

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем
(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Модернизация системы тиристорного возбуждения гидрогенератора Жигулевской ГЭС»

Студент(ка)

Р.Н. Ерёмин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.А. Кувшинов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель программы д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« ____ » _____ 2016 г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина

« ____ » _____ 2016 г.

Тольятти 2016

Содержание

Введение.....	4
1. ОБЗОР СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС.....	6
1.1 Электромашинная система возбуждения.....	6
1.2 Ионная система возбуждения.....	10
1.3 Статическая тиристорная система самовозбуждения.....	17
1.4 Вывод о целесообразности модернизации.....	19
2. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И УСТРОЙСТВО СТС.....	22
2.1 Расчет параметров силового трансформатора.....	22
2.2 Выбор силовых полупроводниковых приборов.....	25
2.3 Климатическое исполнение.....	26
2.4 Решения по созданию ИТС ТСВ.....	27
2.5 Решения по интеграции ТСВ в АСОКУ.....	27
2.6 Решения по интеграции ТСВ в ЛСКУ ГА.....	28
2.7 Решения по термоконтролю выпрямительных трансформаторов.....	29
2.8 Решения по перспективному подключению ТСВ к ГРНРМ.....	29
2.9 Программное обеспечение виртуального пульта.....	29
2.10 Общее описание системы возбуждения	31
2.11 Состав статической тиристорной системы самовозбуждения СТС 2П-420-2100-2,5	35
2.12 Принцип работы СТС	39
2.13 Тиристорная секция СТС.....	48
2.14 Автоматический регулятор возбуждения.....	51
2.15 Охлаждение тиристорных мостов	57
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ.....	61
3.1 Проверка работы системы возбуждения при питании по схеме независимого возбуждения от шин 10 кВ (ячейка 32).	61

3.2 Испытание системы возбуждения при питании выпрямительного трансформатора по штатной схеме от шин генератора 13,8 кВ в режиме ХХ генератор.	63
3.3 Испытание системы возбуждения генератора в сети под нагрузкой....	74
3.3.1 Испытание системы возбуждения при работе генератора в сети с активной мощностью 40МВт.....	74
3.3.2 Испытание системы возбуждения при работе генератора в сети с $P=75$ МВт	78
3.3.3 Испытание системы возбуждения при работе генератора в сети с $P=125,5$ МВт.....	83
3.4 Вывод по результатам испытаний.....	91
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	92
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	93
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	96

ВВЕДЕНИЕ

Мощность Жигулевской ГЭС — 2414,5 МВт, среднегодовая выработка - 10,5 млрд. кВт·ч. В здании ГЭС установлены 7 гидроагрегатов мощностью по 115 МВт, 4 гидроагрегата мощностью по 120 МВт и 9 гидроагрегата мощностью по 125.5 МВт работающих при расчетном напоре 21 м.

Жигулёвская ГЭС участвует в покрытии пиковых нагрузок и регулировании частоты в энергосистеме страны, регулирует сток воды в Волге, способствует эффективному ее использованию нижележащими волжскими гидроэлектростанциями, обеспечивает создание судоходных глубин и создает благоприятные условия для орошения больших площадей засушливых земель Заволжья. Вырабатываемая электроэнергия передается по четырем высоковольтным линиям 500 кВ: по двум из них — в ОЭС Центра, по двум другим — в ОЭС Урала и Средней Волги.

Оборудование, которое устанавливалось на Жигулёвской ГЭС отвечало всем техническим, экологическим, социальным и экономическим требованиям того времени, когда оно вводилось в эксплуатацию.

С середины 1960-х до конца 1970-х гг. происходила модернизация оборудования: на 8 гидрогенераторах были предусмотрены схемы перевода в режим синхронных компенсаторов. В 1979 г. на Волжской ГЭС впервые в стране начал эксплуатироваться новый трансформатор типа ОРЦ-135000/500 со сниженным уровнем изоляции.

В 2001 г. Волжская ГЭС имени В. И. Ленина стала участником эксперимента по разработке единой концепции построения и развития автоматизированных систем управления (АСУ ТП и АСДТУ). Программа технического перевооружения Жигулевской ГЭС до 2017 г. была одобрена Советом директоров Общества в 2005 г и ежегодно уточняется и переутверждается. В ходе ее реализации поводится замена гидротурбин и электротехнического оборудования, что, по расчетам специалистов, приведет к экономии значительных финансовых средств, расходуемых на ремонты.

Электромашинная система возбуждения эксплуатировавшаяся с момента ввода в работу ГЭС, морально и физически устарела и не обеспечивает полного использования возможностей возбуждения для повышения статической и динамической устойчивости генераторов, имеет большую инерционность при регулировании и не соответствует современным требованиям по надежности. Параллельно с электромашинной системой возбуждения эксплуатировалась ионная система возбуждения, которая работала 19 лет и была заменена на независимую тиристорную систему из-за большого количества отказов вентилей и системы охлаждения. На данный момент статическая тиристорная система возбуждения также морально и физически устарела и требует модернизации.

Модернизация отдельных блоков не всегда рациональна и оправдывает вложения, в этих случаях целесообразна полная замена всей установки. В нашем случае замена системы возбуждения будет целесообразнее чем модернизация силового канала, охлаждения тиристоров и т.д. Причиной этого является: снятие с производства систем возбуждения, поставляемых на ГЭС, реконструкция цеха-изготовителя, моральный износ данных систем возбуждения.

Целью настоящей работы является снижение затрат на unplanned и аварийные ремонты с одновременным увеличением надежности работы системы возбуждения гидрогенератора путем замены независимой тиристорной системы возбуждения с естественным охлаждением тиристоров на статическую тиристорную систему самовозбуждения с принудительным.

1 ОБЗОР СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ НА ЖИГУЛЕВСКОЙ ГЭС

Для создания магнитного потока в синхронных машинах, которые возбуждаются постоянным током, обмотка возбуждения синхронного генератора обычно расположена на роторе, вращающемся с определенной синхронной скоростью. В обмотке статора возникает э. д. с., и при замыкании обмотки статора на сопротивление нагрузки протекает ток нагрузки. Схема предназначена для питания цепи возбуждения машины, называется схемой возбуждения.

Существует несколько схем возбуждения синхронных генераторов: электромашинные, ионные, полупроводниковые и т. д.

На ГЭС применялись электромашинная и ионная системы возбуждения главных генераторов и электромашинная схема возбуждения вспомогательных генераторов.

1.1 Электромашинная системы возбуждения

Одна из применявшихся систем возбуждения, состоит из возбудителя с параллельным возбуждением (самовозбуждением) (схема возбуждения приведена на рисунке 1.1).

Изменение напряжения возбудителя производится изменением тока в обмотке самовозбуждения при помощи шунтового реостата (ШР) вручную или дистанционно с агрегатного щита управления (АЩУ). Регулирование напряжения производится устройством компаундирования (УК) с двухсистемным электромагнитным корректором (ЭМК) напряжения УК подключено к основной обмотке возбуждения, ЭМК - к двум дополнительным обмоткам возбуждения возбудителя. При включенных УК и ЭМК положение тунгового реостата определяется из условия устойчивой работы генератора на холостом ходу и отмечено соответствующей риской. Предусмотрена релейная

форсировка возбуждения с действием на закорачивание части сопротивления схемы самовозбуждения и релейное развозбуждение с действием на ввод в схему добавочного сопротивления. Гашение поля генератора производится при помощи автомата гашения поля типа АГП—1. Гашение поля вспомогательного генератора производится автоматом гашения поля АГП-ВГ.

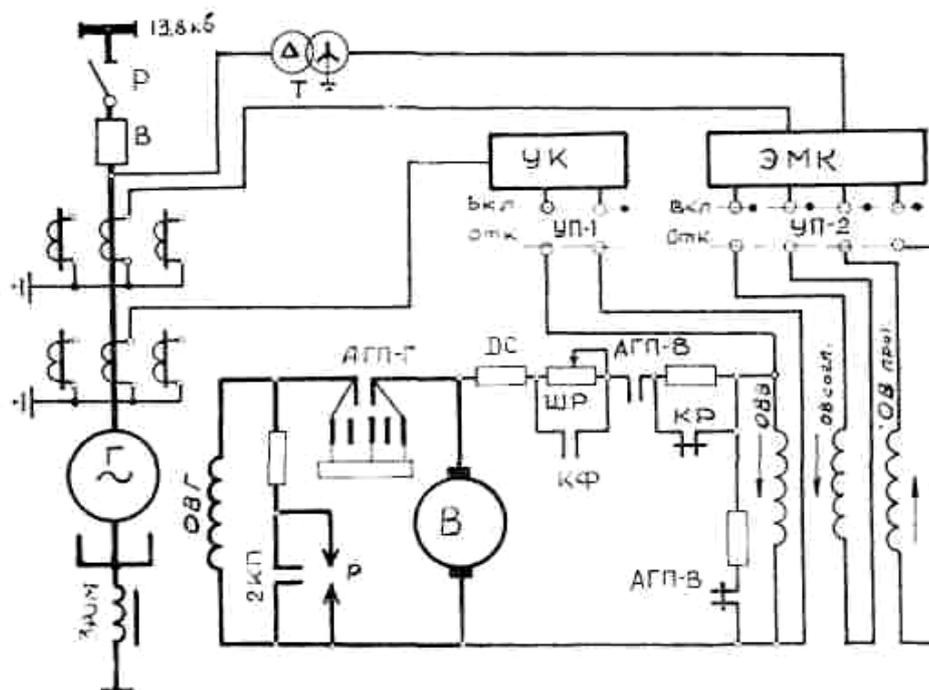


Рисунок 1.1 - Схема возбуждения генераторов № 1 и 2

Автомат гашения поля типа АГП—1 состоит из контактной системы с приводом управления, камеры поперечного дутья и дугогасительной решетки.

При размыкании контактов благодаря камере поперечного дутья дуга с контактов автомата перебрасывается в дугогасительную решетку. Поперечное поле в камере создается постоянными магнитами. Напряженность поля 3183,8 – 39788,5 А/м.

В дугогасительной решетке дуга разбивается на ряд последовательно включенных коротких дуг, которые горят до тех пор, пока ток в обмотке ротора не снизится до нуля. Напряжение на короткой дуге при изменении тока в широких пределах остается постоянным, и, следовательно, напряжение на

роторе остается неизменным по величине (2300—2500 В) в течение всего периода гашения.

Для того чтобы короткие дуги не приводили к выгоранию дугогасительной решетки, последняя выполнена так, чтобы дуга под воздействием поля катушек совершала вращательное движение в каждом промежутке (всего 78 промежутков).

Для уменьшения амплитуды напряжения при обрыве дуги, когда ток ротора близок к нулю, решетка шунтирована активным сопротивлением. Автомат управляется дистанционно при помощи привода типа ПС—10. Конструкция автомата АГП-1 обеспечивает возможность правильной работы при определенной полярности тока (+ внизу автомата, — наверху). При отключении малых токов дуга, возникшая на контактах автомата, не затягивается в дугогасительную решетку и приводит к выгоранию контактов автомата. Поэтому отключение малых токов (до 500 А) не рекомендуется.

Другая схема возбуждения генераторов состоит из двух схем возбуждения:

а) параллельное возбуждение. Обмотки возбуждения возбудителя включены последовательно;

б) независимое возбуждение от силового блока электронного регулятора возбуждения (ЭРВ); обмотки возбуждения собираются в 3 параллельные ветви.

Перевод с одной схемы возбуждения на другую производится при помощи рубильника Р (рисунок 1.2).

Нормально возбудитель работает по схеме с независимым возбуждением. Перевод на параллельное возбуждение производится при неисправности ЭРВ. Регулирование напряжения в этом случае осуществляется ЭМК (электромагнитный корректор напряжения).

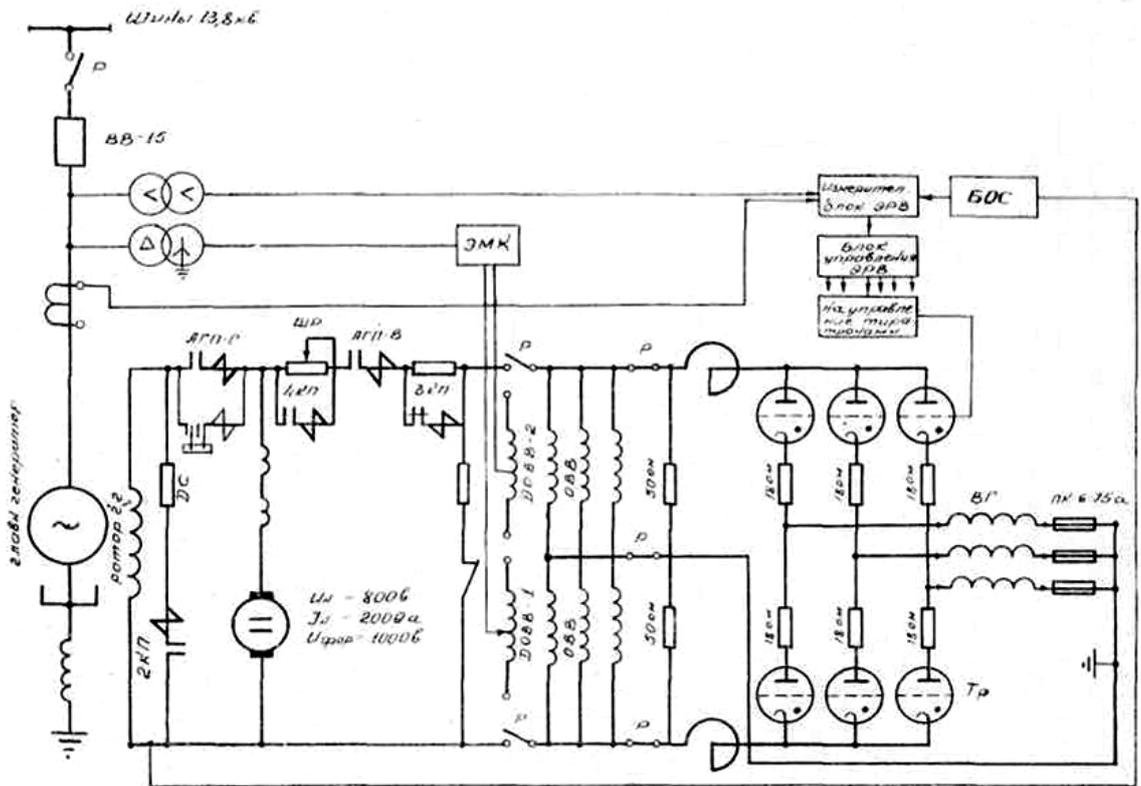


Рисунок 1.2 - Схема возбуждения генераторов

Независимое возбуждение возбудителя осуществляется от управляемого выпрямителя, состоящего из двух трехфазных схем с нулевым выводом. Выпрямители питаются от вспомогательного генератора (ВГ) напряжением 3,15 кВ, установленного на валу главного агрегата.

За счет использования высокого напряжения ВГ и включения последовательно с обмоткой возбуждения активных сопротивлений (по 18 Ом. в плече) обеспечивается постоянное время возбудителя 0,25 сек. при потолке 950 В. Для защиты обмотки возбуждения от опасного повышения напряжения средняя точка заземлена, при этом токи замыкания на землю ВГ увеличиваются.

Для защиты от замыкания на землю использованы предохранители типа ПК 6 - 10 кВ на ток 100 А. Дополнительно к предохранителям при замыкании на землю работает защита от замыкания на землю по $3I_0$ или по U_2 с действием на отключение автомата гашения поля вспомогательного генератора (АГП-ВГ). После отключения от защит АГП-ВГ главный генератор остается в работе.

Возбуждение генератора на время до перевода схемы возбуждения. возбудителя на параллельное, осуществляется от ЭМК через дополнительные обмотки возбудителя. На время перевода включается релейная форсировка возбуждения.

Реактивные катушки и сопротивления по 50 Ом в схеме служат для уменьшения переменной составляющей напряжения на обмотках возбуждения.

Напряжение на возбудителе зависит от величины тока в обмотке возбуждения возбудителя. Величина тока в обмотке зависит от угла регулирования силовых тиратронов типа ТР1-40/15 силового блока ЭРВ. Таким образом, изменением угла зажигания тиратронов можно производить регулирование напряжения на возбудителе. Гашение поля возбудителя при работе по схеме независимого возбуждения производится закрытием тиратронов ТР1-40/15 контактами АГП-Г.[16]

1.2 Ионная система возбуждения

Ещё одна схема использовавшаяся на генераторах ГЭС имела ионную систему возбуждения (рисунок 1.3). Питание переменным напряжением ИВ осуществляется от вспомогательного генератора, расположенного на одном валу с главным генератором. Вспомогательный генератор возбуждается машиной постоянного тока, работающей на самовозбуждении и расположенной на одном валу с главным генератором.

В нормальных режимах работы изменение тока ротора осуществляется изменением угла регулирования выпрямителей. При форсировке возбуждения угол регулирования форсировочной группы снижается до нуля, и вся нагрузка переходит на нее. При этом обмотка вспомогательного генератора значительно перегружается, что, однако, допустимо ввиду кратковременности режима форсировки.

При достижении тока ротора 4000 А включается схема ограничения и, увеличивая угол открытия форсировочной группы, снижает напряжение ротора до 800—900 В.

При гашении поля низковольтная группа вентилях запирается, вся нагрузка переходит на форсировочную группу, которая переводится в инверторный режим. Запирание рабочей группы производится снятием сеточных отпирающих импульсов контактором (КГ) и реле гашения. Перевод же в инверторный режим форсированной группы обеспечивается изменением угла открытия вентилях до 130—135°, отключением контактора 1К или реле гашения. Таким образом, контакторы КГ и 1К выполняют роль автомата гашения поля для генераторов с ионным возбуждением. В инверторном режиме напряжение на роторе меняет свой знак. При этом энергия магнитного поля ротора потребляется вспомогательным генератором.

ИВ с двумя группами вентилях обеспечивает:

- а) устойчивое возбуждение генератора во всех режимах работы — от холостого хода при пониженном напряжении до максимального рабочего режима;
- б) форсировку возбуждения генератора до 4000 А по ротору при напряжении 1800 В;
- в) интенсивное развозбуждение при внезапных сбросах нагрузки, в режиме качаний, после отключения КЗ и т. п.;
- г) быстрое инверторное гашение поля.

В дальнейшем ионную систему возбуждения заменили быстродействующей тиристорной системой возбуждения главного и

вспомогательного генераторов, причем главный генератор оснащен независимой системой возбуждения, вспомогательный системой самовозбуждения.

Источником тока ротора главного генератора - ГГ – является вспомогательный генератор - ВГ, вспомогательного генератора – трансформатор возбуждения - ТВ, подключенный к выводам ВГ, а в период начального возбуждения - кратковременно система постоянного тока.

Для преобразования переменного тока в постоянный используются полупроводниковые преобразователи, выполненные с помощью кремниевых управляемых вентилях - тиристоров - по трехфазной мостовой схеме:

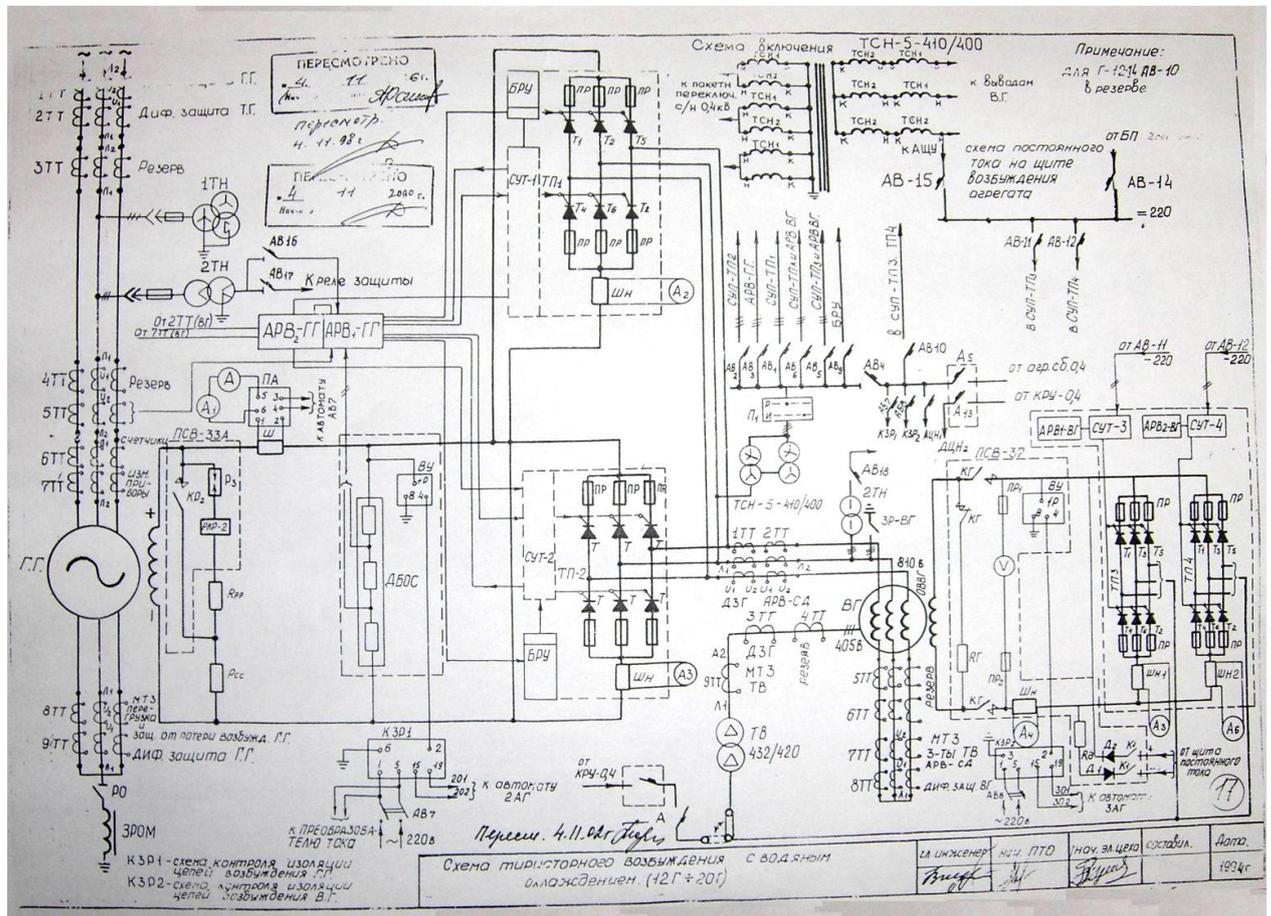


Рисунок 1.4 - Схема тиристорного возбуждения с водяным охлаждением.

Тиристорные преобразователи генераторов собраны по двухгрупповой схеме и содержат по два преобразователя: ТП-1 и ТП-2 для главного генератора, ТП-3 и ТП-4 для вспомогательного.

Преобразователи ТП-1 и ТП-2 подключены параллельно к выводам ВГ на напряжение $U_{ВГ} = 810 В$ и работают параллельно на ротор ГГ. Каждый из них конструктивно представляет собой два отдельных шкафа: вентильную секцию - СВ и шкаф управления тиристорным выпрямителем ШТВ-17.

Преобразователи ТП-3 и ТП-4, работающие параллельно на ротор ВГ, питаются от выводов статорной обмотки вспомогательного генератора через трансформатор возбуждения - ТВ - мощностью $S = 250 кВт$ типа:

ТВ - 405/400 В - для ГГ 12 ÷ 20.

Конструктивно силовая часть и система управления тиристорами – СУТ каждого тиристорного преобразователя ТП-3 (ТП-4) размещены в одном шкафу.

Потолок возбуждения, который обеспечивается тиристорными преобразователями ТП-1 и ТП-2, имеет кратность 2,5 - по напряжению ротора ГГ и 2 - по току ротора ГГ с длительностью форсировки не более $t = 50 сек.$ при работе двух преобразователей. При отключении одного преобразователя, ТП-1 или ТП-2, допустимая длительность форсировки ограничивается $t = 10 сек.$, если при этом отключается одна параллельная ветвь в каком-либо плече, допустимый выпрямленный ток снижается до $I = 1400 А$, а ток форсировки в течение $t = 50 сек.$ – до $I = 2500 А$.

Допустимый ток перегрузки ТП-3 (ТП-4) составляет $I = 1000 А$ при длительности перегрузки $t = 20 сек.$ или $I = 800 А$ при длительности перегрузки $t = 50 сек.$ При выходе из строя одной или двух параллельных ветвей преобразователя ТП-3 (ТП-4) номинальный выпрямленный ток и ток перегрузки снижаются на 25 % и 50 % соответственно.

Преобразователи ТП-3 и ТП-4 имеют естественную воздушную систему охлаждения, а более мощные преобразователи ТП-1 и ТП-2 – водоводяную

систему с принудительной циркуляцией дистиллированной воды по замкнутому циклу.

Для регулирования возбуждения ГГ или ВГ, то есть изменения фазы управляющих импульсов относительно анодного напряжения тиристоров, используются специальные устройства: блок ручного управления – БРУ и автоматический регулятор возбуждения сильного действия - АРВ-СД – для главного генератора; блок автоматического регулирования напряжения пропорционального действия - АРН-1 – для вспомогательного (см.п.1.4).

Визуальный контроль за параметрами тиристорного преобразователя осуществляется по приборам, амперметру и вольтметру, расположенным на лицевой стороне шкафа, а также по приборам на панелях А-1, А-2 и ЩВ-1. В случае выхода какого-либо параметра за допустимые пределы срабатывает предупредительная сигнализация, а при возникновении повреждения - соответствующее устройство защиты тиристорного преобразователя.

Для уменьшения разветвленности цепей ротора главного генератора и повышения безопасности персонала, напряжение ротора ГГ подается на вольтметр АЩУ через блок гальванической развязки типа АРВ-Р-40 с коэффициентом преобразования 600 В / 6 В.

