МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ
"СОЮЗТЕХЭНЕРГО

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ТИРИСТОРНОЙ СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ СЕРИИ ТВВ МОЩНОСТЬЮ 165-800 МВт

МУ 34-70-029-82

СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1983

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
ПО НАЛАДКЕ, СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И СЕТЕЙ
"СОЮЗТЕХЭНЕРГО

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ТИРИСТОРНОЙ СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ СЕРИИ ТВВ МОЩНОСТЬЮ 165-800 МВт

МУ 34-70-029-82

СЛУЖБА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА И ИНФОРМАЦИИ СОЮЗТЕХЭНЕРГО
Москва 1983

Р А З Р А Б О Т А Н О МТП Союзтехэнерго с участием Уралтехэнерго и ВНИИЭ

И С П О Л Н И Т Е Л И И.Ф.ПЕРЕЛЬМАН (МТП Союзтехэнерго), А.В.КРУЖЕВНИКОВ (Уралтехэнерго), В.Г.ЛЮБАРСКИЙ (ВНИИЭ)

У Т В Е Р Ж Д Е Н О Производственным объединением по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций и сетей "Союзтехэнерго"

Заместитель главного инженера А.Д.ГЕРР

25 июня 1982г.

© СПО Союзтехэнерго, 1983.

Ответственный редактор И.Л.Левина
Литературный редактор А.А.Шиканян
Технический редактор Н.Д.Архипова
Корректор М.Г.Пономовская

Л 85577 Подписано к печати 30.03.83 Формат 60x84 1/16
Печ.л.5,75 (усл.-печ.л. 5,3) Уч.изд.л.5,9 Тираж 800 экз.
Заказ №64/83 Издат. № 342/82 Цена 89 коп.

Производственная служба передового опыта и информации Союзтехэнерго
105023, Москва, Семеновский пер., д.15

Участок оперативной полиграфии СПО Союзтехэнерго
117292, Москва, ул.Ивана Бабушкина, д.23,корп.2

УДК 621.313.322

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИСПЫТАНИЯМ ТИРИСТОРНОЙ СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ СЕРИИ ТВВ МОЩНОСТЬЮ 165–800 МВт

МУ 34-70-029-82

Срок действия установлен
с 01.04.83 г.
до 01.04.88 г.

В Методических указаниях изложены методы испытаний отдельных узлов тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165–800 МВт, а также всей системы возбуждения в целом.

Методические указания предназначены для персонала наладочных организаций и служб электрических станций, занимающегося испытаниями систем независимого тиристорного возбуждения с АРВ-СД и системой управления тиристорами ЛПЭО "Электросила", выполненной на базе системы управления СУ-ВЧ.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Методические указания по испытаниям тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165–800 МВт являются второй частью методических указаний по вводу этих систем. Первая часть [3] содержит указания по наладке отдельных узлов рассматриваемых систем. Испытания проводятся после наладки узлов системы возбуждения в соответствии с [3], в которой перечислены приборы и приспособления, необходимые для наладки и испытаний.

Методические указания по обоим этапам работ с более подробным описанием отдельных узлов системы приведены в отчете Союзтехэнерго "Методические указания по наладке и испытаниям тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165–800 МВт" за 1982 г.

При составлении настоящих Методических указаний использованы материалы, указанные в [3].

При подготовке Методических указаний были учтены предложения В.П.Жарко (Донтехэнерго), Я.А.Пратусевича (ЛПЭО "Электросила"), В.С.Земляникова (трест "Электроцентромонтаж"), Л.С.Фрумкина (ВНИИЭ), В.М.Шевченко (Сибтехэнерго), ВЭИ и треста "Узэнергоналадка".

1. ИСПЫТАНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА ВГ И ЕГО СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА В СЕТИ С РЕЗЕРВНЫМ ВОЗБУДИТЕЛЕМ

1.1. Проверка защит и снятие характеристики короткого замыкания ВГ

Перед проведением испытаний измерить сопротивление изоляции цепей статора и ротора ВГ.

На невозбужденном ВГ проверить остаточное напряжение на статоре (на ВГ турбогенератора ТВВ-800-2 - 18÷26 В), правильность чередования фаз статора ВГ. При остаточном напряжении может быть предварительно проверена фазировка анодного напряжения и напряжений питания системы управления тиристорами.

На шинах статора установить трехфазную закоротку таким образом, чтобы обеспечивалось обтекание током трансформаторов тока ВГ.

При испытании питание обмотки возбуждения ВГ может осуществляться:

- от силовой сборки 3х380 В через выпрямительный трансформатор и преобразователь ПТВ с регулированием по контрольному входу АРВ-ВГ;

- от силовой сборки 3х380 В через преобразователи турбогенератора ПТ1, ПТ2 (ПТ3) и последовательно включенное сопротивление 0,5-1,0 Ом с регулированием выхода по контрольному входу АРВ-СД;

- от зарядного или какого-либо другого двигатель-генератора и т.д.

Наиболее целесообразно использовать схему с подачей 380 В на выпрямительный трансформатор и преобразователь ПТВ.

Для этого от шин статора ВГ следует отключить выпрямительный трансформатор (на его первичную обмотку подается 380 В) и шины питания ПТ1, ПТ2 (ПТ3).

При регулировании тока ротора ВГ установить ток статора ВГ, равный 20-25% номинального. Проверить обтекание токовых цепей защиты и измерений ВГ, токовых цепей АРВ-СД, измерить значения токов, проверить коэффициенты трансформации трансформаторов тока.

Снять характеристику КЗ вспомогательного генератора при увеличении тока статора до номинального значения (рис.1 - для ВГ генератора ТВВ-800-2).

Ток статора увеличить до 1,1 $I_{ст.ном}$, проверить напряжение небаланса на реле дифференциальной защиты. Оно должно быть близким к нулю. Проверить напряжение небаланса на этих реле при токе 1,1 $I_{ст.ном}$ и поочередном исключении одного из плеч дифференциальной защиты (на ВГ генератора ТВВ-800-2 оно составило, например, 3,1÷3,4 В).

При выведенном одном из комплектов трансформаторов тока дифференциальной защиты целесообразно проверить срабатывание реле этой защиты при увеличении тока статора до уставки.

При изменении тока статора ВГ проверить срабатывание реле, контролирующего минимальный ток статора (действует на шунтирование ротора турбогенератора), а также реле в токовых цепях ТрВ, фиксирующих минимальный ток возбуждения ВГ (потеря возбуждения) и неуспешное инвертирование.

В процессе изменения тока статора ВГ до номинального значения следует зафиксировать несколько точек характеристики БТЛ $U_{19\text{-}3БОР\,21}$, $U_{БТЛ1\ 7\text{-}18}$, $U_{БТЛ2\ 12\text{-}13} = f(I_{СТ})$ и сравнить с ранее снятой характеристикой. Если характеристика БТЛ не снималась предварительно при питании от трехфазного источника, то целесообразно в режиме КЗ ВГ, особенно на головных образцах ТВ, снять указанную характеристику до $2I_{ст.ном}$. При этом две-три точки могут быть определены при кратковременном подъеме $I_{СТ}$ выше $I_{ст.ном}$. Увеличение $I_{СТ}$ выше номинального значения должно быть согласовано с персоналом ГРЭС и заводом-изготовителем.

При снятии характеристики КЗ ВГ (питание ТрВ от источника 380 В) целесообразно также проверить регулировочную характеристику возбудителя ВГ - $U_{dВГ}$, $U_{АРВ-ВГ} = f(I_{к.вх})$. Коэффициент

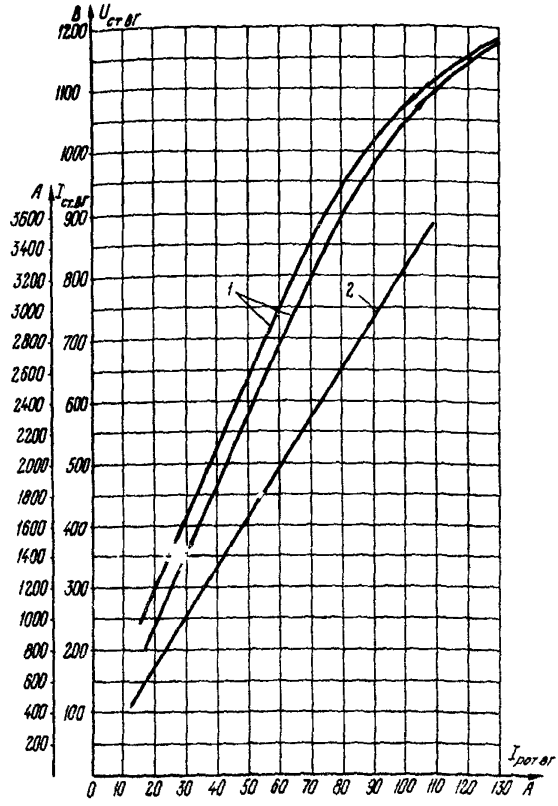


Рис.I. Характеристики холостого хода и короткого замыкания ВГ для ТВВ-800-2:
I - характеристика холостого хода; 2 - характеристика короткого замыкания

канала ЖОС при этом увеличивается в соответствии с изложенным в [3].На головных образцах системы возбуждения, отличающихся от ранее примененных, эта регулировочная характеристика определяется в соответствии с изложенным в [3].

I.2. Испытание вспомогательного генератора в режиме холостого хода ВГ

Снять трехфазную закоротку на шинах статора ВГ.

При регулировании тока ротора ВГ от постороннего источника плавно увеличить напряжение на статоре ВГ до номинального значения. При этом измерить значение $U_{рот.хх}$, $I_{рот.хх}$, а также напряжения на вторичных обмотках ТСН и ТН.

Выполнить гашение поля отключением контактора КГ.

Отключить выходные цепи защиты от повышения напряжения и при плавном увеличении возбуждения аналогично указанному снять характеристику холостого хода вспомогательного генератора (восходящую и нисходящую ветвь) до напряжения I,3 $U_{ст.ном}$ (рис.I для ВГ генератора ТВВ-800-2). В процессе снятия характеристики испытать витковую изоляцию обмоток статора напряжением I,3$U_{ст.ном}$ в течение 5 мин. При изменении напряжения статора ВГ проверить срабатывание реле защиты статора от повышения напряжения - первая ступень I,I-I,I5 $U_{ст.ном}$ действие на отключение АРВ-ВГ (переход на ПДУ), вторая ступень I,I5-I,2 $U_{ст.ном}$, действие на гашение поля генератора; проверить также срабатывание реле, сирующего потерю возбуждения-снижение $U_{ст.ВГ}$ до 0,2 $U_{ст.ВГ.ном}$ реле неуспешного начального возбуждения и начала возбуждения турбогенератора - 0,7 $U_{ст.ном}$.

Проверить чередование фаз выводов ВГ на входах в преобразователи ТП-ТГ (на отключенных шинах).

I.3. Испытания системы возбуждения ВГ при соединении цепей возбуждения по нормальной схеме и работе ВГ на холостом ходу

I.3.I. Подготовительные работы

Собрать силовые цепи возбуждения ВГ. Подключить выпрямительный трансформатор ТрВ к статору ВГ, выход ПТБ - на ротор ВГ, включить контактор КГ. Проверить сопротивление в цепи начального возбуждения, включить выключатели питания СУ1 ВГ,

СУ2 ВГ и АРВ-ВГ.

Проверить установку в АРВ-ВГ накладок $\Delta U, U'$,кор. цепь в верхнее положение. При первом пуске положение переключателя "Кор.цепь" - 7 делений, U' - 2, ГОС-2; $\varphi_{сел}$ = -I0. Переключатель ЖОС - в положении, выбранном при настройке.

Ввести все защиты ВГ, действующие на инвертирование и КГ

Испытания проводятся при работе блока в сети с резервным возбудителем.

I.3.2. Испытания в замкнутом контуре регулирования

Выполнить опыт "неудачного" начального возбуждения (например, отключить перед начальным возбуждением выключатели ВII, ВI2 (см.рис.ПI.3); определить значение тока начального возбуждения и соответствие полярности напряжения напряжению выхода ПТВ.

Произвести опыт начального возбуждения ВГ с регулятором АРВ-ВГ при указанных выше положениях переключателей в каналах.

Процесс самовозбуждения с подачей тока от аккумуляторной батареи осциллографируется (рис.2). Фиксируются продолжительность процесса, значения $U_{ст.ВГ}, U_{рот.ВГ}, I_{рот.ВГ}, U_{АРВ.ВГ}$.

Так для генератора ТВВ-800-2 полное время возбуждения ВГ составило около 4,8 с, АРВ-ВГ вступает примерно через 3,4 с, установившиеся значения $U_{рот.ВГ}$ = 4I В, $I_{рот.ВГ}$ = 82 А, $U_{ст.ВГ}$ = = 9I2 В, максимальное перерегулирование по $U_{рот.ВГ}$ = +270 В и -225 В, по $I_{рот.ВГ}$ = 24I А; $I_{нач}$ = 40 А.

Определить диапазон, изменения напряжения статора ВГ уставкой АРВ-ВГ; он должен быть не меньше ±I0÷I3% ($\varphi_{сел}$ = -I0 и $\varphi_{сел}$ = +I0).

Проверить устойчивость работы системы регулирования ВГ и определить области устойчивости в координатах положения переключателей U' - КЦ при $\varphi_{сел}$ -I0, $\varphi_{сел}$ = 0 (рис.3).

Методика определения областей устойчивости изложена в [I] и аналогична для ВГ и турбогенератора. Введение канала ГОС несколько расширяет области устойчивой работы, поэтому целесообразно ввести ГОС, установив переключатель в положение 2-4 делений. Должна быть обеспечена устойчивая работа при U' не менее

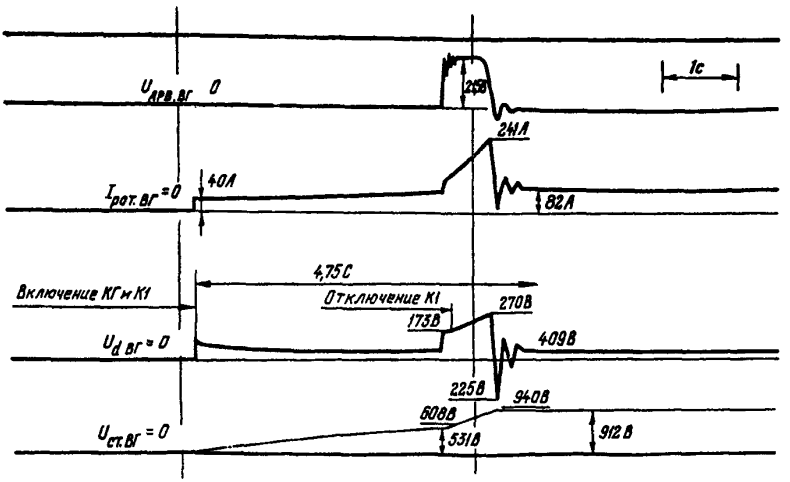


Рис.2. Осциллограмма начального возбуждения ВГ с АРВ для ТВВ-800-2:
КЦ-6, U'-4, ГОС-2, ЖОС-5

3-5 делений, КЦ не более 5-7 делений.

После определения положения переключателей U', КЦ, ГОС (выбора уставок) произвести осциллографирование переходного процесса при выбранных уставках U', КЦ, ГОС в двух-трех характерных точках рядом с уставкой и на границе области устойчивой работы. При осциллографировании ступенчатые импульсы подаются по контрольному входу АРВ-ВГ и изменяют напряжение статора на 3-4%.

При номинальном напряжении статора ВГ измерить напряжение на вторичных обмотках выпрямительного трансформатора, трансформатора собственных нужд, трансформаторах напряжения. Измерить распределение тока между двумя преобразователями, между параллельными ветвями внутри плеч и между одноименными плечами преобразователей.

Измерить напряжение выхода ПДУ при $U_{ст.ном}$

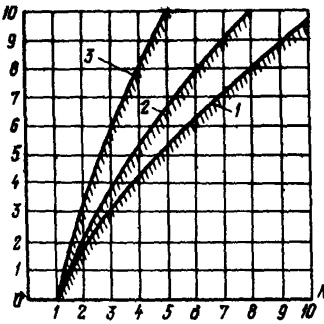


Рис.3. Области устойчивости U'- НЦ системы возбуждения ВГ с АРВ-ВГ для ТВВ-800-2: $K_{U'}$ - 6 мкФ; $K_{ГОС}$ - 4 мкФ; "Т кор.ц" - 4 мкФ; "К кор.ц" - 4 мкФ, "Закон рег." - 20 мкФ, ЖОС-5; I - ГОС-I; 2 - ГОС-2; 3 - ГОС-4

Осуществить перевод регулирования с АРВ-ВГ на ПДУ и обратно Выполнить гашение поля инвертированием в полной схеме. Процесс осциллографируется (рис.4). Время снижения тока ротора до нуля - не более 20 мс.

Произвести опыт начального возбуждения ВГ с ПДУ, работающим как резервный регулятор, с подачей тока от аккумуляторной батареи. Процесс осциллографируется (рис.5).

На ВГ турбогенератора ТВВ-800-2 время начального возбуждения составило 4,I с; $U_{ст.ВГ.уст}$= 935 В (перерегулирования нет).

$I_{рот.ВГ.уст}$ = 82 А (максимальное значение 246 А), $U_{рот.ВГ.уст}$= = 4I В (максимальное значение 230 В).

Выполнить гашение поля отключением контактора КГ (рис.6).

Выполнить начальное возбуждение с АРВ-ВГ или с ПДУ без подачи тока от аккумуляторной батареи (на остаточном напряжении). Процесс осциллографируется. Продолжительность процесс самовозбуждения на генераторе ТВВ-800-2 составила I4 с.

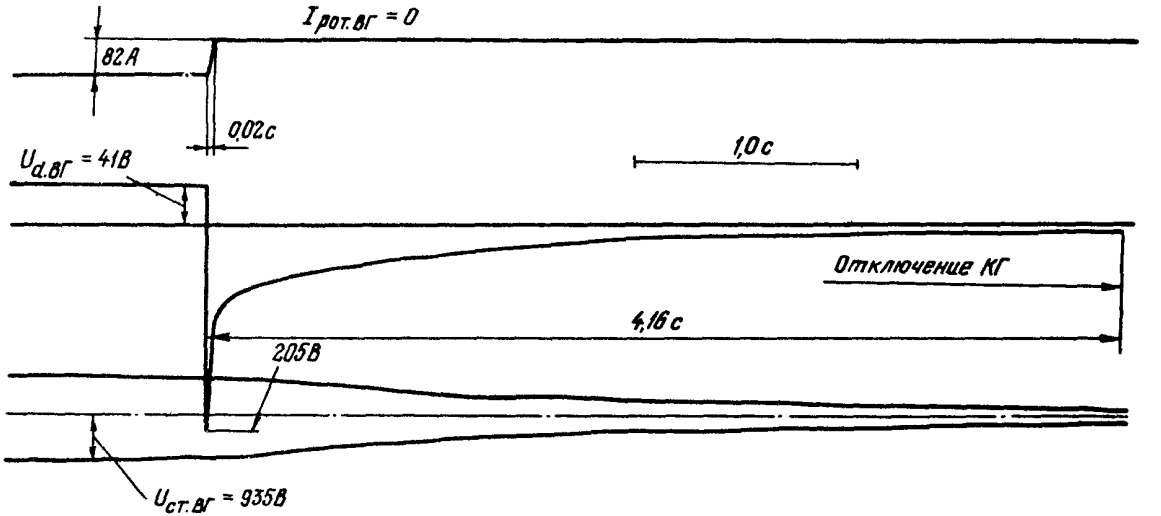


Рис.4. Осциллограмма гашения поля ВГ инвертированием для ТВВ-800-2 при холостом ходе ВГ

Примечание. Согласно типовым схемам, отключение КГ при успешном инвертировании не выполняется.

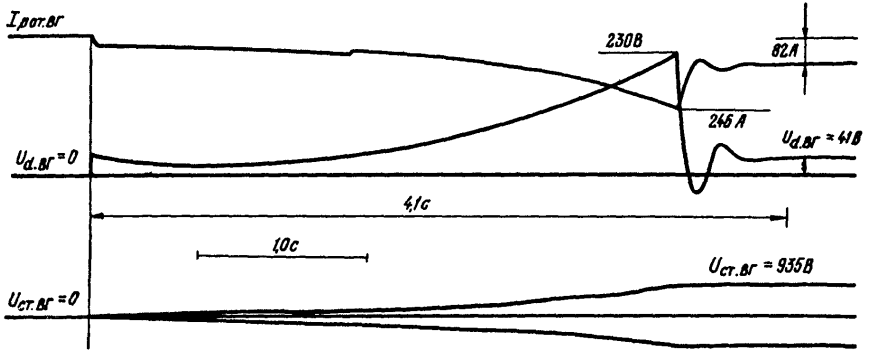


Рис.5. Осциллограмма начального возбуждения ВГ с ПДУ для ТВВ-800-2

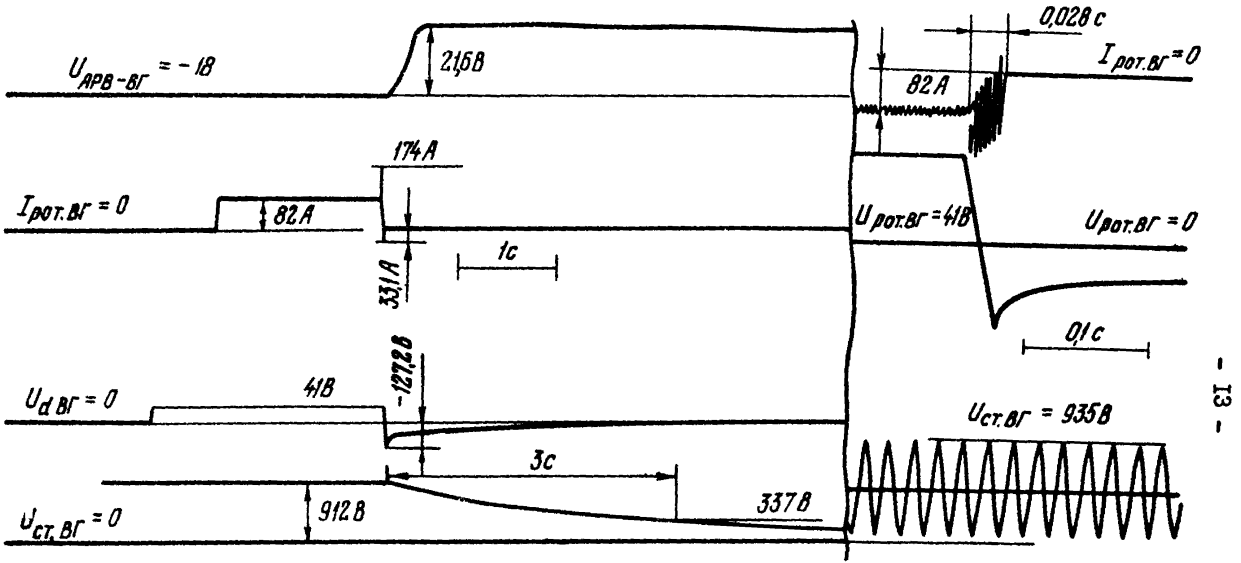


Рис.6. Осциллограмма гашения поля ВГ отключением контактора КГ для ТВВ-800-2 (холостой ход)

2. ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ТИРИСТОРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПРИ РАБОТЕ ЕГО С РЕЗЕРВНЫМ ВОЗБУДИТЕЛЕМ

При настройке собрать цепи возбуждения, подключить к преобразователям турбогенератора ошиновку. Напряжение на СУ1, СУ2 (СУ3) и на АРВ-СД подать от ТрСН по постоянной схеме. Должны быть опробованы и введены с действием на аппараты ТВ защиты ВГ и тиристорных преобразователей, цепи управления и сигнализации. Действие защит тиристорного возбуждения на отключение блока не вводится; ЖОС на АРВ настроен в соответствии с [3]. Проверить отключенное положение выключателей в цепях выхода ТП-ТГ.

Проверить работу системы охлаждения тиристоров, отсутствие течей.

Осуществить начальное возбуждение ВГ с АРВ-ВГ и установить $U_{ст.ВГ.ном}$.

