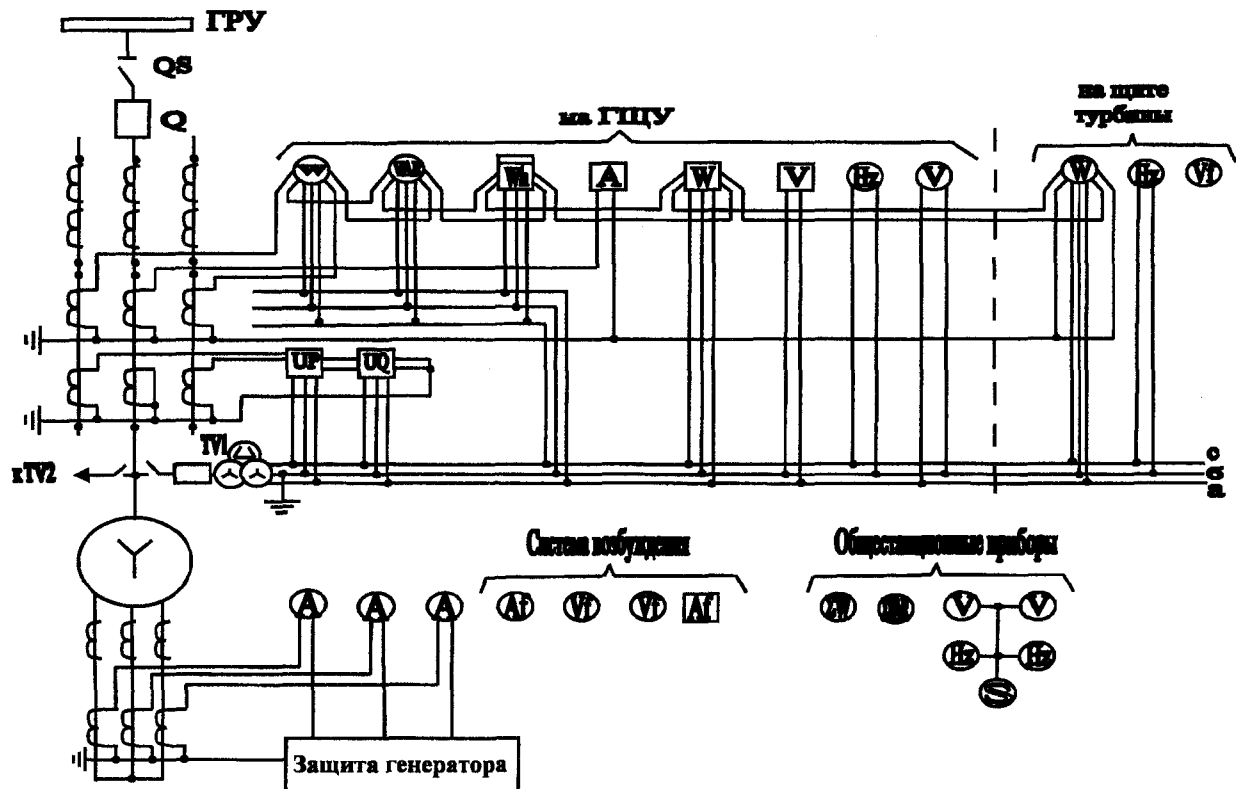


Рис. 13

Все турбогенераторы имеют встроенные устройства для контроля теплового состояния активных частей и систем охлаждения. Контролируются температура обмоток и активной стали статора, холодного и горячего охлаждающего газа, охлаждающей воды в газоохладителях и обмотке статора (при водяном охлаждении), температуры опорных и уплотняющих подшипников, смазывающего масла и др.

Измерение температур обмотки и активной стали производится медными или платиновыми термопреобразователями сопротивления. Для измерения температуры активной стали термопреобразователи закладываются на дно паза, а у статоров с водяным охлаждением обмотки – под пазовым клином [10]. Для измерения температуры меди термопреобразователи закладываются между стержнями.