Силовая часть тиристорного преобразователя представляет собой собранный по трехфазной мостовой схеме управляемый выпрямитель, состоящий из силовых блоков тиристоров - БТ, объединенных шинами переменного и выпрямленного тока. Защита тиристоров от внутренних коротких замыканий осуществляется предохранителями, установленными в каждой из четырех ветвей плеча схемы.

Силовой блок тиристоров преобразователя ВГ - ТП-3(ТП-4) – содержит четыре параллельно включенных тиристора типа Т-320, установленных на индивидуальных охладителях с развитой поверхностью охлаждения. Ввиду большого нагрузочного запаса преобразователей, сигнализация перегрева ТП-3 (ТП-4) отсутствует, а при перегорании предохранителей в одной или двух ветвях проходят предупредительные сигналы (см. Таблицу П1).

Силовой блок тиристоров преобразователя ГГ - ТП-1 (ТП-2) – состоит из двух охладителей, на каждом из которых установлены по 4 тиристора типа ТЗ-320 класса 22 или 24 (см. Таблицу 1). Для защиты тиристоров от перегрева при нарушении работы принудительной системы охлаждения, на верхних радиаторах первого и четвертого плеч вентильной секции ТП-1 (ТП-2) установлены четыре термоконтактора с уставкой срабатывания $t = 70^{\circ}\text{C}$ (см. п.1.3), вызывающие срабатывание реле аварийного состояния соответствующего преобразователя - РП-11 (РП-12).

Так как нагрузочный запас ТП-1 (ТП-2) отсутствует, при перегорании предохранителей в одной или двух ветвях преобразователя, на работу схемы накладываются соответствующие ограничения: в первом случае срабатывают реле неисправности РП-13 (РП-14), во втором - реле аварийного состояния РП-11 (РП-12).

При отключении одной ветви ТП-1 или ТП-2 и одновременной работе реле запрета форсировки происходит разгрузка агрегата по реактивной мощности через комплект АРВ-СД.

Срабатывание одного реле аварийного состояния преобразователя ТП-1 или ТП-2 вызывает срабатывание реле запрета форсировки - РЗФ и съем импульсов управления соответствующего преобразователя, а в случае одновременного срабатывания реле аварийного состояния ТП-1 и ТП-2 работает реле защит системы возбуждения главного генератора – РЗ-1, производящее отключение выключателя и гашение поля ГГ инвертированием через реле РГП-1(2).

Для обеспечения равномерного деления тока по параллельным ветвям, в преобразователях ТП-1 ÷ ТП-4 установлены специальные делители тока – ДТ, с помощью которых обеспечивается принудительное симметрирование тока в пределах 5 % ÷ 15 %.

Согласование источника управляющих импульсов СУТ с управляющим переходом каждого тиристора осуществляется с помощью блока выходного трансформатора - БВТ - соответствующего тиристора. [15]

1.3 Статическая тиристорная система самовозбуждения

В настоящий момент на Жигулевской ГЭС установлена и эксплуатируется статическая тиристорная система самовозбуждения СТС-М-420-2100-2,5 УХЛ4.

Структурная схема системы возбуждения для гидрогенераторов Жигулевской ГЭС приведена на рис. 1.5.

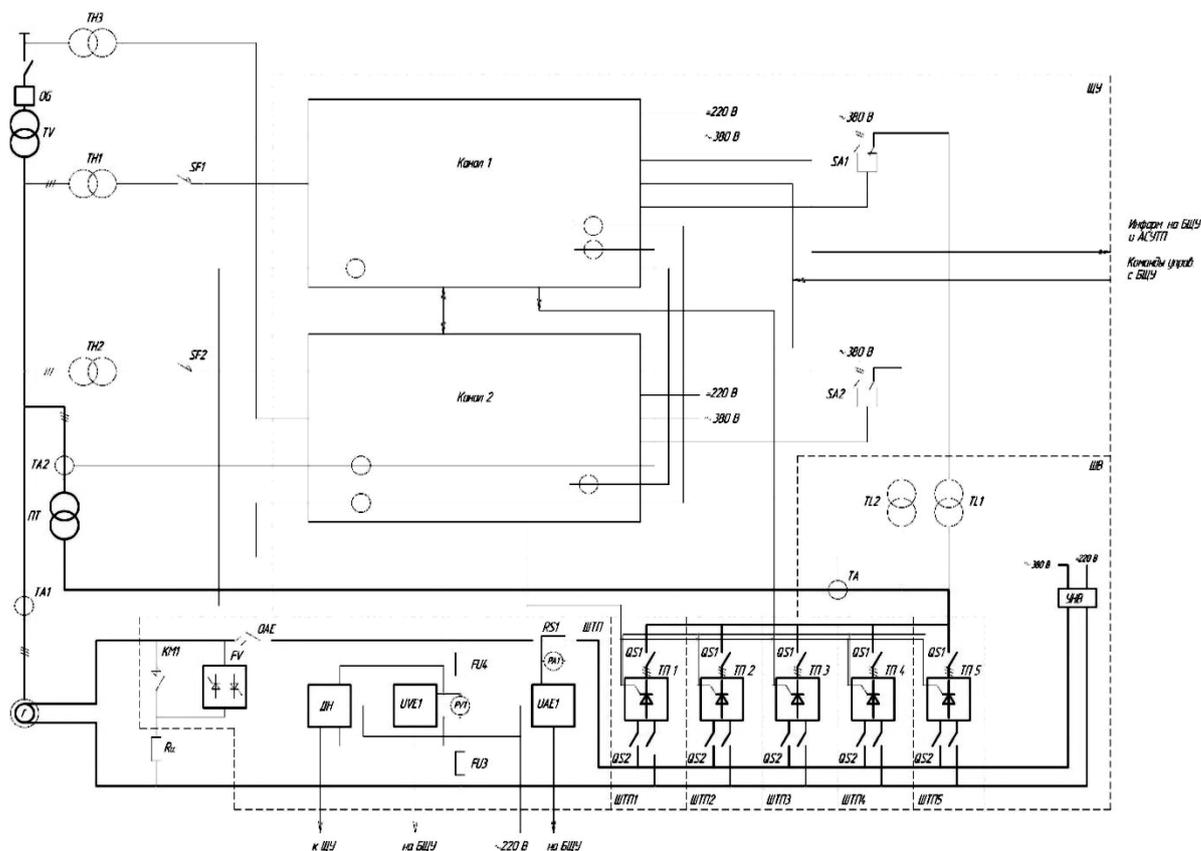


Рисунок 1.5 – Структурная схема тиристорной системы возбуждения

Система возбуждения выполняется одногрупповой. Трехфазная группа из однофазных преобразовательных трансформаторов (ПТ) жестко до генераторного выключателя подключена к шинам генератора. От нее через разъединители получают питание пять одинаковых тиристорных преобразователей ТП, соединенных параллельно. Тиристорные преобразователи собраны по трехфазной мостовой схеме.

В каждом плече тиристорного преобразователя установлен один вентиль. Преобразователь собран на силовых тиристорах Т-173-1600 (1600А, 34

класс по напряжению). Охлаждение тиристорov – естественное воздушное. От коммутационных перенапряжений тиристорный мост защищен R–C цепочками на входе преобразователя, соединенными в треугольник.

Для питания собственных нужд системы возбуждения предусмотрены трансформаторы собственных нужд TL1и TL2, которые подключаются к вторичной обмотке преобразовательного трансформатора.

Защита тиристорного преобразователя и обмотки ротора от перенапряжений осуществляется тиристорным разрядником FV многократного действия. При срабатывании разрядника обмотка ротора замыкается на защитное сопротивление $R_{заш.}$. Гашение разрядника производится путем шунтирования его контактором KM1.

Гашение поля генератора производится переводом тиристорного преобразователя в инверторный режим, либо автоматом гашения поля QAE.

Для режима начального возбуждения предусмотрено устройство начального возбуждения, получающего питание от сети собственных нужд 380В электростанции, либо от аккумуляторной батареи.

Цифровая система управления, регулирования и защиты имеет 100% резерв (канал 1 и канал 2).

В каждом канале блок универсального микроконтроллера реализует функции регулятора возбуждения (АРВ), системы управления тиристорами (СУТ), системы управления возбуждением СУВ и функции защит системы возбуждения (ЗВ).

Автоматический регулятор возбуждения АРВ осуществляет поддержание напряжения на выводах генератора по ПИД закону в соответствии с заданной уставкой и статизмом в нормальных режимах работы генератора, имеет стабилизирующие каналы регулирования по отклонению напряжения статора и производным напряжения статора и тока ротора. Для снятия характеристик генератора и системы возбуждения в регуляторе предусмотрен режим ручного регулирования тока возбуждения от нуля до максимального. В этих условиях выпрямительный трансформатор питается от независимого источника.

По факту выявления неисправности регулятора микропроцессорная система управления возбуждением (СУВ) автоматически производит переключение на резервный регулятор при условии его исправности, при этом выдается соответствующая сигнализация на щит управления.

Система управления тиристорными преобразователями обеспечивает полное открытие тиристорных преобразователей и не менее 75% отрицательного потолочного напряжения в инверторном режиме.

Во всём диапазоне управления противофазная асимметрия импульсов управления не превышает ± 1 эл. град, междуфазная асимметрия – не более ± 2 эл. град.

СУВ осуществляет автоматизированный контроль аппаратуры системы возбуждения, обеспечивая функции технологического управления режимами возбуждения турбогенератора, мониторинга системы возбуждения и т.д.

Вся информация отображается на местном пульте и заносится в "дневник" с указанием последовательности событий.

Для целей испытания в системе возбуждения предусмотрен специальный переключатель для перевода питания 380 В с режима «Работа» на режим «Испытание» и обратно. Перевод в режим «Испытание» допускается только на остановленном агрегате. При переводе в режим «Испытание» происходит автоматическое гашение поля и отключение АГП.

В режиме «Испытание» все вспомогательные цепи и электроника находятся в рабочем состоянии.

Все оборудование системы возбуждения располагается в шкафах двухстороннего обслуживания.

Силовые цепи переменного и постоянного тока подключены сверху.[17]

1.4 Вывод о целесообразности модернизации

На сегодняшний день статическая тиристорная система самовозбуждения физически и морально устарела: комплекты ЗИП поставляемые с

оборудованием полностью израсходованы, а завод-изготовитель прекратил выпуск ремонтных комплектов, а также имеются конструктивные недостатки. Система возбуждения имеет естественное воздушное охлаждение, которая не эффективна в летнее время и приводит к снижению регулировочного диапазона по реактивной мощности т.е. напряжения в энергосистеме.

Проведенные эксперименты по определению эквивалентного реактивного сопротивления связи станции с энергосистемой и расчёты на этой основе динамической устойчивости позволили сравнить между собой две системы возбуждения:

- существующую систему независимого возбуждения с кратностью форсировки по напряжению возбуждения 2,5;
- вольтодобавочных трансформаторов с кратностью форсировки по напряжению возбуждения 2,9.

Выполненные расчеты (см. «Анализ влияния типа системы возбуждения на динамическую устойчивость гидрогенераторов Волжской ГЭС им. Ленина») показали, что применение системы самовозбуждения с кратностью форсировки по напряжению возбуждения 2,9 практически не приводит к снижению пределов динамической устойчивости электрических передач.

В связи с этим, система возбуждения должна выполняться по принципу параллельного самовозбуждения. Питание тиристорного преобразователя системы возбуждения должно осуществляться от группы однофазных трансформаторов, первичные обмотки которых жестко подключаются к выводам якорной обмотки гидрогенератора.

На сегодняшний день промышленность может представить сильноточные тиристоры на номинальный ток 2000 – 3000А. Следовательно возможно спроектировать статическую тиристорную систему самовозбуждения с одним тиристором в плече и резервным мостом.

Таким образом, вместо 5-ти одновременно работающих ТП можем использовать один ТП и второй ТП иметь в резерве.

Проблему охлаждения решим, применив принудительное охлаждение тиристорного моста с двумя вентиляторами: основной и резервный.

2 ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И УСТРОЙСТВО СТС

2.1 Расчет параметров силового трансформатора

Предварительное значение фазного напряжения вторичной обмотки трансформатора.

$$U'_{2\phi} = \frac{U_{do} \cdot k_{\phi}}{k_{CX}} = \frac{350 \cdot 2,5}{2,34} = 373,9 \text{ В},$$

где $k_{CX} = 2,34$ – коэффициент схемы (трехфазная симметричная мостовая);

$U_{do} = 364 \text{ В}$ – среднее значение выпрямленного напряжения;

$k_{\phi} = 2,5$ – коэффициент форсировки по напряжению.

Требуемое значение фазного напряжения с учетом необходимого запаса.

$$U_{2\phi} = k_U \cdot k_R \cdot U'_{2\phi} = 1,1 \cdot 1,05 \cdot 373,9 = 431,8 \text{ В},$$

где $k_U = 1,1$ – коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможность снижения напряжения сети на 10%;

$k_R = 1,05$ – среднее коэффициент запаса по напряжению, учитывающий падение напряжения в тиристорах, обмотках трансформатора и за счет перекрытия токов.

Требуемое линейное напряжение вторичной обмотки трансформатора.

$$U'_{2л} = \sqrt{3} \cdot U_{2\phi} = \sqrt{3} \cdot 431,8 = 748 \text{ В}$$

Индуктивное сопротивление фазы трансформатора.

$$X_T = \frac{U_L \cdot U_{2\phi}}{I_2} = \frac{0,095 \cdot 431,8}{1714} = 0,024 \text{ Ом},$$

где $U_L = 0,095$ – ориентировочная величина индуктивной составляющей напряжения короткого замыкания трансформатора в относительных единицах.

Индуктивность фазы трансформатора, приведенная к цепи выпрямленного тока.

$$L_T = \frac{X_T}{\omega} = \frac{X_T}{2\pi f} = \frac{0,024}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,076 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Активное сопротивление обмотки трансформатора.

$$R_T = \frac{U_a \cdot U_{2\phi}}{I_2} = \frac{0,06 \cdot 431,8}{1714} = 0,015 \text{ Ом},$$

где $U_a = 0,06$ – активная составляющая напряжения короткого замыкания трансформатора.

Коммутационное сопротивление обмотки трансформатора.

$$R_k = \frac{X_T \cdot m'}{2\pi} = \frac{0,024 \cdot 3}{2 \cdot 3,14} = 0,0115 \text{ Ом},$$

где $m' = 3$ – параметр схемы.

Действующее значение тока вторичной обмотки трансформатора.

$$I_2 = k_{T2} \cdot I_d = 0,817 \cdot 1900 = 1552,3 \text{ А},$$

где k_{T2} – коэффициент схемы

Действующее значение тока первичной обмотки трансформатора.

$$I_1 = \frac{k_{T1}}{k_{TP}} \cdot I_d = \frac{0,817}{10,6} \cdot 1900 = 146,4 \text{ А},$$

где $k_{T1} = 0,817$ – коэффициент схемы;

$k_{TP} = 10,6$ – коэффициент трансформации.

Принимаем питающее линейное напряжение первичной обмотки трансформатора $U_{1Л} = 13800 \text{ В}$, тогда при схеме Y/Δ отношение линейных напряжений в трехфазном трансформаторе:

$$k_{TP} = \frac{U_{1Л}}{\sqrt{3} \cdot U_{2Л}} = \frac{13800}{\sqrt{3} \cdot 748} = 10,6$$

Расчетная типовая мощность силового трансформатора с учетом необходимого запаса.

$$S'_T = k_M \cdot k_i \cdot P_d = 1,045 \cdot 1,075 \cdot 665000 = 747044 \text{ Вт},$$

где $k_M = 1,045$ – коэффициент повышения расчетной мощности трансформатора, зависящей от схемы транзисторного преобразователя;

$$P_d = I_d \cdot U_{do} = 1900 \cdot 350 = 665000 \text{ Вт} - \text{мощность выпрямленного тока.}$$

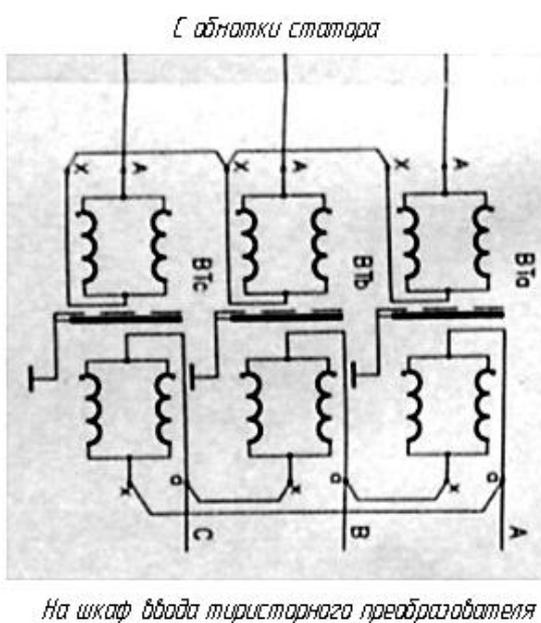


Рисунок 2.1 - Трансформатор возбуждения

По требуемой мощности и напряжению выбираем трансформатор ОСПЗ-1000/15 ВУЗ

Преобразовательный трансформатор представляет собой группу из трех однофазных трансформаторов ОСЗП-1000/15В УЗ, первичные обмотки которых соединены в звезду, а вторичные - в треугольник, подключаемую к выводам генератора (см. Рисунок 2.1). Напряжение, к которому подключаются трансформаторы, составляет 13,8 кВ.

Буквы в условном обозначении трансформатора:

О - однофазный

- З - защищенного исполнения,
- П - для питания преобразователей,
- В - для возбуждателей синхронных генераторов.
- УЗ- климатическое исполнение.

Номинальная мощность $P_H = 800 \text{ кВт}$

Линейное напряжение $U_{2Л} = 775 \text{ В}, U_{1Л} = 7967 \text{ В}$

Потери короткого замыкания $\Delta P_{КЗ} = 5 \text{ кВт}$

Напряжение короткого замыкания $U_{КЗ} = 6\%$

Схема соединения обмоток Y/Δ

2.2 Выбор силовых полупроводниковых приборов

Выбор тиристорov производится по среднему значению тока через тиристор и по максимальному значению обратного напряжения.

Среднее значение тока через тиристор при номинальном токе генератора.

$$I_{dvs} = I_{dном} / m,$$

где: $m = 3$ – число фаз.

$$I_{dvs} = 1900 / 3 = 633 \text{ А.}$$

Среднее значение тока через тиристор с учетом форсировки генератора.

$$I'_{dvs} = \lambda \cdot I_{dvs},$$

где: $\lambda = 2$ – соотношение пускового тока якоря двигателя к номинальному току якоря.

$$I'_{dvs} = 2 \cdot 633 = 1266 \text{ А},$$

Среднее значение тока через тиристор.

$$I''_{dvs} = k_{BT} \cdot I'_{dvs},$$

где: $k_{BT} = 1,25$ – коэффициент запаса для надежности работы тиристора.

$$I''_{dvs} = 1,25 \cdot 1266 = 1583 \text{ А}.$$

Максимальная величина обратного напряжения, прикладываемого к тиристорам.

$$U_{VS_{MAX}} = k_C \cdot k_a \cdot k_T \cdot k_{U_{MAX}} \cdot U_{2\phi},$$

где: $k_{U_{MAX}} = 1,3$ – коэффициент запаса по напряжению.

$$U_{VS_{MAX}} = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,05 \cdot 1,3 \cdot 5700 = 10270 \text{ В.}$$

В соответствии с ГОСТ 14069 – 72 тиристоры характеризуются предельными токами. Предельный ток является средним значением тока определённой формы при заданных условиях охлаждения. В маркировке тиристора обозначается длительное допустимое среднее значение тока через прибор, работающий на активную нагрузку в однополупериодной схеме выпрямления (длительность протекания тока $\beta = 180^\circ$) при температуре корпуса 85°C . В системах возбуждения через тиристоры идет ток практически прямоугольной формы при $\beta \leq 120^\circ$. Для длительности протекания тока $\beta = 120^\circ$ предельно допустимый ток уменьшается примерно до 90%, а при $\beta = 30^\circ$ - до 45% от приведенных выше значений. Допустимая нагрузка на тиристоры меньше предельной. Выбираем силовые тиристоры типа Т173 – 1600 с номинальным током 1600 А, класса по напряжению 1. При отрицательном угле работы тиристоры открываются не менее 75%, поэтому для лучшего охлаждения тиристоров устанавливаем 2 моста: один рабочий второй резервный. Для лучшего охлаждения применим принудительный обдув воздухом.[17]

2.3 Климатическое исполнение

Проектируемое оборудование имеет климатическое исполнение по ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70 — УХЛ, категория размещения — 4.

Климатическое исполнение ЩВ в соответствии с ТЗ №70801014/111:

- диапазон температур - от 0° до $+45^\circ\text{C}$.
- относительная влажность воздуха, при 25°C – 85%.

Степень защиты по ГОСТ 14254-96:

- не хуже IP21 – для секций переменного тока, постоянного тока, тиристорной секции;
- не хуже IP54 – для секций управления и регулирования.

2.4 Решения по созданию ИТС ТСВ

В рамках раздела рассматриваются решения по организации интеграции ТСВ на нижнем уровне АСУ ТП ГЭС.

Сеть АРВ1, АРВ2 и пульт местного управления изолирована от сети АСУ ТП. Для разделения сетей используется пульт местного управления, который имеет несколько сетевых интерфейсов. Один из интерфейсов используется для связи с АСУ ТП. По умолчанию, если не производить настройку пульта как моста между сетями, доступ к регуляторам будет затруднен, поэтому для ИТС ТСВ каждого ГА принимается как одно устройство.

2.5 Решения по интеграции ТСВ в АСОКУ

Интеграция ТСВ ГА в АСОКУ осуществляется на нижнем уровне АСОКУ.

Со стороны ТСВ обеспечивается связь по цифровому интерфейсу Industrial Ethernet, тип протокола Modbus TCP.

Интеграция ТСВ в АСОКУ организована подключением коммутаторов SW2 секции СУР ТСВ ГА №1-20 к коммутаторам CISCO 2955 в шкафах УД ТСВ блоков 1-8.

Физическая среда передачи данных - оптические кабели и патч-корды. Используются существующие оптические кабели и проектируемые претерминированные оптические патч-корды.

Претерминированные оптические патч-корды представляют собой изготовленные в заводских условиях многоволоконные оптические кабели для внешней прокладки с наружной оболочкой из металлопластикового рукава,

жилы которого с обеих сторон оконцованы оптическими разъемами. Необходимые характеристики патч-кордов (тип волокна, тип разъемов, длина и т.д.) уточняются в рабочей документации.

При монтаже претерминированных оптических патч-кордов не требуется дополнительная защита и сварка оптических волокон.

В панели управления ТСВ реализованы часы астрономического времени с возможностью синхронизации от существующих систем точного времени по протоколу NTP. Для синхронизации ТСВ используется сетевой сервер точного времени АСОКУ.

2.6 Решения по интеграции ТСВ в ЛСКУ ГА

Интеграция ТСВ в ЛСКУ ГА производится на уровне контроллера, установленного в панели АЩУ-4.

Информационный обмен осуществляется дискретными входными и выходными сигналами, при помощи контрольных кабелей.

Также со стороны ТСВ в ЛСКУ ГА передаются аналоговые сигналы «Ток ротора», «Напряжение ротора».

Для дискретных сигналов проектируются контрольные кабели типа КВВГЭнг-LS, с учетом резерва по жильности 20%. Вне зависимости от использования, от ТСВ в ЛСКУ ГА передаются все имеющиеся сигналы, предназначенные для систем управления гидроагрегатом.

Для аналоговых сигналов проектируются кабели витая пара КИПЭВнг-LS 2x2x0,6.

Все кабели экранированные, неподдерживающие горение, с пониженным дымовыделением.

Прокладка кабелей осуществляется по существующим и проектируемым кабельным лоткам.

В настоящее время не все дискретные сигналы, предусмотренные в ТСВ участвуют в информационном обмене с ЛСКУ ГА.

2.7 Решения по термоконтролю выпрямительных трансформаторов

Существующие ВТ имеют блоки контроля температуры (БКТ) состоящие из контроллеров (термореле) и датчиков температуры.

БКТ выполняют функцию измерения температуры обмотки и магнитопровода ВТ с формированием предупредительных и аварийных сигналов, которые передаются в ЛСКУ ГА

Для повышения надежности работы БКТ в объеме работ по реализации интеграции ТСВ в АСОКУ предусматривается поставка в качестве одиночного ЗИП для каждого ГА универсального термореле типа MSF220V.

Термореле данного может быть использован в составе любого установленного на ВТ БКТ.

2.8 Решения по перспективному подключению ТСВ к ГРНРМ

Существует возможность в перспективе подключения ТСВ к ГРНРМ. Для этого необходимо использовать входные дискретные сигналы «Больше»/»Меньше» и выходной сигнал «Готов к ГРАРМ».

2.9 Программное обеспечение виртуального пульта

В составе ЩВ в секции СУР установлена панель оператора, выполняющая функции отображения режимов работы ТСВ, параметрирования ТСВ, управления работой ТСВ, информационного обмена с внешними системами.

Основной программой, работающей на панели оператора, является программа «Виртуальный пульт» (в дальнейшем ВП), которая предназначена для местного управления аппаратурой щита возбуждения и режимами работы генератора, а также для отображения информации о состоянии генератора и щита возбуждения.

Функции управления аппаратурой щита возбуждения и режимом генератора:

- выдача команд в автоматический регулятор возбуждения на изменение режима работы генератора и системы возбуждения, включая команды "Возбуждение/Гашение";
- настройка основных параметров таких составных частей щита возбуждения как АРВ,
- выдача команды "Сброс сигнализации";
- переключение режимов управления "Местное/Дистанционное".