При $U_{ст.ВГном}$ либо при изменениях $U_{ст.ВГ}$ в возможных и необходимых пределах, при работе преобразователей на холостом ходу следует:

- на питающих вводах всех преобразователей ТГ, на рядах зажимов ТрСН, на автоматах питания стоек и рядах зажимов СУ-ТГ всех преобразователей, на вторичных обмотках $ТН_{ВГ}$ при $U_{ст.ВГном}$ измерить напряжения, а затем с помощью электронного осциллографа и делителя напряжения со щупами проверить правильность чередования фаз (прямое) и правильность фазировки этих напряжений. Все перечисленные напряжения должны совпадать по фазе;

- выполнить при $U_{ст.ВГ.ном}$ контрольную проверку соответствия параметров определенным в пп.3.6.9, 3.6.I0 [3]. При этом проверить импульсы на всех тиристорах; фазировку импульсов с анодным напряжением (при $U_{АРВ} = 0$ и $U_{ПДУ} = 0$ проверить обе рабочие точки $\alpha_{р1}$ и $\alpha_{р2}$ в соответствии с п.3.6.I0.5 [3], для проверки второй точки соединить зажимы I0-I7); значение $\alpha_{макс}$ = = I50 эл.град - при команде "гашение" и $\alpha_{макс}$ = I35 эл.град - при команде "развозбуждение"; диапазон регулирования от $\alpha_{макс}$ = = I35 эл.град и $U_{dXX} = 0$ до $\alpha_{мин} = 0$ и $U_{d макс}$ изменением тока по контрольному входу АРВ-СД (определить зависимость $U_{dXX} = f(I_{к.вх})$ с ЖОС и без ЖОС и ориентировочно оценить кратность ЖОС

и крутизну характеристики для обеих рабочих точек); диапазон регулирования от ПДУ (изменение $\alpha, U_{dxx}, U_{пду}$), используемой для ручного регулирования, для обеих рабочих точек α_{p1}, α_{p2} в соответствии с п.3.6.I0.II [3]; исправность тиристоров и R-C-цепей определением формы напряжения на тиристорах с помощью электронного осциллографа и делителя со щупами (при необходимости заменить элементы цепей или тиристор), неоновых лампочек тиристоров; включение БПИ при поочередном отключении выключателей питания СУ-ТГ;

- определить напряжение вступления БПИ при снижении напряжения питания, если при предварительных проверках оно не определялось (см.п.3.6.9.5 3]). Для этого установить минимальную уставку АРВ-ВГ φ = -I0 и воздействием на контрольный вход АРВ-ВГ (ток до 3,0 мА) снижать $U_{ст.ВГ}$ до вступления БПИ. Запуск БПИ определить измерением распределения нагрузки между БП и БПИ;

- при работе ПДУ в качестве резервного регулятора проверить управляемость ТВ (α , $U_{d.xx}$, $U_{пду}$) при изменении уставки ПДУ; затем, изменяя $U_{ст.ВГ}$ с помощью устройства уставки АРВ-ВГ, определить правильность работы ПДУ, его коэффициент усиления, коэффициент усиления по каналу регулирования ПДУ (должен быть 25 ед.возб/ед.напр);

- при работе блока в сети с резервным возбуждением установить в верхнее положение накладку " ΔU " на лицевой панели ОБ (накладка "х50" установлена ранее - см.разд.3.9[3]) и проверить управляемость ТВ при изменении положения потенциал-регулятора АРВ-СД. При изменении $U_{ст.ВГ}$ с помощью устройства уставки АРВ-ВГ проверить правильность работы АРВ-СД, коэффициент усиления по каналу ΔU , управляемость ТВ. Проверить значение напряжения пульсации на выходе АРВ-СД при введении каналов U_1', f', Δf до положения переключателей I0 делений. После проверки накладку ΔU опять поставить в нижнее положение, а переключатели U_1', f', Δf - в положение 0;

- при работе турбогенератора в сети с резервным возбудителем в соответствии с указанным в разд.3.9 [3] должны быть также выполнены проверки правильности включения и настройки блоков БКТ, ОМВ, ПУН;

- выполнить проверку полярности выхода ТВ и резервного возбудителя.

3. ПРОВЕРКА СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ТИРИСТОРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПРИ РАБОТЕ БЛОКА В РЕЖИМЕ ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Полные испытания системы независимого тиристорного возбуждения при работе блока в режиме трехфазного КЗ производятся только на головных образцах системы возбуждения. Поэтому, если испытание защит и снятие характеристики КЗ серийного блока были выполнены от резервного возбудителя, то режим трехфазного КЗ специально для испытаний ТВ не предусматривается.

При снятии характеристики КЗ блока от резервного возбудителя и готовности монтажа цепей АРВ-СД следует только проверить обтекание током токовых цепей АРВ и правильность включения БКТ, так как такая проверка дает более наглядные результаты, чем проверка во время работы в сети [I,3].

Вместе с тем при завершенном монтаже и наладке ТВ, проведенной проверке его в соответствии с разд.2 допускается определять характеристики КЗ блока и проверять работу его защит при возбуждении от тиристорного возбудителя. Поскольку после испытаний в режиме трехфазного КЗ следует испытания в режиме холостого хода блока и включение в сеть, то при этом должна быть выполнена полная подготовка к испытаниям ТВ.

Все силовые цепи, цепи АРВ, защиты, управления и сигнализации должны быть подготовлены к работе. В соответствии с [3] следует установить приборы, необходимые для измерений при испытаниях, электронный и шлейфовый осциллографы, ключи для гашения ТВ, для отключения и включения АРВ, ОП, подготовить телефонную связь с НЩУ и схему форсировки.

Системы управления, АРВ, ТП должны быть проверены в соответствии с изложенным выше. Тиристорный возбудитель подготавливается к пуску в соответствии с инструкцией по его обслуживанию.

В соответствии с указанным в разд.3.9 [3] накладка ΔU на блоке ОБ - в нижнем положении, в нижнем положении также "огр.мин", "вхI", "форсировка". Накладки U', f', Δf, I_p' - в верхнем положении, но переключатели каналов - в положении 0 делений. В верхнем положении - накладка "кор.цепь", ее переключатель - в поло-

жении 4–6 делений.

Должны быть собраны цепи ЖОС и ГОС с ротора на АРВ–СД, а переключатель ЖОС установлен в положение, выбранное при наладке, переключатель ГОС – в положение 0. На блоке ОП снять накладки 3I, 32 огона и возврата уставки. Все остальные цепи должны быть собраны.

Для снятия характеристики КЗ блока по контрольному входу АРВ–СД подать отрицательный (запирающий) ток управления и осуществить начальное возбуждение вспомогательного генератора (предварительно подготовить схему управления – выводятся цепи неудачного возбуждения и т.д.).

Уменьшением отрицательного тока управления по контрольному входу выполнить возбуждение турбогенератора для определения характеристики КЗ блока, проверки его защит.

Испытания серийных тиристорных возбудителей в режиме КЗ блока, как уже отмечено, не проводятся. Однако при определении характеристики КЗ блока и проверке его защит от ТВ, если это возможно (например, во время проверок защит блока и т.д.) целесообразно в процессе увеличения возбуждения снять статические характеристики ТВ и проверить функционирование блоков БОР–2I и ОП. Провода с зажима I0 ряда зажимов СУ должны быть сняты (смещение соответствует работе в сети).

Работы выполняются аналогично указанному ниже в разд.4,5. Уставки вступления БОР–2I и ОП при проверках снижены. Во всех режимах $I_{ст.ТГ}$ не превышает значения, допустимого при снятии характеристики КЗ блока и проверке защит. Динамические возмущения (определение постоянной времени системы, устойчивости регулирования при ограничении $I_{рот.ТГ}$) осуществляются прямоугольными импульсами по контрольному входу (переключателем вводится или выводится резистор в цепи контрольного входа АРВ–СД).

4. ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ТИРИСТОРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПРИ РАБОТЕ ЕГО НА ХОЛОСТОМ ХОДУ

Система возбуждения должна быть полностью подготовлена для испытаний в соответствии с указанным в
ратура и цепи для испытаний.

Турбогенератор должен работать на холостом ходу с номинальной частотой вращения.

При снятой накладке ΔU (остальные накладки - в положении, указанном в разд.3.9 [3]) по контрольному входу АРВ-СД подать отрицательный ток управления.

Осуществить начальное возбуждение ВГ (цепь "неудачного" пуска выведена) и после достижения $U_{ст.ВГ} = U_{ст.ВГ.ном}$ медленным уменьшением отрицательного значения тока по контрольному входу АРВ-СД увеличивать возбуждение турбогенератора вплоть до достижения номинального значения напряжения на статоре $U_{ст.тг.ном}$.

При плавном увеличении $U_{ст}$ фиксировать значения $I_{к.вх}, U_{ст.тг}, U_{рот.тг}, I_{рот.тг}, U_{АРВ-СД}, I_{жос.АРВ-СД}, U_{БОС}, U_{ст.ВГ}, U_{рот.ВГ}, I_{рот.ВГ}, I_{ст.ВГ}, U_{АРВ-ВГ}$ (если они не фиксировались в режиме КЗ блока). Проверить распределение токов между параллельно включенными преобразователями.

По этим значениям можно определить коэффициент усиления системы по контрольному входу $\frac{\Delta U_d}{\Delta I_{к.вх}}$ (рис.7), коэффициент усиления тиристорного возбудителя с системой управления $\frac{\Delta U_d}{\Delta U_{АРВ-СД}}$ коэффициент усиления по каналу ЖОС $\frac{\Delta I_{жос}}{\Delta U_d}$, коэффициент усиления разомкнутой по ЖОС системы (из формулы $K_з = \frac{K_р}{1+K_{жос}K_р}$) и кратность ЖОС проверить их соответствие принятым.

При наличии двух уставок смещения (в сети и на холостом ходу) следует выполнить увеличение возбуждения по контрольному входу до $U_{ст.ном}$ с фиксацией перечисленных значений два раза - при снятых с зажимов I0 проводах и при объединении зажимов I0 и I7 СУ. Дальнейшие операции выполняются при соединенных по цепям автоматики зажимах I0-I7.

При номинальном напряжении на статоре турбогенератора поворотом ручки сельсина АРВ-СД проверить изменение ΔU. Установить $\Delta U = 0$ и установкой накладки ΔU в верхнее положение, выполнить перевод на работу в замкнутом контуре регулирования. При установке накладки ΔU: переключатель КЦ - в положение 4-6 делений, переключатель ГОС - 0 делений, переключатели U', f', Δf, $I'_р$ - 0 делений. В случае возникновения неустойчивости она может быть

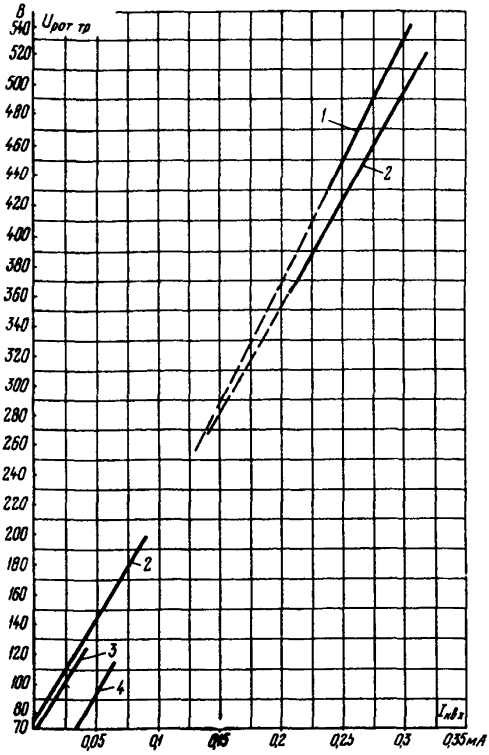


Рис.7. Регулировочная характеристика системы возбуждения генератора:

I - характеристика $U_{рот.тг}=f(I_{к.вх})$; снята для ТВВ-800-2 при работе в сети измерением $I_{\Delta U}$ и $U_{рот}$; $I_{к.вх}=2\cdot I_{\Delta U}$;

К = I640 В/мА к.вх - 3,I ед.возб/мА к.вх;

$2,2'$ - $U_{рот.тг}=f(I_{к.вх})$; сняты на другом ТВВ-800-2 при работе его на холостом ходу (канал ΔU отключен) и в сети по $I_{\Delta U}$ аналогично I.

К = I350 В/мА к.вх - 2,6 ед.возб /мА к.вх;

3 - $U_{рот.тг}=f(I_{к.вх})$; снята на холостом ходу ТВМ-500; 4 - $U_{рот.тг}=f(I_{к.вх})$, холостой ход ТВВ-800-2; $U_{см}=U_{см.хх}$

устранена изменением положения переключателя КЦ и ГОС.

После перевода возбуждения турбогенератора на работу в замкнутом контуре регулирования с АРВ-СД следует выполнить следующее:

- проверить с помощью уставки АРВ диапазон регулирования напряжения статора на холостом ходу турбогенератора, который должен составлять 0,9-I,I $U_{ст.ном}$ (или 0,8-I,I $U_{ст.ном}$). Верхний уровень не должен превосходить I,I $U_{ст.ном}$. При необходимости перемещение диапазона уставок осуществляется резистором R_g в блоке БН. Положения сельсина и соответствующие ему значения $U_{ст}$ следует фиксировать через каждые 30 эл.град;

- определить области устойчивой работы ТВ в координатах U' - корректирующая цепь (рис.8).

При определении областей устойчивости выход АРВ следует включить на электронный осциллограф (луч осциллографа должен представлять собой медленно перемещающуюся по экрану точку, которая отклоняется на весь диапазон экрана осциллографа при $U_{АРВ}$= 7÷8 В).

Определить область устойчивой работы U' - КЦ при $U_{ст.ном}$ изменением положения переключателя КЦ при положениях переключателя U' - 0;5; I0 делений.

При положении переключателя U'- 0 делений переключатель "Кор.цепь" следует поворачивать против часовой стрелки до положения 0 делений или до положения, при котором возникают значительные автоколебания выхода АРВ и U_d . Далее эти колебания устранить медленным поворотом переключателя по часовой стрелке (точка устойчивой работы - положение переключателя "Кор.цепь", при котором прекращаются автоколебания).

На рис.8 зафиксировать положения переключателя КЦ при U'- 0, при которых режим устойчив. Затем коэффициент по каналу U' увеличить до 5 делений, а переключатель "Кор.цепь" поворачивать против часовой стрелки до возникновения значительных автоколебаний; далее при медленном повороте переключателя по часовой стрелке определить точку прекращения автоколебаний и область устойчивой работы при данном коэффициенте усиления по каналу U'. Подобным образом область устойчивой работы определить и при U' - I0 делений.

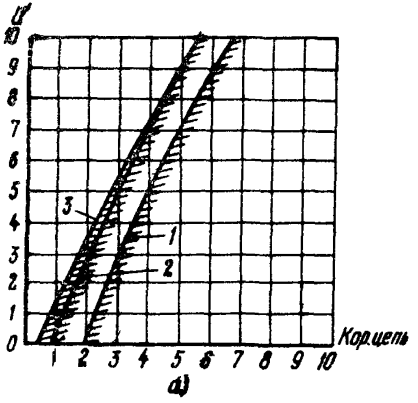


Рис.8. Области устойчивой работы ТВ в координатах U' – КЦ для ТВВ-800-2 при работе его на холостом ходу:

$а$ – φ_c – 0; $I'_р$ – 0; I – ГОС-0; 2 – ГОС-2; 3 – ГОС-4; $б$ – φ_c – 0; ГОС-2; I – $I'_р$ – 0; 2 – $I'_р$ – 2; 3 – $I'_р$ – 4

Примечание. Области получены на одном ТВВ-800-2. Для сравнения дана область 4 – φ_c – 0, ГОС-2, $I'_р$ – 3, полученная на другом блоке; для правильной настройки требуется корректировка в целях расширения области.

Определить изменение области U' – КЦ при установке переключателя I'_p в положение 3,5,7,10 делений.

Область U'–КЦ при вводе регулирования по I'_p уменьшается.

Канал ГОС вводить в работу не следует, так как, незначительно расширяя область U' – КЦ, он уменьшает быстродействие системы.

Далее аналогично указанному определить область U' – КЦ при минимальном напряжении статора $U_{ст} = 0{,}9\,U_{ст.ном}$ или $0{,}8\,U_{ст.ном}$ (в зависимости от выбранного диапазона). Эта область меньше, чем при $U_{ст.ном}$, и является определяющей.

Устойчивая работа должна быть обеспечена при следующем положении переключателей: канала U' – не менее 5 делений (5–10 делений), канала I'_p – не менее 6 делений, КЦ 4–5 делений (допускается увеличение до 7 делений).

Для обеспечения в сети наибольших областей устойчивости $f' - \Delta f$ следует вводить наибольшие коэффициенты усиления по I'_p и U' при наименьших коэффициентах по КЦ (приложение 2). Вместе с тем на холостом ходу генератора ввод I'_p приводит к уменьшению области U' – КЦ.

В системе тиристорного самовозбуждения генераторов ТГВ-200 Молдавской ГРЭС (по рекомендации ВНИИЭ) для обеспечения больших коэффициентов по U' и I'_p (рис.9) изменена схема фильтра на выходе ОБ и выполнено подключение I'_p до фильтра БТЛ-2 (от выводов 11–13 БТЛ-2).

Однако в системе независимого возбуждения эта схема не используется.

В действующей схеме, если введение I'_p сокращает область на холостом ходу генератора, допускается (после проверок областей устойчивости U'–I'_p, Δf–f при работе турбогенератора в сети) выполнить автоматический вывод канала I'_p при работе турбогенератора на холостом ходу, чтобы обеспечить ввод его при работе в сети с большими коэффициентами (желателен ввод I'_p – 10 делений);

– проверить отсутствие паразитных связей по каналам f' и Δf.

Переключатели f' и Δf ввести до 10 дел. (должна быть предварительно выведена шунтировка их блок-контактами выключателя), колебаний не должно возникать.

При выбранных максимально возможных значениях U' и I'_p, f-10 Δf-10 определить минимальное значение КЦ, при котором обеспе-

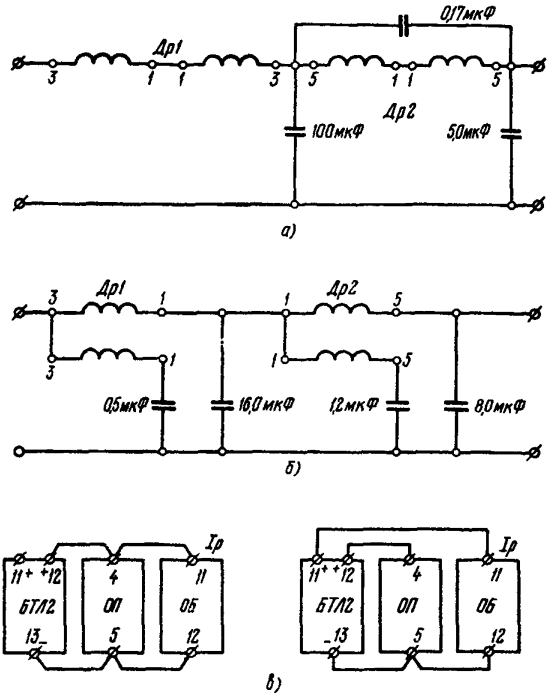


Рис.9. Схема выходного фильтра ОБ и цепей I_p' в системе самовозбуждения ТГВ-200:

$а$ – исходная схема фильтра; $б$ – скорректированная схема фильтра; $в$ – исходная схема подключения I_p; $г$ – скорректированная схема подключения I_p

чивается устойчивость. Затем переключатели f' и Δf перевести в нулевое положение и повторить опыт. Минимальные значения по корректирующей цепи в обоих случаях не должны отличаться более чем на I дел.

Возникновение колебаний или изменение областей устойчивости при вводе каналов f' и Δf свидетельствуют о наличии паразитных

так как при постоянной частоте вращения турбогенератора никаких воздействий по ним не должно осуществляться.

При возникновении автоколебаний должны быть проверены: стабилизация питания УI УМС и магнитного усилителя БНЗ, режим работы стабилитронов на измерительном входе БЧ.

Переключатели f' и Δf предварительно устанавливаются: f' – на 7 делений, Δf – на одно деление. Вводится шунтировка каналов f' и Δf блок-контактами выключателя.

После определения положения переключателей U', I'_p, КЦ произвести осциллографирование переходного процесса при выбранных уставках U, I_p, КЦ, в двух-трех характерных точках – близких к выбранной уставке и на границе области устойчивой работы ТВ; при осциллографировании импульсы тока подаются по контрольному входу АРВ. Импульс изменяет напряжение статора на 3–4%.

Произвести опыт гашения поля турбогенератора переводом тиристорного возбудителя в режим инвертирования. Опыт производится при $U_{ст.ном}$ воздействием от ключа с ЩУ. Процесс осциллографируется (рис.I0). Так, на генераторе ТВВ-800-2 отрицательное напряжение на роторе при гашении составило 945 В, продолжительность снижения тока ротора турбогенератора до 0–0,22 с. Через 2,9 с после сигнала на гашение гасится поле ВГ. При этом отрицательное напряжение на роторе ВГ составило 205 В, а продолжительность снижения тока ротора ВГ до нуля – 0,03 с. Осциллографируется также процесс гашения поля при отключении контактора КГ (рис.II).

Произвести опыт начального возбуждения турбогенератора при включенных регуляторах АРВ-ВГ (или ПДУ-ВГ) и АРВ-СД. Опыт выполнить при выбранных положениях переключателей U', КЦ, I'_p, произвести осциллографирование (рис.I2). Фиксируются установившиеся значения напряжений и токов возбуждения, напряжений статора, токов преобразователей вспомогательного генератора и турбогенератора.

Общая продолжительность процесса на генераторе ТВВ-800-2 6–7 с: 2,7–3,8 с – самовозбуждение ВГ до момента начала возбуждения ТГ и 3,4–3,5 с – возбуждение ТГ.

Проверить (без записи) с помощью токоизмерительных клещей обтекание током всех параллельных ветвей в плечах преобразователей, ориентировочно оценить распределение токов между этими ветвями; проверить распределение токов между параллельно включен-

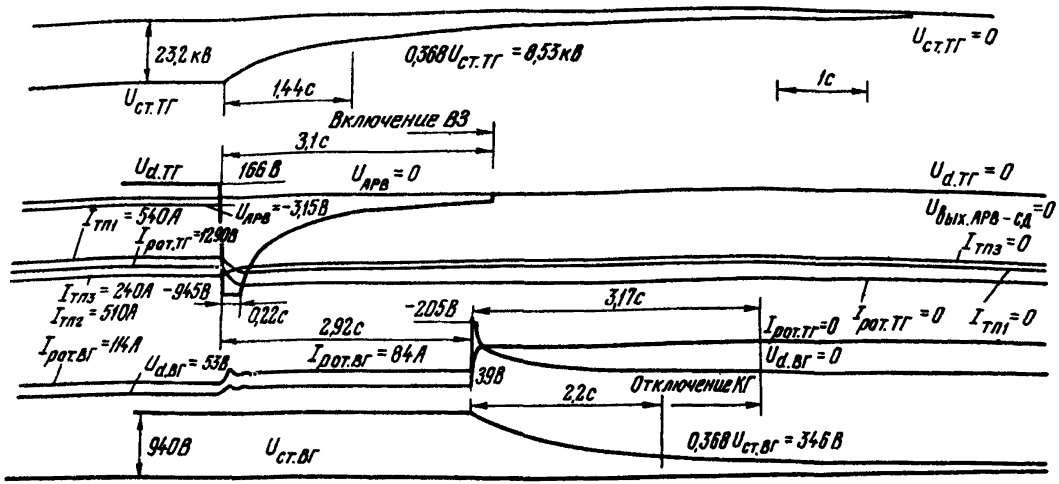


Рис. 10. Осциллограмма гашения поля ТВВ-800-2 при работе его на холостом ходу ключом с БЩУ

Примечания: 1. В тиристорном возбуждении применена система управления тиристорами ШТВ-7, а не СУ-ВЧ - 2. Положительный выход АРВ-СД на холостом ходу турбогенератора шунтируется диодами.

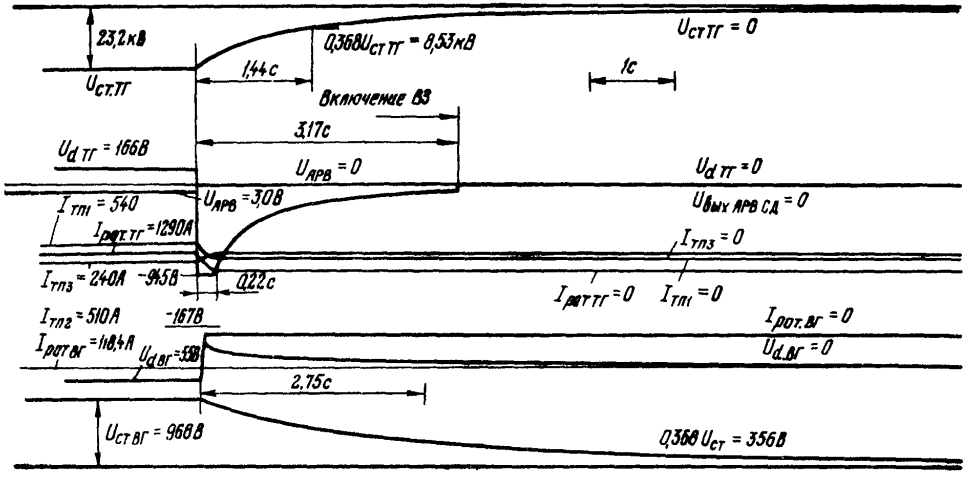


Рис.II. Осциллограмма гашения поля ТВВ-800-2 при работе его на холостом ходу отключением КГ от защиты
Примечания те же, что к рис.I0

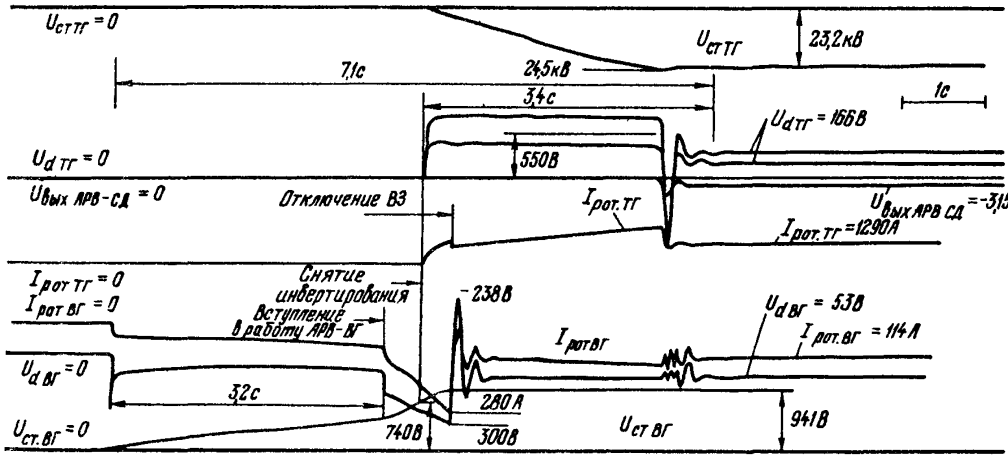


Рис.I2. Осциллограмма начального возбуждения ТВВ-800-2 с АРВ-ТГ
Примечания те же, что к рис.I0

ными преобразователями. Также проверить форму напряжений на тиристорах. Определить отсутствие дефектных тиристоров и R-C -цепей. Проверить целость сигнальных лампочек на тиристорах. Подробно распределение токов и напряжений проверяется при работе в сети.