Выводы от термопреобразователей присоединяются специальными проводами к клеммам коробки зажимов, установленной снаружи корпуса генератора. Соединительные провода из корпуса выводятся через газоплотные проходные втулки. От коробки зажимов кабели прокладываются к шкафу автоматизированной системы теплоконтроля. Автоматизированная система теплоконтроля осуществляет обход точек контроля с заданной периодичностью, измерения, регистрацию, сравнение с уставками, сигнализацию отклонения от заданных пределов. Шкаф автоматизированной системы контроля температура может устанавливаться у генератора или на блочном щите управления.

Количество точек измерения температур статора зависит от длины сердечника и способа охлаждения статорной обмотки. Для турбогенераторов с косвенным охлаждением устанавливаются от 6 до 12 термопреобразователей. В генераторах с длиной сердечника до 3м закладывается шесть преобразователей: по одному на медь и активную сталь каждой фазы. В генераторах с длиной сердечника свыше 3м закладывают 12 преобразователей (три на дно паза и один между стержнями на каждую фазу).

В машинах с водяным охлаждением обмотки статора термообразователи закладываются во все пазы статора на верхних стержнях под клинья, а измерение температуры активной стали производится в двух пазах на каждую фазу. На турбогенераторах мощностью 1000 МВт и более дополнительно термообразователи устанавливаются на лобовых дугах нижних стержней, в области наибольшей температуры. Контроль температуры горячего дисциллята в каждой гидравлической ветви статора осуществляется термообразователями, установленными в лобовых частях в штуцере соединения фторопластового шланга со сливным коллектором.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Номенклатурный каталог ОАО «Электросила», 2008.
2. Номенклатурный каталог ОАО «Привод», 2003.
3. Элегазовое генераторное распределительное устройство типа НЕС, ABB High Voltage Technologic ltd, 2004.
4. Крючков, И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / И.П. Крючков, Н.Н. Кувшинский, Б.Н. Неклепаев. – М: Энергоатомиздат, 1989.
5. Васильев, А.А. Электрическая часть станций и подстанций / А.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова. – М: Энергоатомиздат, 1990.
6. Токопроводы генераторного напряжения. сайт: energyland, info.
7. Электрический справочник: в 4 т. / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. – 9-ое изд. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии. – 904 с.
8. Рекомендации по выбору защит электротехнического оборудования с использованием микропроцессорных устройств концерна ALSTOM – Киев: Август, 2000. – 140 с.
9. Сборник докладов технического семинара. Релейная защита и электроавтоматика электрических станций / М.: ЦПТИ ОРГРЭС, 2004. – 234 с.
10. Справочник по ремонту турбогенераторов / под ред. Х.А. Беква, В.В. Барилло. – М.: ИПК госслужбы, ВИПКэнерго, 2006. – 724 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ И СВЕДЕНИЕ ПО ЗАМЕНЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С ВЫРАБОТАННЫМ СРОКОМ СЛУЖБЫ НОВЫМИ.....	3
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ СИНХРОННЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ	6
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ ($F = 50$ ГЦ).....	10
4. ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПЕРВИЧНЫХ ЦЕПЕЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ	11
5. ГЕНЕРАТОРНЫЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ	15
6. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ ГЕНЕРАТОРОВ С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ И СИЛОВЫМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ	18
7. СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ	23
7.1. Системы возбуждения турбогенераторов.....	23
7.2. Системы возбуждения дизельных генераторов	27
8. РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ГЕНЕРАТОРОВ	28
8.1. Защита генераторов работающих на сборные шины	28
8.2. Защита генераторов, работающих в блоке с трансформаторами	36
9. КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАТОРОВ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	54

Учебное издание

**СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ
ПО СИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРАМ
ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Материалы для курсового и дипломного проектирования
по электрической части электрических станций и подстанций

Составитель
МАЗУРКЕВИЧ Владимир Николаевич

Технический редактор О.В. Дубовик
Компьютерная верстка Д.А. Исаева

Подписано в печать 19.11.2010.

Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 2,54. Тираж 100. Заказ 834.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.