Функции индикации состояния аппаратуры щита возбуждения и режимов генератора:

- состояние АРВ основного и резервного канала и разрешение перехода на резервный канал;
- исправность обмена по последовательным интерфейсам;
- состояние режима генератора;
- ограничитель режимных параметров генератора, вступивший в работу;
- активные неисправности и отказы;
- дневник событий;
- состояние дискретных входов и выходов АРВ двух каналов;
- основные переменные состояния генератора, работающего в энергосистеме

Программа работает в режиме мультиэкранного интерфейса. Переключение между различными экранами производится выбором закладки соответствующего экрана. Основными экранами являются:

- экран стрелочных приборов ("Главный экран"),
- экран активных неисправностей и отказов ("Неисправности"),
- экраны настройки АРВ1 и АРВ2 ("АРВ1" и "АРВ2"),
- экран истории событий ("Дневник"),
- экран состояния дискретных входов и выходов АРВ1 и АРВ2 ("АРВ DIO"),
- экран вентиляторов ("Вентиляторы"),

- экран проверки связи с АСУ верхнего уровня ("АСУ").

2.10 Общее описание системы возбуждения

Основываясь на расчетах силовых элементов из всего разнообразия представленных на рынке систем возбуждения выбираем ТСП-2В-2100/910, основные технические данные которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические данные ТСВ

Наименование параметра	Норма для типоисполнения
	ТСП-2В-2100/910
1. Схема соединения	3-х фазная мостовая
2. Число параллельных тиристоров в плече	1
3. Номинальный постоянный выходной ток каждого канала, А	2100
4. Номинальная частота напряжения питающей сети, Hz	50
5. Предельно допустимое напряжение питающей сети переменного тока, линейное действующее, при подключенных внешних RC- цепях, V*	
длительное	910
кратковременное (в течении 1 s)	1275
6. Допустимое запирающее напряжение постоянного тока при предельном, длительно допустимом напряжении питающей сети переменного тока, V	3700
7. Длительность перегрузки из состояния предварительной нагрузки номинальным током, s	50
8. Постоянный выходной ток в режиме перегрузки из состояния предварительной нагрузки номинальным током, А	3800
9. Верхнее рабочее значение температуры окружающего воздуха, С	45
10. Охлаждение	принудительное воздушное

Система возбуждения представляет собой комплекс электротехнического оборудования, обеспечивающий при совместной работе управление возбуждением генератора в нормальных и аварийных режимах.

Структурная схема ТСВ приведена в рисунке 3.1 «Структурная схема щита возбуждения».

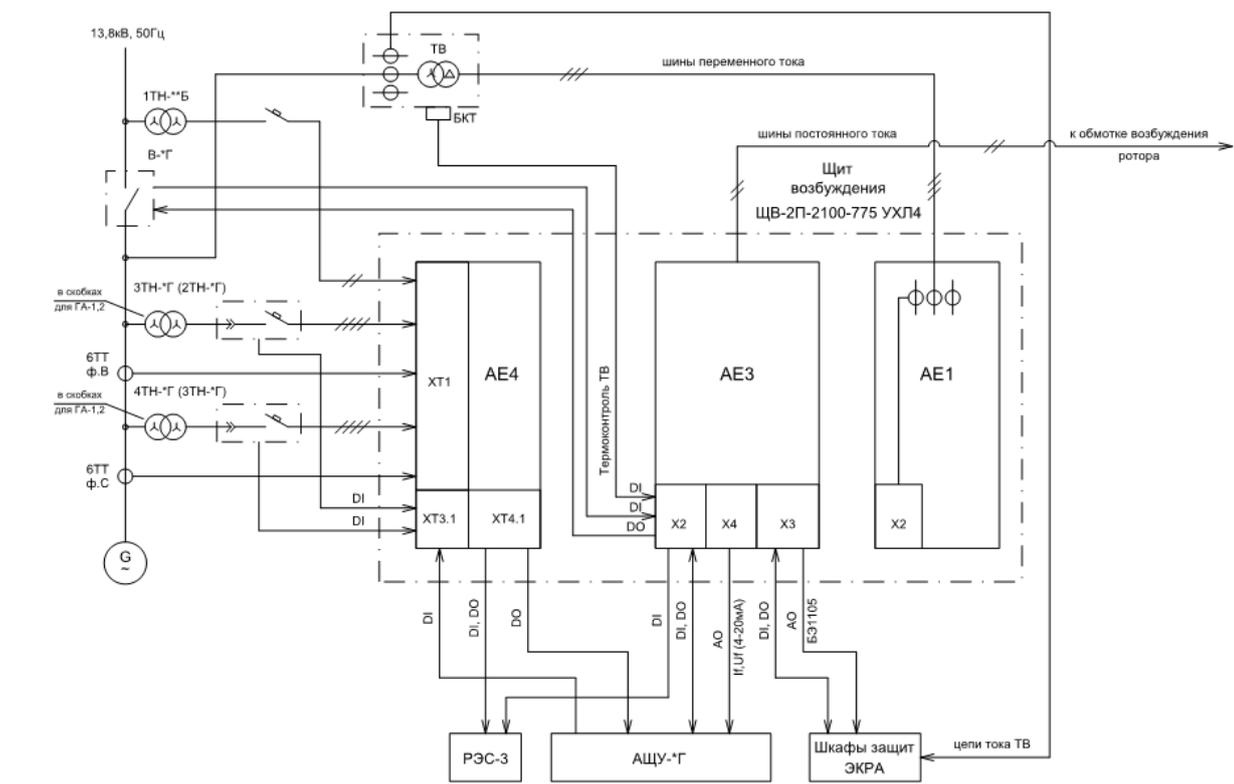


Рисунок 3.1 - Структурная схема щита возбуждения

На схеме представлены основной состав оборудования и основные электрические и функциональные связи между силовым оборудованием и аппаратурой управления, защиты и измерений.

Характеристики и типы оборудования определены с учетом необходимости обеспечения параметров системы возбуждения, которые определяются параметрами самого гидрогенератора, а также учитывают требования Заказчика.

Система возбуждения выполняется по схеме самовозбуждения.

Обмотка возбуждения гидрогенератора питается регулируемым постоянным током от одного из двух преобразовательно-регулирующих каналов тиристорного выпрямителя, каждый из которых в отдельности обеспечивает все режимы работы гидрогенератора. Тиристорный выпрямитель выполнен по трехфазной, мостовой, полностью управляемой схеме.

Силовое питание тиристорного выпрямителя переменным напряжением осуществляется от трансформатора возбуждения ТЕ1, подключенного к шинам генератора 13,8 кВ.

Регулирование выпрямленного напряжения на обмотке возбуждения осуществляется за счет изменения угла управления тиристорами, изменяющегося под действием системы управления и регулирования.

Управление мостами (АМ1, АМ2) тиристорного выпрямителя осуществляют два независимых регулятора возбуждения АРВ1 и АРВ2 с системами импульсно-фазового управления. Система управления и регулирования состоит из двух независимых микропроцессорных регуляторов АРВ1 и АРВ2 и пульта местного управления с промышленным компьютером и сенсорным дисплеем. Каждый из регуляторов содержит программно-реализованную систему импульсно-фазового управления тиристорами.

Каждый из двух идентичных каналов управления и регулирования возбуждения гидрогенератора включает цифровой автоматический регулятор возбуждения с системой управления тиристорами, тиристорный мост, а также измерительные трансформаторы напряжения и тока на главных выводах генератора. Любой канал может быть выбран в качестве рабочего, при этом второй будет находиться в "горячем" резерве. Переход на резервный канал осуществляется автоматически при неисправности рабочего канала или вручную по команде оператора. При этом режим гидрогенератора не изменяется, так как в резервном канале осуществляется слежение и подгонка уставки.

В системе возбуждения предусмотрено ручное регулирование в каждом канале. Переход на ручное регулирование осуществляется автоматически в том

случае, если при переходе на резервный канал невозможно автоматическое регулирование. Переход на ручное регулирование может осуществляться так же по команде оператора. Устройства слежения за уставкой автоматического регулятора возбуждения позволяют осуществлять переход на ручное регулирование без изменения режима работы гидрогенератора.

Автоматический регулятор напряжения реализует пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон регулирования. Предусмотрена возможность изменения коэффициентов усиления по параметрам регулирования (в том числе ΔU , U' , Δf , f'' , I'_{rot}), обеспечивающая оптимальную настройку регулятора возбуждения применительно конкретным условиям работы генератора в энергосистеме.

Автоматический регулятор тока возбуждения реализует пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования. Основной функцией регулятора тока поддержание тока возбуждения генератора в соответствии с заданной уставкой.

При работе генератора на холостом ходу производится пропорционально-интегральное регулирование напряжения генератора.

Для измерения напряжения и тока возбуждения генератора используются измерительный преобразователь тока $UAE1$ и измерительный преобразователь напряжения $UVE1$. Выходные сигналы преобразователей (4-20 мА) могут использоваться в щите управления агрегатом.

Автоматическое управление и защита системы возбуждения выполняются совместно с электрическими защитами генератора выполненными в виде двух абсолютно одинаковых и полностью взаиморезервируемых автономных систем и релейной схемы ТСВ, обеспечивающими:

- возбуждение и развозбуждение генератора при пуске и останове в соответствии с последовательностью операций управления гидроагрегатом;
- оперативное управление возбуждением в режимах холостого хода, точной синхронизации и при работе генератора в энергосистеме;

- защиту оборудования системы возбуждения при неисправностях и гашение поля генератора при аварийных режимах;
- информацию о состоянии оборудования, о неисправностях оборудовании, а также информацию о введении ограничений в условия эксплуатации.

2.11 Состав статической тиристорной системы самовозбуждения СТС-2П-420-2100-2,5

Конструктивно система тиристорного самовозбуждения типа [СТС-2П-420-2100-2,5](#) состоит из собранных с помощью шин и кабелей в единую схему отдельных сборочных единиц, размещенных в РУ-13,8кВ гидрогенератора.

Система тиристорного самовозбуждения генератора подключается к обмотке возбуждения – [ОВ](#) – и включает в себя:

- трансформатор возбуждения – [ТВ](#);
- щит возбуждения – [ЩВ](#);
- защитное сопротивление ротора – R_{cc} ;
- трансформаторы напряжения 13800В / 100В – [ТН](#).

Измерительные трансформаторы напряжения первого и второго каналов регулирования 2ТН(3ТН), 3ТН(4ТН) расположены в шкафу трансформаторов напряжения – [ШТН](#) – генераторного выключателя.

Защита гидрогенератора, включая защиту ротора и системы возбуждения, выполнена с помощью двух комплектов микропроцессорных защит, ШЭ1 и ШЭ2, производства НПП «ЭКРА».

Оборудование системы возбуждения конструктивно оформляется в виде щита возбуждения типа [ЩВ-2П-2100-750](#), собранного из шкафов с двухсторонним обслуживанием и состоящего из четырёх секций:

Таблица 2 – Состав щита системы возбуждения

секция	№ панели ЩВ	назначение секции
АЕ1	№1	силовая секция переменного тока = ввод переменного тока
АЕ2	№2 – АМ1, №3 – АМ2	тиристорная секция – ТС – типа ТСП-2В-2100/775, состоящая из двух шкафов тиристорных преобразователей – ТП – с вентиляторами
АЕ3	№4 – разрядник ротора, №5 – АГП - QE1	силовая секция постоянного тока
АЕ4	№6	секция системы управления и регулирования – СУР

Силовая секция переменного тока АЕ1 включает в себя:

- трансформаторы собственных нужд системы возбуждения Т1 и Т2
- трансформаторы собственных нужд Т3 и Т4 для резервного питания каналов секции управления и регулирования – [СУР](#)
- измерительные трансформаторы тока системы возбуждения ТА1 ÷ ТА4;
- RC-цепи с предохранителями, конденсаторами и резисторами блоков;
- переключатели SA1, SA2 выбора режима автоматических регуляторов возбуждения для собственных нужд системы с сигнальными лампочками HLR1, HLR2;
- переключатели для выбора режима вентиляторов тиристорных преобразователей: SA11, SA12 – для первого моста АМ1 и – SA21, SA22 – для второго моста АМ2, контакторы КМ для коммутирования напряжения питания и счётчики наработки вентиляторов СН11 (СН12, СН21, СН22)

- автоматические выключатели цепей питания переменного тока SFn
- разъёмы и клеммники межсекционного монтажа и внешних соединений, фильтры, диодные мосты, предохранители и другая вспомогательная аппаратура.

Трансформаторы тока системы возбуждения ТА1А, ТА1С, ТА2А, ТА2С с коэффициентом трансформации $k_{\text{ТТ}} = 2000/5$ используются для цепей измерения [СТС](#); аналогичные трансформаторы тока ТА3А, ТА3В, ТА3С, ТА4А, ТА4В, ТА4С в настоящее время закорочены и находятся в резерве.

Переключатели выбора режима автоматических регуляторов возбуждения, SA1 и SA2, имеют два фиксированных положения: «Работа» и «Испытание».

Положение «Работа» используется в штатном режиме работы системы возбуждения – [СВ](#). Положение «Испытание» выбирается при проведении наладочных работ СВ, для подачи напряжения питания и синхронизации на автоматические регуляторы возбуждения от собственных нужд станции. Для индикации положения SA1 и SA2 установлены сигнальные лампы HLR1 и HLR2, которые горят красным светом при переводе соответствующего ключа в положение «Испытание».

Тиристорная секция АЕ2 – [ТС](#) – типа ТСП-2П-2100/775 состоит из двух полностью идентичных отсеков, в каждом из которых размещены:

- выкатной тиристорный мост, AM1 или AM2, состоящий из силовых тиристоров VS1 ÷ VS6 и установленный на направляющих, которые позволяют выкатывать модуль из шкафа для замены и профилактического осмотра;
- два выемных вентилятора охлаждения тиристорного преобразователя – [ТП](#), основной А1 и резервный А2;
- датчики давления, В1, В2 или В3, В4;
- силовые предохранители FU1 ÷ FU6 1700А/1250В, термopредохранители и другая вспомогательная аппаратура.

Силовая секция постоянного тока АЕ3 представляет собой два шкафа, в которых установлены:

- автомат гашения поля – [АГП](#) – QE1 с кнопками управления и сигнальными лампами на передней двери;
- шины постоянного тока с измерительным шунтом RS1 для подключения измерительных преобразователей тока ротора;
- приборы для измерения тока ротора PA1 и напряжения ротора PV1;
- измерительные преобразователи тока ротора UAE1, UAE2, напряжения ротора UVE1, UVE2 и датчики напряжения ротора UVE3, UVE4, UVE5 с предохранителями FU1 ÷ FU8;
- тиристорный разрядник FV1;
- тиристорный короткозамыкатель VS1;
- контакторы KM1 ÷ KM6;
- автоматические выключатели;
- рубильник для питания цепей начального возбуждения от аккумуляторной батареи ГЭС – QSD1;
- трансформатор начального возбуждения – [ТНВ](#) – TE2;
- диодные мосты – VD1 и VD2;
- промежуточные реле, разъёмы и клеммники межсекционного монтажа и внешних соединений и другая вспомогательная аппаратура.

Для коммутации силовых цепей в силовой секции постоянного тока АЕЗ установлены следующие контакторы:

- | | | |
|----------|---|--|
| KM1, KM2 | – | для коммутации силовых цепей начального возбуждения; |
| KM3 | – | для коммутации начального возбуждения со стороны аккумуляторной батареи; |
| KM4 | – | для коммутации начального возбуждения со стороны собственных нужд станции; |
| KM5, KM6 | – | для шунтирования ротора – КШР . |

В секции управления и регулирования АЕ4 – [СУР](#) – для обеспечения высокой надёжности системы регулирования возбуждения установлены:

- две кассеты идентичных микропроцессорных регуляторов – [АРВ](#) – типа

AVR-3MT, APB1–AG4 и APB2–AG5, каждый из которых включает в себя систему импульсно-фазового управления;

- блоки оптических импульсов управления A1 ÷ A4;
- блоки максимальной токовой защиты – [БМТЗ](#);
- блоки аналоговых вводов системы возбуждения – AIE1, AIE2 и генератора – AIG1, AIG2;
- встроенный операторский пульт с сенсорным экраном;
- блоки ввода / вывода дискретных сигналов с оптронной развязкой;
- релейные модули, источники вторичного питания = 24В для СУР, разъёмы, клеммники межсекционного монтажа, клеммники внешних подключений с преобразователем сигналов интерфейса и прочей вспомогательной аппаратурой.

2.12 Принцип работы СТС

Система возбуждения гидрогенератора выполнена по одноклассовой схеме параллельного самовозбуждения, то есть источником энергии возбудителя в системе является напряжение статора возбуждаемого синхронного генератора или сети, на которую работает этот генератор.

Силовое питание тиристорного преобразователя переменным напряжением осуществляется от трансформатора возбуждения [ТВ](#), который жёстко подключен к шинам генератора 13,8кВ.

В зависимости от компоновки РУ-13,8кВ, гидрогенераторы ЖГЭС укомплектованы трансформаторами возбуждения различных типов: 1Г и 2Г – трёхфазными трансформаторами возбуждения типа ТСЗП-2500/15, а 3Г ÷ 20Г – группами однофазных трансформаторов типа ОСЗП-1000/15.

Первичные обмотки трёх фаз [ТВ](#) соединены в звезду и жёстко подключены к выводам гидрогенератора до его выключателя; вторичные обмотки ТВ соединены в треугольник.

На вводе каждой фазы сетевой обмотки встроен трансформатор тока с коэффициентом $k_{тт} = 400 / 5$, предназначенный для питания цепей защиты.

И трёхфазные, и однофазные трансформаторы возбуждения снабжены комплектами термоконтроля магнитопровода и обмоток. Комплекты имеют по две уставки срабатывания; при температуре 170°C проходит предупредительный сигнал, а при дальнейшем повышении температуры до 180°C защита действует на отключение элегазового выключателя – [ЭВ](#) – генератора и автомата гашения поля – АГП.

Для питания собственных нужд система самовозбуждения оснащена трансформаторами собственных нужд ТСН1 и ТСН2, которые подключены к вторичной обмотке трансформатора возбуждения.

Для целей испытания в системе возбуждения предусмотрены специальные переключатели SA1 и SA2, установленные в секции АЕ1 на панели №1; посредством указанных переключателей выполняется перевод питания системы возбуждения $\sim 380\text{В}$ с режима «Работа» на режим «Испытание» и обратно.

В нормальном режиме обмотка возбуждения [ОВ](#) гидрогенератора питается регулируемым постоянным током от одного из двух преобразовательно-регулирующих каналов, каждый из которых в отдельности обеспечивает все режимы работы гидрогенератора, то есть система управления, регулирования и защит выполнена со 100% резервированием.

Каждый из двух идентичных каналов системы управления и регулирования возбуждения гидрогенератора – [СУР](#) – включает в себя:

- цифровой автоматический регулятор возбуждения – [АРВ](#) – с системой управления тиристорами;
- тиристорный мост;
- измерительные трансформаторы напряжения и тока статора генератора

Регулирование выпрямленного напряжения на обмотке возбуждения осуществляется за счёт изменения угла управления тиристорами под контролем системы управления и регулирования, расположенной в секции управления и регулирования АЕ4 щита возбуждения.

Управление мостами АМ1 и АМ2 тиристорной секции осуществляют два независимых регулятора возбуждения АРВ1 и АРВ2 с системами импульсно-фазового управления, один из которых является основным, другой – резервным. Оба регулятора выполнены на базе микроконтроллера ST10F269.

Для ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов в системе имеются специальные блоки, выполненные на базе микроконтроллеров типа ST10F273/276, связанных с микроконтроллерами [АРВ](#) с помощью интерфейса CAN-1.

Блоки вводов аналоговых параметров генератора – АIG и системы возбуждения – АIE содержат изолированные датчики тока и напряжения фирмы LEM, предназначенные для гальванического разделения цепей и нормализации сигналов от измерительных трансформаторов тока и напряжения генератора и системы возбуждения.

На входы блока АIG системы поступают сигналы от трансформаторов напряжения U_{gAB} , U_{gBC} и сети U_c , а также сигнал от трансформатора тока генератора I_{gB} .

На входы блока АIE поступают сигналы напряжения синхронизации U_{synAB} , U_{synBC} от трансформатора возбуждения, сигналы от трансформаторов тока [ТПШ](#)_{гВ} и I_{fC} , а также сигнал от датчика LEM, включенного на напряжение ротора для измерения мгновенного u_f и среднего U_f значений.

Из соображений электробезопасности датчики, измеряющие напряжение ротора U_f , установлены в силовой секции. Остальные датчики установлены в блоках АIG, АIE. Для измерения токов используются датчики типа LA-25-NP.

Выходные сигналы блоков АIG и АIE поступают соответственно на входы ячеек PASG и PASE регулятора, предназначенных для аналого-цифрового преобразования мгновенных значений перечисленных сигналов генератора и системы возбуждения, а также для формирования импульсов, необходимых для измерения частоты генератора.

Входным сигналом для блока дискретных сигналов является «сухой» контакт или транзистор с открытым коллектором, включенный между входом

блока и нулём источника = 24В. Состояние дискретных входов [СТС](#) отображается светодиодами. Опрос состояния сигналов производится с периодом 5мс. Для повышения помехозащищённости предусмотрена фильтрация сигналов; сигнал считается достоверным, если он не изменялся в течение трёх отсчётов.

Для двух сигналов, требующих быстрой реакции регулятора, в частности сигналов блока [БМТЗ](#), трёхкратный опрос производится с периодом 1мс.

Питание блока дискретных входов напряжением = 24В производится от контроллера [АРВ](#). Цепи питания контроллера блока и драйвера интерфейса CAN гальванически изолированы от этих цепей питания и между собой.

Для режима начального возбуждения в [СТС](#) предусмотрено устройство начального возбуждения – [УНВ](#).

Начальное возбуждение возможно при работе регулятора как в режиме автоматического, так и ручного управления. Выполняется начальное возбуждение по команде оператора на пуск генератора с ЦПУ или АЩУ и при достижении агрегатом скорости вращения, равной 95% номинальной, за счёт кратковременной подачи в обмотку возбуждения тока от сети собственных нужд ~380В электростанции через контактор КМ4 или от аккумуляторной батареи = 220В через контактор КМ3 и автоматы, расположенные на щите собственных нужд – [ЩСН](#) и щите постоянного тока – [ЩПТ](#) в КРУ-0,4кВ соответствующего блока.

Если на УНВ поданы оба напряжения, то питание УНВ осуществляется от сети собственных нужд ~ 380В, при отсутствии напряжения собственных нужд – от аккумуляторной батареи = 220В.

Положение автоматов УНВ имеет значение только для режима готовности гидрогенератора к включению, при этом достаточно включения одного из указанных автоматов. После завершения процесса начального возбуждения положение этих автоматов становится несущественным; автоматы УНВ соответствующего гидрогенератора могут быть даже отключены.

Подключение УНВ генератора к цепям ротора осуществляется посредством контакторов КМ1 и КМ2.

Устройство начального возбуждения и все контакторы схемы расположены в силовой секции постоянного тока АЕЗ.

В качестве трансформатора начального возбуждения – [ТНВ](#) – ТЕ2 для преобразования трехфазного напряжения силовых цепей собственных нужд 380/165В для [УНВ](#) используется трансформатор ТС6000.

Напряжение собственных нужд ГЭС ~ 380В переменного тока подаётся через трёхфазный диодный мост VD2, постоянного тока = 220В – через диодный мост VD1. Величина тока, потребляемая от источника начального возбуждения в течение 4 секунд, составляет не более 50А при начальном возбуждении от собственных нужд станции или 130А – при начальном возбуждении от аккумуляторной батареи.

Схема УНВ дополнена ограничивающим сопротивлением начального возбуждения R2, состоящим из блоков резисторов типа СН323-7,5Ом с общим эквивалентным сопротивлением 1,875 Ом.

Алгоритм режима начального возбуждения формируется в соответствии с заложенной в [СУР](#) программой, при наличии команды на возбуждение от автоматического регулятора возбуждения.

Начальное возбуждение выбирается по фронту сигнала, представляющего собой логическое произведение сигналов «*Возбуждение*» и «*Возбуждение разрешено*». Начальный этап возбуждения производится со сниженной уставкой, затем уставка плавно увеличивается до заданного значения.

Ток в цепи начального возбуждения обеспечивает не менее 5% номинального напряжения на статоре, после чего формируются управляющие импульсы на тиристорах и развивается процесс самовозбуждения.

При нарушении выполнения алгоритма формируется сигнал «*Неуспешное возбуждение*», диагностическая информация выводится на операторский пульт управления.

В случае неуспешного начального возбуждения ротор генератора шунтируется на сопротивление R_{cc} включением контакторов КМ5, КМ6; при этом в схеме управления агрегатом снимается сигнал «Генератор возбужден», устанавливается сигнал «Неуспешное возбуждение», а на операторский пульт управления выводится диагностическая информация.

Так как запуск процедуры возбуждения производится только по фронту команды «Возбуждение» и сигнала «Возбуждение разрешено», то даже если при неуспешном возбуждении команда на возбуждение не была снята, повторного возбуждения не произойдёт.

Оперативный контроль тока моста производится по амперметру РА1 – «Ток ротора», напряжения – по вольтметру РV1 - «Напряжение ротора»; указанные приборы расположены на лицевой панели секции постоянного тока.

Для дистанционного измерения параметров возбуждения $-I_f$ и U_f и отображения их в локальной системе контроля и управления – [ЛСКУ](#) гидроагрегата параллельно с приборами в цепях ротора установлены специальные измерительные преобразователи.

Автоматизированный контроль аппаратуры системы возбуждения, в том числе тиристорных секций, осуществляется секцией управления и регулирования – [СУР](#), с помощью которой в частности производится:

- технологическое управление режимами возбуждения генератора;
- мониторинг системы возбуждения по факту выявления неисправности канала управления с автоматическим переключением на резервный канал управления при условии его исправности;
- контроль состояния плавких предохранителей тиристорной секции АЕ2;
- контроль работы электрических вентиляторов тиристорной секции АЕ2;
- выдача соответствующих сигналов.

Вся информация отображается на виртуальном пульте управления в секции АЕ4 и заносится в «Дневник» с указанием последовательности событий.

Обмотка возбуждения генератора [ОВ](#) и всё присоединённое к ней оборудование системы возбуждения защищены от перенапряжений,

возникающих в аварийных режимах, разрядником FV1 многократного действия, установленным параллельно обмотке ротора, с напряжением срабатывания 3500В.