При начальном возбуждении с АРВ-СД и отключенном выходе ПДУ проверить правильность установки счетчика в ПДУП СУ-ТГ (были случаи, когда значение и полярность напряжения выхода ПДУ соответствовали после окончания начального возбуждения максимальной уставке).

Проверить, что автоматически установлено смещение СУ-ТГ, соответствующее отключенному турбогенератору.

Отключить АРВ и проверить, что $U_{СТ}$ соответствующее этому смещению, близко к номинальному значению.

Включить ПДУ в СУ-ТГ (при отключении энергоблока ПДУ отключается, смещение изменяется в соответствии с указанным; включение ПДУ производится вручную), оценив предварительно по вольтметру на выходе ПДУ положение его уставки ($U_{ПДУ}$ должно быть в 1,5 раза меньше $U_{АРВ}$ перед его отключением).

Воздействием на ключ БПУ определить диапазон регулирования с помощью ПДУ напряжения статора ТГ.

При использовании ПДУ только для ручного регулирования диапазон регулирования должен составлять 0÷1,1 $U_{СТ.НОМ}$. При необходимости подкорректировать этот диапазон: после полного прохождения команды "больше" резистором в ПДУ R_2, а после прохождения команды "меньше" - резистором R_{16}.

При использовании ПДУ в СУ-ТГ в качестве резервного регулятора с дистанционным изменением уставки диапазон регулирования должен составлять 0,8-1,1 $U_{СТ.НОМ}$. Корректировка диапазона осуществляется аналогично указанному.

Следует проверить устойчивость работы ПДУ, используемого в качестве резервного регулятора, при $U_{СТ} = 0{,}8U_{НОМ}; U_{НОМ}; 1{,}1U_{НОМ}$. Для проверки устойчивости следует подавать возмущающие сигналы по одному из входов системы управления (по входу АРВ, либо входу БОР-2I).

Выполнить гашение поля инвертированием с помощью ключа на БПУ.

Выполнить начальное возбуждение при включенном регуляторе АРВ-ВГ и ПДУ в системе управления турбогенератора. Процесс осциллографируется. В случае ошибочной установки на статоре турбогенератора максимального значения I,I $U_{ст.ном}$ производится корректировка воздействием в сторону "меньше".

Отключить ПДУ ключом, включить АРВ.

Выполнить переводы возбуждения с ТВ на резервный возбудитель и обратно. Проверить правильность работы схемы инвертирования при переводах.

При работе турбогенератора на холостом ходу с ТВ и АРВ-СД снижается частота вращения турбины, и при f = 45 Гц фиксируется действие на гашение поля блокировки отключенного "выбегающего" блока.

5. ИСПЫТАНИЯ ТИРИСТОРНОГО ВОЗБУДИТЕЛЯ С АРВ ПРИ РАБОТЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА В СЕТИ

5.I. Испытания ТВ при малой активной нагрузке

После настройки и проверки ТВ на холостом ходу турбогенератор должен синхронизироваться с системой и включаться в сеть.

При автоматической синхронизации и отключенном выключателе следует проверить точность подгонки напряжения генератора к напряжению сети с помощью блока ПУН. Для этого ПУН следует включать при предварительной установке напряжения генератора на 5-I0% ниже напряжения сети и на 5-I0% выше напряжения сети. Точность подгонки проверяется после окончания работы блока ПУН.

Предварительно при работе с резервным возбудителем на реле РI, Р2 было установлено напряжение, равное нулю при включенном блоке, и $P = 0, Q = 0$ (см.разд.3 [3]). Если это не выполнено предварительно, то генератор с ТВ следует включить без блока ПУН и выполнить указанную настройку при $P = 0$ и $Q = 0$, а также при изменении Q[3]. Включение в работу ПУН совместно с устройством автоматической синхронизации в этом случае осуществить при втором включении блока с ТВ.

Проверить плавность регулирования возбуждения и набора реактивной нагрузки при воздействии на уставку АРВ. Каждому положению потенциала-регулятора должна соответствовать определенная

реактивная нагрузка генератора. При неустойчивом регулировании реактивной нагрузки генератор разгружается до $Q = 0$, шунтируются трансформаторы тока и уменьшается сопротивление БКТ, а затем повторно вводится БКТ и проверяется работа АРВ с БКТ. Правильность включения цепей БКТ проверена предварительно (в режиме КЗ блока, либо при работе с резервным возбудителем; если это не выполнено, то такая проверка должна быть произведена в соответствии с указаниями разд.3.9 [3].

При малой активной мощности ($P \leq 0,4 P_{ном}$) подачей ступенчатых импульсов по контрольному входу проверить устойчивость регулирования при выбранных на холостом ходу уставках по каналам U', I'_p и КЦ. При этом переключатель f' находится в положении 5–7 делений, а Δf – I деление.

Проверить устойчивость работы системы регулирования при различных положениях переключателей регулирования путем определения следующих зон:

$U'-I'_p$ при $\Delta f-0, f'-0$ для КЦ–I, КЦ–2, КЦ–4, КЦ–7;

$\Delta f-f'$ при $U'-0$ и выбранном значении КЦ для I'_p-0, I'_p-3, I'_p-5.

Области снимаются до максимальных делений переключателей (U' – 0–I0 делений, I'_p–0–I0 делений, f' –0–I0 делений, Δf – 0–I0 делений).

Проверить работу сгона уставки АРВ до $cos\varphi = I$, т.е. до $Q = 0$.

Проверить с помощью токоизмерительных клещей распределение токов между параллельными ветвями плеч преобразователей.

Токи в параллельно включенных ветвях одного плеча не должны отличаться более чем на ±I5% от среднего расчетного тока ветви при полном количестве ветвей и при отсутствии одной ветви.

Проверить распределение тока между параллельными преобразователями.

Неравномерность токораспределения по ветвям одноименных плеч параллельно работающих преобразователей не должна превышать ±20% среднего расчетного тока через ветвь одноименных плеч (средний ток – это суммарный ток, измеренный во всех ветвях, деленный на количество ветвей в одноименных плечах).

Измерить с помощью электронного осциллографа, щупов и делителя распределения напряжения по последовательно включенным тиристорам. Разность напряжений по последовательно включенным тиристорам не должна превышать 20% среднего расчетного напряжения.

Осуществить перевод возбуждения с ТВ на резервный возбудитель и обратно.

Проверить ОМВ при $P = 0{,}2\text{-}0{,}3\,P_{ном}$.

При выполненной согласно указанной в п.3.9.6 [3] настройке ОМВ подстройка в сети его статических характеристик не требуется. Однако необходимо проверить устойчивость при работе в режиме ограничения. Если проверка правильности включения цепей ОМВ не выполнена при работе турбогенератора с машинным возбудителем, то ее следует произвести при работе турбогенератора с ТВ с той лишь разницей, что выход ОМВ включается на миллиамперметр а не на вход АРВ.

При работе турбогенератора в режиме перевозбуждения (ОМВ из работы выведен) выход ОМВ включить на вход АРВ через миллиамперметр и накладку "Огр.мин " Переключатель ОМВ "Усиление" - в положение IO, "Стабилизация" - в положении 0, I_p' - в положении 6 делений. В остальном настройка ОМВ соответствует указанному в разд.3.9 [3].

Уменьшением угла поворота сельсина уставки АРВ снижать ток возбуждения до начала вступления в работу ОМВ. Фиксируется совпадение момента вхождения с требуемым по характеристике (пунктирная линия на рис.2I [3] ;измеряются $I_{рот}, Q$).Затем плавно увеличивать в сторону развозбуждения до I,6-I,7 мА ток контрольного входа АРВ, что при коэффициенте усиления по каналу напряжения 50 ед.возб /ед.напр соответствует изменению напряжения статора на I0%.

В процессе увеличения отрицательного тока по контрольному входу АРВ до I,7 мА при отсутствии автоколебаний определить статические характеристики ОМВ в режиме недовозбуждения $I_{ОМВ}$, $Q, I_{рот}$, $U_{ст} = f(I_{к.вх})$, чем проверить соответствие статизма регулирования приведенным в [3] расчетам. Статические характеристики работы ОМВ для турбогенераторов ТВВ-800 приведены на рис.I3.

При положении переключателя ОМВ "Усиление" - I0 и переключателя $I_p' \geqslant 6$ должны отсутствовать автоколебания, обеспечиваться устойчивая работа в режиме недовозбуждения.

При этих коэффициентах и $I_{к.вх} = I{,}6 \div I{,}7$ мА определить положения переключателя "Стабилизация", при которых система устойчива. Для этого положение переключателя "Стабилизация" из-

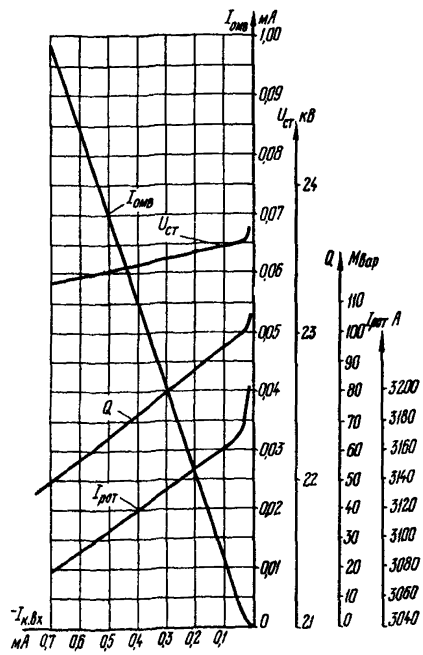


Рис.I3. Статические характеристики работы ОМВ: $I_{рот}$, $I_{ОМВ} = f(I_{К.ВХ})$ для ТВВ-800-2 при P = 830 МВт

Примечания: I. Характеристики соответствуют выбранной для ТВВ-800-2 настройке ОМВ K = 8 делений. Статизм - I20 $\frac{}{I0\%}$ $U_{СТ}$; $Q_{ВСТ}$ = 80 Мвар при $P_{ном}$. 2. Целесообразно увеличить $K_{УС}$ до I0 делений, тогда статизм - 90-I00 $\frac{\text{Мвар}}{I0\%}$ $U_{СТ}$, при этом допускается настройка с более поздним вступлением

менять поворотом по часовой стрелке. В случае возникновения колебаний переключатель поворачивать против часовой стрелки до их прекращения, чем и определить устойчивую точку. Следует ввести максимально возможное положение переключателя "Стабилизация" ("Усиление" – IO, $I_p' \geqslant 6$).

Если при положении переключателя "Стабилизация" – IO колебания не возникают, то для проверки устойчивости следует подать ступенчатый сигнал на контрольный вход.

Толчок осуществлять выводом или вводом с помощью переключателя последовательно включенного резистора в устройстве для подачи тока по контрольному входу.

Устойчивость контролировать с помощью электронного осциллографа по выходу АРВ.

Для улучшения устойчивости емкость С2I, С3О должна быть уменьшена до I8О мкФ (в отдельных энергосистемах лучший эффект дает установка 3ОО мкФ), а в цепи Д74, R35 увеличить сопротивление резистора R35 с 4,3 до 2О кОм (при проверке устойчивости определить оптимальное значение этого сопротивления).

При выбранных уставках проверить устойчивость в режиме ограничения и качество переходного процесса при толчках на развозбуждение по контрольному входу (потенциал-регулятор – в положении, соответствующем началу вступления ОМВ в работу).

При толчках 0,I–0,2 мА без осциллографирования проверить качество переходного процесса (при необходимости корректируется С2I, С3О и R_{35}).

При толчке 0,4–0,5 мА выполнить осциллографирование переходных процессов. Осциллографирование переходных процессов при проверке ОМВ и ОП целесообразно выполнять на бумаге УФ. Увеличению напряжения в сети на I0% соответствует изменение тока по контрольному входу I,6 мА, однако характер переходного процесса при толчках 0,4–0,5 мА и I,6 мА практически одинаков. Поэтому допускается ограничиться сигналом 0,4–0,5 мА. При возникновении опасных колебаний турбогенератора вывести его из режима недовозбуждения.

Аналогичное определение динамических характеристик и контрольная проверка статических характеристик ОМВ должны производиться также при $P = 0{,}6 \div 0{,}8\, P_{ном}$ и при $P_{ном}$

Области устойчивости при увеличении активной мощности умень-

ваются. Поэтому определяющим для выбора коэффициентов усиления должны быть испытания при $P_{ном}$. Моменты вступления ОМВ в работу при $P_{ном}$ также должны соответствовать указанному на рис.2I [3] пунктирной линией. После настройки ОМВ при $P_{ном}$ целесообразно (если в процессе увеличения производились какие-то изменения в настройке) проверить его работу при меньших мощностях (0,6–0,8 $P_{ном}$; 0,2–0,4 $P_{ном}$).

5.2. Испытания ТВ в процессе увеличения активной мощности

При мощности 0,6–0,8 $P_{ном}$ аналогично указанному выше следует проверить устойчивость при работе ОМВ с выбранной настройкой и в случае необходимости скорректировать положения переключателей "Стабилизация".

Проверить распределение токов между параллельно работающими преобразователями ВГ, преобразователями возбуждения турбогенератора. Измерить распределение токов между параллельными ветвями в преобразователях. По электронному осциллографу проконтролировать форму напряжений $U_{d.тг}$, $U_{d.вг}$, $U_{ст.вг}$, напряжений на тиристорах; распределение напряжений между последовательно включенными тиристорами.

Проверить устойчивость системы регулирования аналогично указанному выше (области $U'-I'_p$, $\Delta f - f'$).

При мощности P = 0,8 $P_{ном}$ проконтролировать работу датчика тока ротора, соответствие его характеристики принятой.

В случае необходимости при номинальном токе ротора с помощь резисторов R_1, R_2 в БТИ подкорректировать напряжения на входе в ОП и БОР-2I в соответствии с указаниями разд.3.9 [3], т.е. д 75 В.

Следует отметить, что полная проверка характеристики датчика тока ротора производится либо предварительно в трехфазной схеме, либо при работе ВГ в режиме КЗ или (для головных образцов ТВ при работе блока генератор–трансформатор в режиме трехфазного КЗ Если такая проверка не выполнена, то ее необходимо выполнить при работе блока в сети. Вместе с тем часто при работе в сети не представляется возможным обеспечить плавное увеличение тока ротора воздействием по контрольному входу АРВ до I,8–I,9 $I_{рот.ном}$.

В последнем случае следует проверить вступление БОР-2*I* в работу при сниженной уставке (при $I_{рот.ном}$ или при $I_{рот}$ = I,2÷ I,3 $I_{рот.ном}$ шунтированием части стабилитронов на выводах 7-II блока БОР-2*I*), а срабатывание реле двойного тока - при сниженной "настроечной" уставке (см.приложения I, п.8.8).

После проверки датчика тока ротора и БОР-2*I* вводится канал "форсировка" в блоке ОБ.

При $P = 0,8 P_{ном}$ проверить работу ОП. Накладки сгона и возврата уставки АРВ от ОП сняты.

Проверить статическую цепь регулирования ОП:

- поставить накладки 7,6 ОП в рабочее положение и при токе ротора, меньшем $I_{рот.ном}$, установкой накладки ОБ "Вх.I" включить через миллиамперметр схему регулирования на вход АРВ. Контроль за работой схемы осуществлять также по вольтметру, подключенному к выводам „ $\Delta I''$. Переключатель "Усиление" (резистор *R49*) установить в положение 8 делений, переключатель "Стабилизация" (резистор *R48*) - в положение 0 делений, при этом С29 = 3,3 мкФ;

- увеличить ток ротора до $I_{рот.ном}$ воздействием на контрольный вход АРВ. Проверить, чтобы при $I_{рот.ном}$ и U_{3-5} = 75 В $U_{\Delta I}$ = 0;

- замкнуть специальным ключом выводы II5, II4 второй панели АРВ, таким образом шунтировать контакты Л-Я реле РОП и ввести канал регулирования при ограничении. Проверить, что при $I_{рот.ном}$, U_{3-5} = 75 В, $U_{\Delta I}$ = 0 появляется ток выхода ОП. При необходимости скорректировать количество стабилитронов в плечах Д52-Д58; Д59-Д65;

- уменьшить ток ротора до $I_{рот}$= 0,6÷0,7 $I_{рот.ном}$($I_{к.вх}$ = 0; ток определяется положением уставки АРВ);

- с помощью ключа замкнуть выводы II5, II4. Снизить уставку стабилитронного моста ОП (момент вступления) приблизительно на 25-30% шунтированием части стабилитронов плеч либо искусственным увеличением выхода БЛ ($I_{уст}$ = 0,7-0,75 $I_{рот.ном}$);

- ввести ключом в работу канал регулирования при

$$P = 0,7 \div 0,8\, P_{ном} \quad \text{и} \quad I_{рот} = 0,6 \div 0,7\, I_{рот.ном};$$

- увеличить ток ротора воздействием на уставку АРВ до появления тока выхода ОП;

- подать на контрольный вход АРВ ток и увеличить его до значения $I_{м\ вд}$ =I,6÷I,7 мА, соответствующего изменению напряжения

после БКТ на 10%. При $I_{к.вх}$ =+1,6÷1,7 мА аналогично описанному для ОМВ определить при положении переключателя "Усиление" – 8 делений максимально возможное положение переключателя "Стабилизация".

В некоторых случаях для получения большей устойчивости резистор *R43* подключался не между диодом Д67 и резистором *R45* (проектная схема), а к точке, общей для *R45* , Д68, Д73. Стабилитрон Д68 в схеме выходных цепей ОП следует оставить включенным

При установленных положениях переключателей ОП("Усиление"-8, "Стабилизация" – максимально возможное) и $I_р' \geq 6$ должна обеспечиваться устойчивость в режимах ограничения перегрузки по току ротора;

– определить качество переходного процесса осциллографированием или с помощью электронного осциллографа с послесвечением.

При этом подача возмущения по контрольному входу +1,6 мА в сторону форсировки по условиям устойчивости неполностью эквивалентна реальному вводу ОП при наличии перегрузки. Поэтому следует подавать возмущение при проверке ОП не по контрольному входу, как это выполняется при проверке ОМВ, а осуществлять ввод ОП при наличии перегрузки. Для этого ключ ОП (выводы 115, 114) отключить, воздействием по контрольному входу установить максимально возможный ток ротора (1,0÷1,3 $I_{рот.ном}$), включить вновь ОП ключом. Процесс уменьшения тока ротора до значения, несколько превышающего уставку ($I_{уст}$ = 0,7÷0,75 $I_{рот.ном}$), осциллографировать. Перед выводом ОП с помощью ключа необходимо снять ток контрольного входа. Качество переходных процессов определять при $I_р' \geq 6$.

По результатам проверки устойчивости может быть скорректировано положение переключателя "Стабилизация";

– выполнить контрольную проверку статизма регулирования в режиме ограничения при выбранных положениях переключателей "Усиление" и "Стабилизация" (ключ ввода ОП в положении "включено", изменением положения уставки АРВ устройство вводится в работу). Проверка производится измерением $\Delta I_{к.вх}$ и соответствующих ему ΔQ , $\Delta I_{рот}$ и $\Delta I_{огр}$ (полная статическая характеристика приведена на рис.14). Значение статизма $\frac{\Delta I_{рот}}{I_{рот.ном}} 100$ при увеличении $I_{к.вх}$ на 1,6–1,7 мА не должно превышать 10%.

Перечисленные выше работы могут быть выполнены и при нормальной уставке вступления ОП – $I_{рот.ном}$. В этом случае при про-

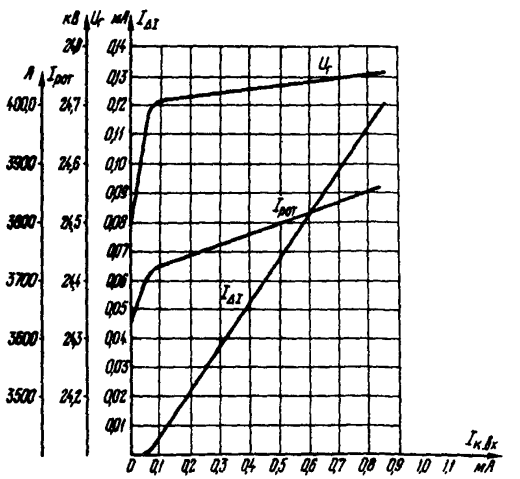


Рис.I4. Характеристика работы статической схемы ОП

Статизм составляет примерно $300\ \frac{А}{10\%}\ U_{ст} \approx 8\%$

верке устойчивости ОП вводится при $I_{рот} \approx 1,2\ I_{рот.ном}$.

Проверяется астатическая цепь ОП.

Проверка может быть выполнена как при сниженной уставке ($I_{уст} \approx 0,7 \div 0,75 I_{рот.ном}$), так и при нормальной.

Для проверки следует:

- установить накладки сгона и возврата уставки (3I,32 - блок ОП);

- установить максимально возможный ток ротора ($1 \div 1,2 I_{рот.ном}$ первая цифра - для случая с заниженной уставкой);

- ввести ключом ОП и проверить правильность работы его узлов при быстром уменьшении тока ротора, сгоне уставки АРВ, прекращении сгона при $I_{рот} = 0,98\ I_{уст}$ ($I_{уст} = 0,7 \div 0,75 I_{рот.ном}$ или $I_{уст} = I_{рот.ном}$ и срабатывании реле Р2;

- увеличить дополнительно ток ротора до максимально возможного (I-I,2$I_{рот.ном}$) и убедиться, что повторное уменьшение тока и сгон уставки начинаются не ранее чем через I-2 с;

- поставить ключ ОП в отключенное положение (Р8 остается включенным через цепь подхвата) и медленно уменьшать ток контрольного входа (необязательно до нуля); при уменьшении тока ротора до 0,9 $I_{уст}$ и срабатывании реле РI должен происходить возврат уставки АРВ до момента возврата реле РI или до установки потенциал-регулятора в прежнее положение. Если последнего не произошло, то дополнительно следует уменьшить $I_{к.вх}$ до 0 или до отрицательного значения и поворотом ключа БШУ прекратить вновь начинающийся возврат уставки;

- дистанционным регулированием уставки АРВ проверить состояние схемы ограничений (она должна быть полностью разобрана, сгонов и возвратов уставки нет).

При P = 0,8 $P_{ном}$ проверить работу ТВ при отключенном регуляторе в режиме фиксированной настройки. Изменением уставки АРВ-СД устанавливается выход АРВ $U_{АРВ}$ = 0. При этом напряжение и ток ротора должны составлять 0,8-0,9 номинальных значений. Проверить, что в этом режиме ΔU = 0. При необходимости изменением сопротивления "Установка нуля" на лицевой панели ОБ корректируется смещение в усилителе УI, чтобы ΔU = 0.

Отключить АРВ. Зафиксировать $I_{рот}$, $U_{рот}$, $U_{см}$ Так, для генератора ТВВ-800-2 в этом режиме $I_{рот}$ = 0,86$I_{рот.ном}$ при смещениях в СУ преобразователей $U_{см}$= I,47-I,6 В (контрольные точки 2-I, 2-2 СУ).

Зафиксировать распределение тока между преобразователями.

Проверить напряжение выхода ПДУ, установить его близким 0. Включить ПДУ, проверить диапазон регулирования, который при работе в сети и использовании ПДУ для ручного регулирования должен быть 0,7-I,I $I_{рот.ном}$.

Если ПДУ используется как резервный регулятор с дистанционным управлением, то при его включении должен вводиться БОР-2I с уставкой, близкой к $I_{рот.ном}$, чем ограничивается верхний диапазон регулирования. При уменьшении с помощью уставки ПДУ тока ротора следует иметь в виду, что ограничения минимального возбуждения в этом случае нет, и ток ротора не следует уменьшать менее 0,7$I_{рот.ном}$. Подачей небольшого сигнала на вход СУ проверить ус-

тойчивость регулирования с помощью ПДУ, являющейся в рассматриваемом случае резервным регулятором. Отключить ПДУ, включить АРВ. Процесс осциллографировать.

При отключении АРВ и его последующем включении проверить работу подгонки уставки АРВ.

Проверить работу цепи сгона уставки до режима $cos\varphi = 1$.

5.3. Испытания ТВ при номинальной активной мощности

При номинальном режиме ($P_{ном}$, $Q_{ном}$, $I_{рот.ном}$, $cos\varphi_{ном}$) фиксируется распределение тока между преобразователями ВГ, между преобразователями возбуждения турбогенератора (при необходимости загрузка выравнивается смещениями), значение напряжения выхода АРВ, которое должно составлять +0,5÷2,0 В; $U_{ст.ВГ}$, $U_{тр.сн}$, $I_{рот.ВГ}$, $I_{ст.ВГ}$, $U_{АРВ.ВГ}$.

Отключить и включить АРВ. Процесс осциллографировать.

При номинальном режиме проверить распределение токов между параллельными ветвями плеч преобразователей и обратных напряжений между последовательно включенными тиристорами (отклонения от средних значений не должны превышать: 15% для токов, 20% – для напряжений); зафиксировать эти значения при $P_{ном}$, $Q_{ном}$ в протоколе испытаний.

При номинальной активной и увеличении реактивной мощности воздействием на уставку АРВ-СД (с места испытаний) определяется контрольная регулировочная характеристика ТВ:

$U_d, I_{рот}, I_{тп1}, I_{тп2}, I_{тп3}, U_{АРВ}, U_{СТ} = f(I_{\Delta U})$.

Ток $I_{\Delta U}$ определяется по измерениям напряжения $U_{\Delta U}$ при известном сопротивлении канала $R_{\Delta U}$ = 24 кОм. По зависимостям $U_d = f(U_{АРВ})$, $U_d = f(I_{\Delta U})$ проверяется линейность характеристики, коэффициент усиления системы АРВ-ТВ без ЖОС и с ЖОС, соответствие их требованиям настоящих Методических указаний.