Разрядник расположен в силовой секции постоянного тока АЕЗ и представляет собой два включенных встречно тиристора с системой управления и датчиком перенапряжения. Включение каждого тиристора фиксируется датчиком тока.

При срабатывании разрядника открывшийся тиристор замыкает обмотку ротора на защитное сопротивление R_{cc} через контакторы КМ5 и КМ6, понижая тем самым уровень перенапряжения.

После отключения контакторов и исчезновения перенапряжения схема восстанавливается, тиристорный разрядник переходит в режим готовности к немедленному повторному включению и обеспечивается нормальная работа системы возбуждения.

Контакторы КМ5 и КМ6 срабатывают как от сигналов со стороны разрядника, так и от действия [СУР](#).

Защитное сопротивление – R_{cc} – состоит из двух последовательно включённых блоков резисторов типа СН–28М, установленных в РУ-13,8кВ генератора. Резисторы предназначены для защиты обмотки ротора от перенапряжений, возникающих в различных переходных режимах работы генератора.

При нормальном останове гидроагрегата сначала выполняется автоматическая разгрузка генератора по реактивной мощности, а затем, после отключения генераторного выключателя, автоматическое гашение поля ротора гидрогенератора осуществляется переводом тиристорного выпрямителя в инверторный режим с максимальным углом управления. Автомат гашения поля [АГП](#) – QE1, установленный в положительном полюсе ротора в силовой секции постоянного тока, остаётся при этом включенным.

При переводе тиристорного преобразователя в инверторный режим импульсы управления снимаются через 1 секунду после того, как ток

возбуждения станет меньше уставки. Если этого не произойдёт, то импульсы также снимаются, но формируется диагностическое сообщение и выходной сигнал «*Неуспешное инвертирование*».

В том случае, если по какой-либо причине после команды на останов генератора процесс инвертирования не состоялся и ток ротора генератора не снизился за заданный интервал времени, гашение поля выполняется за счёт отключения автомата гашения поля [АГП](#) – QE1.

В аварийных режимах при действии электрических защит системы возбуждения и генератора гашение поля ротора гидрогенератора выполняется отключением автомата гашения поля АГП – QE1 с одновременным переводом тиристорного выпрямителя в инверторный режим.

Система гашения дуги в автомате гашения поля [АГП](#) – QE1 состоит из дугогасительной камеры, дугогасительной решётки, катушки магнитного дутья дугогасительной камеры и резисторов, шунтирующих решётку. Дугогасительная решётка состоит из набора медных пластин с приклеенными к ним фибровыми прокладками, образующими кольцевые воздушные зазоры.

При размыкании главных контактов АГП весь ток перераспределяется в цепь дугогасительных контактов, соединённых последовательно с катушками магнитного дутья дугогасительной камеры. При размыкании дугогасительных контактов на них возникает электрическая дуга, которая под действием магнитного поля, создаваемого катушками, разбивается на две части, сходит с контактов, движется по рогам, растягивается и входит в дугогасительную решётку, в которой при этом создаётся радиальное магнитное поле. Под действием этого магнитного поля электрическая дуга движется по пластинам решётки в кольцевых зазорах, ограниченным фибровыми прокладками до тех пор, пока ток в цепи АГП не спадёт до нуля. Таким образом, гашение поля достигается за счёт разряда энергии обмотки ротора через электрическую дугу, возникающую при разрыве главных контактов АГП – QE1 и горящую в специальной кольцевой дугогасительной решётке с системой магнитного дутья.

Для повышения надёжности в [СТС](#) применён АГП с двумя отключающими катушками и полностью независимыми электрическими цепями отключения, которые питаются от двух различных вводов постоянного тока = 220В – двух секций [ЩПТ](#).

Автомат гашения поля [АГП](#) – QE1 допускает с интервалом 5 минут два отключения подряд цепи обмотки возбуждения генератора, работающего в режиме холостого хода при номинальном токе возбуждения или одно отключение в таком же режиме двойного номинального тока, если при этом суммарная энергия, выделяемая в решетке, не превышает допустимых значений.

Включающее устройство АГП – QE1 допускает 10 включений и отключений подряд с интервалом времени 10 секунд при напряжении цепей управления в диапазоне от 0,8 до 1,1 номинального. Время включения АГП при номинальном напряжении на включающей катушке не превышает 0,3 секунды. Собственное время отключения не превышает 0,08 секунды.

АГП системы выдерживают 3000 циклов «*Включение*» / «*Отключение*».

Статическая тиристорная система самовозбуждения оснащена комплектом защит, действующих на отключение [АГП](#)– QE1 и через шкафы электрических защит ШЭ1, ШЭ2 производства НПП «ЭКРА» – на отключение элегазового выключателя генератора – [ЭВ-Г](#); к защитам [СТС](#) относятся:

- блок максимальной токовой защиты при коротком замыкании на кольцах ротора – [БМТЗ](#);
- защита от несимметричного режима [ТП](#);
- защита от перегрева тиристоров;
- защита при неуспешном инвертировании;
- защита от перегрева трансформатора возбуждения.

2.13 Тиристорная секция СТС

Тиристорные мосты АМ1 и АМ2, встроенные в тиристорную секцию АЕ2 щита возбуждения, имеют выкатную конструкцию, причём каждый из этих мостов в отдельности обеспечивает все режимы работы гидрогенератора каждый тиристорный мост представляет собой трёхфазный полностью управляемый тиристорный преобразователь, АМ1 или АМ2. Тиристорные мосты соединены параллельно по переменному и постоянному току.

С тыльной стороны шкафа расположены фазные, полюсные шины моста и силовые контакты, защищённые от случайного прикосновения подвижной прозрачной шторкой. Функцию разъединителей на стороне постоянного и переменного напряжения тиристорного преобразователя выполняют втычные контакты выкатных тиристорных модулей. Промежуточное тестовое положение выкатного модуля предусматривает возможность снятия напряжения с повреждённого моста с целью проведения профилактики или ремонта без перерыва в работе гидрогенератора. На Жигулёвской ГЭС из соображений безопасности указанный режим вывода из работы тиристорного моста без отключения генератора от сети запрещен и может быть использован только на развозбужденном генераторе с отключенным [АГП](#).

В силовой секции АЕ1 на общих шинах переменного тока установлены два блока RC-цепей. С обратной стороны каждого канала [ТП](#) у полюсных шин установлены датчики тока SF1, SF2, соединённые в параллель и предназначенные для идентификации наличия тока тиристорного моста.

Конструктивно каждый тиристорный преобразователь, АМ1 и АМ2, состоит из шести тиристорных плеч, в каждом из которых установлен тиристор VS и быстродействующий предохранитель FU.

Каждый тиристор получает управляющие импульсы через два независимых оптических драйвера, UZ1 и UZ2, один из которых основной, а второй находится в «горячем» резерве. Импульсы управления и питание каждого драйвера управления поступают из [СУР](#), причем драйвер преобразует

оптические импульсы управления, переданные по оптоволоконному кабелю, в электрические, управляющие тиристорами. Питание драйверов осуществляется постоянными потенциально не связанными напряжениями = 24 В.

На каждом быстродействующем предохранителе FU в [ТП](#) установлен блок-контакт SA, который замыкается при перегорании предохранителя. В случае срабатывания блок-контакта сигнал о неисправности тиристора моста передаётся в систему управления, в результате происходит переход на резервный ТП, либо, в случае неготовности резервного ТП к работе, отключение [АГП](#) и [ЭВ](#).

При неисправной работе тиристора на дисплее СУР появляется сообщение о неисправности соответствующего тиристора и также осуществляется переход на резервный ТП, либо, в случае неготовности резервного ТП к работе, отключение АГП и ЭВ.

Для обеспечения гарантированного переключения тиристорных мостов в случае внутреннего короткого замыкания активного тиристорного моста предусмотрено кратковременное шунтирование обмотки ротора посредством тиристорного короткозамыкателя VS1, управляемого блоком максимальной токовой защиты [БМТЗ](#).

Тиристорный короткозамыкатель VS1 работает от расположенных в системе управления и регулирования блоков А5 и А6.

При обрыве обратного тока тиристора на этом тиристоре возникают перенапряжения, обусловленные энергией, накопленной в индуктивности источника питания. Для защиты тиристора от коммутационных перенапряжений, в одноканальной системе на шинах питания переменного тока тиристорного преобразователя установлены внешние дублированные RC-цепи, размещённые в силовой секции АЕ1.

На двери каждого шкафа [ТП](#) тиристорной секции расположены сигнальные лампы HL1 «Тест» зелёного цвета и HL5 «Нагрузка подана» красного цвета.

Внутри каждого шкафа ТП на панели индикации над тиристорным мостом расположены сигнальные лампы: HL2 «Тест», HL3 «Импульсы сняты»

зелёного цвета и HL4 «Импульсы поданы», HL6 «Нагрузка подана» красного цвета.

При нарушении коммутации тиристорov в результате потери импульса управления, либо при сплошном импульсе управления в фазном токе появляется постоянная составляющая, намагничивающая трансформатор возбуждения [ТВ](#), что приводит к его перегреву.

В датчике тока возбуждения предусмотрен расчёт разностей фазных токов [ТП](#). При нормальной работе тиристорного преобразователя эти величины близки к нулю. При нарушении коммутации тиристорov они возрастают, в этом случае работает защита, которую осуществляет активный регулятор, [АРВ1](#) или [АРВ2](#).

Если неисправность была связана с потерей импульсов или при сплошном импульсе активного регулятора, после передачи управления резервному регулятору система возбуждения остаётся в работе. Если отказ не был связан с работавшим ранее регулятором, то с выдержкой времени срабатывает защита резервного регулятора, который стал активным.

Квитирование защиты производится кнопкой «Сброс сигнализации», которая находится за лицевой дверцей в секции АЕЗ с левой стороны.

Идентификация отказавшего тиристора основана на анализе длительности отрицательных и положительных полуволн фазных токов ТП. При нормальной работе ТП и стабильном угле управления эта длительность равна 120°. При потере импульса управления исчезает соответствующая полуволна тока и появляется постоянная составляющая. Поскольку измерение фазных токов производится, как правило, трансформаторами, то через некоторое время постоянная составляющая на входе регулятора исчезает, и форма токов на входах регулятора искажается. Поэтому идентификация отказавшего тиристора производится по первому нарушению симметрии.

Тиристорные мосты имеют принудительное воздушное охлаждение по разомкнутому циклу. Для этого в шкафу каждого моста установлены по два вентилятора, один из которых является рабочим, второй – резервным.

В верхней части каждого силового тиристорного блока установлен термopедохранитель SK с уставкой $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$. В случае срабатывания термopедохранителя SK происходит переход на резервный ТП, либо, в случае неготовности резервного ТП к работе, отключение АППи ЭВ.

Каждый мост ТП оснащен датчиками давления и температуры с контактными выходами, подключенными к дискретному входу регулятора. На основе поступающей информации, а также в результате анализа режима системы возбуждения активный регулятор формирует дискретные сигналы, управляющие контакторами и автоматическими выключателями, включенными в цепи питания двигателей вентиляторов.

Управление системой охлаждения производится контакторами. Аварийное отключение вентиляторов осуществляется командой на отключение автомата вентилятора. Включение автоматов осуществляется вручную после устранения неисправности.

2.14 Автоматический регулятор возбуждения

Регулятор AVR-4М измеряет и вычисляет следующие режимные параметры генератора и системы возбуждения:

- U_g – напряжение генератора;
- F_g – частота напряжения генератора, при электроторможении – частота тока статора;
- U_c – напряжение сети;
- I_g, I_p, I_q – ток генератора, его активная и реактивная составляющие;
- P_g, Q_g – активная, реактивная мощность генератора;
- $\text{Cos}\varphi$ – косинус угла нагрузки;
- I_B – ток возбуждения, равный току ротора генератора;
- U_f, I_f – напряжение, ток ротора;

$U_{\text{syn}}, F_{\text{syn}}$ – напряжение, частота синхронизации тиристорного преобразователя;

$\text{Phase}U_{\text{gBC}}$ – фаза напряжения генератора U_{gBC} относительно U_{gAB} , используется для контроля датчиков напряжения и частоты генератора.

Аппаратура регулятора размещается в кассете с повышенной электромагнитной защитой фирмы Rittal.

Высокая надёжность системы возбуждения обеспечивается за счёт установки двух одинаковых регуляторов, APB1 и APB2.

Каждый мост тиристорного преобразователя имеет свой канал регулятора возбуждения и свой формирователь импульсов, образуя два автономных преобразовательно-регулирующих канала: мост AM1 – канал регулирования APB1, мост AM2 – канал регулирования APB2.

Управление каждым мостом тиристорного выпрямителя осуществляется через два оптических канала, по одному на каждый из регуляторов, APB1 и APB2; при этом каждый регулятор может работать с любым из тиристорных мостов, AM1 или AM2. При работе генератора в сети с любым из двух тиристорных мостов, AM1 или AM2, и любым регулятором, APB1 или APB2, обеспечиваются все режимы работы гидрогенератора в соответствии с его диаграммой мощности, а также форсировка возбуждения.

Импульсы управления тиристорами с выходов каждого регулятора поступают на вход двух оптических каналов.

Каждый оптический канал состоит из:

- установленного в секции [СУР](#) блока оптических импульсов управления источника типа ТСО-001, преобразующего электрический импульс управления тиристором в оптический
- оптической линии связи
- драйверов – приёмников, выполняющих обратное преобразование.

Регулятор называется активным, когда он управляет системой возбуждения. Этот регулятор формирует импульсы управления [ТП](#), управляющие выходные

дискретные сигналы. Другой регулятор является резервным. Обмен информацией, необходимой для безударного перехода с активного на резервный регулятор, а также информацией о состоянии каждого регулятора производится с помощью интерфейса CAN-2.

Все входные и выходные сигналы регулятора делятся на следующие группы:

- команды на выполнение регулятором технологических функций, а именно: «*Возбуждение*», «*Гашение*»; алгоритмы обработки команд определены при разработке программного обеспечения;
- сигналы состояния генератора и системы возбуждения, например, «*Генератор отключен от сети*», «*АГП включен*»;
- сигналы от устройств системы возбуждения, в том числе от датчиков системы охлаждения ТП. Реакция регулятора на эти сигналы определяется при конфигурировании. Это может быть: формирование выходных дискретных сигналов «*Неготовность к возбуждению*», «*Отказ ТП*», «*Неисправность*» и т.п.

Регулятор системы возбуждения может работать как в режиме автоматического регулирования, так и ручного управления.

Ядром, то есть основной частью регулятора, является плата 16-ти разрядного микроконтроллера типа ST10F269 с тактовой частотой 40МГц.

Микроконтроллер ST10F269 содержит энергонезависимую flash-память с последовательным доступом, используемую для хранения программы, вариантов исходных значений настроек и данных конфигурации регулятора, оперативную память для хранения результатов расчёта, драйвер интерфейса USB, контроллер и драйвер интерфейса Ethernet.

В качестве рабочего или активного регулятора, выходные сигналы которого управляют системой возбуждения, может быть выбран любой регулятор, при этом управляющие сигналы второго, резервного регулятора блокируются.

По умолчанию в нормальном режиме работы регулирование возбуждением выполняется первым каналом с регулятором APB1. При одновременном

включении питания регуляторов активным становится регулятор, первым получивший питание. При этом каждый регулятор выполняет программу самотестирования.

В свою очередь любой канал моста может быть выбран в качестве рабочего, второй в этом случае будет находиться в «горячем» резерве.

Резервный регулятор работает как следящий для обеспечения плавного перехода при переключении каналов с сохранением рабочей точки возбуждения генератора, то есть резервный регулятор постоянно контролирует исправность активного регулятора. Если по какой-либо причине отключается активный регулятор, выполняется автоматический переход на режим работы с резервным регулятором. Аналогичный порядок перехода справедлив и для тиристорных мостов. При этом указанные переходы не взаимосвязаны, то есть при смене активного регулятора не происходит изменения активного моста и, наоборот, при смене активного моста не происходит изменения активного регулятора.

Переход на резервный канал или тиристорный мост также осуществляется автоматически при неисправности рабочего канала или вручную по команде оператора. Для безударного перехода в системе используется высоконадёжный быстродействующий интерфейс CAN-2. Обмен информацией между регуляторами и пультом осуществляется по сети Ethernet через коммутатор сети SW1.

Резервный регулятор находится в режиме слежения, при котором:

- заблокированы импульсы управления тиристорным преобразователем [ТП](#) и управляющие выходные дискретные сигналы;
- закон регулирования резервного регулятора, то есть регулирование напряжения, реактивной мощности, $\cos\varphi$ или тока возбуждения, устанавливается таким же, как у активного регулятора;
- уставки каналов регулирования резервного регулятора отслеживают текущее состояние регулируемого параметра, в результате чего выходной сигнал каждого канала близок к нулю; для отслеживания

используется значение соответствующего параметра, сглаженное фильтром низкой частоты, что позволяет отстроиться от изменения параметра в переходных процессах;

- смещение общего канала резервного регулятора и, следовательно, угол управления ТП, устанавливаются такими же, как у активного регулятора; в результате обеспечиваются условия для безударного перехода на резервный регулятор.

При неисправности или отказе во время работы активного регулятора и / или моста обеспечиваются все режимы работы с резервным регулятором и / или мостом. Вывод из работы повреждённого моста осуществляется съёмом с него импульсов управления.

Ручной переход на резервный регулятор заблокирован в следующих случаях:

- отказ резервного регулятора или потеря им питания от постоянного тока;
- неисправность интерфейса CAN, используемого для обмена информацией между [АРВ1](#) и АРВ2.

При частичной неисправности оставшегося в работе автоматического регулятора предусматривается автоматический переход на работу с ручным регулятором тока. Переход на ручное регулирование осуществляется автоматически в том случае, если при переходе на резервный канал автоматическое регулирование оказывается невозможным. Переход на ручное регулирование может осуществляться также по команде оператора.

При этом обеспечивается возможность изменения тока возбуждения оператором изменением уставки «*Больше*» / «*Меньше*», а также возможность гашения поля оператором командой «*Гашение*».

После устранения причин, вызвавших отключение активного автоматического регулятора, возможен обратный переход.

При отказе обоих тиристорных выпрямителей или обоих регуляторов, а также при коротком замыкании в цепи возбуждения, [АРВ1](#) и АРВ2 выдают соответствующие сигналы «*Отказ двух каналов*», «*КЗ в цепях ротора*» или

«Отказ [ТП](#)», которые действуют на отключение [АГП](#) – QE1. Кроме того, при коротком замыкании в системе возбуждения происходит автоматический съём импульсов управления ТП и работа [БМТЗ](#).

Регуляторы [АРВ1](#) и АРВ2 соединены с помощью интерфейса Ethernet с операторским пультом управления, наличие связи АРВ с операторским пультом контролируется непрерывно.

Полученная от регуляторов информация о состоянии и режиме работы генератора и системы возбуждения выводится на экран сенсорного дисплея. С дисплея может производиться настройка регуляторов.

Каждый регулятор снабжен собственной программно-реализованной системой импульсно-фазового управления тиристорами.

В регуляторах [АРВ1](#) и АРВ2 предусмотрены следующие команды управления и сигналы состояния системы возбуждения, передаваемые операторским пультом:

- «*Местное*» / «*Дистанционное*» управление. Управление регулятором производится командами с операторского пульта. Перевод в режим местного управления возможен также по входному дискретному сигналу «*Местное управление*»;
- сброс сигнализации неисправностей;
- фиксация настроек.

Системой импульсно-фазового управления формируется угол регулирования, то есть управляющие импульсы с требуемыми параметрами и фазой относительно напряжения питания тиристорного регулирования, находящиеся в диапазоне от минимального ($2^\circ \div 20^\circ$) до максимального ($90^\circ \div 170^\circ$) значения угла.

Режим форсирования возбуждения обеспечивается при полном открытии тиристоров до срабатывания ограничения по току ротора.

Развозбуждение и гашение поля ротора генератора выполняются при переводе тиристорного преобразователя в инверторный режим с максимальным углом управления.

Оперативное гашение поля ротора гидрогенератора при нормальном останове агрегата, не связанном с его аварийным состоянием, выполняется только посредством перевода тиристорного выпрямителя в инверторный режим без отключения автомата гашения поля АГП – QE1.

Каждый регулятор, APB1 и APB2, оснащён собственной автономной системой электропитания, работающей как от собственных нужд ~ 380В станции, так и от стационарной аккумуляторной батареи = 220В постоянного тока.

Питание отдельных узлов регулятора производится от источника постоянного напряжения = 24В, установленного в секции СУР. Ячейка PS содержит преобразователи напряжения постоянного тока в постоянный – DC/DC – с гальваническим распределением цепей, на выходе которых формируются стабилизированные напряжения +5В, +15В, -15В, необходимые для питания узлов регулятора. В ячейке предусмотрен контроль вторичного питания. На лицевой панели установлены светодиод, сигнализирующий наличие напряжения = 24В и контрольные разъёмы, в том числе разъём USB.

2.15 Охлаждение тиристорных мостов

Работоспособность тиристорных мостов системы, AM1 и AM2, обеспечивается их принудительным воздушным охлаждением.

Канал каждого тиристорного моста СТС разделён на два отсека: отсек преобразователя в верхней части секции AE2 и отсек вентиляторов в нижней части. В свою очередь отсек вентиляторов состоит из двух взаимозаменяемых блоков вентиляторов A1 и A2, механизма управления потоком воздуха и двух датчиков давления B1(B3) и B2(B4). Один блок вентиляторов, как правило первый, является рабочим, другой находится в резерве.

Для управление вентиляторами на панели №1 секции AE1 размещены ключи: SA11, SA12 – для моста AM1, SA21, SA22 – для моста AM2. Нормально все эти ключи должны быть установлены в положение «*Автоматическое*».

Для опробования вентилятора соответствующий ключ следует установить в положение «*Ручное*», а при неисправности вентилятора перевести его в положение «*Отключено*».

Принудительное воздушное охлаждение тиристорной системы выполнено по разомкнутому циклу. В рабочем режиме питание электродвигателей вентиляторов выполняется от трансформаторов собственных нужд системы возбуждения – [ТСН СВ](#) – ТСН1 и ТСН2. В режиме испытаний питание электродвигателей вентиляторов выполняется от собственных нужд ЖГЭС.

Отдельные мосты оснащены датчиками давления и температуры с контактными выходами, подключенными к дискретному входу регулятора. На основе поступающей информации, а также в результате анализа режима системы возбуждения активный регулятор формирует дискретные сигналы, управляющие контакторами и автоматическими выключателями, включенными в цепь питания двигателей вентиляторов.

Управление системой охлаждения производится контакторами. Аварийное отключение любого вентилятора осуществляется командой на отключение соответствующего автомата. Включение автоматов производится вручную.

Блок каждого вентилятора имеет выемную конструкцию и состоит из самого вентилятора и сигнальных цепей. Для идентификации работающего блока на передней панели в цепи питания каждого вентилятора установлена световая индикация, выполненная в виде сигнальной лампы красного цвета НЛ «*Вентилятор в работе*».

Блоки вентиляторов установлены на направляющие, позволяющие извлекать их для замены. Замена блоков с вентиляторами, находящимися в резерве, может производиться во время работы [ТП](#). Герметичность тиристорного модуля и тракт охлаждения при этом не нарушаются.

Механизм управления потоком воздуха перекрывает окно неработающего вентилятора и препятствует выбросу воздуха при извлечении модуля тиристорного преобразователя.

Датчики давления В1(В3) и В2(В4), которыми оснащён каждый

тиристорный мост, осуществляют мониторинг загрязнения фильтров охлаждающего воздуха, которые установлены на дверях тиристорного моста, герметичность тиристорного модуля и исправность охлаждающих вентиляторов. Указанные датчики установлены со стороны задней двери в нижней части моста.

Датчик давления В1(В3) сигнализирует о недопустимом перепаде давления на воздушных фильтрах, установленных в решётках двери, датчик давления В2(В4) – о наличии нормального перепада давления на охладителях.

3.5.4. Для управления вентиляторами тиристорных мостов, контроля их состояния и обеспечения возможности переключения с активного вентилятора на резервный с экрана дисплея используются операторский пульт и ключи управления.

На экране управления вентиляторами работающий вентилятор отображается вращающимися лопастями. Управление вентиляторами может осуществляться автоматически или вручную (см. Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Режим виртуальной панели «Вентиляторы»

При исправном резервном вентиляторе переключение на него разрешено, возможность выполнения операции переключения обозначается на экране зелёной горизонтальной стрелкой. В случае неисправности резервного вентилятора переключение запрещено, при этом вместо горизонтальной зелёной стрелки на экране появляется вертикальная красная стрелка.

Для переключения вентиляторов на сенсорном экране следует нажать на зелёную стрелку и пронаблюдать вращение лопастей резервного вентилятора

примерно через 5 секунд.

Сигнал с термopедохранителей SK, установленных на обмотке двигателя каждого вентилятора, сигнализирует об исправности вентилятора. При снятии разъёма в цепи питания или перегреве двигателя на дисплее [СУР](#) появляется сигнал «SK. Отказ основного вентилятора» или «SK. Отказ резервного вентилятора».

После включения резервного вентилятора и восстановления температурного режима [ТП](#) сигнал с термopедохранителя снимается и может быть сквитирован.[15]

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Проверка работы системы возбуждения при питании по схеме независимого возбуждения от шин 10 кВ (ячейка 32)

В соответствии с программой пуско-наладочных выполнена проверка системы возбуждения при питании выпрямительного трансформатора от собственных нужд станции 10 кВ.

Проверена работа регулятора «Подъем If с нуля» при управлении с АЩУ и операторской панели СУР.

Таблица 3.1 – Характеристика КЗ ГА-6

Ирот.ГГ А	0	115	346	678
Ист.ГГ А	0	1030	3010	5860

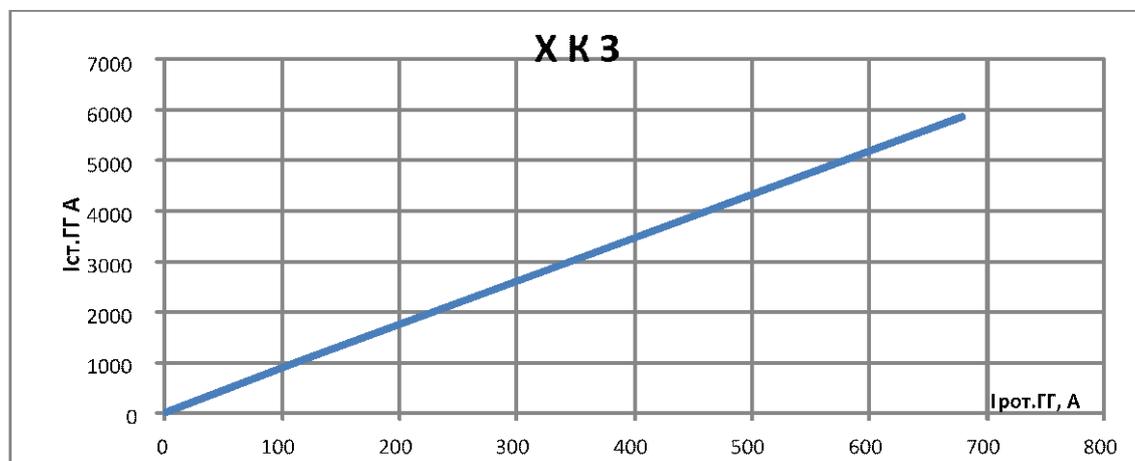


Рисунок 3.1 – Характеристика КЗ ГА-6

Таблица 3.2 – Характеристика холостого хода ГА-6

Ипот.гг А	125	353	707	970	1123	1294	1524	1889	2613
Уст.гг В	1380	4140	8280	11040	12420	13800	15180	16560	17940
Урот.гг В	17	53	108	148	170	198	234	290	407
Уст.гг %	10	30	60	80	90	100	110	120	130

Прогружены защиты генератора ЭКРА первичными токами.

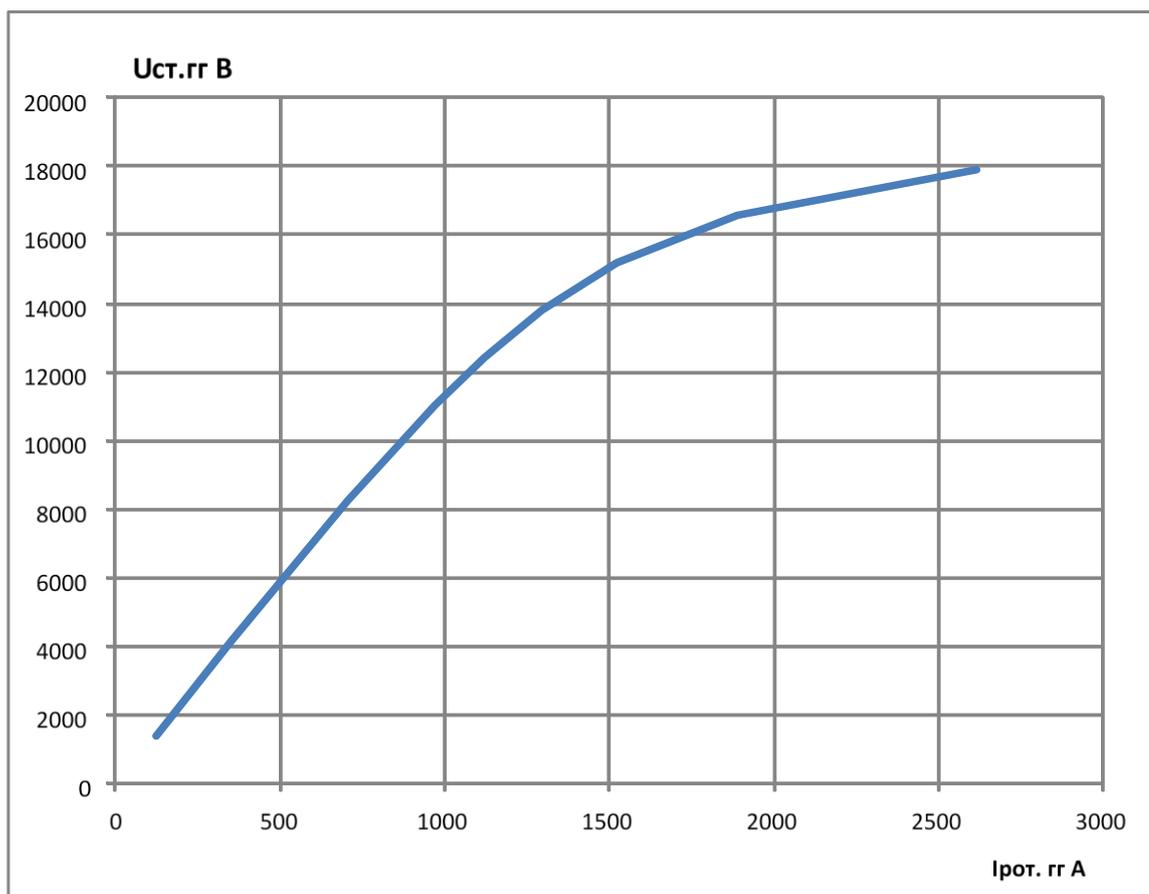


Рисунок 3.2 – Характеристика холостого хода ГА-6.

Прогружены защиты генератора ЭКРА первичными напряжениями с воздействием на отключение АГП, ВГ, КШР и останов ГА. (U_a -с. ст ост. = 0,6В).

3.2 Испытание системы возбуждения при питании выпрямительного трансформатора по штатной схеме от шин генератора 13,8 кВ в режиме XX генератор

Автоматический регулятор возбуждения в режиме «регулирование возбуждения», дисковый переключатель на лицевой панели ячейки ICP APB-1 и APB-2 в положение «0».

Неуспешное начальное возбуждение.

При питании УНВ от СН $\sim 0,4$ кВ и отключенной фазе «В» автоматического выключателя SF5, расположенного в ССПрТ, опробовано неуспешное начальное возбуждение на APB-1. При этом на экране в СУР отображается необходимая информация с соответствующей расшифровкой: APB-1: R09 – «нет I_e », APB1: A07 – «Неуспешное возбуждение»:

Переход на резервный APB не выполняется.

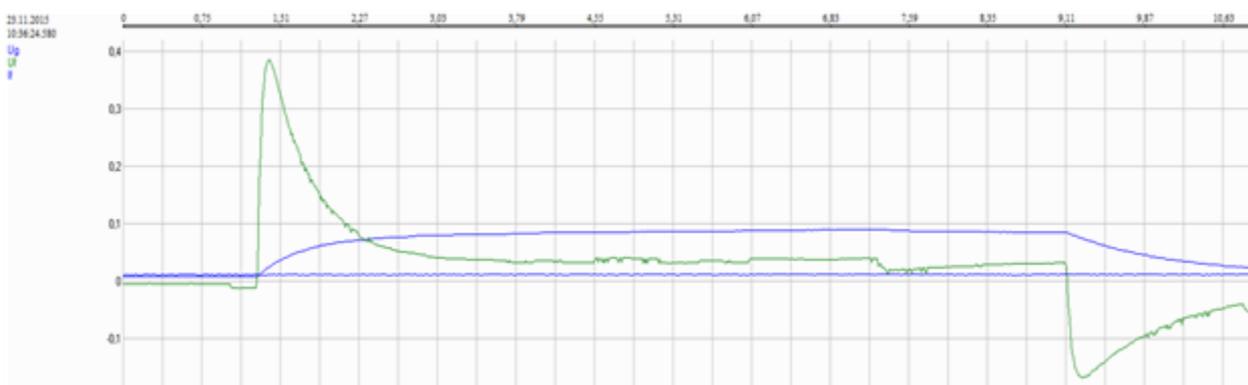


Рисунок 3.3 – Переход на резервный APB не выполняется

(Прот. = 100А, Уст. = 8,4В)

При питании УНВ от СН =220В и отключенной фазе «В» Уген., расположенного в СУР, опробовано неуспешное начальное возбуждение на АРВ-2. При этом на экране в СУР отображается необходимая информация с соответствующей расшифровкой: АРВ-2: R09 – «нет Ie», АРВ-2: A07 – «Неуспешное возбуждение»:

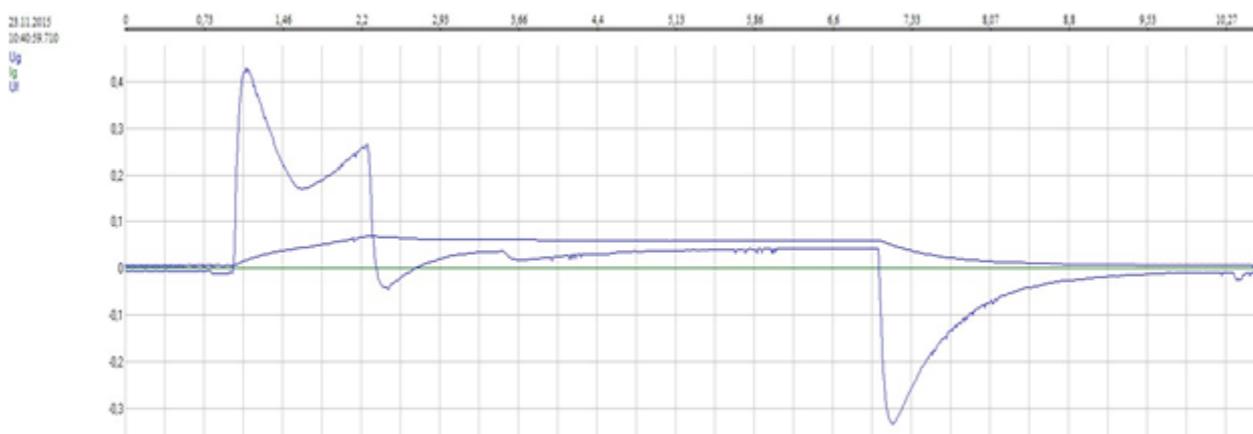


Рисунок 3.4 – Переход на резервный АРВ не выполняется. (Iрот. = 100А, Uст. = 8,4В)

Опробование начального возбуждения.

Опробовано начальное возбуждение на АРВ-1 и АРВ-2 от источника постоянного тока 220В и от СН станции ~0,4кВ в режимах «Ug» и «If».

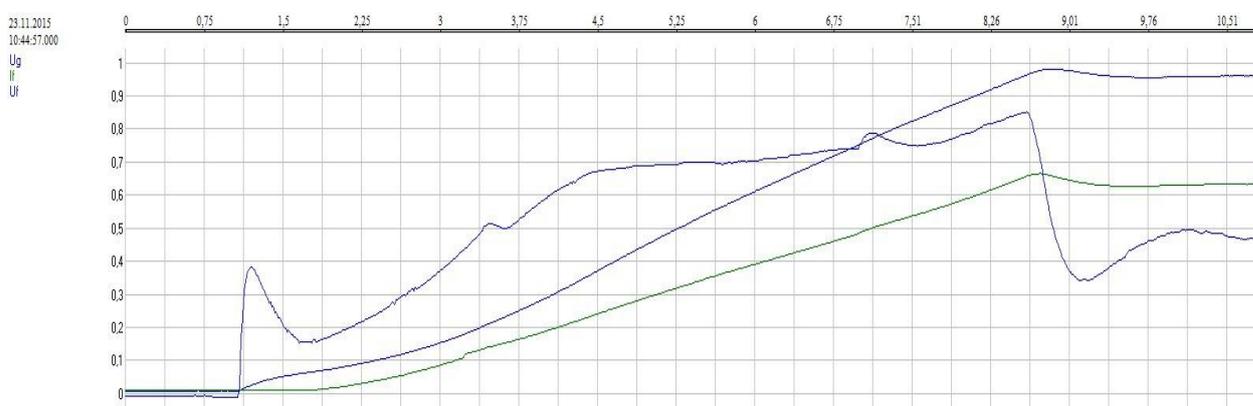


Рисунок 3.5 – НВ от СН ГЭС ~0,4кВ. АРВ-1 в режиме «Ug»

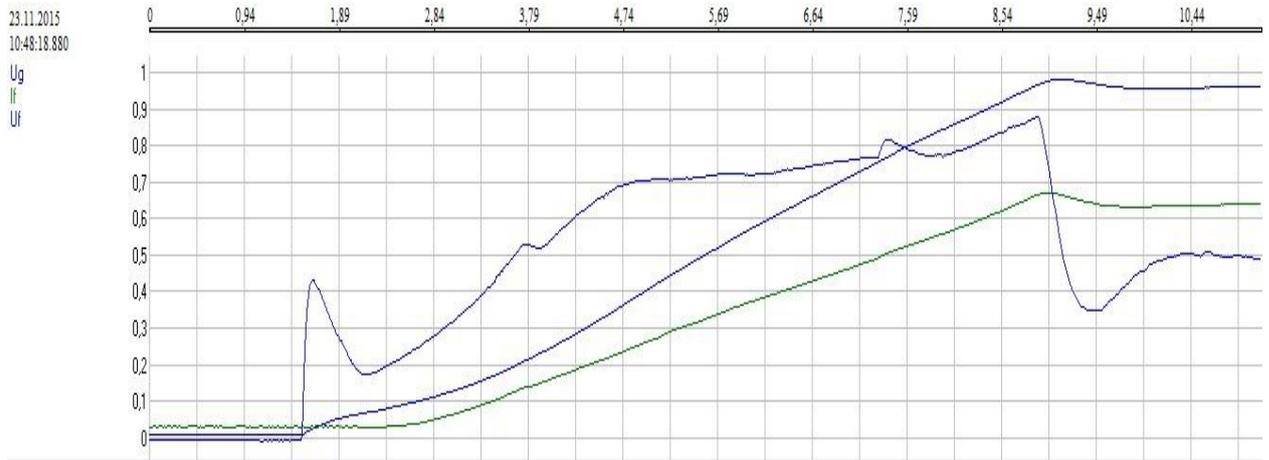


Рисунок 3.6 - НВ от АБ. АРВ-2 в режиме «Ug»

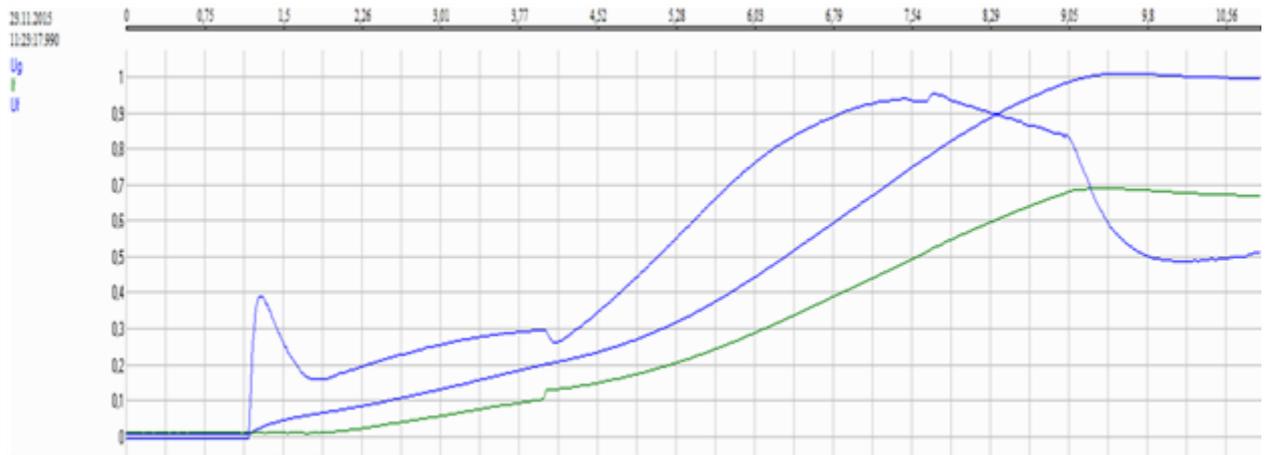


Рисунок 3.7 - НВ от СН ГЭС ~0,4кВ. АРВ-1 в режиме «If»

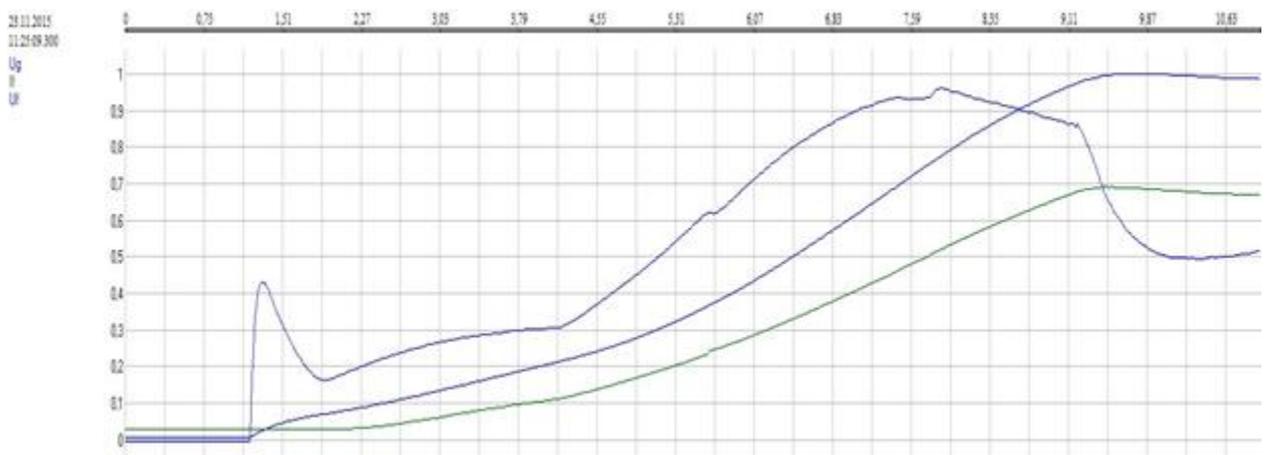


Рисунок 3.8 - НВ от АБ. АРВ-2 в режиме «If»

Опробование гашения поля.

Опробовано гашение поля на АРВ-1 и АРВ-2 инвертированием в режимах «Ug» и «If».

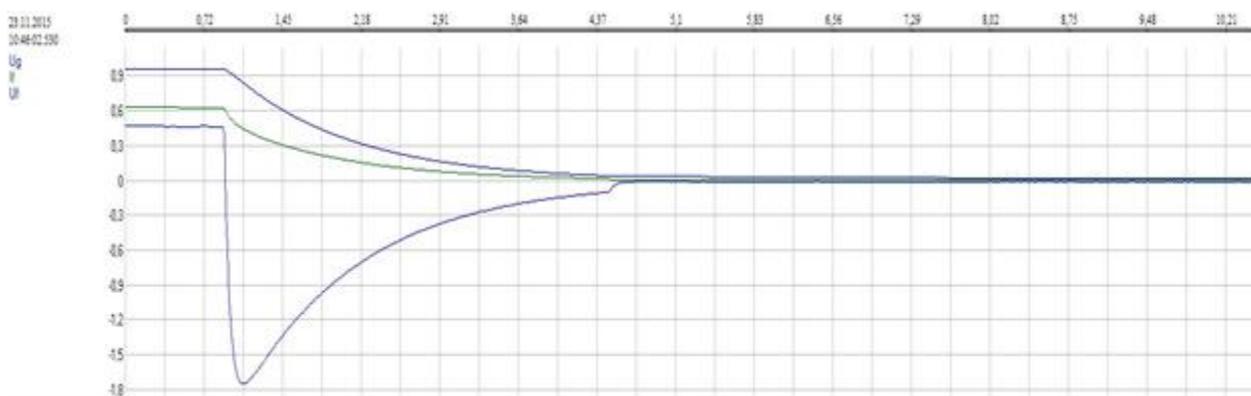


Рисунок 3.9 - АРВ-1. Гашение

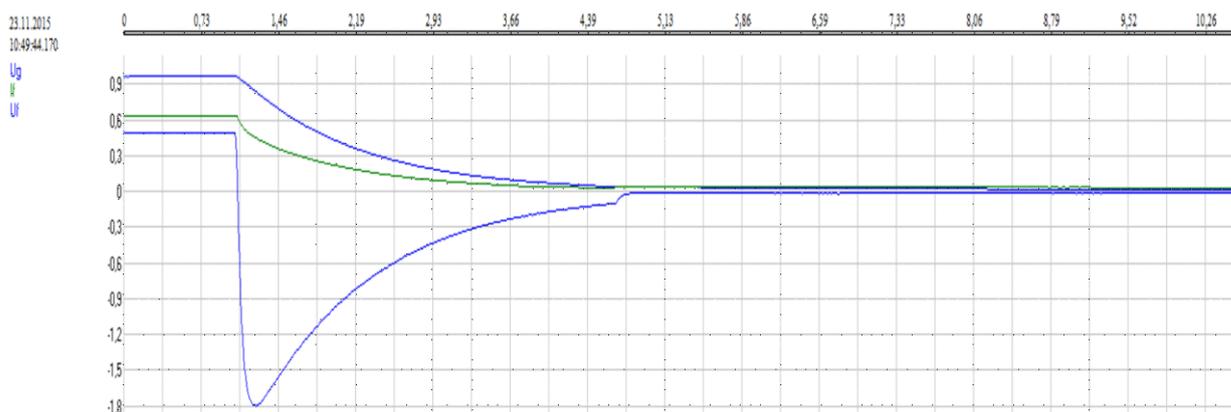


Рисунок 3.10 - АРВ-2. Гашение

Проверка диапазона регулирования уставки.

Проверен диапазон регулирования уставки АРВ-1 и АРВ-2 в режиме «Ug» и «If». Уставка изменяется плавно, без рывков во всем диапазоне от $0,8U_{г.ном}$ до $1,1U_{г.ном}$. Проверена сигнализация о максимуме и минимуме уставки. Время изменения уставки 60 сек.(109,1 – 79,5)

Проверка слежения за уставкой.

В автоматическом режиме проверено слежение уставки резервного канала за фактическим значением регулируемого параметра. Проверен безударный переход с АРВ-1 на АРВ-2 и обратно, режимах «Ug» и «If». Проверен перевод управления мостами АМ1 и АМ2 от АРВ1 и от АРВ2 режимах «Ug» и «If».

Опробование устойчивости регулирования.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,10 о.е. для АРВ -1 в канал регулирования напряжения проверена устойчивость регулирования в автоматическом режиме при напряжении статора 0,8-1,1U_g.

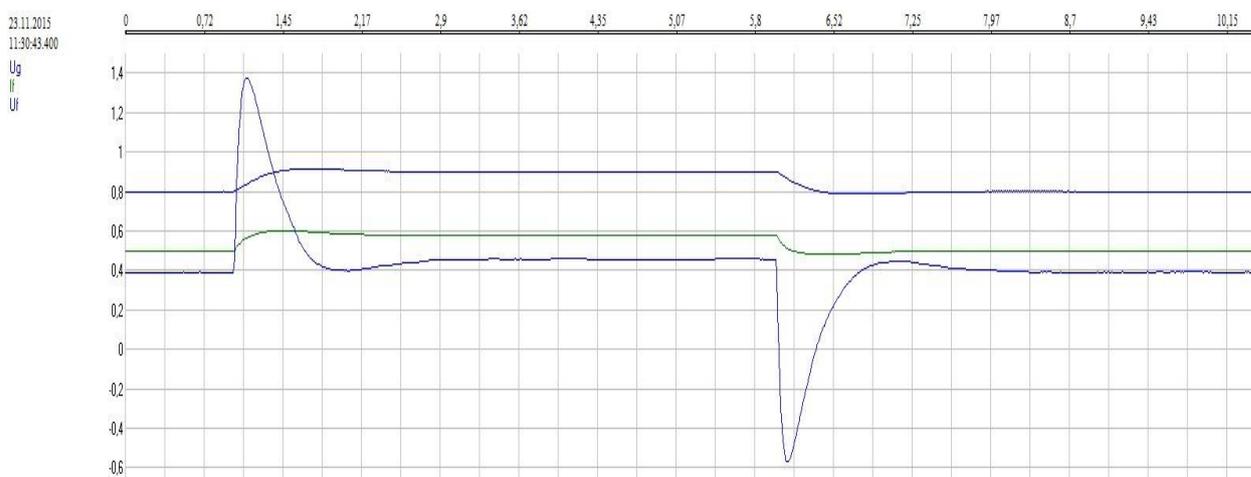


Рисунок 3.11 - АРВ-1. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,10 о.е. для АРВ -2 в канал регулирования напряжения проверена устойчивость регулирования в автоматическом режиме при напряжении статора 0,8-1,1U_g.

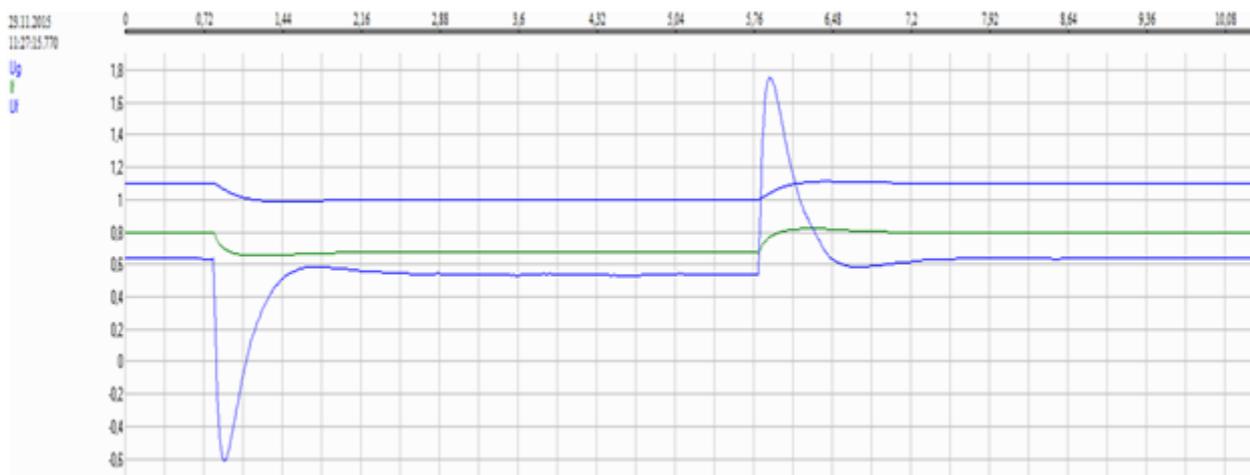


Рисунок 3.12 - APB-2. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,05 о.е. для APB -1 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулятора тока.