Указанные характеристики приведены на рис.7. При снятии этих характеристик в режиме трехфазного КЗ блока определение их в сети необязательно.

Коэффициент усиления тиристорного возбудителя $U_d = f(U_{АРВ})$

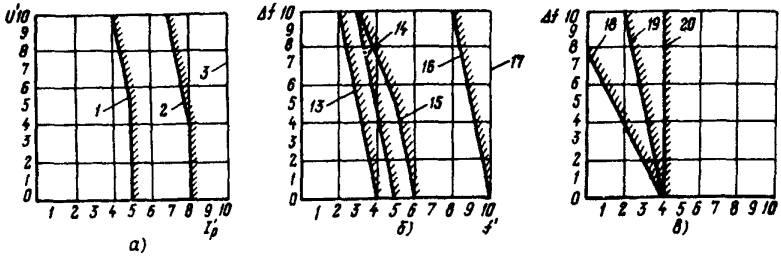


Рис.I5. Зоны устойчивой работы ТВ с АРВ-СД в сети для ТВВ-800-2:
а - влияние КЦ на области $U'-I'_р$
Δf - 0, f' - 0; I - КЦ3; 2 - КЦ5; 3 - КЦ7;
б - влияние U' и $I'_р$ на $\Delta f - f'$
КЦ7, $I'_р$ - I; I3 - U' - 0; I4 - U' - 5; I5 - U' - I0;
КЦ7, $I'_р$ - 3; I6 - U' - 0; I7 - U' - 5
в - влияние КЦ на $\Delta f - f'$
$I'_р$ - 0, U' - 4, ГОС-2; I8 - КЦ2; I9 - КЦ4; 20 - КЦ6

должен составлять около 0,22 ед.возб/В. Характеристика $U_d = f(I_{\Delta U})$ должна иметь коэффициент усиления 6±I0% ед.возб/мА ΔU, что соответствует 3 ед.возб/мА к.вх.

В соответствии с указанным выше проверить ОМВ (его настройка при $P_{ном}$ является определяющей с точки зрения устойчивости).

Фиксируются $Q_{вст}$, статизм, работа сигнализации (сигнал должен исчезать при увеличении Q выше $Q_{вст}$ не более чем на 20-30 Мвар).

Проверить цепь автоматического сгона уставки до $cos\varphi = I$. Так, на генераторе ТВВ-800-2 цепь была настроена так, что Q уменьшилось от номинального значения до Q = 60 Мвар.

Проверить устойчивость работы системы тиристорного возбуждения аналогично указанному выше при различных положениях переключателей каналов регулирования и номинальной нагрузке. Целесообразно снять следующие зоны (для генератора ТВВ-800-2 см.рис.I5):

а) $U'-I'_p$ при $\Delta f-0$, $f'-0$ для КЦ1, КЦ2, КЦ4, КЦ7;

б) $\Delta f-f'$ при $U'-0$, номинальном значении КЦ, для I'_p-0, I'_p-3, I'_p-5.

При определении областей $U'-I'_p$ уменьшение коэффициентов усиления по корректирующей цепи обеспечивает нахождение областей устойчивости в пределах шкал переключателей U' и I'_p (при максимальных коэффициентах по КЦ - область $U-I'_p$ находится вне шкал переключателей).

Зону определить по двум точкам - при $U'-0$ увеличением коэффициента по I'_p находят граничное по устойчивости значение. Затем то же выполняют при $U'-10$ и соединением двух точек получают область устойчивости.

При определении областей $\Delta f-f'$ (КЦ - номинальное) найти предельные значения f' по устойчивости для $\Delta f-0$ и $\Delta f-10$, соединением двух полученных точек получают область.

При правильной настройке, коэффициентах по $U'-0$, I'_p-0 предельное значение коэффициентов по f' должно быть не менее 3-5 делений; если введение этих делений не обеспечивается, то это свидетельствует либо о неоптимальной настройке элементов АРВ, либо о недостаточных токах стабилизации БЧЗ и УМС.

Введение канала I'_p до 3-4 делений и более должно обеспечить устойчивость при $\Delta f-10$, $f'-10$.

Определение областей устойчивости при работе турбогенератора в сети производить при подаче ступенчатых сигналов по контрольному входу АРВ. В случае нарастания амплитуды колебаний следует немедленно уменьшить коэффициент до значения, соответствующего затуханию.

Если на основании определения областей $U'-I'_p$ при работе в сети представляется возможным выбрать коэффициент усиления по каналу I'_p большим, чем по условиям работы на холостом ходу генератора, то следует установить это максимально возможное значение коэффициента (желательно I'_p-10), выполнив при этом блокировку, выводящую этот канал при работе генератора на холостом ходу.

В отдельных случаях отрицательное влияние на устойчивость оказывает параллельная работа каналов ОП и ОМВ на обмотку I. Тогда при наладке может быть выполнено раздельное включение обмоток ОМВ и ОП.

При работе турбогенератора в сети с $P_{ном}$ произвести опыты форсировки возбуждения снижением напряжения на входе в АРВ на 5% и 20% с вводом ОП. Снижение напряжения на входе измерительного органа может быть произведено включением последовательно в цепь напряжения добавочных сопротивлений (100-150 Ом). Сопротивления трех фаз должны быть равны, а глубина снижения $U_{ст}$ должна определяться по напряжению на выходе выпрямителя канала напряжения. На реостатах подбираются сопротивления, соответствующие снижению напряжения статора на 5 и 20% (подбор производится предварительно до испытаний, установка - при отключенном АРВ). Дополнительные сопротивления шунтируются контактами трехфазного выключателя или специального реле (они вводятся при отключении выключателя или срабатывании реле). Целесообразно применение релейной схемы, осуществляющей форсировку, ввод через несколько секунд ограничения и снятие форсировки через 2-3 с после ввода ограничения.

При форсировках следует осциллографировать (рис.16) ток и напряжение ротора, напряжение статора после дополнительных сопротивлений, напряжение выхода БОР-2I напряжение выхода АРВ. При возможности целесообразно (особенно при испытаниях первого ТВ на ГРЭС) также осциллографировать напряжение анод-катод на тиристоре и ток в фазе питания (для осциллографирования тока в фазе используется свободная вторичная обмотка трансформатора тока РГ; ТТ шунтируется сопротивлением 0,5-1,0 Ом, с которого напряжение подается на осциллограф).

Первоначально следует выполнить форсировку снижением напряжения на 5%, ограничение ее вводом ОП примерно через 5 с, снятие форсировки. По начальной части напряжения возбуждения на осциллограмме определяется продолжительность нарастания напряжения до 0,95 ($U_{пот} - U_{нач}$), которое не должно превышать 0,05 с.

Ограничитель следует отключать после снятия форсировки.

Аналогично выполнить и опыт форсировки со снижением напряжения на 20%, вводом ОП и снятием форсировки. По осциллограмме и приборам определить четкость ограничения тока до $2I_{рот.ном}$, правильность настройки обеих схем этого ограничения и работы ОП. При токе $2I_{рот.ном}$ должно происходить ограничение выхода АРВ и нарастания тока. Регулирующая цепь БОР-2I должна вступать в работу при 1,8-1,85 $I_{рот.ном}$

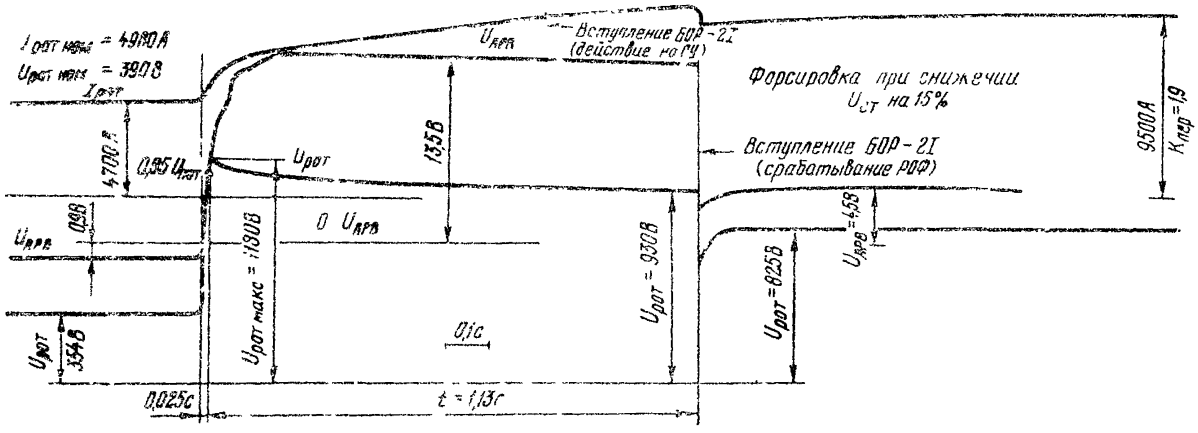


Рис. 16. Опыт форсировки возбуждения при работе ТВВ-800-2 в сети

При форсировке по приборам фиксируются также токи функционального преобразователя, напряжение на входе ОП и входе ограничения по $2\,I_{рот.ном}$, ток ротора; тем самым контролируется правильность настройки ОП и работы датчика тока при двукратном токе ротора.

При неизменной уставке АРВ изменением возбуждения параллельно работающих генераторов меняется напряжение на шинах высшего напряжения блока. Фиксируются $U_{шин}, U_{ст}, I_{ст}, Q, P, I_{рот}$. В соответствии с [3] определяется статизм регулирования. Статизм можно также определить при отключении блока со сбросом реактивной нагрузки с фиксацией ΔU и ΔQ.

$$S = \frac{\Delta U}{U_{ном}} \frac{Q_{ном}}{\Delta Q} \cdot 100\,\% .$$

В номинальном режиме производится тренировочный перевод возбуждения тиристорного возбудителя на машинный и обратно в соответствии с приведенными выше указаниями.

После окончания испытаний следует составить таблицу с указанием выбранных положений переключателей каналов АРВ-СД и АРВ-ВГ; коэффициентов усиления этих регуляторов и систем возбуждения ВГ и турбогенератора по контрольным входам АРВ, рабочих смещений и смещений $\alpha_{макс}$ в СУ-ТГ и СУ-ВГ; углов регулирования: при номинальном режиме работы турбогенератора, при фиксированных режимах ($U_{АРВ} = 0$, $U_{ПДУ} = 0 - \alpha_{р1}, \alpha_{р2}$; $\alpha_{рВГ}$; $\alpha_{макс.р}$ и т.д.).

Приложение I

ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ НЕЗАВИСИМОГО ТИРИСТОРНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ С АРВ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

I. Тип системы возбуждения, ее структурные схемы и основные технические данные

В качестве основной системы возбуждения на турбогенераторах ТВВ-160-2, ТВВ-200-2А, ТВВ-320-2, ТВВ-500-2Б, ТВВ-800-2, ТЗВ-800-2 применяется система независимого тиристорного возбуждения, при которой напряжение со вспомогательного синхронного генератора ВГ, жестко соединенного с валом турбогенератора и имеющего свою систему параллельного тиристорного самовозбуждения,

подается на тиристорные преобразователи и далее с них на ротор турбогенератора, обеспечивая его возбуждение.

Номинальные параметры возбуждения турбогенераторов приведены в табл.III.I.

Таблица III.I

Номинальные параметры возбуждения турбогенераторов

Тип турбогенератора	Номинальный ток возбуждения, А	Номинальное напряжение ротора при рабочей температуре, В
ТВВ-160-2	2110	390
ТВВ-200-2А	2540	300
ТВВ-320-2	2900	447
ТВВ-500-2Б	3530	474
ТВВ-800-2	3790	610
ТЗВ-800-2	5000	390

Система возбуждения состоит из вспомогательного генератора ВГ, тиристорного возбудителя вспомогательного генератора и автоматического регулятора возбуждения АРВ-ВГ, тиристорного возбудителя турбогенератора и автоматического регулятора возбуждения сильного действия АРВ-СД.

На рис.III.I приведена структурная схема системы независимого тиристорного возбуждения турбогенератора серии ТВВ мощностью 800 МВт.

Различие структурных схем возбуждения заключается только в том, что у возбудителя турбогенераторов ТВВ-800-2, ТЗВ-800-2 включены параллельно три преобразователя и применены однополюсные силовые выключатели в цепях выхода, а у возбудителей турбогенераторов 165-500 МВт включены параллельно два преобразователя, а в цепях выхода применены двухполюсные выключатели.

Типовое обозначение системы независимого тиристорного возбуждения расшифровывается следующим образом (например СТВ-400-2500);

СТВ - система независимого тиристорного возбуждения;

400 - номинальное выпрямленное напряжение, В;

2500 - номинальный выпрямленный ток, А.

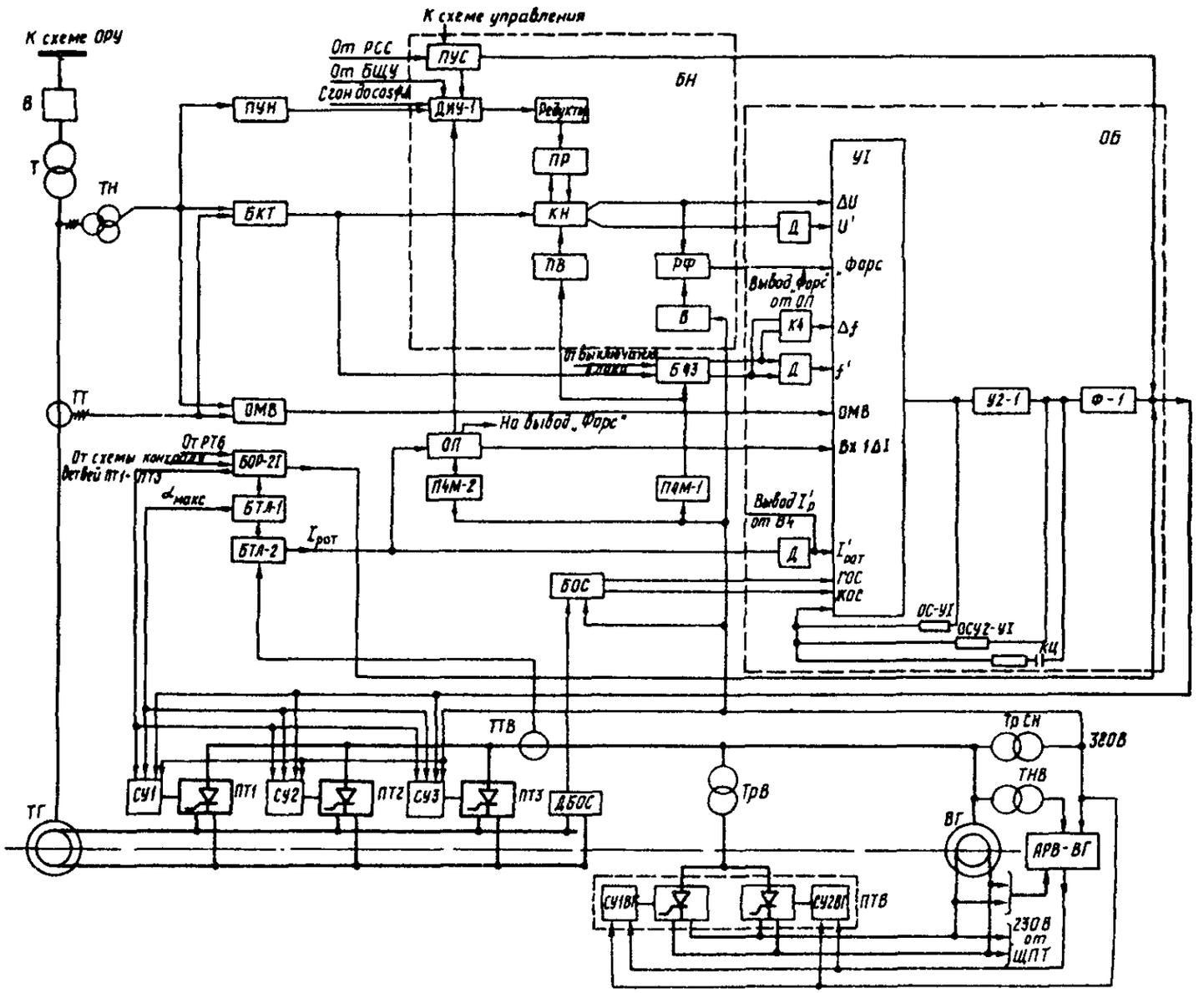

К схеме ОРУ
В
Т
ТН
ТТ
ТГ
К схеме управления
От РСС
От БЩУ
ПУС
ДИУ-1
БН
ПУН
БКТ
ОМВ
Редукты
ПР
КН
ПВ
РФ
В
БФЗ
ОП
П4М-2
П4М-1
БОР-2I
БТА-1
БТА-2
БОС
ОБ
УI
ΔU
U'
Фарс
Вывод „Фарс" от ОП
К4
Δf
f'
ОМВ
Вх 1ΔI
Вывод I'р от В4
I'рот
ГОС
КОС
ОС-УI
ОСУ2-УI
КЦ
У2-1
Ф-1
ТТВ
ТрВ
Тр СН
380В
ТНВ
ВГ
АРВ-ВГ
СУ1
ПТ1
СУ2
ПТ2
СУ3
ПТ3
ДБОС
СУ1ВГ
СУ2ВГ
ПТВ
230В от ЩПТ

Рис.II.I. Структурная схема тиристорного возбудителя с АРВ турбогенератора ТВВ-800-2:

ТГ – турбогенератор; Т – силовой трансформатор; В – выключатель блока; ВГ – вспомогательный генератор; ТрВ – выпрямительный трансформатор возбуждения ВГ; ПТВ – тиристорный преобразователь возбуждения ВГ; ПТ1, ПТ2, ПТ3 – тиристорные преобразователи возбуждения турбогенератора; СУ1ВГ, СУ2ВГ – системы управления тиристорами первого и второго мостов преобразователя ПТВ; СУ1, СУ2, СУ3 – система управления тиристорами преобразователей ПТ1, ПТ2, ПТ3; ТрСН – трансформатор собственных нужд системы возбуждения; ТН – трансформатор напряжения турбогенератора; ТТ – трансформатор тока турбогенератора; ТНВ – трансформатор напряжения ВГ для цепей АРВ-ВГ; АРВ-ВГ – автоматический регулятор возбуждения ВГ; ДБОС – делитель напряжения цепей ЖОС; БОС – блок обратной связи; БКТ – блок компаундирования по току; ПЧМ-1 и ПЧМ-2 – магнитные преобразователи частоты; БЧЗ – блок частоты и защиты; БН – блок напряжения; ШУН – блок подстройки уставки регулятора по напряжению; ШУС – блок подгонки уставки при самосинхронизации; ПВ – подпорный выпрямитель; ПР – потенциал-регулятор; КН – канал напряжения; ДИУ-1 – двигатель изменения уставки; РФ – реле форсировки; ОМВ – блок ограничения минимального возбуждения; ОП – блок ограничения перегрузки; БТД-1, БТД-2 – блоки тока линий; ОБ – операционный блок; БОР-2I – блок ограничения тока ротора до $2I_{рот.ном}$; ΔU , U' , f' , Δf , ОМВ, $I'_{рот}$, ЖОС, ГОС и "Форс." – каналы регулирования АРВ-СД; Д – дифференциатор; У1 – первый каскад; У2-1 – второй каскад; Ф-1 - фильтр; ОС-У1 – жесткая обратная связь, охватывающая первый каскад; ГОСУ2-У1 – жесткая обратная связь, охватывающая первый и второй каскады; КЦ – корректирующая цепь, представляющая собой гибкую обратную связь, охватывающую первый и второй каскады; ТТВ – трансформатор тока вспомогательного генератора (датчики тока ротора)

В табл.II.2 приводятся основные технические данные независимых систем возбуждения.

Таблица II.2

Основные технические данные систем возбуждения

Показатель	СТН-400-2500 ТВВ-160-2	СТН-360-3000 ТВВ-200-2	СТН-500-3200 ТВВ-320-2	СТН-520-3900 ТВВ-500-2	СТН-670-4200 ТВВ-800-2	СТН-480-5500 ТЗВ-800-2
Выпрямленное напряжение в длительном режиме, В, не более	400	360	500	520	670	480
Выпрямленный ток в длительном режиме, А, не более	2500	3000	3200	3900	4200	5500
Наибольшее допустимое напряжение, В, в течение времени, с	720 20	650 20	900 20	948 20	I200 I5	875 I5
Наибольший допустимый ток, А в течение времени (допустимая длительность форсировки), с	4600 20	5520 20	5800 20	7060 20	7600 I5	9960 I5
Ток ротора при номинальной нагрузке турбогенератора и $\cos\varphi =$ = I, А	I570	I940	2000	-	3000	3730
Кратность напряжения и тока в режиме форсировки, отн.ед., не менее, в долях $U_{рот.ном}$ и $I_{рот.ном}$ турбогенератора	2	2	2	2	2	2
Продолжительность нарастания напряжения возбуждения от номинального до 95% предельного при форсировке от АРВ (снижение напряжения прямой последовательности на входе АРВ на 5%), с, не более	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

Продолжение таблицы III.2

Показатель	СТН-400-2500 ТВВ-160-2	СТН-360-3000 ТВВ-200-2	СТН-500-3200 ТВВ-320-2	СТН-520-3900 ТВВ-500-2	СТН-670-4200 ТВВ-800-2	СТН-480-5500 ТЗВ-800-2
Напряжение срабатывания разрядника (амплитудное значение), В, не более	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Пределы изменения уставки напряжения статора при работе на холостом ходу с АРВ-СД, % номинального значения	От 82 до 110 (допустимо от 90 до 110)					
Пределы изменения уставки напряжения статора при работе на холостом ходу с ПДУ, используемой в качестве резервного регулятора, % номинального значения			От 80 до 110			
Диапазон изменения тока ротора от ПДУ (ручное регулирование)						
- на холостом ходу	От 0 до I,I $I_{рот.хх}$ (от 0 до I,I $U_{ст.ном}$ на холостом ходу)					
- при работе турбогенератора в сети	От 0,7-0,8 до I,I $I_{рот.ном}$					
Статизм поддержания напряжения на стороне высшего напряжения, %	2,5-4	2,5-4	2,5-4	2,5-4	2,5-4	2,5-4
Коэффициент усиления системы по каналу напряжения АРВ-СД, ед.напряж./ед.возб.	50	50	50	50	50	50

Окончание таблицы Ш.2

Показатель	СТН-400-2500 ТВВ-160-2	СТН-360-3000 ТВВ-200-2	СТН-500-3200 ТВВ-320-2	СТН-520-3900 ТВВ-500-2	СТН-670-4200 ТВВ-800-2	СТН-480-5500 ТЗВ-800-2
Углы регулирования, обеспечиваемые системой управления тиристорных преобразователей турбогенератора ПТ1, ПТ2 (ПТ3):						
- диапазон, град.	0-160	0-160	0-160	0-160	0-160	0-160
- при ХХ турбогенератора (расчет), град	79-81	79-81	79-81	81-82	79-81	79-81
- в номинальном режиме, град.	59-61	59-61	59-61	60-62	59-61	59-62
- в режиме форсировки возбуждения, град.	0	0	0	0	0	0

Система тиристорного возбуждения с АРВ обеспечивает следующие режимы работы турбогенератора: пуск с включением генератора в сеть методом точной синхронизации или самосинхронизации, эксплуатационные режимы от холостого хода до номинальной нагрузки, режимы недовозбуждения, перегрузки (по ГОСТ 183-66), форсирование возбуждения, гашение поля генератора, развозбуждение, нормальные и аварийные остановы.

Система обеспечивает двукратную форсировку по току ротора и не менее двукратной по напряжению ротора; она имеет устройства, обеспечивающие мгновенное ограничение тока ротора до значения $2I_{рот.ном}$, ограничение при перегрузках по току ротора со временем, зависимым от кратности перегрузки, по значению, близкому к номинальному, ограничение минимального возбуждения с уставкой, зависимой от активной мощности; автоматический запрет форсировки и разгрузку по реактивной мощности при неисправностях тиристорного преобразователя.

Регулирование возбуждения турбогенератора осуществляется АРВ сильного действия по отклонению напряжения статора ΔU, первым производным напряжения и частоты генератора U', f', по отклонению частоты Δf, производной тока ротора I_p'.

Регулятор обеспечивает регулирование возбуждения в требуемом диапазоне, поддержание напряжения на шинах электростанции с требуемым статизмом.

При работе турбогенератора в сети и отключении регулятора обеспечивается устойчивая работа тиристорного возбудителя с током ротора, приблизительно равным $0,8-0,9\,I_{рот.ном}$ (фиксированная уставка). При отключенном АРВ-СД возможно управление возбуждением турбогенератора вручную с помощью панелей дистанционного управления (ПДУ). В последних модификациях СУ предусмотрено использование ПДУ в качестве резервного регулятора с дистанционным изменением уставки. Диапазон изменения возбуждения с помощью ПДУ при работе турбогенератора на холостом ходу и в сети приведен в табл.II.2. Отключение АРВ либо ручное, либо автоматическое; включение ПДУ ручное. Изменение уставки АРВ и ПДУ дистанционное с ЩУ.

Длительная работа без АРВ-СД не допускается.

Коэффициент усиления АРВ-СД совместно с тиристорным возбудителем по каналу напряжения составляет 50 ед.возб/ед.напр. Тиристорный возбудитель имеет линейную регулировочную характеристику.

Тиристорный возбудитель обеспечивает требуемые режимы турбогенератора при изменении частоты в пределах $\pm 6\%$ (длительно), $+80\%$ и -50% (кратковременно).

Система тиристорного самовозбуждения вспомогательного генератора с АРВ-ВГ (регулирование по ΔU и U') обеспечивает поддержание напряжения на статоре ВГ с точностью $\pm 2\%$ относительно установленного значения при изменении нагрузки ВГ (т.е. $I_{рот}$) от нуля до номинального значения.

Диапазон ручного (не дистанционного) изменения уставки АРВ-ВГ от 90 до 110% номинального значения.