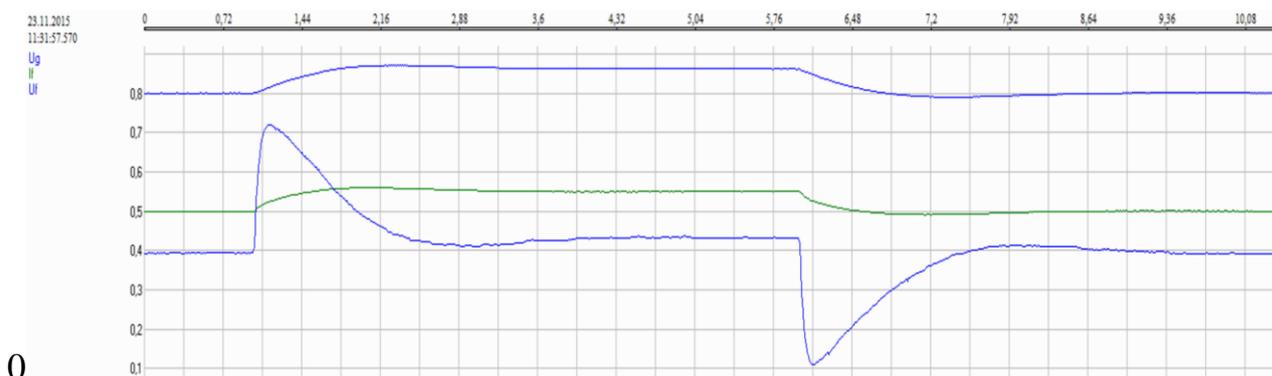


Рисунок 3.13 - APB-1. Опробование устойчивости в режиме «If»

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,05 о.е. для APB -2 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулятора тока.

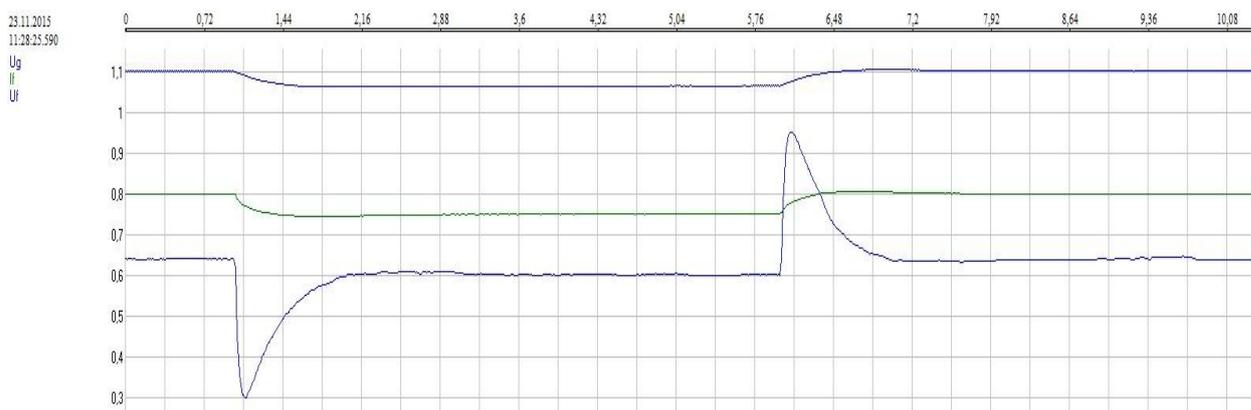


Рисунок 3.13 - АРВ-2. Опробование устойчивости в режиме «If»

Проверка алгоритмов защит системы возбуждения генератора.

Проверен переход на резервный канал регулирования при отключении автоматических выключателей в цепях питания АРВ: SF3(~), SF1(=) (АРВ-1) и SF4(~), SF2(=) (АРВ-2). Процессы для первого и второго канала идентичны. Переход на резервный канал регулирования происходит без значительного изменения режима работы гидрогенератора.

Проверен переход на резервный канал регулирования при поочередном отключении автоматов цепей измерения Ug (АРВ-1) и (АРВ-2). Процессы для первого и второго канала идентичны. Переход на резервный канал регулирования происходит без значительного изменения режима работы гидрогенератора.

Проверено, что при отключении автоматов цепей измерения Ug для АРВ-1 и АРВ-2 одновременно, выполняется перевод регуляторов в режим регулятора тока.

Проверен аварийный переход на резервный канал регулирования при отключении автоматических выключателей в цепях напряжения синхронизации SF5 (АРВ-1) и SF6 (АРВ-2). Процессы для первого и второго канала идентичны.

Переход на резервный канал регулирования происходит без значительного изменения режима работы гидрогенератора.

Проверен аварийный переход на резервный канал регулирования при отключении фаз «А», «В» и «С» напряжения синхронизации. Процессы для первого и второго канала идентичны. Переход на резервный канал регулирования происходит без значительного изменения режима работы гидрогенератора.

Проверен аварийный переход на резервный канал регулирования при обрыве фаз напряжения генератора. Процессы для первого и второго канала идентичны. Переход на резервный канал регулирования происходит без значительного изменения режима работы гидрогенератора.

Проверен аварийный переход на резервный мост при непроводимости тиристора на каждом канале . Переход на резервный мост происходит без значительного изменения режима работы гидрогенератора.

Опробование команды подгонки напряжения генератора к напряжению сети.

Опробована команда подгонки напряжения генератора U_g к напряжению сети U_{bar} на двух каналах регулирования возбуждением АРВ-1 и АРВ-2 точность подгонки не более 0,5%

Опробование ограничителя тока ротора в режиме « U_g ».

Выполнено опробование ограничителя тока ротора на холостому ходу генератора #632SetLimIfMaxOff= 0,9 для АРВ-1 и АРВ-2.

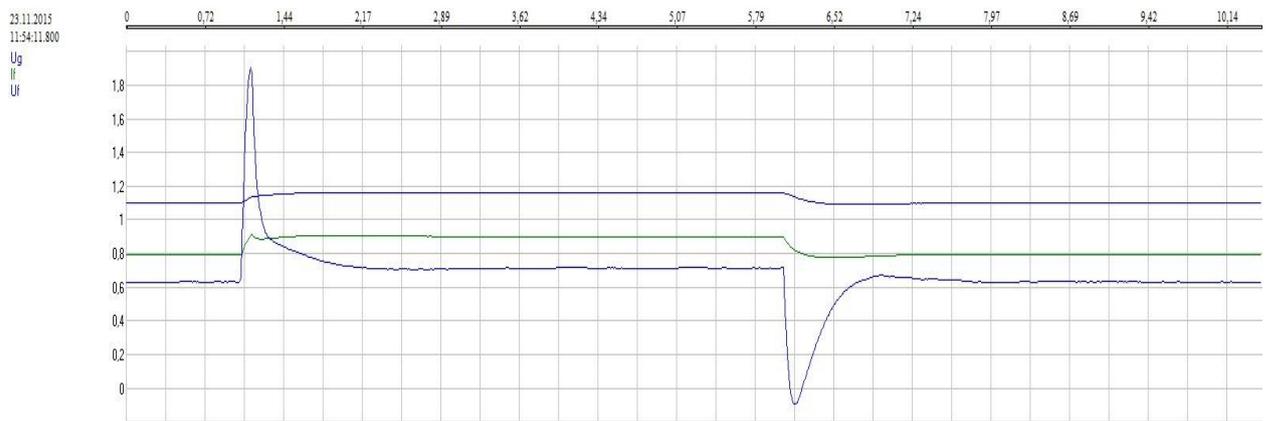


Рисунок 3.14 - APB-1. Опробование работы ограничителя максимального тока ротора на XX

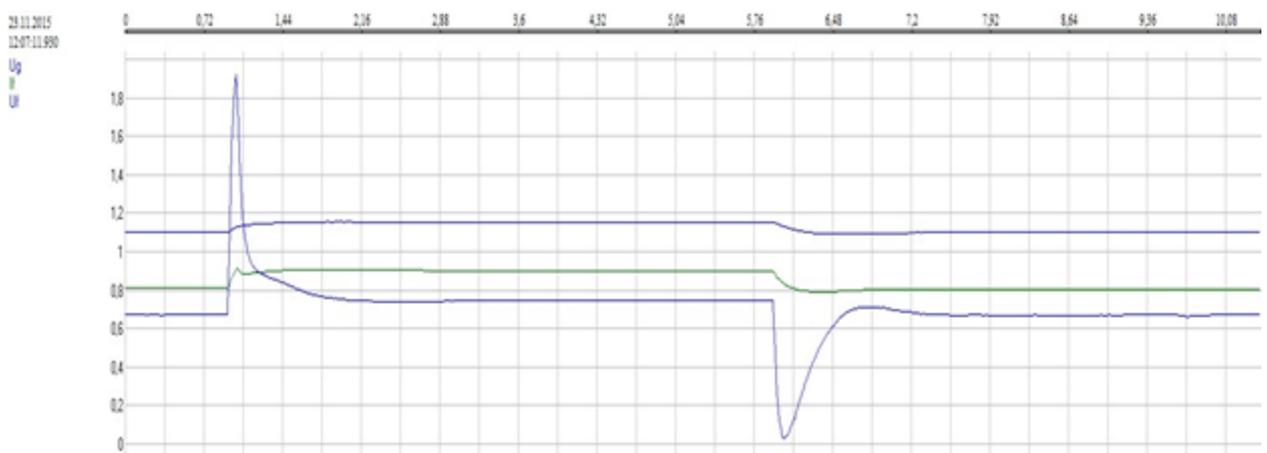


Рисунок 3.15 - APB-2. Опробование работы ограничителя максимального тока ротора на XX

Опробование ограничения напряжения синхронизации при ручном управлении.

Это ограничение вводится в работу только в схеме самовозбуждения. При неизменном токе ротора напряжение генератора увеличивается пропорционально частоте. Поскольку при ручном управлении может отсутствовать напряжение от измерительного трансформатора напряжения генератора, например при отключении автомата в этой цепи, для ограничения U_g используется косвенный параметр - напряжение синхронизации U_{syn} . В схеме самовозбуждения при неизменной частоте и при работе генератора на

холостом ходу напряжение синхронизации пропорционально напряжению генератора.

Работа ограничителя напряжения синхронизации проверена на АРВ-1 и АРВ-2 #690SetLimUsyn=1,1.

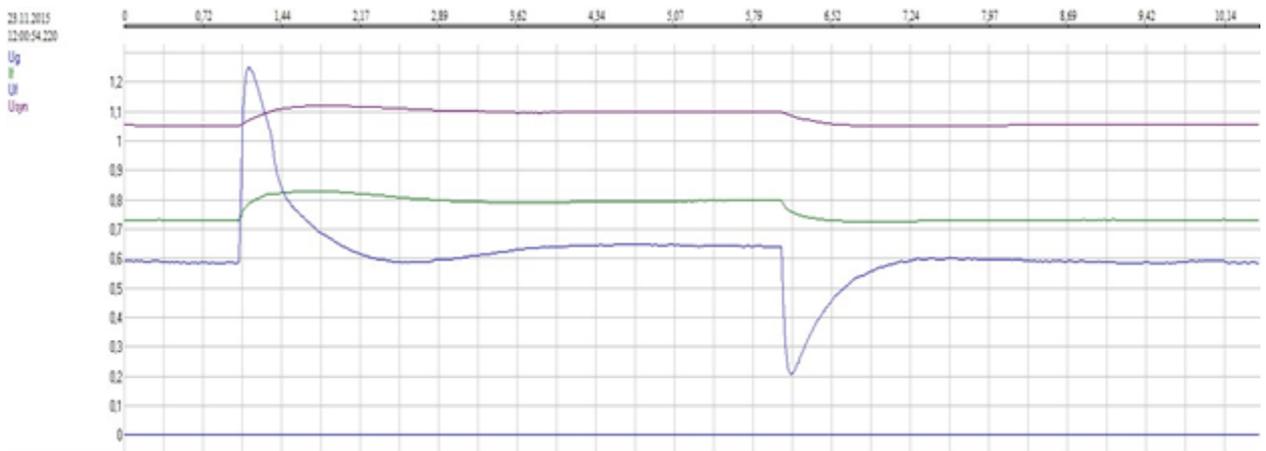


Рисунок 3.16 - АРВ-1. Опробование работы ограничителя напряжения синхронизации

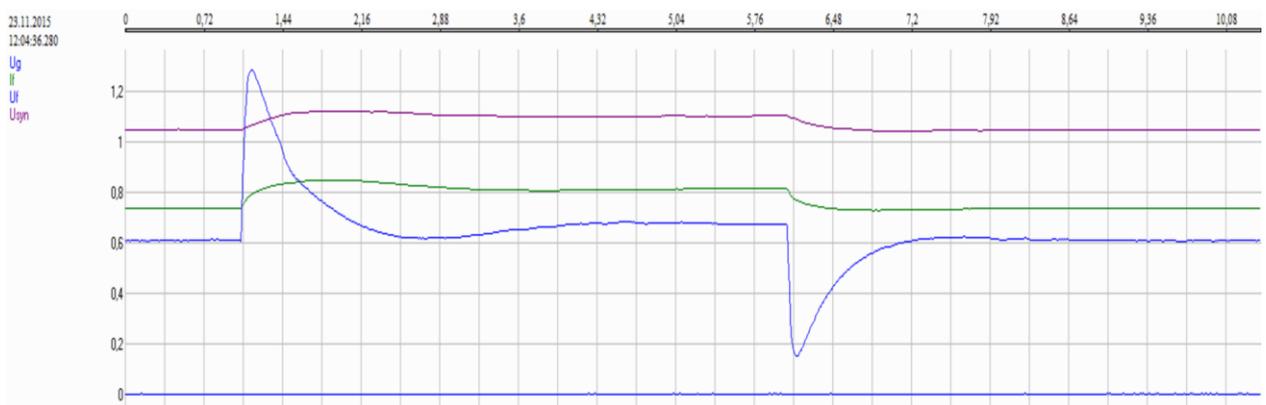


Рисунок 3.17 - АРВ-2. Опробование работы ограничителя напряжения синхронизации

Опробование V/Hz ограничителя.

При работе регуляторов возбуждения АРВ-1 и АРВ-2 в автоматическом режиме и изменении частоты вращения турбины до 43 Гц, опробована работа V/Hz ограничителя на АРВ-1 и АРВ-2 с последующим отключением АГП (ЭКРА) и до 42Гц с последующим гашением поля инвертированием.

Таблица 3.3 – V/Hz зависимость

U _г В	110	110	107,30	105,20	103,40	101,30	99,10	97,00
f _г Гц	50,00	49,5	48,00	47,00	46,00	45,00	44,00	43,00

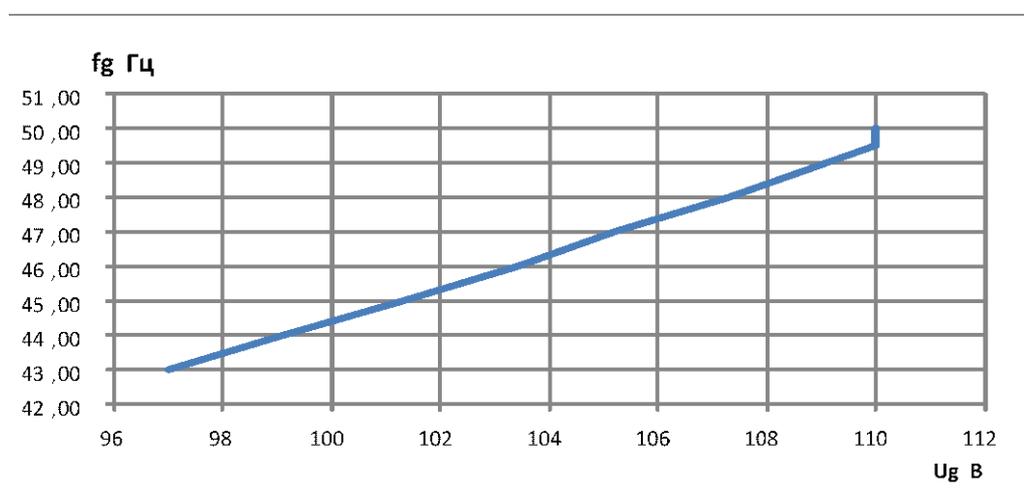


Рисунок 3.18 - V/Hz зависимость

Определение величины коммутационных перенапряжений на тиристорах.

При токе ротора $I_f = 1323$ А измерены перенапряжения на тиристорах. Проверка производилась при номинальном напряжении питания тиристорного преобразователя $U_n = 775$ В. Абсолютная величина перенапряжений не более 1500 В.

Опробование гашения поля отключением АГП При токе ротора 1323 А произведено гашение поля QE1.

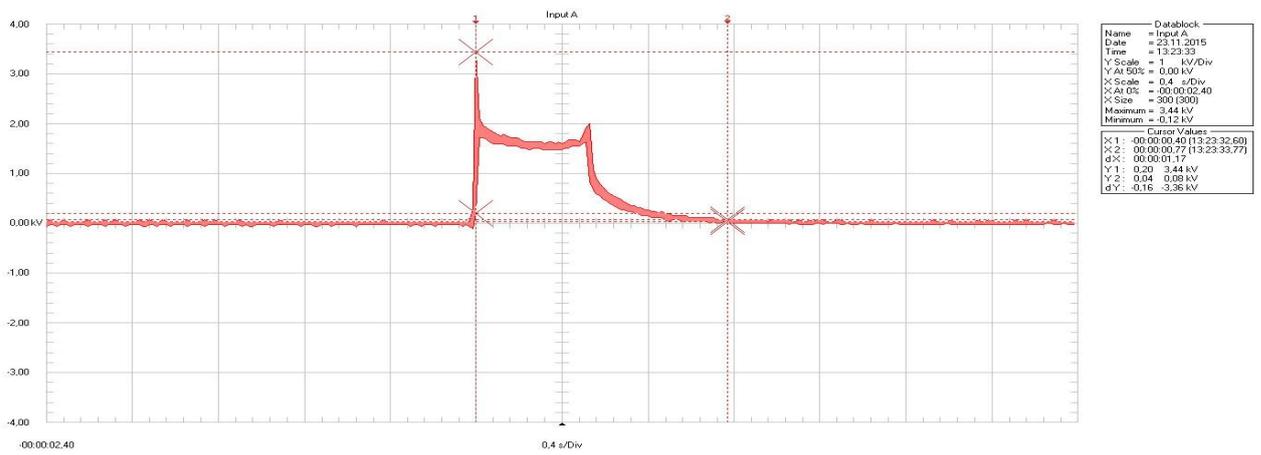


Рисунок 3.19 - Гашения поля отключением АГП

3.3 Испытание системы возбуждения генератора в сети под нагрузкой

3.3.1 Испытание системы возбуждения при работе генератора в сети с активной мощностью 40МВт

Проверка устойчивости в режиме регулирования напряжения.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,05 о.е. для АРВ-1 и АРВ-2 в канал регулирования напряжения проверена устойчивость регулирования в автоматическом режиме.

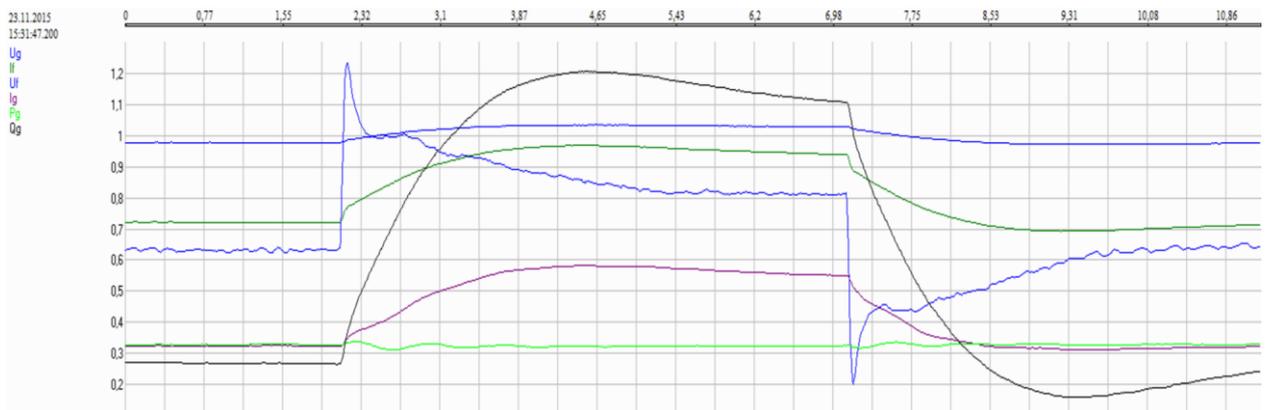


Рисунок 3.20 - АРВ-1. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

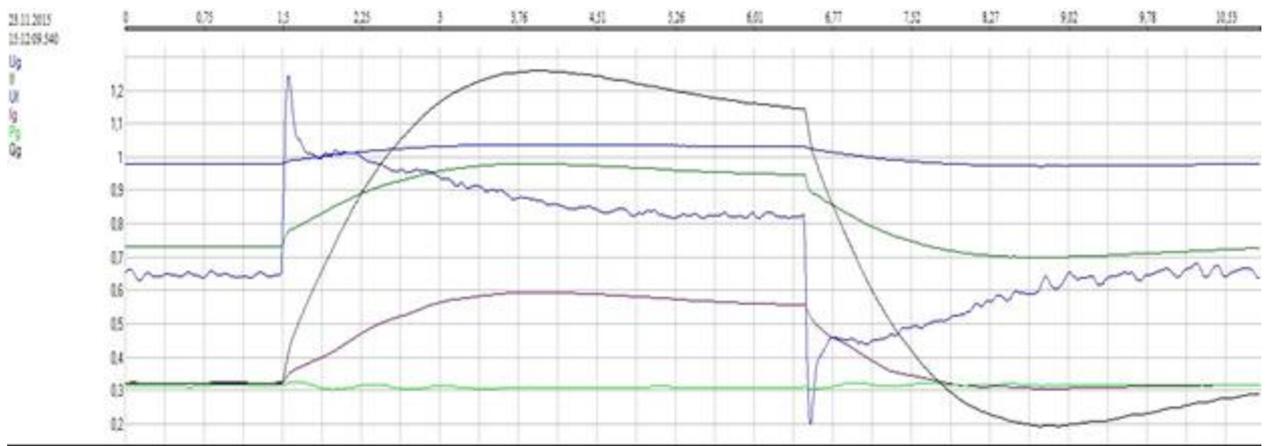


Рисунок 3.21 - АВВ-2. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

Проверка устойчивости в режиме регулирования тока ротора

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,03 о.е. для АВВ-1 и АВВ-2 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулятора тока.

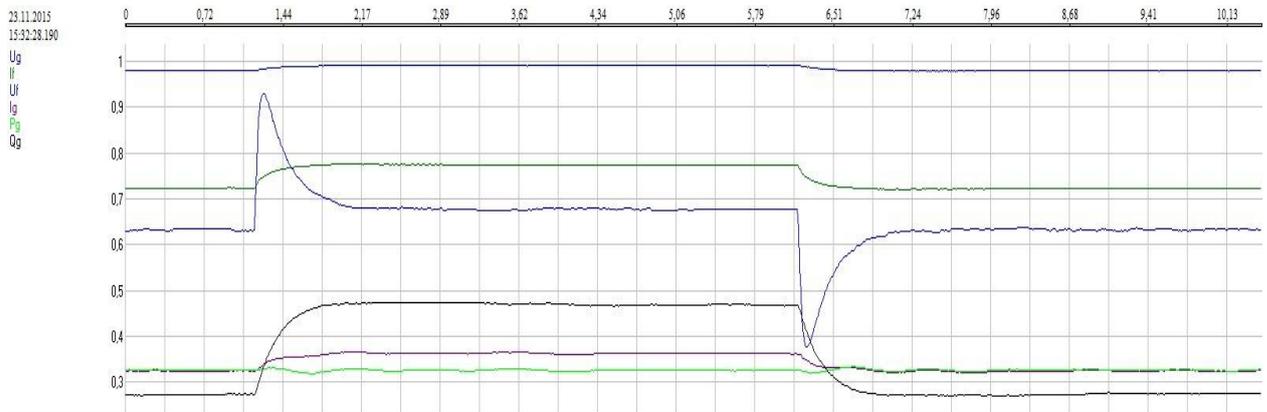


Рисунок 3.22 - АВВ-1. Опробование устойчивости в режиме «If»

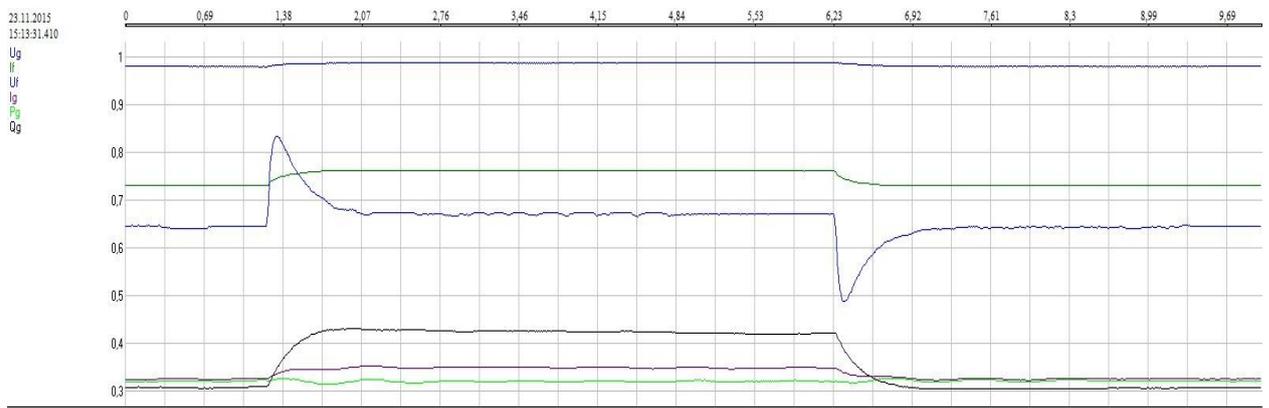


Рисунок 3.23 - APB-2. Опробование устойчивости в режиме «If»

Проверка ОМВ.