Требования к коэффициентам усиления системы тиристорного самовозбуждения по каналу напряжения и линейности регулировочной характеристики такие же, как для основной системы возбуждения турбогенератора.

При отключении АРВ-ВГ регулирование переключается на ЦДУ, которая в системе самовозбуждения ВГ выполняет функции резервного регулятора без изменения уставки.

Дистиллят, поступающий на охлаждение преобразователей возбуждения турбогенератора от его общей системы охлаждения (такая схема охлаждения применяется на последних турбогенераторах серии ТВВ), имеет следующие параметры: температура на входе в преобразователи 20-40°С, расход его на один преобразователь 2,5-4 $м^3/ч$, перепад давления в преобразователе 1,5-2,5 $кгс/см^2$ ($14,7 \cdot 10^4 \div 24,5 \cdot 10^4$ Па), минимальное удельное сопротивление 50 кОм·см, эксплуатационное - не менее 75 кОм·см.

При выходе из строя одной ветви в плечах тиристорного преобразователя обеспечиваются все необходимые длительные и кратковременные режимы возбуждения генератора.

При выходе из строя двух ветвей в плече (перегорании двух предохранителей в плече) осуществляется запрет форсировки. Кроме того, для генераторов 160-500 МВт с двумя преобразователями происходит ограничение тока ротора значением, соответствующем $cos\varphi = 1$ (для генератора с тремя преобразователями этот режим устанавливается при перегорании предохранителей в двух параллельных ветвях всех трех преобразователей).

При перегреве тиристоров одного из преобразователей он выводится из работы снятием импульсов управления с тиристоров, а работа на оставшемся преобразователе происходит с запретом форсировки и ограничением режима до соответствующего $cos\varphi = 1$ (при трех преобразователях в этом случае осуществляется только запрет форсировки). При перегреве тиристоров на двух преобразователях происходит гашение поля.

2. Силовые цепи и их элементы

Схема силовых цепей системы тиристорного возбуждения турбогенератора ТВВ-800-2 приведена на рис.П1.2.

Технические данные элементов системы возбуждения приведены в табл.П1.3.

В независимой тиристорной системе возбуждения обмотка ротора турбогенератора ОВГ получает питание через тиристорные преобразователи ПТ1, ПТ2 (ПТ3) от статора вспомогательного генератора

ВГ, непосредственно связанного с валом турбогенератора.

При неисправностях основной системы возбуждения предусматривается перевод возбуждения генератора на резервный возбудитель с помощью выключателей В3 (В3-1 и В3-2) в цепи выхода ТВ и выключателей В2 и В4 в цепи выхода резервного возбудителя

Тиристорные преобразователи ПТ1, ПТ2 (ПТ3) типа ТВ8, изготавливаемые ЛПЭО "Электросила", собраны по трехфазной мостовой схеме и соединены между собой параллельно.

Каждый преобразователь имеет собственную систему управления СУ1, СУ2 (СУ3), поставляемую комплектно с преобразователем. С помощью связей между СУ1, СУ2 (СУ3) обеспечивается синхронизация управляющих импульсов, поступающих на тиристоры одноименных плеч преобразователей ПТ1, ПТ2 (ПТ3). Благодаря такой синхронизации управляющим для одноименных плеч всех преобразователей является импульс той СУ, который формируется раньше. Поэтому даже при асимметрии углов регулирования параллельных каналов разных СУ распределение токов между преобразователями остается равномерным.

Регулирование возбуждения турбогенератора в эксплуатационных режимах осуществляется автоматически от АРВ-ТГ (по каналам ΔU , U' , Δf , f' , I'_p) или вручную от ЩУ, которые посредством систем управления СУ1, СУ2 (СУ3) изменяют угол управления тиристорами преобразователей ПТ1, ПТ2 (ПТ3).

Защита ротора и тиристорных преобразователей турбогенератора от перенапряжений осуществляется разрядником многократного действия РЗ типа РА-2I-2233, который при срабатывании шунтирует обмотку ротора сопротивлением $R + R_1$ или R_1. Разрядник настраивается на напряжение пробоя 1700 В (действующее значение). Гашение дуги в разряднике осуществляется кратковременным шунтированием его с помощью контактора К2 типа КМ-II6А (600 А, 320 В, $U_{упр}$= 220 В) или (для генератора ТВВ-800-2) с помощью выключателя В1 типа В85-50I.232; 8000 А, 1000 В. Контактор К2 или выключатель В1 срабатывает от установленных в цепи разрядника реле РТ2 типа РЭВ-830 на 400 А (для генераторов 500 и 800 МВт) или 320 А (для генераторов 165-300 МВт).

В осуществляемой по схеме самовозбуждения системе возбуждения ВГ обмотка возбуждения ОВВГ получает питание от статора ВГ через понижающий выпрямительный трансформатор ТрВ, тиристорный преобразователь ПТВ и контактор гашения поля КГ.

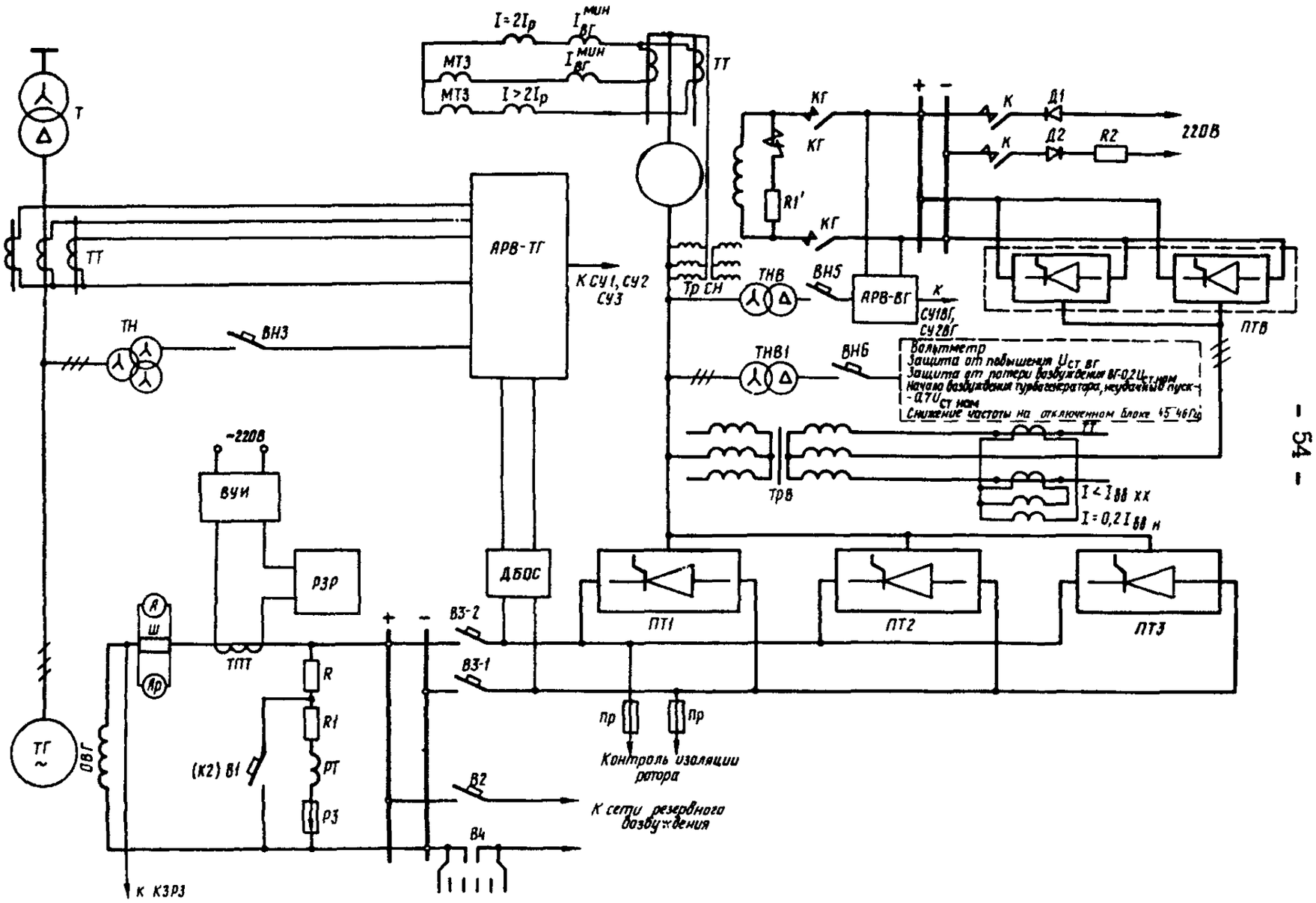

I=2Iр
I мин ВГ
МТЗ
I мин ВГ
МТЗ
I>2Iр
ТТ
Т
КГ
К
Д1
220В
КГ
К
Д2
R2
R1'
КГ
ТТ
АРВ-ТГ
К СУ1, СУ2 СУ3
Тр СН
ТНВ
ВН5
АРВ-ВГ
К СУ1ВГ, СУ2ВГ
ПТВ
ТН
ВН3
ТНВ1
ВН6
Вольтметр
Защита от повышения Uст вг
Защита от потери возбуждения ВГ-0,2Uст ном
Начало возбуждения турбогенератора, неудачное АГП пуск - 0,7Uст ном
Снижение частоты на отключенном блоке 45-46Гц
ТТ
ТрВ
I<Iвв хх
I=0,2Iвв н
-220В
ВУИ
РЗР
ДБОС
ПТ1
ПТ2
ПТ3
А
Ш
Ар
ТПТ
ВЗ-2
ВЗ-1
R
R1
(К2) В1
РТ
РЗ
ОВГ
ТГ
~
пр
пр
Контроль изоляции ротора
В2
К сети резервного возбуждения
В4
к КЗРЗ

Рис.III.2. Схема силовых цепей тиристорного возбуждения турбогенератора ТВВ-800-2:

В2, В3-I, В3-2 - однополюсные выключатели в цепи выхода РВ и ТВ; ВЧ - выключатель гашения поля РВ; ВI - выключатель, шунтирующий ротор на сопротивление; R, $R1$ - соответственно сопротивление самосинхронизации и добавочное; $РЗ$ - разрядник; РТ - токовое реле в цепи разрядника; Ш - шунт; ВН3, ВН5, ВН6 - выключатели трансформаторов напряжения турбогенератора ТГ и ВГ; КГ - контактор гашения поля ВГ; К - контактор начального возбуждения; ДI, Д2 - диоды в цепи начального возбуждения; $R2$ - резистор в цепи начального возбуждения; ТНВI - трансформатор напряжения ВГ для цепей защиты, автоматики и измерения; ТПТ - трансформатор постоянного тока: РЗР - реле защиты ротора; БУИ - вспомогательное устройство к ТПТ; АРВ-ТГ - автоматический регулятор возбуждения турбогенератора АРВ-СД; МТЗ - максимальная токовая защита ВГ

Остальные обозначения те же, что на рис.III.I

Таблица III.3

Технические данные элементов системы возбуждения

Показатель	СТН-400-2500 ТВВ-160-2	СТН-360-3000 ТВВ-200-2	СТН-500-3200 ТВВ-320-2	СТН-520-3900 ТВВ-500-2	СТН-670-4200 ТВВ-800-2	СТН-480-5500 ТЗВ-800-2
Вспомогательный генератор	ВТ-2350-2	ВТ-4000-2	ВТ-4000-2	ВТ-5000-2	ВТ-6000-2У3	ВТ-6000-2У3
Длительно допустимая мощность, кВ·А, не более	2350	3640	3640	4750	5700	5700
Частота вращения, об/мин	3000	3000	3000	3000	3000	3000
Номинальное линейное напряжение, В/напряжение, поддерживаемое с помощью АРВ-ВГ, В	630/630	780/520	780/780	835	940	940/760
Длительно допустимый ток фазы, А	2150	2700/2380	2700	3300	3500	4480
Ток возбуждения при номинальной нагрузке турбогенератора, А	224	154	199	212	195	194
Ток при форсировке возбуждения турбогенератора, А	328	215	267	306	225	293
Ток возбуждения при XX ВГ, А	85	52	79	78	87,7	-
Напряжение возбуждения при $P_{ном}$, В	68	65	90	102	107	90
Напряжение при форсировке возбуждения турбогенератора, В	99	90	117	144,2	124	135
$R_{об}$ при 15°С и при 75°С, Ом	0,203	0,295	0,295	0,309; 0,42	0,37; 0,46	0,37; 0,46
$x_d, x'_d, x''_d, x_2, x_0, x_н$, %	173;19,6; 11,5;14; 6,1;12,75	213; 20,4; 14,1; 17,2; 7,2;15,65	162,7;15,5; 10,7;13,1; 5,5; 11,9	186,2;18,2; 11,7;14,3; 6,35; 13	136,2;12,7; 7,81;9,5; 4,07	
Постоянные времени при разомкнутой и замкнутой обмотках статора, с	4,13	5,1	5,1	5,07; 0,48	6,7; 0,76	6,7; 0,76

Трансформатор выпрямительный ВГ-ТрВ		ТСЗП-40/0,7-74	ТСЗП-40/0,7-74	ТСЗП-63/0,7-74	ТСЗП-63/0,7-74	ТСЗП-63/0,7-74	ТВ-75/940
Номинальная мощность, кВ·А		49	49	58	58	58	58
Номинальное линейное напряжение, В: первичное; вторичное		660±33; 137	660±33; 137	780±39; 173	835; 173	940; 186	380/173
Соединение обмоток; $e_к$, %		Y/Y;5,5	Y/Y; 5,5	Y/Y; 5,5	Y/Y;5,5	Y/Y	Y/Y
Трансформатор собственных нужд ТрСН		ТСЗП-16/0,7-74	ТСЗП-16/0,7-74	ТСЗП-16/0,7-74	ТСЗП-16/0,7-74	ТСЗП-16/0,7-74	-
Номинальная мощность, кВ·А, не более		14,6	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Номинальное линейное напряжение, В: первичное; вторичное		660±33; 410	530±26; 380	780±39; 380	835; 380	940; 380	780; 380
Соединение обмоток; $e_к$, %		Y/Y0 ;5,2	Y/Y0;5,2	Y/Y0; 5,2	Y/Y0; 5,0	Y/Y0	Y/Y0
Трансформатор напряжения ВГ		НОС-0,5	НОС-0,5	НОС-0,5	НОС-0,5	НОС-0,5	-
Коэффициент трансформации		500/100	500/100	500/100	500/100	660/100	
Схема соединения трансформаторов				3 х НОС-0,5	Y/Δ		
Вторичное напряжение схемы $U_{лин}$, В		91	91	91	96	82	
Сопротивление самосинхронизации R типа СН-28У3	Номинальный ток, А	350	350	300	300	300	300
	Сопротивление, Ом; схема соединения	0,3; 4 шт. последовательно	0,3; 3 шт. последовательно	0,5; 2 параллельных ветви, 3 шт. в ветви	0,5; 2 параллельных ветви, 3 шт. в ветви	0,5; 3 параллельных ветви, 4 шт. в ветви	0,5; 3 параллельных ветви, 3 шт. в ветви
Сопротивление добавочное $R1$ типа СН-28У3	Номинальный ток, А	-	-	350	220	220	-
	Сопротивление, Ом; схема соединения			0,3; 2 шт. последовательно	0,8; 2 шт. параллельно	0,8; 2 параллельных ветви, 2 шт. в ветви	2 параллельных ветви, 2 шт. в ветви

Окончание таблицы Ш.3

Показатель	СТН-400-2500 ТВВ-160-2	СТН-360-3000 ТВВ-200-2	СТН-500-3200 ТВВ-320-2	СТН-520-3900 ТВВ-500-2	СТН-670-4200 ТВВ-800-2	СТН-480-5500 ТЗВ-800-2
Преобразователь возбудителя генератора ПТВ			Т Е 8 - 320/460 Н			
Выпрямленный ток, А; выпрямленное напряжение, В			320; 460			
Перегрузка: ток, А; время, с			640; 50			
Предельное линейное питающее напряжение, В			420			
Охлаждение			Естественное			
Количество параллельно включенных выпрямителей			2			
Схема выпрямителя			Трехфазная мостовая			
Количество параллельных ветвей в плече		2				
Количество последовательных тиристоров в ветви		I				
Тиристор			ТЛ-250-10-У4			
Преобразователи турбогенератора ПТ1, ПТ2 (ПТ3), включенные параллельно						
Тип преобразователя	ТВ8-2500/1050Н-2	ТВ8-2500/1050Н-2		ТВ8-2500/1650Н-2УХЛ4*		ТВ8-2500/1050Н-2УХЛ4
Выпрямленный ток, А; перегрузка в течение 50 с, А	2500; 5000	2500; 5000	2500; 5000			2500; 5000
Выпрямленное напряжение, В	1050	1050	1650			1050
Предельное питающее линейное напряжение, В (длительно/ кратковременно 50 с)	900/1010	900/1010	1380/1680			900/1010
Охлаждение	Водяное	Водяное	Водяное			Водяное

Количество параллельных ветвей в плече	6	6	6	6
Количество последовательных тиристоров в ветви	I	I	2	I
Тип тиристоров	Т3-320-24	Т3-320-24	Т3-320-24	Т3-320-24
Количество преобразователей	2(ПТ1, ПТ2)	2	2 / 3	3
Расход воды, $м^3/ч$; объем дистиллята, л	2,5; 20	2,5; 20	4,0; 30 / 4,0; 30	2,5; 20
Выключатели в цепях выхода ТВ	Двухполюсный выключатель В2 типа 2В030-2П; 3000 А; 560 В; $U_{упр}$ = 220 В		Двухполюсный выключатель В2 типа В055-2П; 5500 А; 560 В	Два однополюсных выключателя В3-I и В3-2 типа В85-50I.232; 8000 А; I000 В; $U_{упр}$ = 220 В
Выключатели в цепях выхода РВ (в отрицательном полюсе, кроме того, всюду установлен выключатель гашения поля В4 типа АГП60-42 (6000 А, 660 В) для генераторов 800 МВт и АГП30-42 (3200 А, 500 В) для генераторов I65-300 МВт	Двухполюсный выключатель типа 2В030-2П; 3000 А; 560 В; $U_{упр}$ = 220 В		Двухполюсный выключатель В3 типа В055-2П; 5500 А; 560 В; $U_{упр}$ = 220 В	Один однополюсный выключатель В4 в положительном полюсе типа В85-50I.232

*Преобразователь ТВ8-2500/I650Н ранее имел наименование ТВ8-2000/I650Н, переименован после усовершенствования.

Преобразователь ПТВ серии ТЕ8, изготавливаемый ЛПЭО "Электросила", содержит два управляемых выпрямителя (каждый со своей системой управления СУ1ВГ и СУ2ВГ), собранных по трехфазной мостовой схеме и соединенных параллельно; имеет естественное воздушное охлаждение. Выпрямители и их системы управления размещены в одном шкафу. Плечи выпрямительных мостов выполнены блочными и устанавливаются в средней части шкафа: один выпрямительный мост с лицевой стороны шкафа, другой - с обратной. Слева и справа от средней части шкафа выполнены отсеки, в каждом из которых смонтированы каркасы систем управления.

Напряжение на статоре ВГ автоматически поддерживается с помощью регулятора АРВ-ВГ или ПДУ, выполняющего в СУ1ВГ и СУ2ВГ роль резервного регулятора.

Гашение возбуждения ВГ, помимо перевода ПТВ в режим инвертирования, может осуществляться отключением контактора КГ типа КТ-6052/3, который шунтирует обмотку возбуждения резистором R_1 (тип СН-4/3; 3,66 Ом, 42 А), а затем размыкает цепь обмотки возбуждения.

Гашение поля турбогенератора при работе с ТВ осуществляется переводом преобразователей ПТ1, ПТ2 (ПТ3) в режим инвертирования с последующим (после гашения поля турбогенератора) инвертированием ПТВ, а в случае отказа инвертирования ПТВ - отключением КГ. При работе с резервным возбудителем поле гасится отключением выключателя гашения поля ВЧ (тип АГП60).

Начальное возбуждение ВГ осуществляется от блочной аккумуляторной батареи. При этом обмотка возбуждения ВГ подключается к шинам 220 В постоянного тока контактором К (тип КМ-2243-23; 100 320 В) через добавочное сопротивление R_2 и диоды Д1, Д2 (В-200; 200 А, 1400 В). Добавочное сопротивление ограничивает ток значением, достаточным для обеспечения начального возбуждения (примерно 0,1 $I_{в.хх}$; опыт показывает, что возможно и самовозбуждение на остаточном напряжении статора ВГ). Диоды Д1, Д2 защищают аккумуляторную батарею от обратных напряжений, прикладываемых со стороны ПТВ в процессе начального возбуждения. После отключения аккумуляторной батареи нарастание напряжения возбуждения ВГ происходит за счет самовозбуждения, в процессе которого АРВ-ВГ (или ПДУ-ВГ), вступая в работу, устанавливает номинальное напряжение

на статоре ВГ. После окончания возбуждения ВГ турбогенератор возбуждается до уровня, определяемого уставкой АРВ-СД.

В цепи статора ВГ установлены комплекты трансформаторов тока для максимальной токовой защиты, фиксации $I_{рот.тг} = 2I_{рот.ном}$ и $I_{рот} > 2I_{рот.ном}$, контроля отсутствия тока статора ВГ (в "нуле" ВГ), для дифференциальной защиты ВГ, а также трансформаторы тока для БТЛ в АРВ-СД.

В цепи выпрямительного трансформатора ТрВ установлены трансформаторы тока для фиксации $I_{в.ВГ} = 0,2I_{в.ВГ.ном}$ (цепи защиты при потере возбуждения) и $I_{в.ВГ} \approx 0,5I_{в.ВГ.хх}$ (цепи неуспешного гашения поля ВГ инвертированием).

К статору ВГ подключены также два трансформатора напряжения ТНВ и ТНВI, со вторичных обмоток которых через выключатели АП50-3МТ осуществляется питание: от ТНВ - автоматического регулятора вспомогательного генератора АРВ-ВГ; от ТНВI - реле защиты от повышения напряжения на статоре ВГ и (через дополнительные рубильники) реле снижения напряжения на статоре ВГ до $0,2\,U_{ст.ном}$ (цепи защиты при потере возбуждения) и до $0,7U_{ст.ном}$ (возбуждение турбогенератора после возбуждения ВГ и в схеме неуспешного начального возбуждения); реле снижения частоты (защита при снижении частоты вращения отключенного от сети блока); вольтметр, включенный через предохранители. Оба ТН собраны по схеме Y/Δ из трех однофазных трансформаторов напряжения - ЗНОС - 0,5. Коэффициенты трансформации генераторов I65-500 МВт - 500/I00 В, генератора ТВВ-800-2 - 660/I00 В.

В составе АРВ-ВГ для согласования его измерительных цепей с трансформаторами напряжения ВГ предусмотрены промежуточные трансформаторы.

К статору ВГ подключен трансформатор собственных нужд ТрСН. Схема питания собственных нужд приведена на рис.III.3 (см.вклейку).

От ТрСН через выключатели осуществляется питание напряжением 380 В: систем управления СУI, СУ2 (СУ3) тиристорных преобразователей турбогенератора, систем управления СУIВГ, СУ2ВГ (через выключатели АП-50-3МТ 4/3,5), АРВ-СД (АП-50-3МТ 4/II), АРВ-ВГ (АП-50-3МТ2 5/3,5), а также вспомогательного измерительного устройства ВУИ трансформатора постоянного тока ТПТ (АП-50-3МТ I0/3,5), который установлен в цепи ротора турбогенератора и яв-

ляется датчиком тока ротора для защиты ротора от перегрузки РЗРI.

Кроме того, для проведения наладки и эксплуатационных проверок предусмотрена возможность подачи питания от шин 380 В собственных нужд ГЭС на перечисленные выше узлы через выключатель АП50-3ТД с дистанционным расцепителем (выключатель отключается и включается вручную; отключается автоматически при включении контактора гашения поля ВГ-КГ).

3. Система охлаждения тиристоров

Система охлаждения тиристорных преобразователей ТВ8 приведена на рис.II.4.

На генераторах серии ТВВ система автономного водяного охлаждения [I], как правило, не применяется, а для охлаждения преобразователей используется дистиллят из системы охлаждения статора турбогенератора: к контуру насоса охлаждения статора НОС подключаются преобразователи с включенным перед ними охладителем ВВТ-2. Охлаждающая вода подается в охладитель ВВТ от системы НГО. При необходимости дистиллят с помощью перепускного вентиля можно подавать помимо охладителя. На линии напора каждого преобразователя установлена задвижка, на линии слива дистиллята напорной арматуры нет.

Предусматривается контроль расхода охлаждающего дистиллята, давления и температуры.

Для измерения расхода охлаждающего дистиллята на подводящем трубопроводе (перед охладителем) устанавливается измерительная диафрагма, к которой подключаются два комплекта расходомеров, состоящие каждый из датчика и прибора; контакты приборов используются в схеме защиты тиристоров от снижения расхода. При снижении расхода дистиллята до 75% номинального (для ТВВ-800 - 2-9 $м^3/ч$) осуществляется запрет форсировки возбуждения и запрет начального возбуждения, а также работает сигнализация. Контакты обоих приборов при этом включаются параллельно. При снижении расхода до 50% номинального от последовательно включенных контактов приборов двух расходомеров (схема "два из двух") с выдержкой времени 5 мин осуществляется гашение поля турбогенератора.

Измерение давления дистиллята в напорном коллекторе (после охладителя) осуществляется манометрами, установленными на коллек-

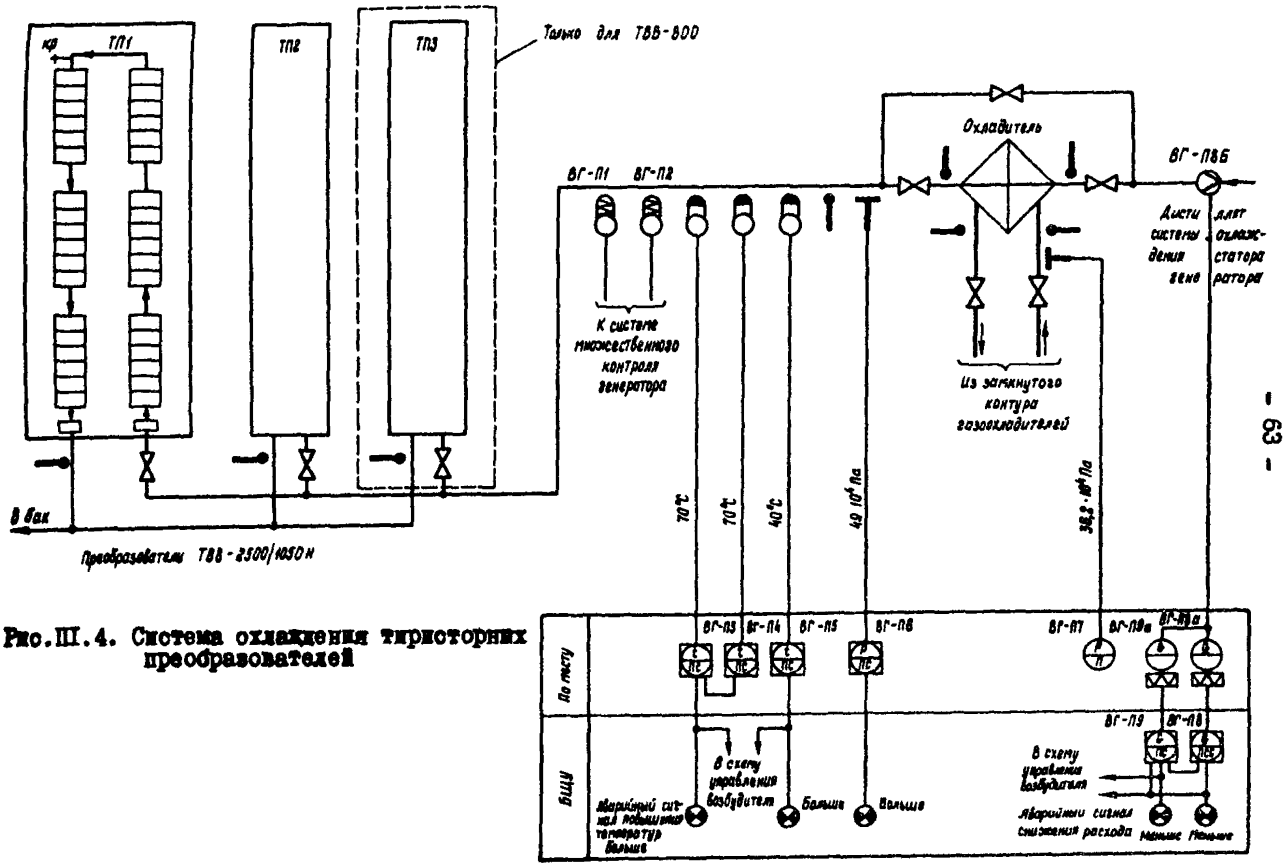


Рис.III.4. Система охлаждения тиристорных преобразователей

торе. Кроме того, для сигнализации о повышении давления дистиллята устанавливается электроконтактный манометр (уставка 5кгс/см^2, или 49·10^4 Па). На ряде электростанций устанавливается второй электроконтактный манометр (уставка 1,5 кгс/см^2, или 14,7·10^4 Па), сигнализирующий о неисправности в системе охлаждения при снижении давления дистиллята.

Для измерения температуры на входе в преобразователи устанавливаются два термометра сопротивления, подключенных к системам множественного контроля генератора. По месту устанавливаются ртутные термометры (на входе в преобразователь, до и после охладителя, на линии технической воды охладителя). На входе в преобразователи установлены также три электроконтактных термометра для защиты тиристоров от повышения температуры дистиллята.

При повышении температуры дистиллята до 43°С одним электроконтактным термометром осуществляются запрет форсировки возбуждения и сигнализация о повышении температуры дистиллята. При повышении температуры до 70°С производится гашение поля генератора. В этом случае действие на гашение осуществляется при последовательном включении контактов двух ЭКТ (схема "два из двух").

Предусматривается сигнализация при срабатывании только одного из двух приборов каждой защиты (по температуре, по расходу).

На БЩУ предусмотрена сигнализация об отклонении параметров, о срабатывании защит и одного из двух приборов защиты, об исчезновении питания цепей защиты.

В каждом преобразователе с помощью двух термоконтакторов, вставленных в радиаторы тиристоров, осуществляется контроль температуры дистиллята и корпуса тиристора. При повышении температуры до 70°С термоконтакторы срабатывают и через блок БС и промежуточные реле осуществляют защиту от перегрева - снимают импульсы управления с тиристоров этого преобразователя (на БЩУ также подается сигнал о перегреве).

4. Система управления тиристорами преобразователей турбогенератора и вспомогательного генератора

Регулирование возбуждения турбогенератора и вспомогательного генератора осуществляется изменением момента открытия тиристоров соответствующих преобразователей, т.е. изменением фазы от-

пирующих тиристоры импульсов относительного анодного напряжения тиристорных преобразователей.

Для создания управляющих импульсов, подаваемых на управляющие электроды тиристоров, применена полупроводниковая система управления ЛПЭО "Электросила". Каждый из преобразователей ПТ1, ПТ2 (ПТ3) турбогенератора и каждый мост преобразователя ПТВ ВГ снабжен своей системой управления такого типа, имеющей схемное обозначение СУ1, СУ2 (СУ3), СУ1ВГ, СУ2ВГ соответственно.

Система управления выполнена по "вертикальному" принципу фазосмещения импульсов, который основан на сравнении переменного синусоидального синхронизирующего (опорного) напряжения с алгебраической суммой постоянных напряжений управления. В момент равенства мгновенных значений этих напряжений, когда их разность изменяет знак, на выходе устройства фазосмещения вырабатывается импульс. Изменяя значение напряжения, можно регулировать фазу управляющего импульса.

Система управления имеет шесть каналов управления (шесть выходов), каждый из которых соответствует определенному плечу трехфазного тиристорного мостового преобразователя. В момент перехода суммарного входного сигнала через нуль для какого-либо канала (плеча) на выходе этого канала формируется прямоугольный импульс. В течение времени длительности импульса на выход этого канала подключаются через специальный ключ, открываемый этим импульсом, общие силовые цепи, осуществляющие ВЧ заполнение импульса и подачу его на блоки выходных устройств БУВ данного плеча. Блоки БУВ обеспечивают нужные для тиристоров параметры импульсов и разделение выходных цепей СУ и анодных цепей. Количество БУВ соответствует количеству тиристоров.

Длительность импульса управления формируется в канале управления на базе ждущего одновибратора и устанавливается на заводе равной 135 эл.град. при работе одного канала управления (может регулироваться при необходимости в диапазоне 60÷135 эл.град). При работе всех каналов управления длительность импульсов управления составляет 120 эл.град ввиду действия цепей взаимозапрета: в пределах двух систем из трех каналов (1,3,5 и 4,6,2) при возникновении последующего импульса управления прекращается предидущий импульс. Фазовый сдвиг импульсов управления между каналами управления составляет 60 эл.град. Импульс управления на тиристоре имеет

высокочастотное заполнение; частота заполнения 8–10 кГц. Система управления обеспечивает диапазон изменения угла управления $\alpha_{упр}$ от нуля до установленного максимального значения $\alpha_{макс}$, ограниченного условиями устойчивого режима инвертирования ($\alpha_{макс}$ может изменяться в пределах 100÷170 эл.град).

Вертикальный принцип управления при синусоидальном опорном напряжении обуславливает арксинусоидальный характер статической характеристики фазосмещения СУ. Такой характер характеристики позволяет получить линейную характеристику преобразователя, если при суммарном сигнале управления, равном нулю, угол управления составляет 90 эл.град.

Система управления выполнена блочной и состоит из блока фильтра БФ и стойки управления, которая находится в отсеке силового шкафа. Стойка состоит из следующих пяти блоков, связанных с ней штепсельными разъемами: БП – блока питания, БПЧ –блока преобразования частоты, БУ – блока управления, БС – блока сигнализации, БПИ – блока питания инверторного.

Структурная схема системы управления тиристорами приведена на рис.Ш.5 (см.вклейку), форма выходных напряжений СУ – на рис. Ш.6, схема цепей синхронизации – на рис.Ш.7 (см.вклейку), фазировка напряжений СУ – на рис.Ш8, Ш.9. Подробное описание системы управления тиристорами приведено в заводском техническом описании, инструкции по эксплуатации и в техническом отчете Союзтехэнерго "Методические указания по наладке и испытаниям тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165–800 МВт" за 1982 г.

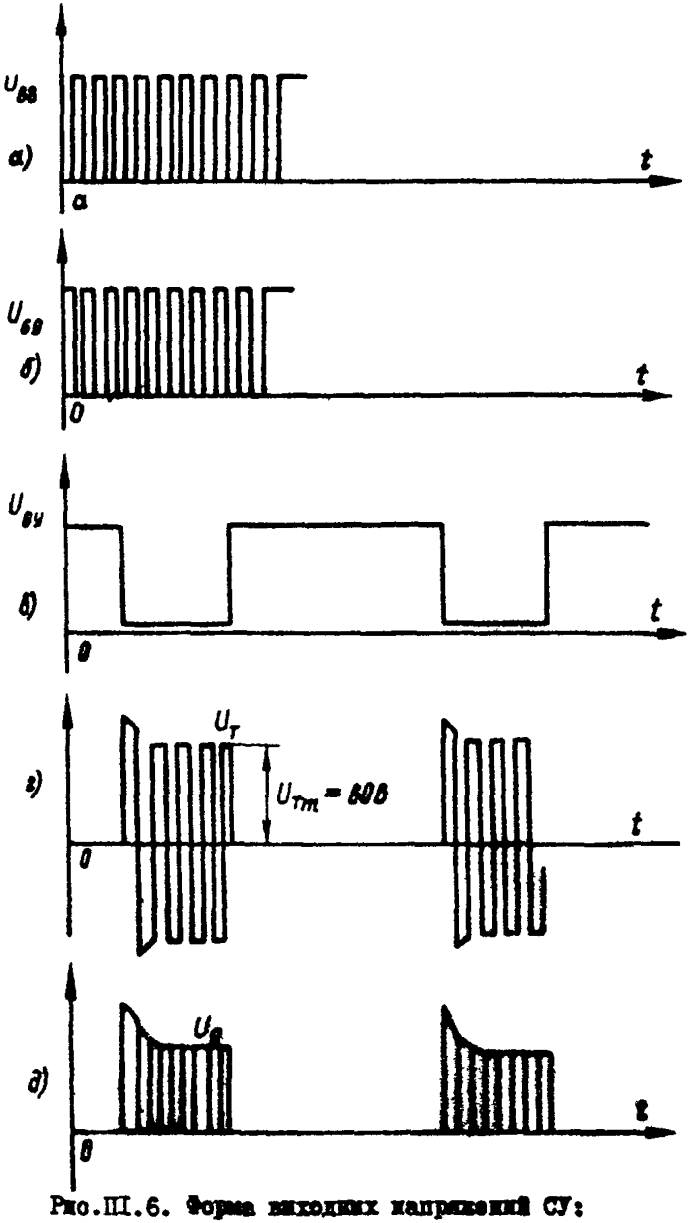


Рис.III.6. Форма выходных напряжений СУ:
а- $U_{бв} = f(t)$; *б-* $U_{бд} = f(t)$, *в-* $U_{бу} = f(t)$;
г- $U_т = f(t)$; *д-* $U_д = f(t)$

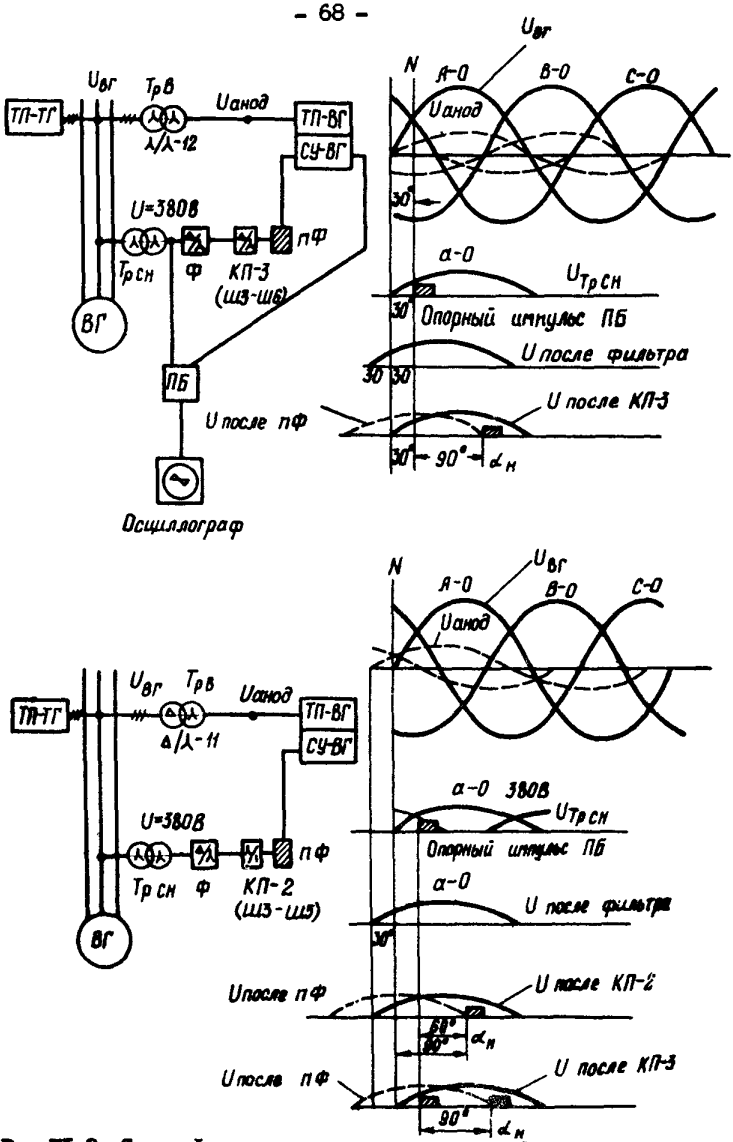


Рис.III.8. Схемы фазировки анодных напряжений, напряжений питания СУ импульсов управления

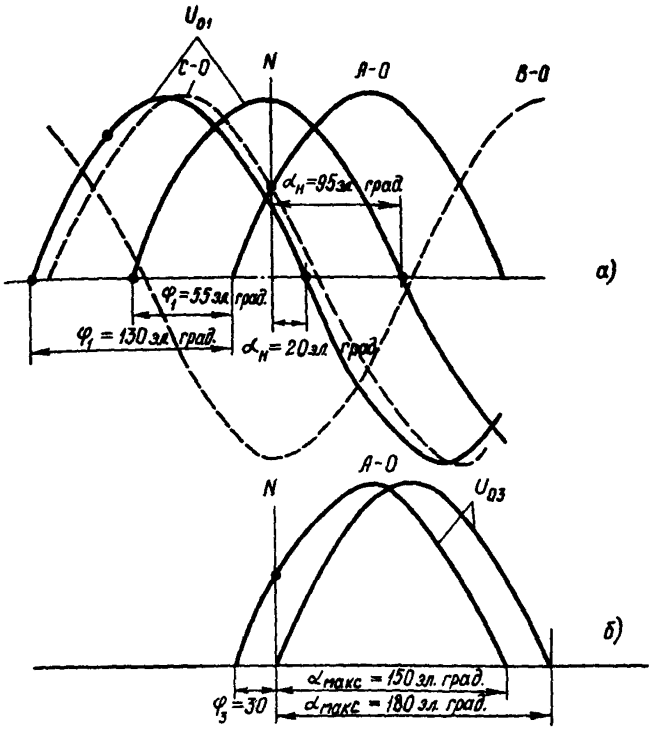


Рис.III.9. Взаимное расположение опорных синусоид в панели ПФ:

а - сдвиг опорной синусоиды U_{01} в ПФ; *б* - сдвиг опорной синусоиды инвертора U_{03} в ПФ

5. Автоматический регулятор возбуждения сильного действия

Регулирование возбуждения турбогенераторов осуществляется с помощью унифицированного автоматического регулятора возбуждения сильного действия АРВ-СД-2I-2, который обеспечивает устойчивую работу системы возбуждения при различных режимах работы тур-

богенератора, поддерживает заданный уровень напряжения на шинах электростанции, демпфирует качания в послеаварийных условиях, повышает статическую и динамическую устойчивость электропередачи.

Структурная схема регулирования приведена на рис.II.I, принципиально-монтажная схема соединения блоков АРВ-СД и схемы блоков - в [I] и в указанной выше работе Союзтехэнерго.

Автоматический регулятор возбуждения содержит следующие узлы: блок компаундирования по току БКТ и промежуточные трансформаторы тока ПТТ; блок напряжения БН; операционный блок ОБ, в котором помимо входных цепей расположен усилитель магнитный суммирующий УМС; блок частоты и защиты БНЗ; делитель напряжения ДБОС и блок обратной связи БОС; статический преобразователь частоты 50/450 Гц ПЧМ для питания блоков АРВ; ограничитель минимального возбуждения ОМВ; блок ограничения двукратного тока ротора БОР-2I ; блок ограничения перегрузки ОП ; блок тока линии БТЛ; блок подстройки уставки АРВ по напряжению при точной синхронизации ПУН; блок слежения уставки ручного регулирования БСУР. В АРВ-СД предусмотрены цепи для его работы в системе группового регулирования напряжения.

Принцип действия АРВ заключается в измерении, преобразовании и суммировании сигналов в соответствии с выбранным законом регулирования (регулирование возбуждения по $\Delta U, U', \Delta f, f', I'_p$), в последующем усилении этих сигналов и воздействии на систему управления тиристорами.

Подробное описание работы АРВ и его отдельных блоков дано в [2,4].

6. Автоматический регулятор возбуждения вспомогательного генератора АРВ-ВГ

Регулирование возбуждения ВГ в зависимости от режима работы турбогенератора осуществляется унифицированным автоматическим регулятором АРВ-ВГ-0-У4,который поддерживает заданный уровень напряжения на выводах обмоток статора ВГ.

Принцип действия АРВ заключается в измерении, преобразовании и суммировании сигналов по ΔU , U' с последующим усилением и воздействием на систему управления тиристорами.

Автоматический регулятор возбуждения состоит из блока измерительного БИ и статического преобразователя частоты 50/450 Гц ПЧМ для питания БИ (рис.II.I0, см.вклейку).

Напряжение статора ВГ от ТНВ поступает на БИ непосредственно либо через промежуточные трансформаторы напряжения, имеющиеся в составе АРВ-ВГ и предназначенные для согласования измерительных цепей АРВ-ВГ с трансформаторами напряжения ВГ. В БИ $U_{ст}$ поступает на потенциал-регулятор, с помощью которого осуществляется установка номинального режима работы ВГ, выпрямляется, фильтруется и поступает на измерительный орган отклонения напряжения от номинального режима, представляющий собой нелинейный стабилитронный мост, и на дифференцирующую цепь U'.

Выходное напряжение стабилитронного моста пропорционально отклонению напряжения статора от номинального значения, а выходное напряжение дифференцирующего контура - производной напряжения статора. Оба сигнала поступают далее на усилитель УМС, осуществляющий суммирование сигналов и их усиление. Суммирующий усилитель УМС выполнен по двухкаскадной схеме.

Первый суммирующий каскад У1 включен на обмотку управления второго каскада У2. Выходное напряжение УМС фильтруется для уменьшения пульсаций на входе в СУ. На выходе фильтра должна быть обеспечена нагрузка 400 Ом. Воздействие на СУ должно осуществляться непосредственно, т.е. без включения в выходную цепь АРВ дополнительной коммутационной аппаратуры (например, ключа режимов АРВ).

Первый каскад УМС У1 охвачен жесткой отрицательной обратной связью; другая - жесткая обратная отрицательная связь воздействует с выхода У2 на обмотку управления У1, улучшает линейность характеристики и уменьшает дрейф и постоянную времени.

Для расширения зоны устойчивой работы по U' на холостом ходу ВГ предусмотрена гибкая отрицательная обратная связь с выхода У2 на вход У1 (корректирующая цепь).

Для улучшения динамических характеристик регулирования и линейности выходных характеристик возбудителя ВГ введена жесткая отрицательная обратная связь (ЖОС) с выхода тиристорного возбудителя на вход АРВ. Напряжение ротора ВГ подается на делитель, выполненный в БИ, и далее с переключателя на обмотку управления УМС. Одновременно с каналом ЖОС образуется канал ГОС. Цепи каналов ЖОС и ГОС в БИ должны быть выполнены проводом с усиленной изоляцией.

Питание УМС осуществляется от источника напряжения 110 В, 450 Гц (стабилизированного преобразователя ПЧМ) через контакты двухпозиционных реле включения регулятора.

7. Устройства управления, защиты и сигнализации

Устройства управления и защиты ТВ выполняют следующие функции:

- включение (начальный пуск) тиристорного возбуждения;
- управление силовыми выключателями;
- гашение поля генератора и вспомогательного генератора;
- шунтирование ротора турбогенератора с помощью контактора К2 (выключателя ВІ);
- отключение и включение АРВ и ПДУ для турбогенератора и ВГ;
- дистанционное (ручное) либо автоматическое изменение уставки АРВ;
- защита преобразователей при повреждении их элементов, перегреве, при неисправностях в системе охлаждения;
- защита ротора турбогенератора от перегрузки;
- защита от снижения частоты отключенного блока;
- защита от потери возбуждения генератора (цепи защиты в схеме ТВ);
- защита ВГ от повреждений;
- защита ВГ от повышения напряжения.

Более подробно работа устройств управления, защиты и сигнализации описана в работах ВГПИ "Теплоэлектропроект", заводских инструкциях по эксплуатации, а также в техническом отчете Союзтехэнерго "Методические указания по наладке и испытаниям тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165–800 МВт" за 1982 г.

8. Выбор уставок защит

8.1. Уставки дифференциальной и максимальной токовой защит ВГ

Ток срабатывания продольной дифференциальной защиты ВГ принимается равным $I_{уст.д.з} = 1{,}5 I_{ст.вг.ном}$ из условий отстройки от тока небаланса при форсировке возбуждения турбогенератора и при пробое тиристоров. Так, для генератора ТВВ-800-2 при $I_{рот.ном} = 3790$ А ток статора ВГ составляет $I_{ст.вг.ном} = 0{,}817 I_{рот.ном} = 0{,}817 \cdot 3790 = 3100$ А (0,817 – коэффициент выпрямления по току

для мостовой схемы) и $I_{уст.ДЗ1} = I,5 I_{ст.ВГ.ном} = I,5 \cdot 3I00 = 4650$ А. При коэффициенте трансформации трансформаторов тока $n_{ТТ} = 6000/5$ $I_{уст.ДЗ2} = 4650/I200 = 3,86$ А.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты должен быть отстроен от тока статора ВГ при двойной форсировке возбуждения турбогенератора с коэффициентом надежности I,3 без учета коэффициента возврата реле. $I_{уст.МТЗ1} = I,3 \cdot 2 I_{ст.ВГ.ном} = 2,6 I_{ст.ВГ.ном}$ Так, для генератора ТВВ-800-2 $I_{уст.МТЗ1} = 2,6 \cdot 3I00 \approx 8I00$ А. При $n_{ТТ} = 6000/5$ $I_{уст.МТЗ2} = 8I00/I200 \approx 6,7$ А.

Выдержка времени максимальной токовой защиты - 0,5 с.

Дифференциальная и максимальная токовая защиты действуют на гашение поля ВГ, гашение поля турбогенератора и шунтирование ротора сопротивлением.

8.2. Защита от повышения напряжения на статоре ВГ

Защита имеет две ступени. Уставка первой ступени $U_{СЗI} = I,I-I,I5\ U_{ст.ВГ.ном}$, $t = 0$. Действие - на отключение АРВ-ВГ и переход на ПДУ. Вторая ступень $U_{СЗII} = I,I5-I,2\ U_{ст.ВГ.ном}$, $t = 2,5$ с. Действие - на гашение поля генератора инвертированием.

8.3. Защита от снижения частоты отключенного блока $f_{уст} =$ = 45-46 Гц

Действует на гашение поля турбогенератора инвертированием.

8.4. Защита от потери возбуждения ВГ

Осуществляется по минимальному току возбуждения ВГ (контролируется с помощью реле, подключенного к трансформатору тока на вторичной стороне выпрямительного трансформатора ТрВ) и минимальному напряжению статора ВГ. $I_{уст} = 0,2 I_{вВГ.ном}$, $U_{уст} = 0,2 U_{ст.ВГ.ном}$. Так, для генератора ТВВ-800-2 при $I_{вВГ.ном} = I95$ А и коэффициенте трансформации трансформаторов тока $n_{ТТ} = 200/5$

$$I_{уст.1} = 0,2 I_{вВГном}\ \ 0,8I7 = 0,2 \cdot I95 \cdot 0,8I7 \approx 32,0 \text{ А},$$

где 0,8I7 - коэффициент выпрямления по току при мостовой схеме.

$$I_{уст.2} = 32,0/40 \approx 0,8 \text{ А}.$$

Защита действует на гашение поля турбогенератора инвертированием и шунтирование ротора сопротивлением.

8.5. Контроль минимального тока статора ВГ (минимального тока ротора ТГ)

$$I_{уст} = 0{,}5\ I_{рот.тг.хх}$$

Для генератора ТВВ-800-2 при $I_{рот.тг.хх}$ = 1290 А

$I_{уст.1} = 0{,}5 \cdot 1290 \cdot 0{,}817 \approx 525$ А, при $n_{тт} = 4000/5$

$I_{уст.2} = 525/800 \approx 0{,}66$ А. Действует на шунтирование ротора сопротивлением.