Проверена устойчивость ограничения в режиме ОМВ подачи ступенчатого возмущающего воздействия в канал регулирования напряжения.

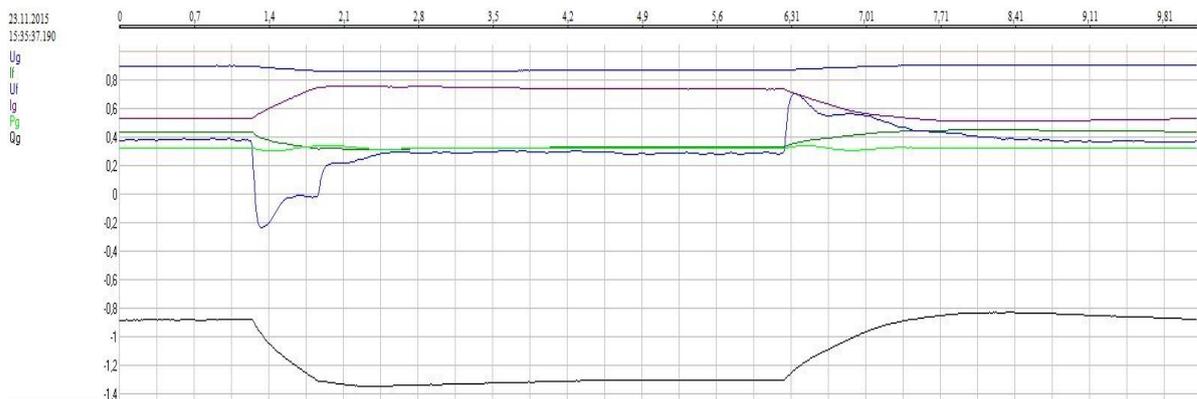


Рисунок 3.24 - ОМВ. APB-1

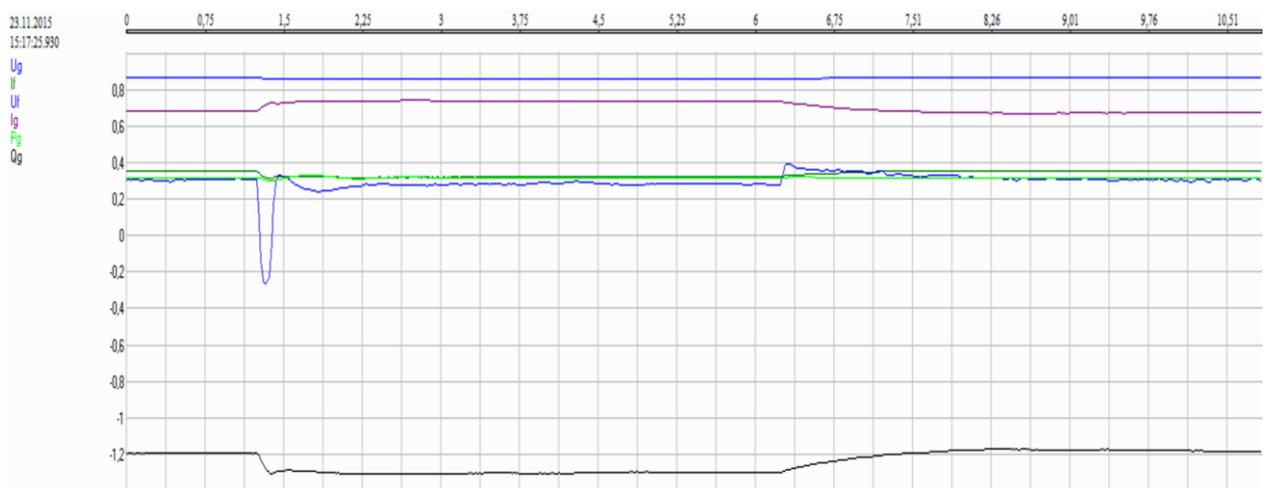


Рисунок 3.25 - ОМВ. APB-2

Проверка ограничителя тока статора ОПС.

Для ОПС установить #163CorrIgOvl = 2,0 (1,0) , уставкой установить Ig >1,1 по #162Ig OVL , нагреть статор, контролировать Ig →0,5 и сигнал L06 «запрещена перегрузка по току статора». После опробования работы ограничителей параметры возвращены в исходное состояние:
#163CorrIgOvl =1,0.

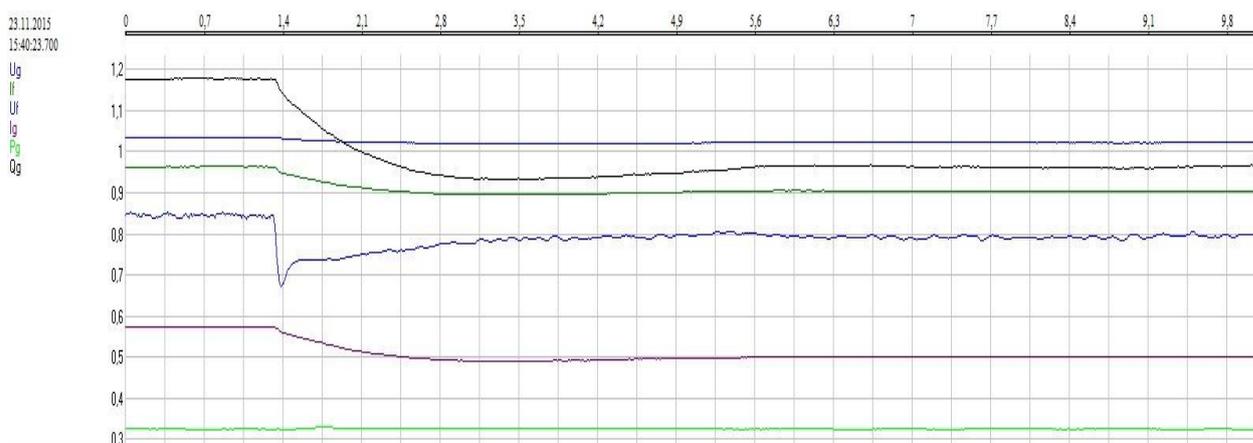


Рисунок 3.26 - Опробование ОПС APB1

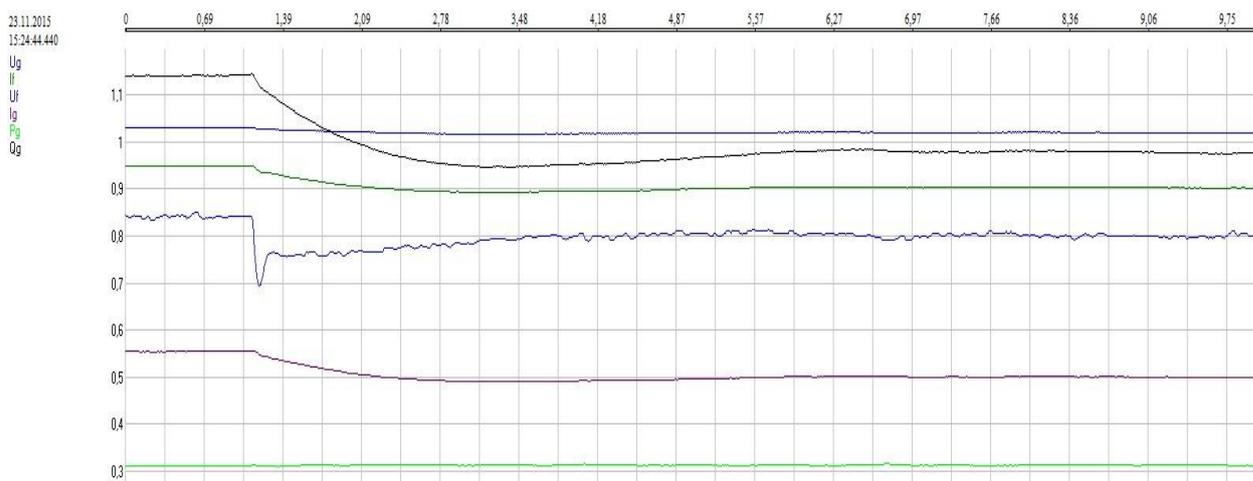


Рисунок 3.27 - Опробование ОПС APB2

3.3.2 Испытание системы возбуждения при работе генератора в сети с $P=75\text{МВт}$

Проверка устойчивости в режиме регулирования напряжения.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,05 о.е. для АРВ-1 и АРВ-2 в канал регулирования напряжения проверена устойчивость регулирования в автоматическом режиме.

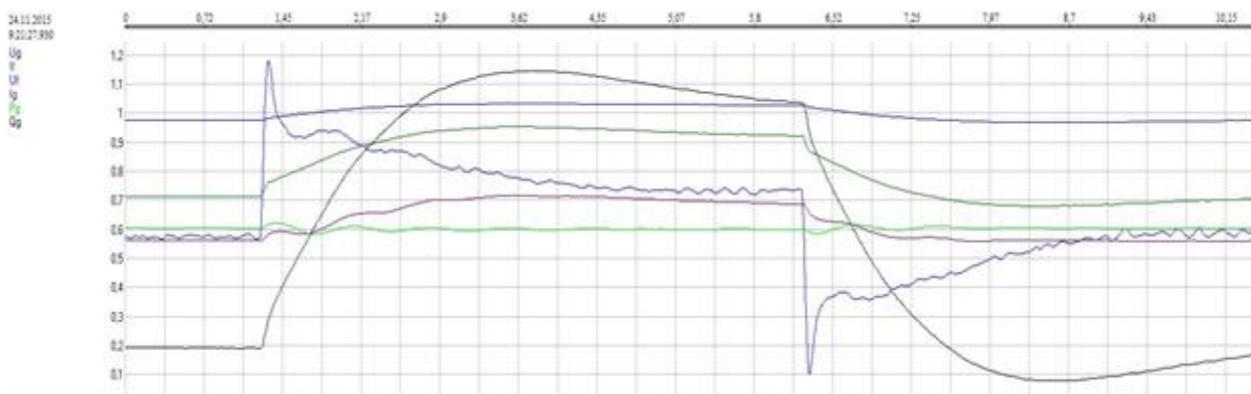


Рисунок 3.28 - АРВ-1. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

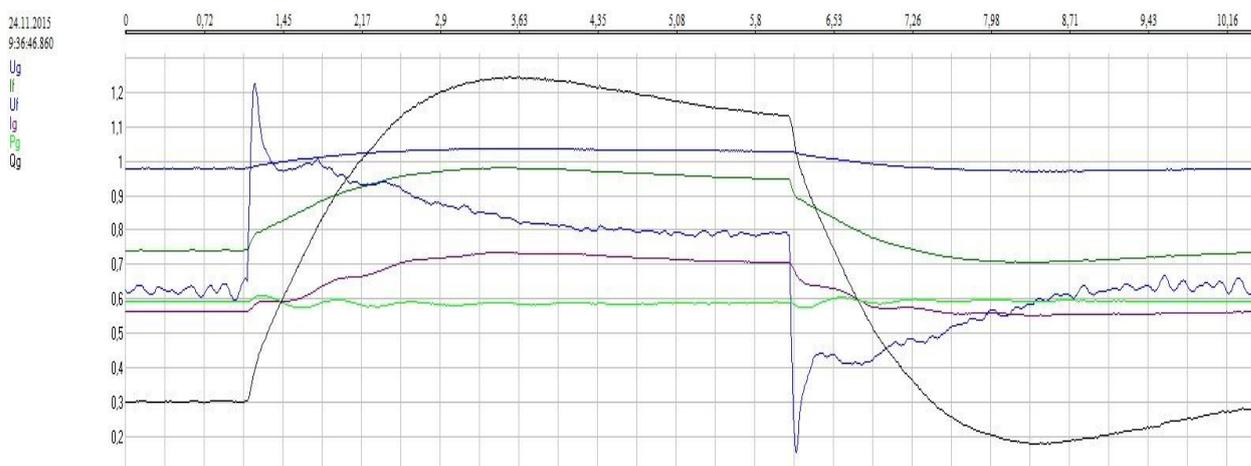


Рисунок 3.29 - АРВ-2. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

Проверка устойчивости в режиме регулирования тока ротора

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,05 о.е. для АРВ-1 и АРВ-2 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулятора тока.

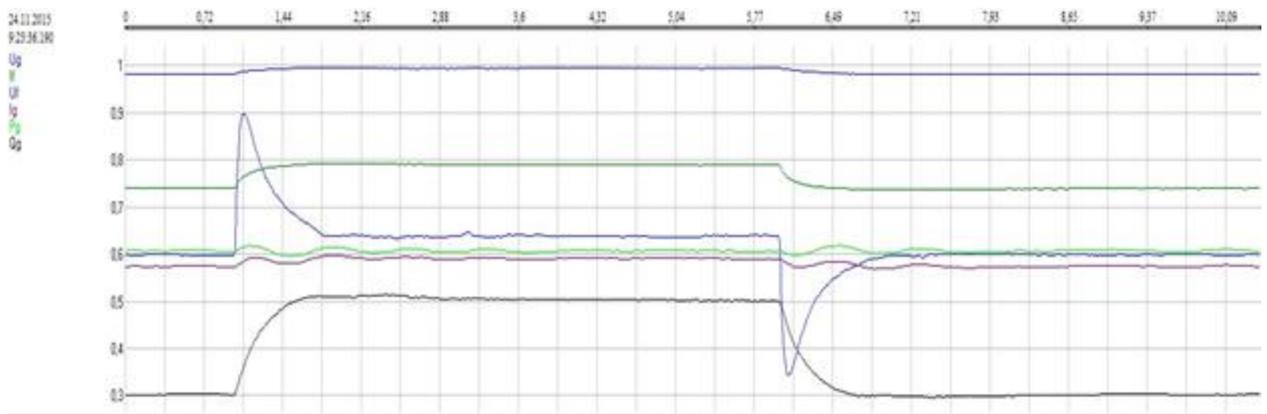


Рисунок 3.30 - АРВ-1. Опробование устойчивости в режиме «If»

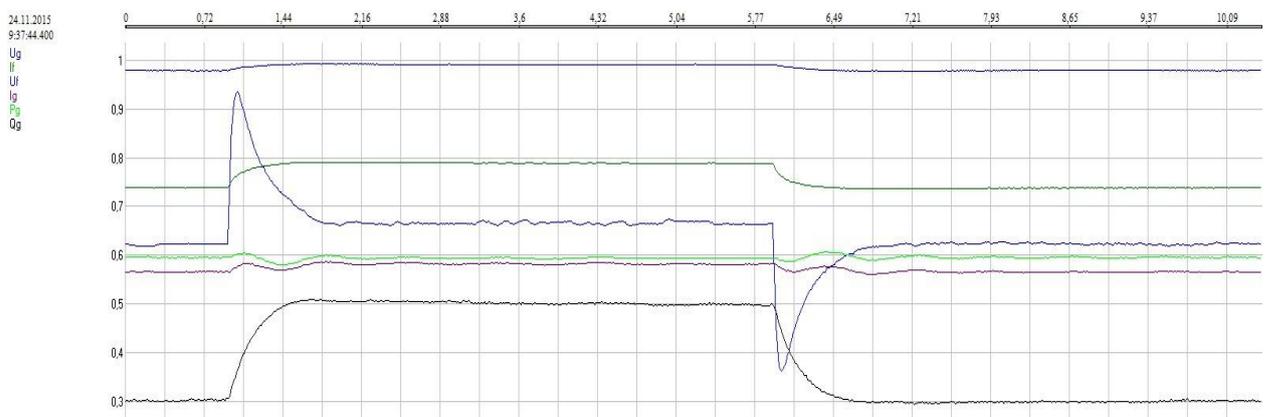


Рисунок 3.31 - АРВ-2. Опробование устойчивости в режиме «If»

Проверка устойчивости в режиме регулирования Q.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,03 о.е. для АРВ-1 и АРВ-2 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулирования Q.

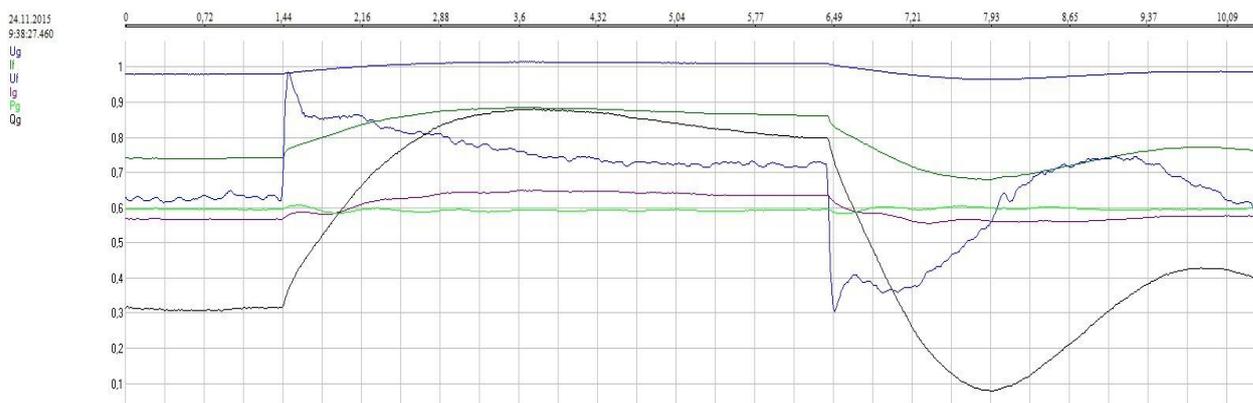


Рисунок 3.32 - АВВ-1. Опробование устойчивости в режиме «Q»

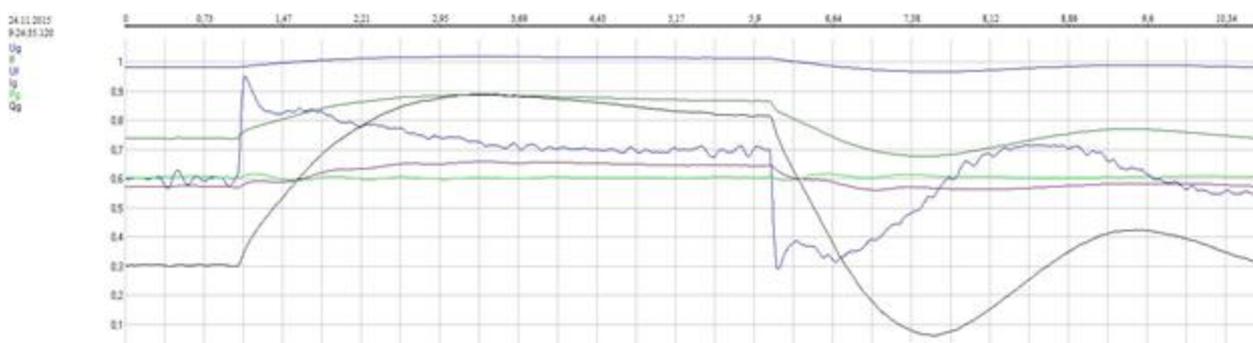


Рисунок 3.33 - АВВ2 Опробование устойчивости в режиме «Q»

Рекомендую при работе в режиме «Q» устанавливать $T_{412dXtrans} = 0$, переводя регулирование на шины генератора, режим работы будет более устойчивым.

Проверка устойчивости в режиме регулирования cosφ.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,03 о.е. для АВВ-1 и АВВ-2 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулирования cosφ .

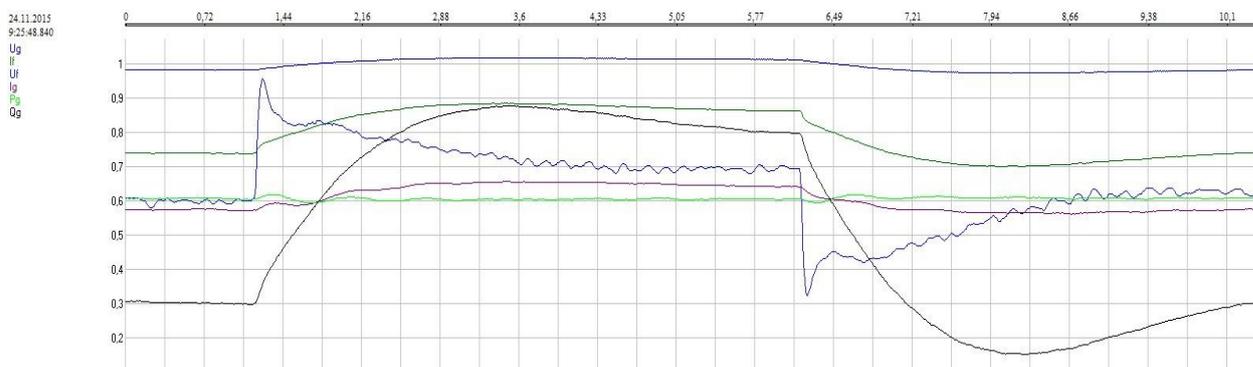


Рисунок 3.34 - АВР-1. Опробование устойчивости в режиме «cosφ»

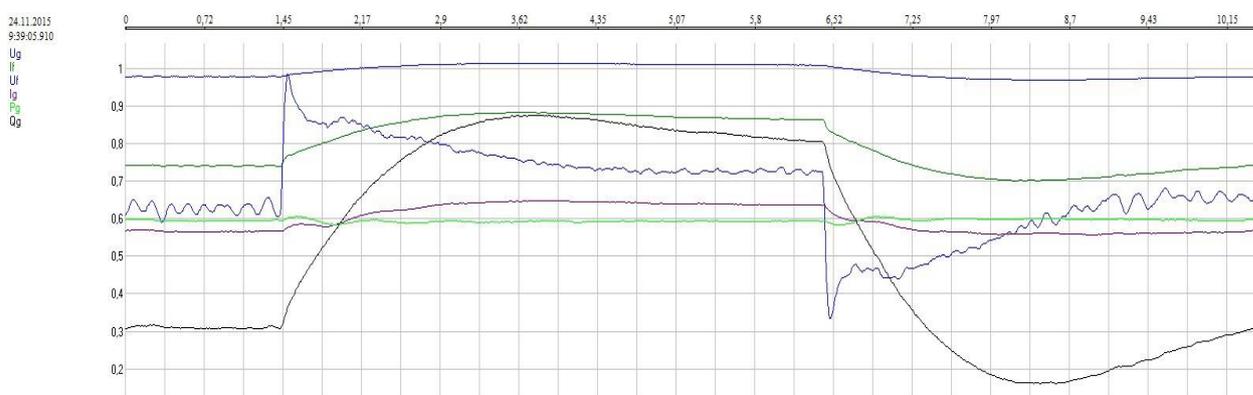


Рисунок 3.35 - АВР-2. Опробование устойчивости в режиме «cosφ»

Рекомендую при работе в режиме «cosφ» устанавливать $T_{412dXtrans} = 0$, переводя регулирование на шины генератора, режим работы будет более устойчивым.

Проверка ОМВ.

Проверена устойчивость ограничения в режиме ОМВ подачи ступенчатого возмущающего воздействия в канал регулирования напряжения.

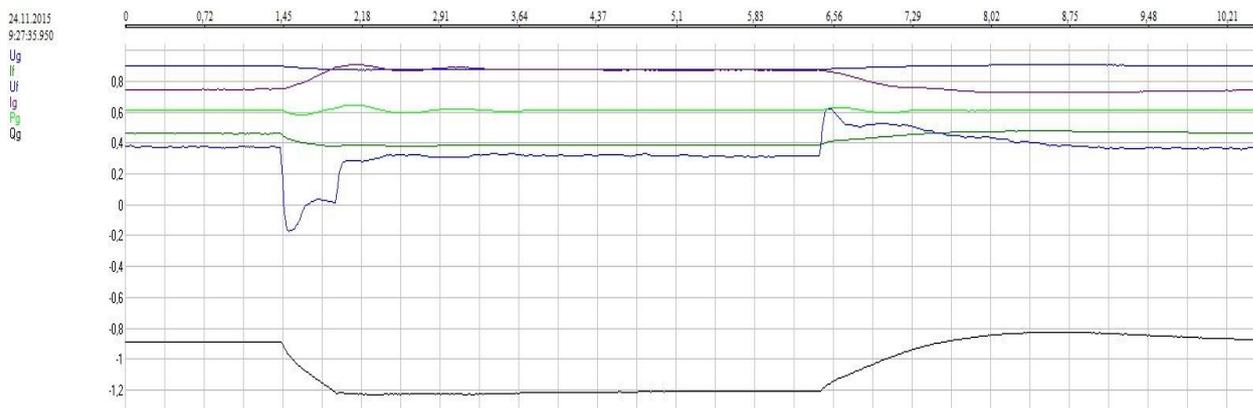


Рисунок 3.36 - ОМВ АРВ-1

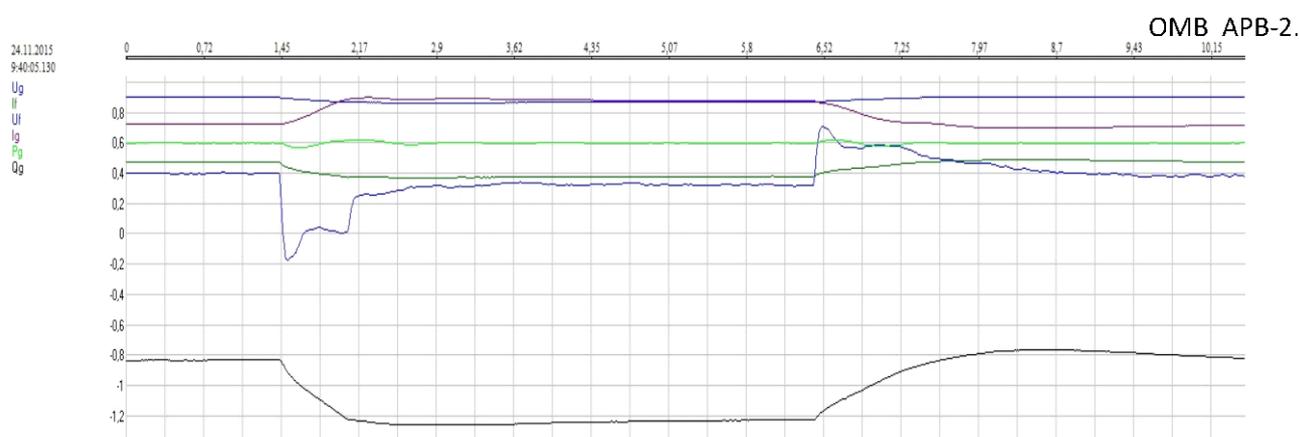


Рисунок 3.37 - ОМВ АРВ-2

Разгрузка по реактивной мощности.