8.6. Защита от неуспешного гашения поля ВГ инвертированием

$I_{уст} \approx 0{,}5\ I_{в.вг.хх}$, выдержка времени - время, необходимое для отстройки от успешного гашения поля инвертированием.

Так, для генератора ТВВ-800-2 при $I_{в.вг.хх}$ = 87,7А и $n_{тт}$ = 200/5 (трансформаторы тока в цепи ТрВ).

$I_{уст.1} = 0{,}5\ I_{в.вг.хх}\ 0{,}817 = 0{,}5 \cdot 87{,}7 \cdot 0{,}817 = 35{,}7$ А;
$I_{уст.2} = 35{,}7/40 = 0{,}9$ А.

Защита действует на отключение КГ, если в течение времени, достаточного для инвертирования, ток возбуждения ВГ не исчезает.

8.7. Ограничение тока ротора турбогенератора до $2I_{рот.ном}$ при форсировке

$$I_{уст.1} = 1{,}7 \div 1{,}8\ I_{рот.ном}\ K_{сх}$$

Для генератора ТВВ-800-2 при $I_{рот.ном}$ = 3800 А

$I_{уст.1} = 1{,}8 \cdot 3800 \cdot 0{,}817 \approx 5600$ А. При $n_{тт} = 4000/5$

$I_{уст.2} = 5600/800 = 7$А.

Ограничение действует на реле РОФ в БОР-2И и шунтирует выход АРВ стабилитронами на уровне, соответствующем $2I_{рот.ном}$

8.8. Защита при токе ротора, большем $2I_{рот.ном}$ (отказ ограничения до $2I_{рот.ном}$).

$I_{уст.1} = 1{,}15 \cdot 2\ I_{рот.ном}\ K_{сх}$ Для генератора ТВВ-800-2

$I_{уст.1}$ = I,I5·7600·0,8I7 = 7I50 А. При $n_{тт}$ = 4000/5

$I_{уст.2}$ = 7I50/800 = 9,0 А.

Защита действует на отключение АРВ-СД.

Для удобства проверок при испытаниях целесообразно предусмотреть на токовых реле по пп.8.7 и 8.8 "настроечные" уставки с $I_{настр.уст.}$=I,I ÷ I,2$I_{рот.ном}$.

8.9. Контроль напряжения при начальном возбуждении

$$U_{уст} = 0{,}7U_{ст.вг.ном}.$$

Схема действует мгновенно на реле РТП-Г при срабатывании реле напряжения. При несрабатывании реле напряжения в течение времени, достаточного для начального возбуждения, действует на разбор схемы начального пуска и отключение КГ.

8.IO. Защиты от снижения расхода и повышения температуры дистиллята

Уставки указанных защит, а также защит преобразователей от перегрева двух преобразователей указаны в [3].

Там же приведены данные о действии на сигнализацию, разгрузку по реактивной мощности до режима $cos\varphi$= I и запрет форсировки при перегорании более двух предохранителей в плече о действии при снижении расхода дистиллята, повышении температуры дистиллята, перегреве одного преобразователя.

8.II. Защита ротора РЗР-I

Первая ступень с выдержкой времени, меньшей на 4 с, чем допустимая заводом при 2$I_{рот.ном}$ (например, для генератора ТВВ-320-2 t = 20-4 = I6 с; для генератора ТВВ-800-2 t = I5-4 = II с), воздействует при 2$I_{рот.ном}$ на исполнительный орган ОП и через АРВ на ограничение тока ротора до номинального значения; от реле времени на выходе I ступени с дополнительной уставкой 2 с воздействует на отключение АРВ при отказе ограничения тока ротора через АРВ, на вывод релейной форсировки резервного возбудителя.

Вторая ступень с выдержкой времени, допустимой заводом при токе 2$I_{рот.ном}$, действует в составе защит блока на гашение поля генератора.

8.I2. Ограничитель перегрузки ОП в составе АРВ

С выдержкой времени, меньшей на 4 с, чем допустимая заводом при $2I_{рот.ном}$, действует при $2I_{рот.ном}$ через АРВ на ограничение тока ротора до номинального значения.

Приложение 2

ВЫБОР НАСТРОЙКИ АРВ СИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПО УСЛОВИЯМ УСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРОВ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

Для пояснения требований к настройке АРВ сильного действия рассмотрим сначала условия устойчивости генераторов электростанции при работе в простейшей схеме энергосистемы. На рис.П2.I представлена схема электропередачи. Тепловая электростанция, на которой установлено восемь агрегатов по 300 МВт, связана с мощной энергосистемой двухцепной линией электропередачи напряжением 500 кВ протяженностью 250 км. Все генераторы электростанции имеют тиристорные системы возбуждения и регуляторы сильного действия АРВ-СД. Рассмотрим характер изменения областей статической устойчивости электростанции при увеличении передаваемой по линии мощности. На рис.П2.2 представлены результаты расчетов на цифровой вычислительной машине областей статической устойчивости для рассматриваемой схемы электропередачи. Области устойчивости рассчитаны в плоскости коэффициентов регулирования по отклонению частоты и ее производной в делениях соответствующих шкал регулятора АРВ-СД. При расчетах генераторы электростанции заменялись одним эквивалентным генератором. Экспериментально такие области устойчивости могут быть определены, если одновременно варьировать коэффициенты регулирования АРВ всех параллельно работающих генераторов.

При малой нагрузке электропередачи область устойчивости охватывает начало координат. Это означает, что при малой нагрузке устойчивость сохраняется при нулевых значениях коэффициентов по производным, т.е. устойчивость может быть обеспечена с помощью регуляторов пропорционального типа, реагирующих только на сиг-

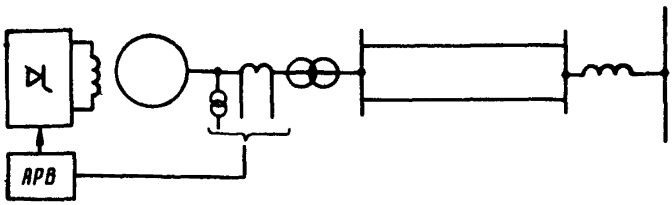


Рис.П2.I. Схема электропередачи

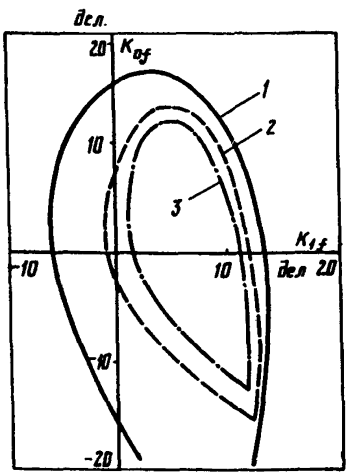


Рис.П2.2. Расчетные области статической устойчивости:
I - $\delta_л$ = I2 эл.град;
2 - $\delta_л$ = 20 эл.град;
3 - $\delta_л$ = 30 эл.град

нал отклонения напряжения генератора от заданного значения. Однако при дальнейшем увеличении передаваемой по линии мощности область устойчивости смещается вправо, в сторону положительных значений коэффициента регулирования по производной частоты, и не охватывает начало координат. Регулятор пропорционального типа, в котором отсутствуют каналы регулирования по производным, не может обеспечить устойчивость данных режимов. Нарушение ус-

тойчивости генераторов, снабженных регуляторами пропорционального типа, носит характер "самораскачивания" - постепенного самопроизвольного нарастания амплитуды качаний синхронных машин электростанции вплоть до отключения машин от сети вследствие срабатывания, например, защиты от повышения напряжения на линии (ЗПН). Аварии с возникновением самораскачивания неоднократно имели место в отечественных и зарубежных энергосистемах и приводили к серьезным нарушениям в работе энергообъединений, поскольку при возникновении самораскачивания происходит нарушение нормальной работы не отдельного агрегата, а электростанции в целом.

Возникновение самораскачивания объясняется тем, что регулятор пропорционального типа, реагирующий только на сигнал отклонения напряжения от заданного уровня, при возникновении качаний в энергосистеме не только не способствует демпфированию, но создает такие неблагоприятные по фазе колебания тока ротора, при которых амплитуда качаний возрастает. Введение сигналов по производным режимных параметров позволяет при переходных процессах в энергосистеме создавать такую фазу колебаний тока ротора, при которой отрицательное действие канала отклонения напряжения подавляется, предотвращается самораскачивание и обеспечивается демпфирование колебаний роторов синхронных машин. При этом область статической устойчивости смещается в плоскость коэффициентов регулирования по отклонению и производной частоты от начала координат и при отсутствии сигналов по производным устойчивость электростанции не обеспечивается.

В реальных условиях схема присоединения генераторов к энергосистеме обычно значительно сложнее, однако характер рассмотренных явлений сохраняется. Рассмотрим в качестве примера результаты экспериментов по определению областей статической устойчивости, выполненных в течение 1981 г. на Молдавской ГРЭС. Упрощенная схема подключения турбогенераторов Молдавской ГРЭС к энергосистеме показана на рис.П2.3. Генераторы (по 200 МВт) № 1, 2 подключены к сети 110 кВ, генератор № 3 - к сети 220 кВ, генераторы 4-10 - к сети 330 кВ, № 11, 12 - к сети 400 кВ. От шин 400 кВ отходит одноцепная линия с продольной компенсацией. При проведении испытаний рассматривались нормальные режимы ра-

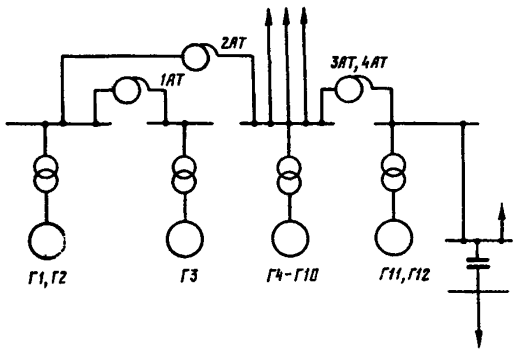


Рис.П2.3. Упрощенная электрическая схема Молдавской ГРЭС

боты электростанции, когда все генераторы подключены к ОЭС Юга, и аварийные режимы, при которых происходит выделение четырех блоков по 200 МВт на электропередачу 400 кВ. Определение областей статической устойчивости производилось по методике, позволяющей определять границы областей устойчивости во всех четырех квадрантах плоскости коэффициентов регулирования. На рис.П2.4 представлены результаты экспериментов для двух режимов: граница I соответствует нормальному режиму, когда все генераторы подключены к ОЭС Юга, граница 2 - режиму выделения четырех генераторов на электропередачу 400 кВ. В последнем случае область устойчивости сместилась в сторону положительных значений коэффициента по производной частоты и не охватывает начало координат.

Настройка регуляторов возбуждения АРВ-СД должна производиться таким образом, чтобы настроечные значения коэффициентов регулирования в любом возможном режиме работы электростанции оказывались внутри области устойчивости и по возможности были удалены от границ области. Рассматривая совокупность возможных режимов работы электростанции, можно определить общую область устойчивости (общую часть областей устойчивости, полученных для разных режимов). На рис.П2.4 общая область устойчивости заштрихована. Очевидно, что для выбора настройки АРВ, единой для всех режимов работы электростанции, необходимо существование общей области устойчивости. Для обеспечения этого условия в регуляторах АРВ-СД предусмотрены каналы производной напряжения и про-

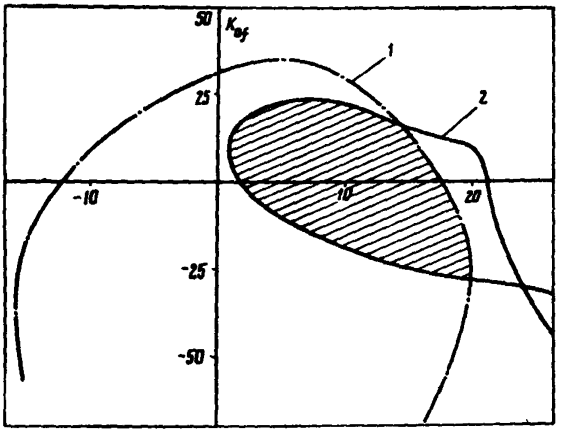


Рис.П2.4. Экспериментальные области статической устойчивости:

I - нормальный режим, все генераторы подключены к ОЭС Юга; 2 - режим выделения четырех генераторов на электропередачу 400 кВ

изводной тока ротора. Влияние этих каналов на расположение границы области статической устойчивости иллюстрируется на рис.П2.5, где представлены области устойчивости, полученные для одного из режимов работы турбогенераторов Молдавской ГРЭС. Граница I соответствует настройке по цепи производной напряжения 6 дел по цепи производной тока ротора - также 6 делений; граница 2 получена при увеличении обоих коэффициентов до 10 делений. Увеличение коэффициентов по производной напряжения и производной тока ротора расширяет область статической устойчивости, что в свою очередь увеличивает размер общей области устойчивости и обеспечивает возможность выбора настройки АРВ, единой для всех режимов работы электростанции. Эта закономерность, как показывают расчеты и эксперименты на электростанциях, соблюдается для различных схем энергосистем. Последнее дает основание для того,что-

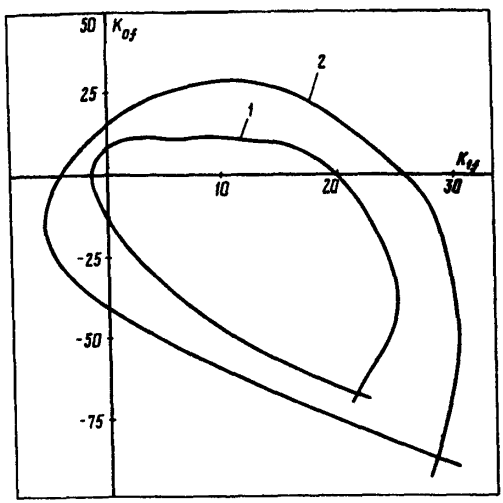


Рис.П2.5. Области, характеризующие влияние каналов производной напряжения и производной тока ротора:

I – коэффициент усиления по U' – 6 делений, по I_p' – 6 делений; 2 – коэффициент усиления по U' – IO делений, по I_p' – IO делений

бы во всех случаях вне зависимости от параметров машин и схемы энергосистемы стремиться к введению проектных коэффициентов регулирования (до 7–IO делений) по каналам производной напряжения и производной тока ротора.

Введение канала производной тока ротора целесообразно также по условиям демпфирования качаний одной синхронной машины многоагрегатной электростанции относительно другой. Генераторы многоагрегатной электростанции при возмущениях в энергосистеме участвуют в сложном движении, определяемом движением одного генератора относительно другого ("относительное движение" или "движение в противофазе") и синфазным движением относительно других электростанций энергосистемы ("основное движение" или "движение в фазе"). Приведенные на рис.П2.4, П2.5 области ус-

тойчивости характеризуют устойчивость основного движения. Экспериментально такие области устойчивости могут быть определены одновременным изменением коэффициентов регулирования на всех АРВ параллельно работающих машин. В отличие от этого область устойчивости относительного движения определяется изменением коэффициентов K_{0f} , K_{1f} на одном из генераторов. Конфигурация границ областей устойчивости основного и относительного движения показана на рис.П2.6 применительно к режимам работы турбогенераторов Молдавской ГРЭС. Границы I,2,3 характеризуют устойчивость относительного движения при коэффициенте по производной тока ротора 0,4 и I0 делений соответственно; граница 4 определяет допустимый диапазон настроечных параметров АРВ для основного движения генераторов электростанции для одного из послеаварийных режимов с выделением генераторов на электропередачу 400 кВ. Приведенные данные показывают, что при отсутствии канала производной тока ротора допустимый диапазон настроечных параметров АРВ (заштрихованная область) существенно ограничивается границей устойчивости относительного движения генераторов; при введении сигнала производной тока ротора вплоть до I0 делений (кривая 3) устойчивость относительного движения обеспечивается при всех значениях настроек в пределах области 4, т.е. при варьировании коэффициентов АРВ не произойдет нарушения устойчивости одного из генераторов электростанции с возникновением "качаний в противофазе". Эффективность сигнала производной тока ротора как средства демпфирования качаний одной машины относительно другой подтверждают также частотные характеристики, представленные на рис.П2.7. При подаче на котрольный вход АРВ синусоидального возмущения постоянной амплитуды размах колебаний активной мощности зависит от частоты и достигает наибольшего значения при частоте I,5–I,6 Гц. При этом при введении канала производной тока ротора до I0 делений (кривая 2) наибольшая амплитуда колебаний активной мощности в 4,5 раза меньше по сравнению со случаем, когда производная тока ротора не введена (кривая I).

Положительное влияние канала производной тока ротора на устойчивость относительного движения проявляется также в режимах ограничения минимального возбуждения (ОМВ).

Таким образом при настройке АРВ следует не только проверить соответствие основных узлов АРВ статическим и динамическим

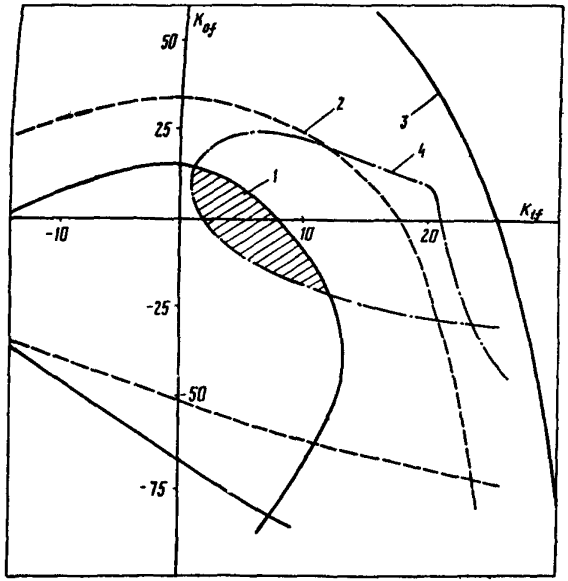


Рис.П2.6. Конфигурация границ областей основного и относительного движения:

I,2,3 – границы устойчивости относительного движения;
I – коэффициент усиления по I_p' – 0 делений;
2 – коэффициент усиления по I_p' – 4 деления:
3 – коэффициент усиления по I_p' – I0 делении;
4 – граница основного движения генераторов для одного из послеаварийных режимов с выделением на ВЛ 400 кВ

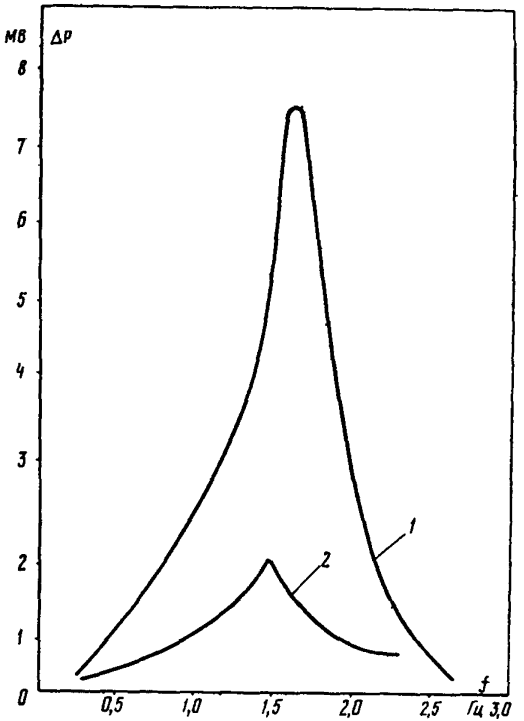


Рис.П2.7. Частотные характеристики $\Delta P = f(f)$ при изменении сигнала по I_p':
I – I_p' – 0 делений; 2 – I_p' – I0 делений

характеристикам, приведенным в разд.3.9 [3], в частности, обязательно проверить цепи стабилизации в ВЧЗ и ОБ – см. пп.3.9.3 и 3.9.4 [3], но и стремиться к увеличению до 6–10 делений коэффициентов регулирования по производным напряжения и тока ротора.

Возможность увеличения указанных коэффициентов ограничивается условиями возникновения ВЧ колебаний (частотой 5÷7 Гц). Определяющим для канала U' является режим ХХ, поскольку этому режиму соответствуют наименьшие предельные значения коэффициентов по производной напряжения. Необходимо отметить, что граница ВЧ колебаний существует и во всех режимах работы генератора в сети. Однако проверка ВЧ границы по каналу производной напряжения в сети потребовала бы одновременного варьирования этого коэффициента на всех параллельно работающих машинах, что резко усложнило бы настройку АРВ. Проверка ВЧ границы по режиму холостого хода гарантирует отсутствие ВЧ колебаний при работе генератора в сети, что подтверждено опытом наладки АРВ на многих электростанциях. В связи с этим граница ВЧ колебаний по каналу U' проверяется только по режиму холостого хода. Корректирующая цепь, расширяющая области устойчивости $U' - I_p'$, отрицательно сказывается на быстродействии АРВ; поэтому устойчивость по каналам U', I_p' стремятся обеспечить при минимальных значениях коэффициента по корректирующей цепи.

Для уменьшения требуемых коэффициентов по КЦ в системах независимого возбуждения целесообразно проверить мероприятия, примененные в схемах самовозбуждения блока ТГВ-200 (изменение схемы фильтра ОБ, переключение I_p до фильтра БТЛ).

При испытаниях АРВ в режимах работы генератора в сети должно быть проверено, что при полной активной нагрузке генератора при введении каналов отклонения и производной частоты вплоть до 10 делений граница области находится за пределами соответствующих ниш АРВ. Тем самым осуществляется проверка отсутствия ограничений в выборе настройки АРВ по этим каналам по условиям устойчивости относительного движения машин.

Для электростанций, имеющих достаточно жесткие связи с энергосистемой (внешнее реактивное сопротивление – в пределах 0,4), рекомендуется устанавливать следующую настройку АРВ:

– по производной напряжения – не менее 5 делений (5–10 делений);

- по производной тока ротора - не менее 6 делений (6-10 делений);

- по отклонению частоты - 1 деление;

- по производной частоты - 7 делений;

- по корректирующей цепи - минимальное число делений, обеспечивающее устойчивость в режиме холостого хода при $U' \geqslant 5, I'_p \geqslant 6$ (желательно не более 4÷5 делений при С44,45 = 4 мкФ и коэффициенте усиления ОБ по каналу УФ - 80 В/мА; допускается введение 7 делений).

В соответствии с изложенным в разд.4,5 Методических указаний допускается осуществлять автоматический вывод I'_p при работе генератора на холостом ходу в случае, если его введение на холостом ходу ограничивает предельные коэффициенты по U', а испытания в сети подтверждают возможность ввода I'_p с большими коэффициентами, чем на холостом ходу.

Такая настройка АРВ рекомендуется на основании опыта расчетов, исследований и испытаний на крупных электростанциях; настройка выбрана с учетом того положения, что при ослаблении связей электростанции с системой (в послеаварийных режимах, ремонтных условиях) область устойчивости по каналам отклонения и производной частоты смещается в сторону положительных значений коэффициента по производной частоты.

В случаях, когда условия работы генераторов электростанции могут резко изменяться при переключениях во внешней сети и при этом происходит увеличение внешнего реактивного сопротивления выше 0,4, либо генераторы электростанции переходят в режим недовозбуждения, целесообразно произвести работы по экспериментальному уточнению настройки АРВ сильного действия. До последнего времени уточнение настройки производится на электростанциях путем проведения специальных системных испытаний. Для выбора коэффициентов регулирования АРВ руководствуются анализом качества переходного процесса при ступенчатом сигнале управления, подключенном одновременно на контрольные входы АРВ параллельно работающих генераторов. Для нахождения области устойчивости опыты проводят при различных сочетаниях настроечных параметров АРВ, в том числе при таких настройках, при которых система приближается к границе устойчивости по самораскачиванию. Изменение настройки АРВ осуществляется одновременным варьированием коэффициентов ре-

гулирования всех параллельно работающих машин. Организация такого рода системных испытаний достаточно сложна; серьезным недостатком этой методики является также необходимость создания в энергосистеме на весь период испытаний резерва мощности на случай нарушения устойчивости в процессе проведения опытов. Граница области устойчивости определяется при таких системных испытаниях не полностью, а только в пределах первого квадранта плоскости коэффициентов K_{0f} , K_{1f} . В случае, если граница устойчивости оказывается за пределами коэффициентов, соответствующих 10 делениям соответствующих шкал АРВ, граница даже в первом квадранте остается неизвестной, что также является недостатком данного метода.

Во ВНИИЭ разработана методика, позволяющая осуществлять выбор настройки АРВ по K_{0f} , K_{1f} без проведения системных испытаний. Методика позволяет определить расположение границы области устойчивости во всех четырех квадрантах плоскости коэффициентов K_{0f} , K_{1f} вне зависимости от того, располагается эта граница в пределах шкал коэффициентов, предусмотренных в АРВ, либо находится за их пределами. При этом не требуется производить варьирование коэффициентов регулирования АРВ параллельно работающих машин - граница области определяется при той настройке, которая в данный момент установлена на регуляторах, находящихся в эксплуатации. Рекомендуется использовать эту методику при проведении работ по уточнению настройки АРВ.

Существо разработанной методики поясняет рис.П2.8. Границы области устойчивости определяются обработкой осциллограммы переходного процесса, происходящего в энергосистеме при малом возмущении, поданном на 5-10 с на дополнительные входы АРВ в текущем режиме работы электростанции. Контрольный сигнал выбирается малым в пределах 0,1÷0,15 мА (что соответствует изменению напряжения на шинах на 0,6÷1,0%), чтобы при подаче контрольного сигнала изменение режима работы генераторов было незначительным. Настройка АРВ остается при этом такой, которой установлена в данный момент в процессе эксплуатации. Переходный процесс, возникающий в энергосистеме при кратковременном включении контрольного сигнала, осциллографируется. с помощью специального датчика разработанного и изготавливаемого ВНИИЭ производится запись частоты напряжения шин электростанции (либо нескольких частот по числу

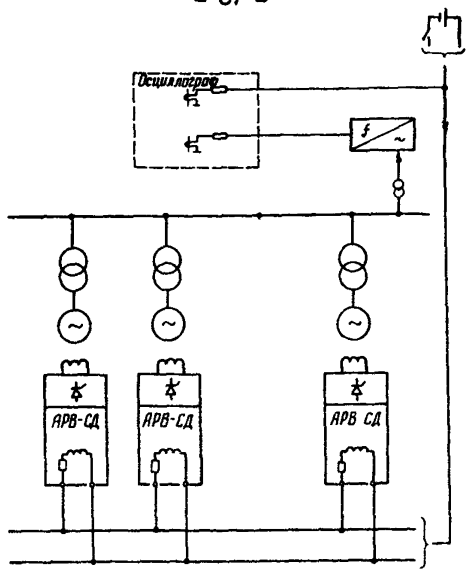


Рис.П2.8. Схема, поясняющая метод проведения системных испытаний

шин разного напряжения или по числу раздельно работающих секций одного напряжения). Малые колебания частоты, возникающие при включении контрольного сигнала (около 0,005-0,008 Гц), позволяют по полученной осциллограмме определять расположение во всех четырех квадрантах границы области статической устойчивости. Определение границ производится путем обработки полученной осциллограммы на цифровой вычислительной машине - микроЭВМ "Электроника-60". В качестве примера на рис.П2.9 представлена область устойчивости, рассчитанная на ЭВМ для одного из режимов работы турбогенераторов Молдавской ГРЭС. Расчет области устойчивости выполнен по осциллограмме, показанной на рис.П2.10, при настройке регулятора возбуждения, соответствующей на рис.П2.9 точке А. Для контроля точности расчетов на ЭВМ снята осциллограмма переходного процесса при настройке АРВ, соответствующей границе области устойчивости (настройка отмечена на рис.П2.9 точкой В); осциллограмма, соответствующая настройке в точке В, показана на рис.П2.10. Частота колебаний на границе устойчивости, определя-

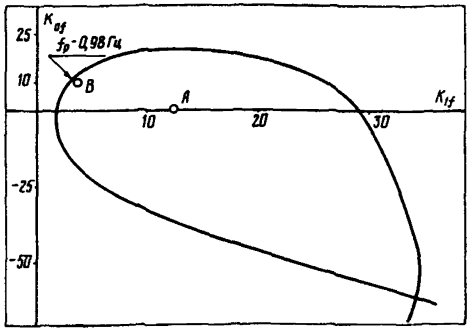


Рис.П2.9. Область устойчивости, рассчитанная на ЭВМ для одного из режимов работы турбогенераторов

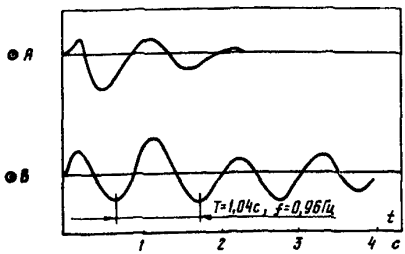


Рис.П2.10. Базовая и контрольная осциллограммы для расчета области устойчивости на ЭВМ

емая по этой осциллограмм , составила 0,96 Гц. Расчетная частота f_p , соответствующая ближайшей к точке B настройке на расчетной границе области устойч ти, составила 0,98 Гц. Таким образом, граничные по устойчивости настроечные параметры АРВ и частота на границе устойчивости рассчитываются на ЭВМ с достаточной точностью.

Сущность алгоритма расчета области устойчивости с помощью ЭВМ поясняет блок-схема, представленная на рис.П2.11. По осциллограмме переходного процесса производится измерение мгновенных значений через равные интервалы времени (0,04÷0,1 с) а полученная таблица служит исходной информацией для расчета. Алгоритм программы предусматривает выполнение вычислений в следующей последовательности:

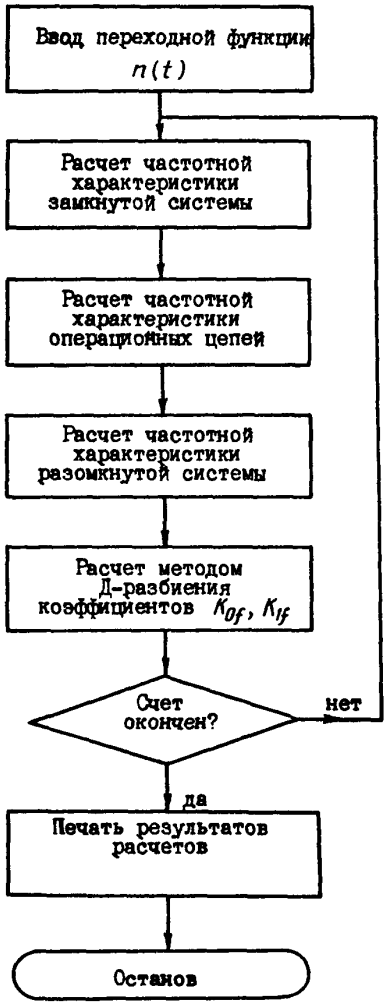


Рис.II2.II. Блок-схема расчета области устойчивости на ЭВМ

- вычисляется частотная характеристика $W_з(j\omega)$ замкнутой системы регулирования по формулам преобразования Фурье;

- выполняется расчет частотной характеристики разомкнутой системы регулирования по $W_з(j\omega)$ и частотной характеристике операционных цепей АРВ при установленной в период эксплуатации настройке регуляторов возбуждения;

- по известной частотной характеристике разомкнутой системы производится вычисление методом Д-разбиения границы статической устойчивости системы в плоскости коэффициентов регулирования по отклонению и производной частоты.

Программа предусматривает также возможность выполнения расчетов по оценке качества переходных процессов при настройках АРВ, соответствующих точкам внутри области устойчивости, в целях выбора оптимальной настройки, обеспечивающей наибольший запас устойчивости системы. Предусмотрена также возможность выполнения расчетов по данным непосредственных измерений мгновенных отклонений частоты, вводимых в память микроЭВМ с помощью аналого-цифрового преобразователя. В этом случае исключается необходимость осциллографирования переходного процесса.

Список использованной литературы

1. Методические указания по наладке тиристорных систем возбуждения с АРВ сильного действия турбогенераторов ТГВ-300 и ТГВ-200. М.: СПО ОРГРЭС, 1976.
2. Инструкция по эксплуатации тиристорных систем возбуждения с АРВ сильного действия турбогенераторов ТГВ-200 и ТГВ-300. М.: СЦНТИ ОРГРЭС, 1973.
3. Методические указания по наладке тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165–800 МВт. М.: СПО Союзтехэнерго, 1983.
4. Автоматические регуляторы возбуждения. Труды ВЭИ. Вып.73. М.: Энергия, 1966.
5. Автоматические регуляторы возбуждения. Труды ВЭИ. Вып.78. М.: Энергия, 1968.
6. Автоматические регуляторы возбуждения. Труды ВЭИ. Вып.81. М.: Энергия, 1972.
7. Нормы испытаний электрооборудования. М.: Атомиздат, 1978.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Просим внести в "Методические указания по наладке тиристорной системы независимого возбуждения турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165-800 МВт" (М.: СПО Союзтехэнерго, 1982) следующие поправки::

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
19	10-я сверху	т.д.) и цепей,связанных с тиристорами первичных обмоток БУВ и	т.д.) и цепей, связанных с тиристорами; первичных обмоток БУВ и
52	3-я снизу	до 0,8 мкФ. Микроцепи (конденсаторы С40 и С38-39) следует от-	до 8,0 мкФ. Микроцепи (конденсаторы С40 и С38-39) следует от-
93	14-я снизу	В соответствии со значением $I_{2ст.ном}$ компенсация падения	В соответствии с указанной формулой компенсация падения

О Г Л А В Л Е Н И Е

Введение 3

I. Испытания вспомогательного генератора ВГ и его системы возбуждения при работе турбогенератора в сети с резервным возбудителем 4

I.I. Проверка защит и снятие характеристики короткого замыкания ВГ 4

I.2. Испытание вспомогательного генератора в режиме холостого хода ВГ 7

I.3. Испытания системы возбуждения ВГ при соединении цепей возбуждения по нормальной схеме и работе ВГ на холостом ходу 7

2. Испытания системы независимого тиристорного возбуждения турбогенератора при работе его с резервным возбудителем I4

3. Проверка системы независимого тиристорного возбуждения турбогенератора при работе блока в режиме трехфазного короткого замыкания.... I6

4. Испытания системы независимого тиристорного возбуждения турбогенератора при работе его на холостом ходу I7

5. Испытания тиристорного возбудителя с АРВ при работе турбогенератора в сети 29

5.I. Испытания ТВ при малой активной нагрузке 29

5.2. Испытания ТВ в процессе увеличения активной мощности 34

5.3. Испытания ТВ при номинальной активной мощности 39

Приложение I. Описание системы независимого тиристорного возбуждения с АРВ сильного действия 44

Приложение 2. Выбор настройки АРВ сильного действия по условиям устойчивой работы генераторов в энергосистеме 76

Список использованной литературы 9I

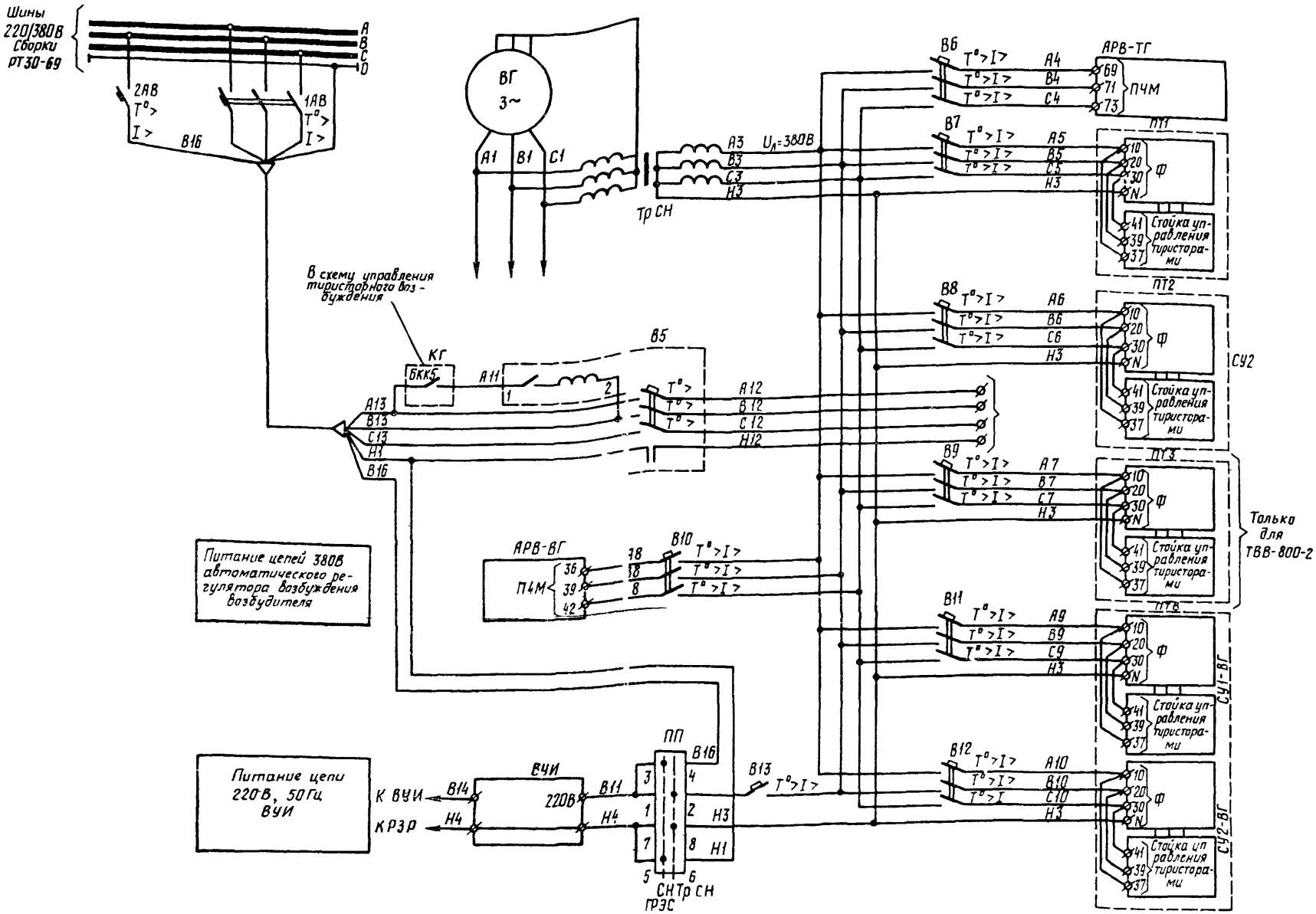


Рис.III.3. Схема питания собственных нужд тиристорного возбуждения:

В6, В7, В8, В9, В10, В11 – выключатели питания собственных нужд; ПП – переключатель питания ТПТ; В13 – выключатель питания ТПТ от ТрСН; 2АВ – выключатель на сборке РТ30 для питания ТПТ от собственных нужд; В5 – выключатель с дистанционным расцепителем для подачи 380 В на ТВ;
Ф – фильтр в системе управления тиристорами
Остальные обозначения те же, что на рис.III.2

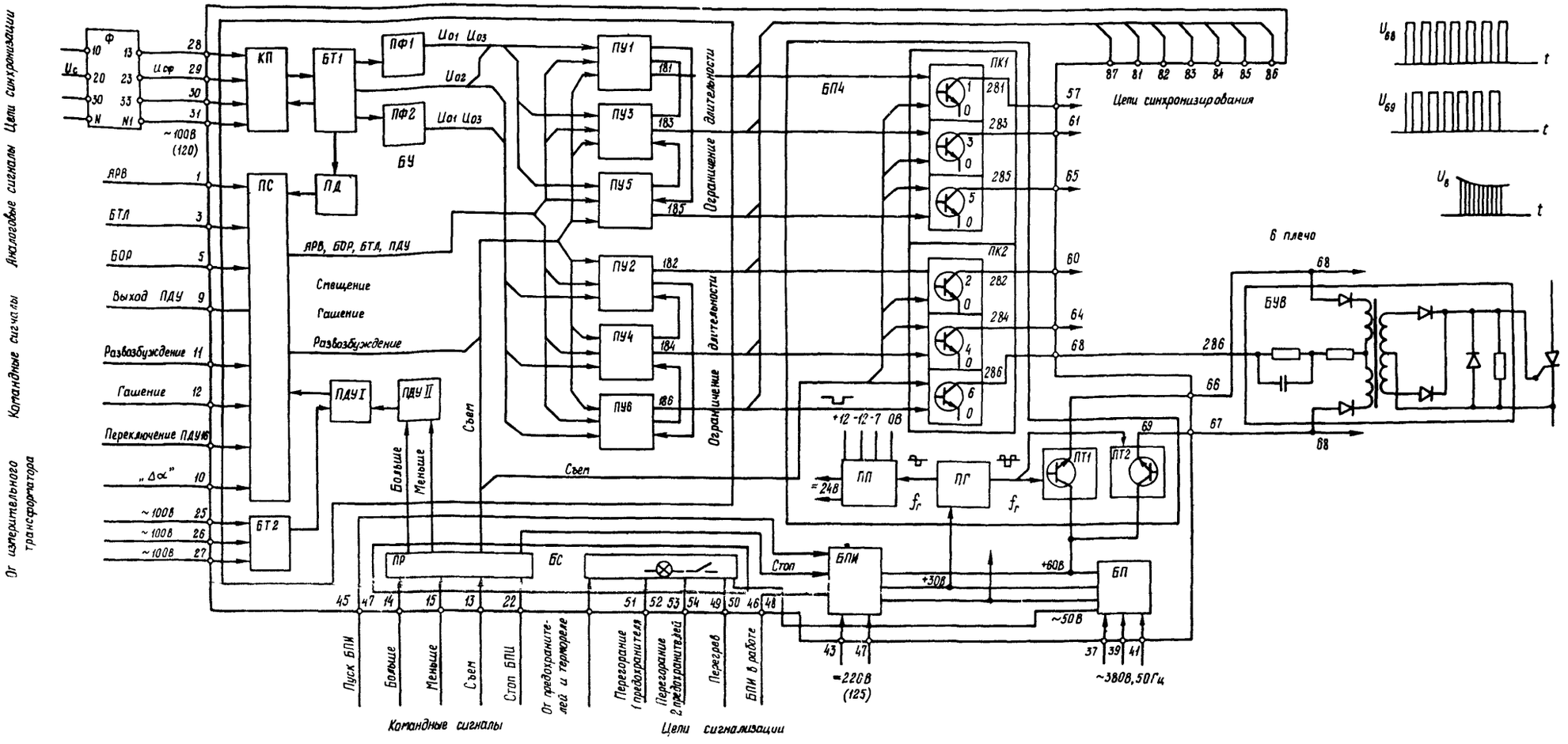
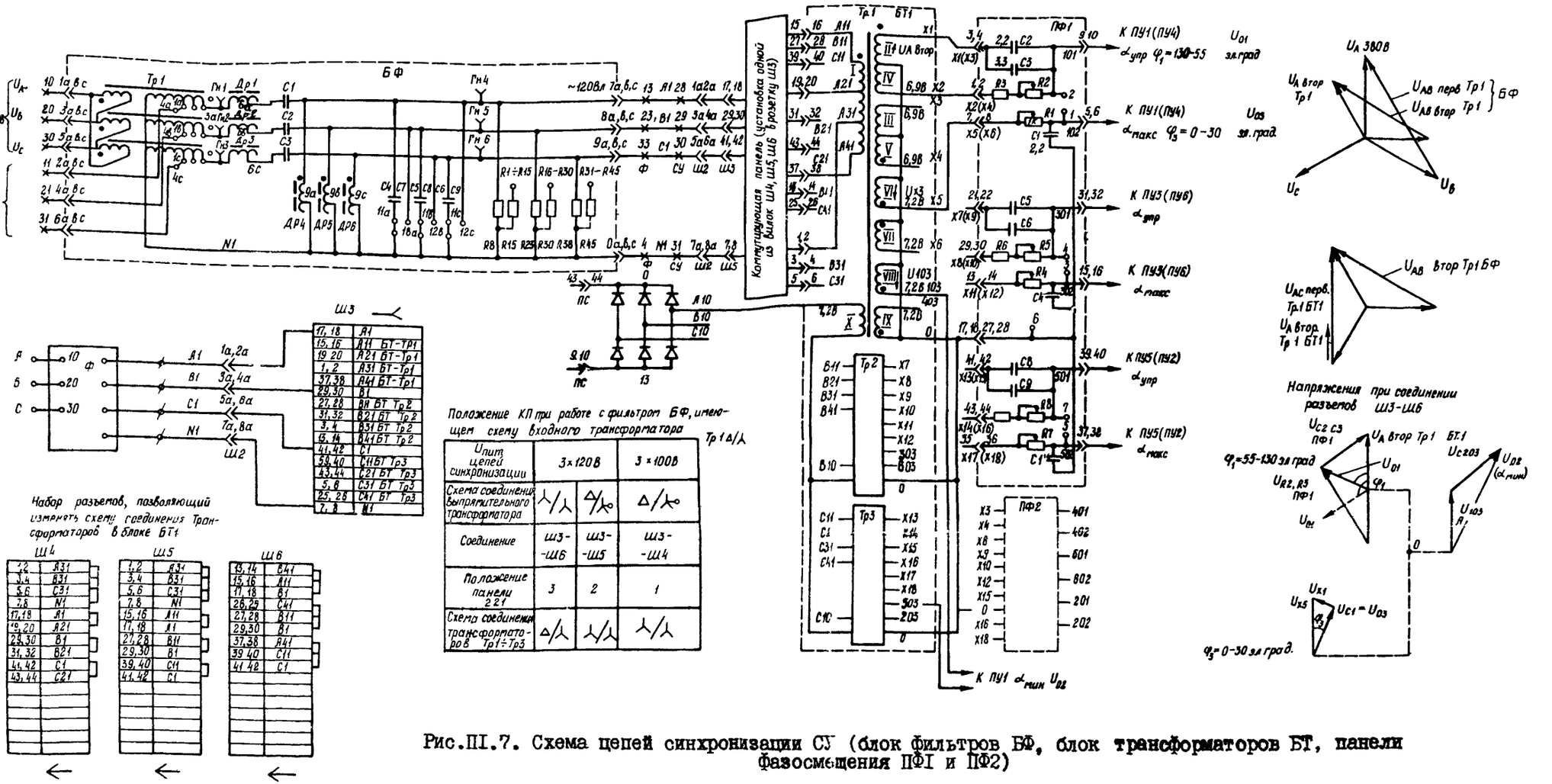


Рис.II.5. Структурная схема системы управления тиристорами:

Ф – фильтр; БУ – блок управления; БПЧ – блок преобразования частоты; БП – блок питания; БПИ – блок питания инверторный; БС – блок сигнализации; КП – коммутирующая панель; БТ – блок трансформаторов; ПФ1, ПФ2 – панели фазосмещения; ПУ – панели управления: ПР – панель реле; ПС – панель соединений; ПДУ1, ПДУП – панели дистанционного управления; ПК1, ПК2 – панели ключа; ПТ1, ПТ2 – панели транзисторов; ПГ – панель генератора; ПП – панель питания; БУВ – блок выходного устройства



$U_{пит}$ цепей синхронизации	3×120В		3×100В
Схема соединений выпрямительного трансформатора	Y/Δ	Δ/Y	Δ/Δ
Соединение	Ш3-Ш6	Ш3-Ш5	Ш3-Ш4
Положение панели 221	3	2	1
Схема соединения трансформаторов Тр1÷Тр3	Δ/Y	Y/Y	Y/Y

Рис.III.7. Схема цепей синхронизации СУ (блок фильтров БФ, блок трансформаторов БТ, панели фазосмещения ПФ1 и ПФ2)

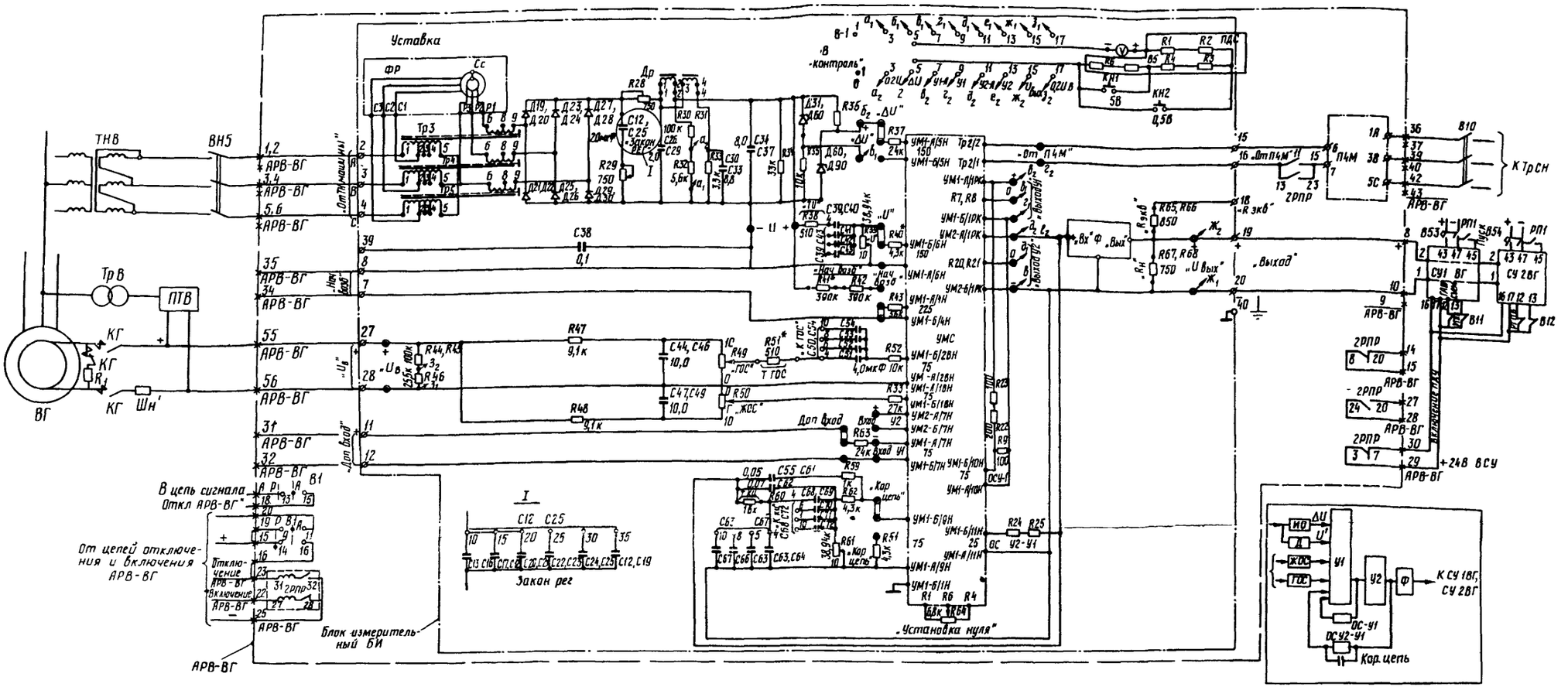


Рис.III.10. Схема регулятора возбуждения АРВ-ВГ-0:

а – принципиально-монтажная схема АРВ; *б* – структурная схема усилителя

2РПР – реле включения и отключения регулятора; ВІ – ключ включения и отключения регулятора; УІ – первый суммирующий каскад усилителя; У2 – второй каскад усилителя; ИО – измерительный орган канала напряжения; ФР – фазорегулятор.
Остальные обозначения те же, что и на рис.III.1, III.2

gost.e-ecolog.ru