Опробована работа разгрузки генератора по реактивной мощности (сигнал $Q \rightarrow 0$ «Разгрузить генератор по реактивной мощности»). Имитация команды « $Q \rightarrow 0$ » проводилась переключкой на клеммнике входных дискретных сигналов СУР). По результатам опробывания выбрана постоянная времени, равная $\#374TsQgToZero, s=10$.

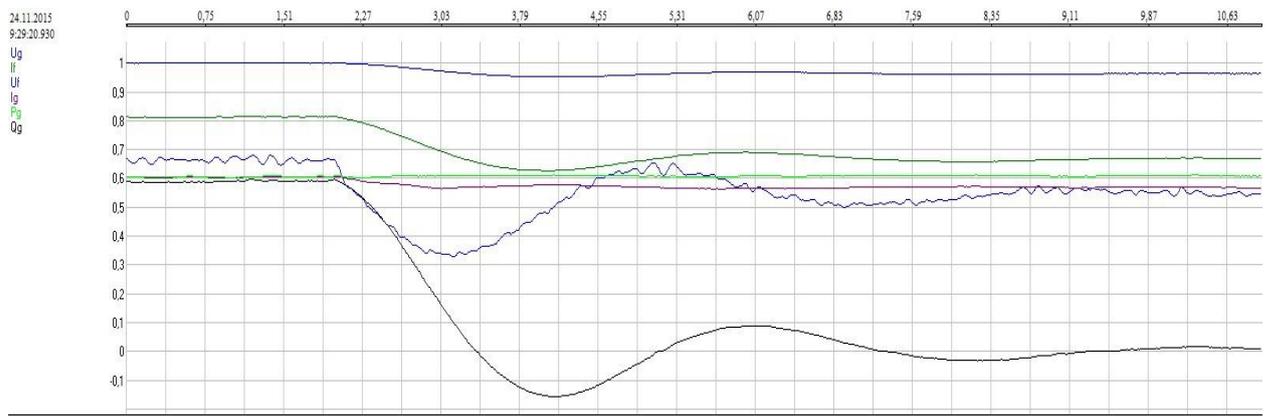


Рисунок 3.38 - «Q→0». АРВ-1

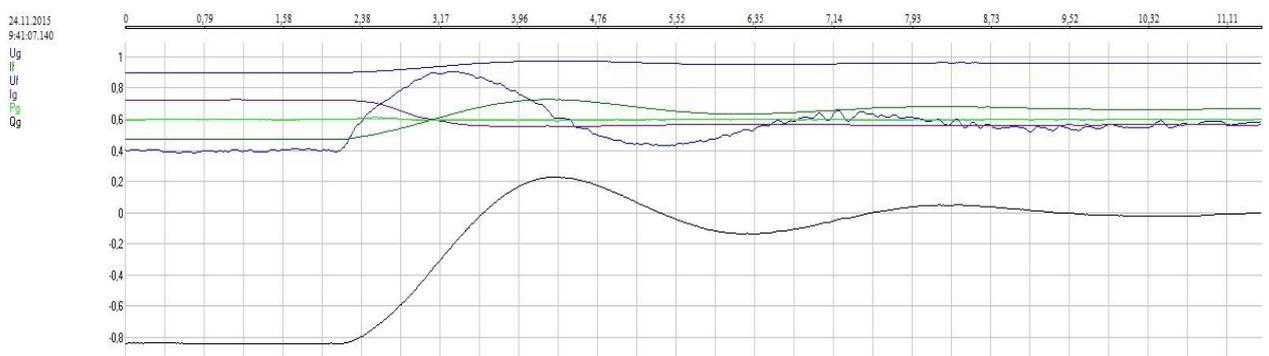


Рисунок 3.39 - «Q→0». АРВ-2

3.3.3 Испытание системы возбуждения при работе генератора в сети с $P=125,5\text{МВт}$

Проверка устойчивости в режиме регулирования напряжения.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,05 о.е. для АРВ-1 и АРВ-2 в канал регулирования напряжения проверена устойчивость регулирования в автоматическом режиме.

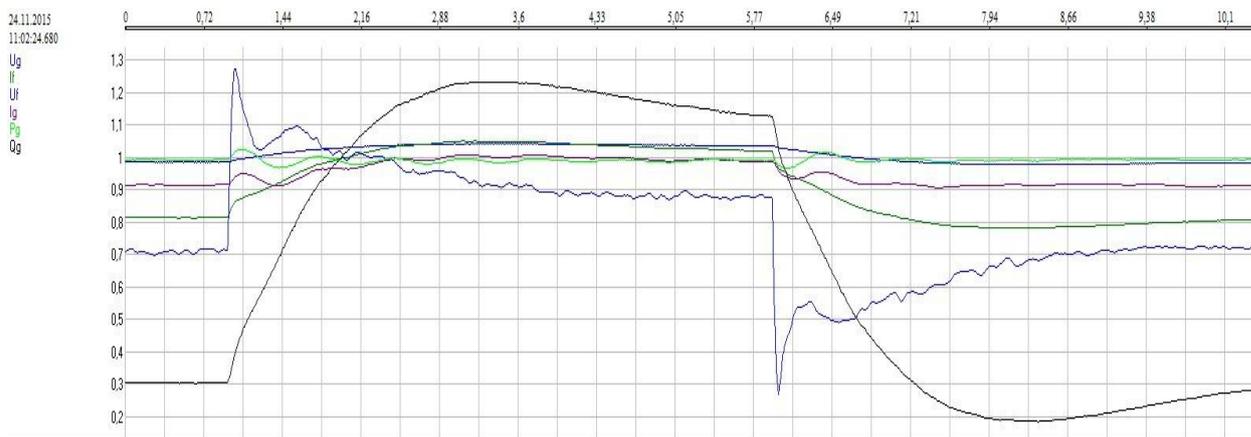


Рисунок 3.40 - АВР-1. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

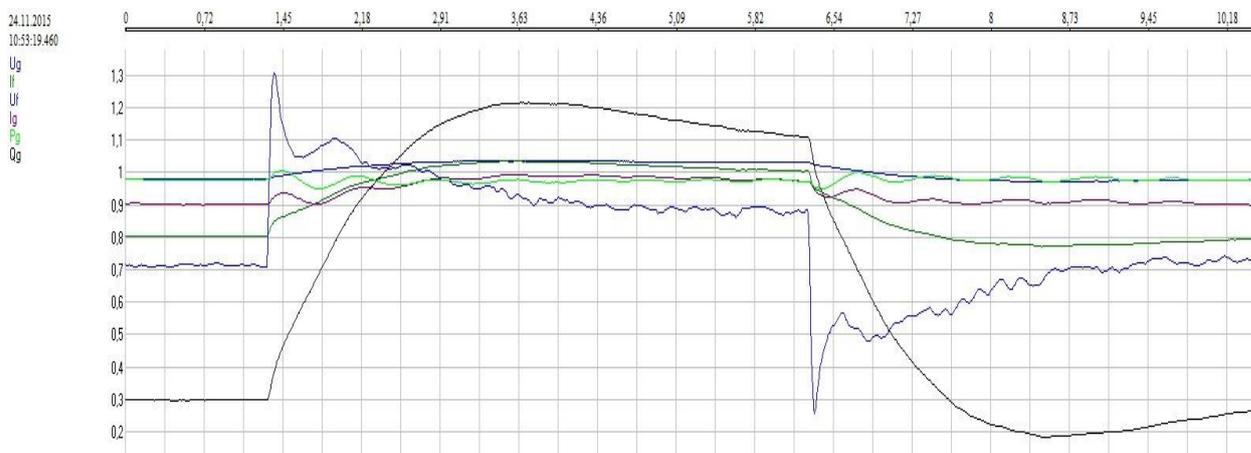


Рисунок 3.41 - АВР-2. Опробование устойчивости в режиме «Ug»

Проверка устойчивости в режиме регулирования тока ротора

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,03 о.е. для АВР-1 и АВР-2 в канал регулирования тока проверена устойчивость регулирования в режиме регулятора тока.

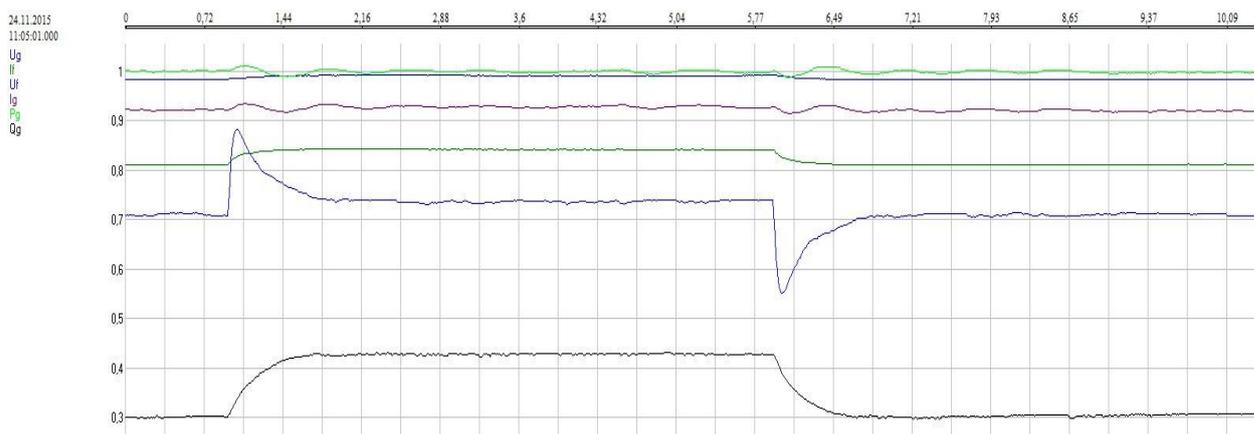


Рисунок 3.42 - APB-1. Опробование устойчивости в режиме «If»

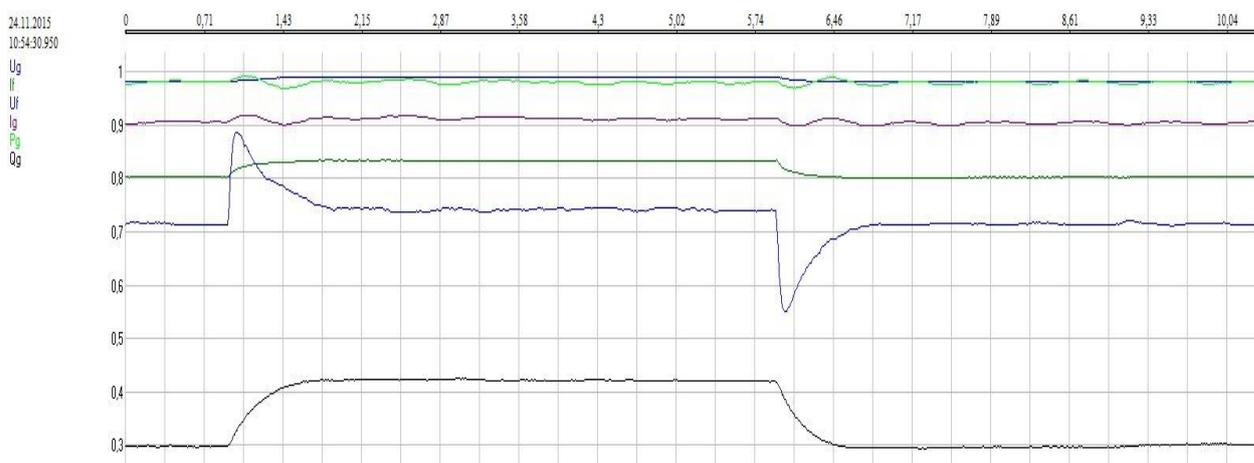


Рисунок 3.43 - APB-2. Опробование устойчивости в режиме «If»

Проверка ОМВ

Проверена устойчивость ограничения в режиме ОМВ подачи ступенчатого возмущающего воздействия в канал регулирования напряжения.

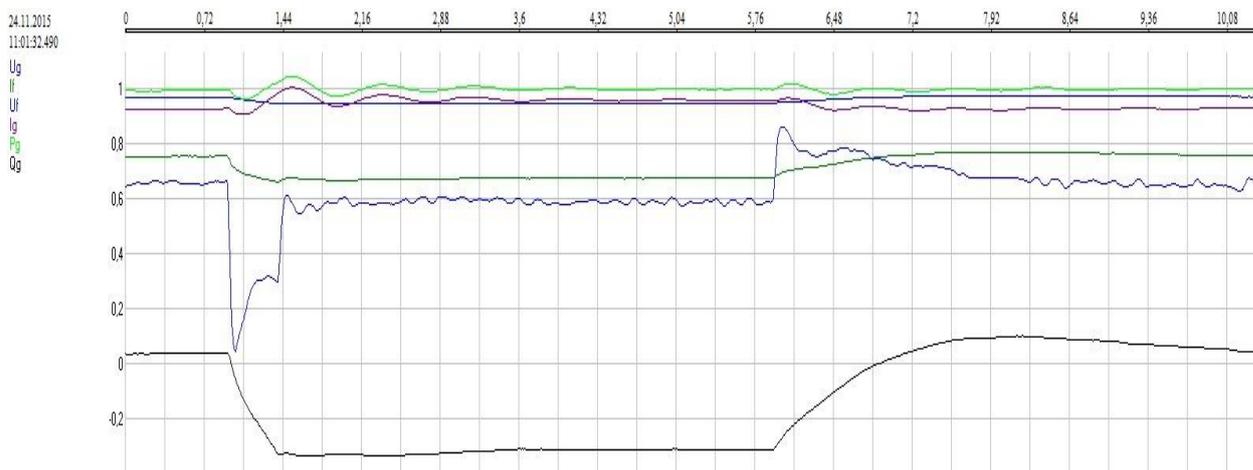


Рисунок 3.44 - ОМВ. АРВ-1

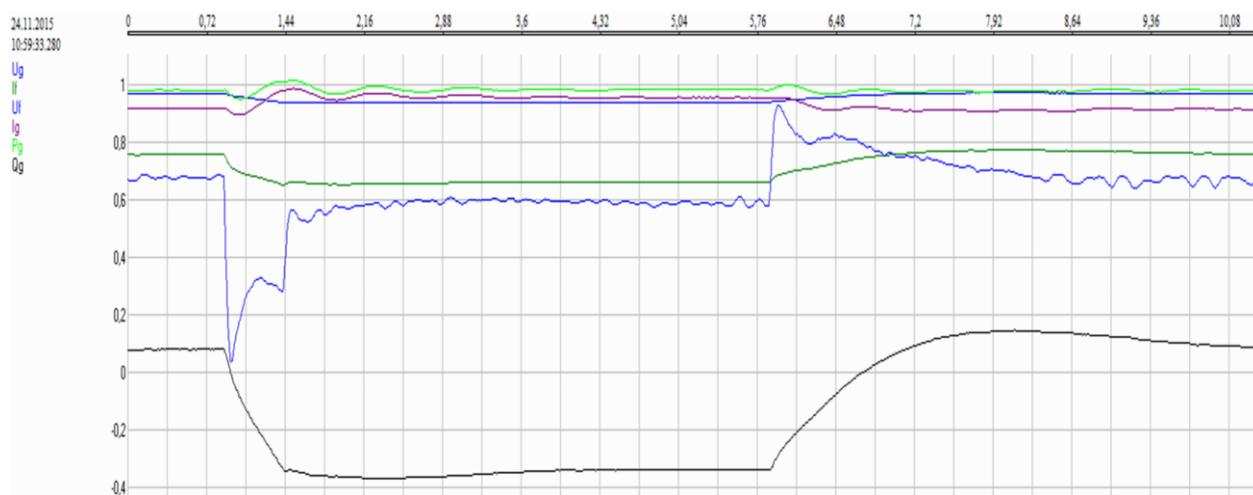


Рисунок 3.45 - ОМВ. АРВ-2

Проверка устойчивости регулирования PSS

Проверена устойчивость регулирования подачей ступенчатого возмущающего воздействия в канал регулирования напряжения $0,05U_{\text{ном}}$ при введеном в работу PSS(#460 $Pg_{\text{OnPSS}}=0,2$) и выведенным из работы PSS (#460 $Pg_{\text{OnPSS}}=1,1$).

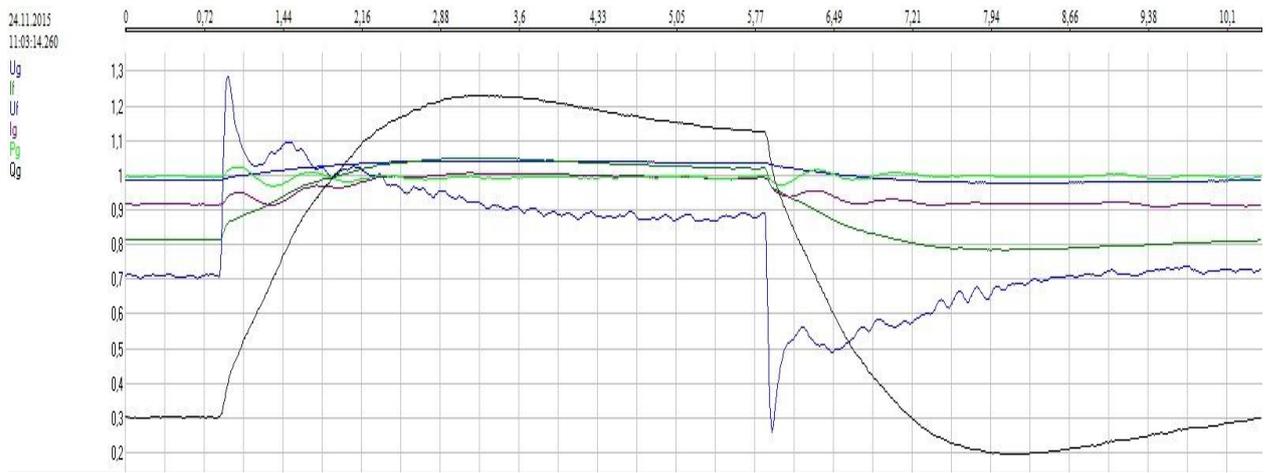


Рисунок 3.46 - PSS-on. APB-1

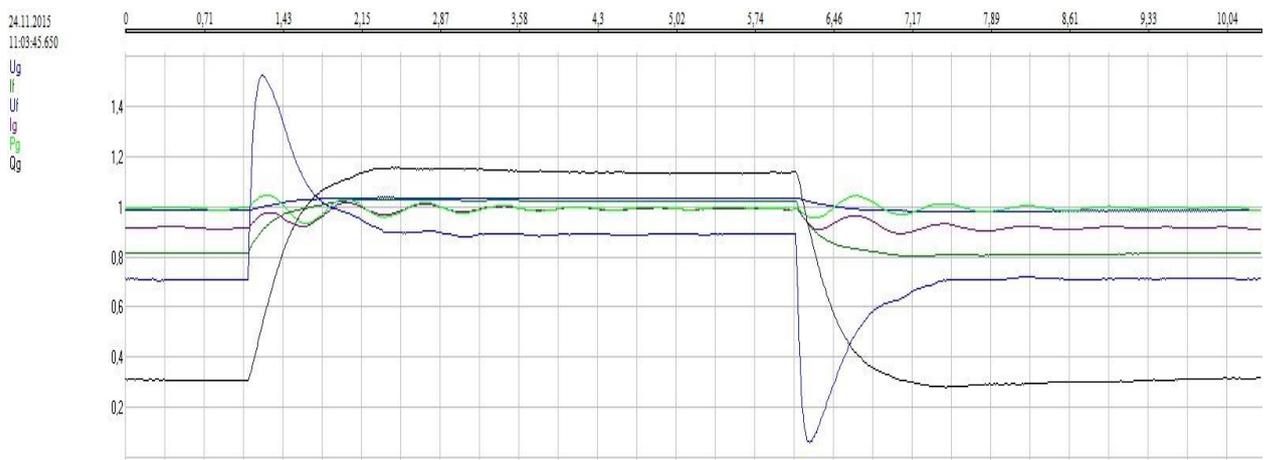


Рисунок 3.47 - PSS-off. APB-1

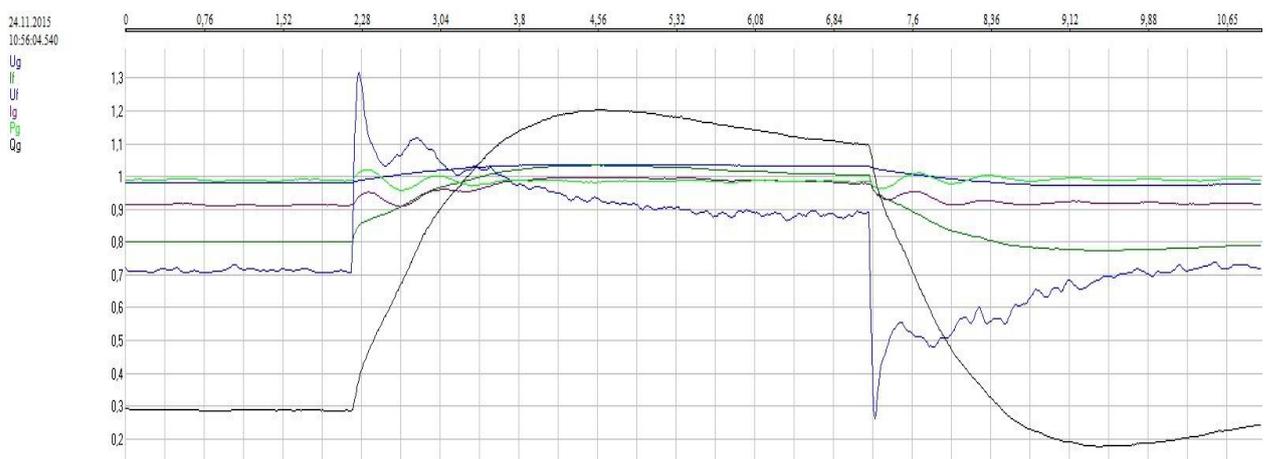


Рисунок 3.48 - PSS-on. APB-2

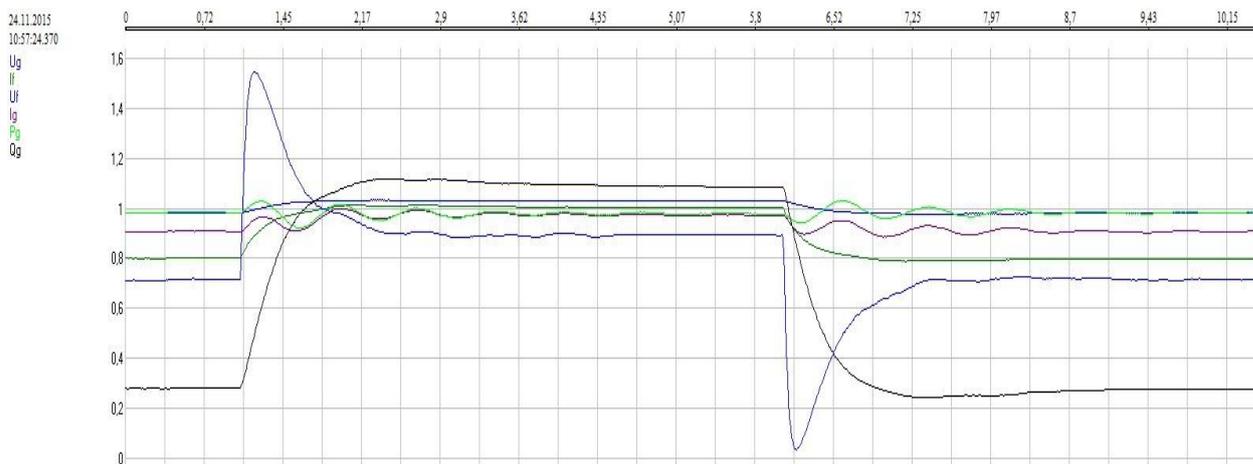


Рисунок 3.49 - PSS-off. АРВ-2

Опробование работы ограничителя максимального тока ротора и ОПР

Опробование работы ограничителя максимального тока ротора на двух каналах регулирования АРВ-1 и АРВ-2 проводилось со сниженной на время проверки уставки ограничителя максимального тока ротора, параметр #631 $SetLimIfMax=1,3(2,0)$. Плавным повышением уставки АРВ (набором реактивной мощности) установлен ток ротора на уровне $0,9I_{fном}$.

Подачей ступенчатого возмущающего воздействия амплитудой 0,10 о.е.(20с) в канал регулирования напряжения проверена устойчивость работы ограничителя максимального тока ротора($1,3Ifn$) # 630 $KpLimIf = 5,0$ и ОПР(нагреть ротор#300=1, контролировать $If \rightarrow 1$). После опробования работы ограничителей параметры возвращены в исходное состояние: #631 $SetLimIfMax=2,0$.

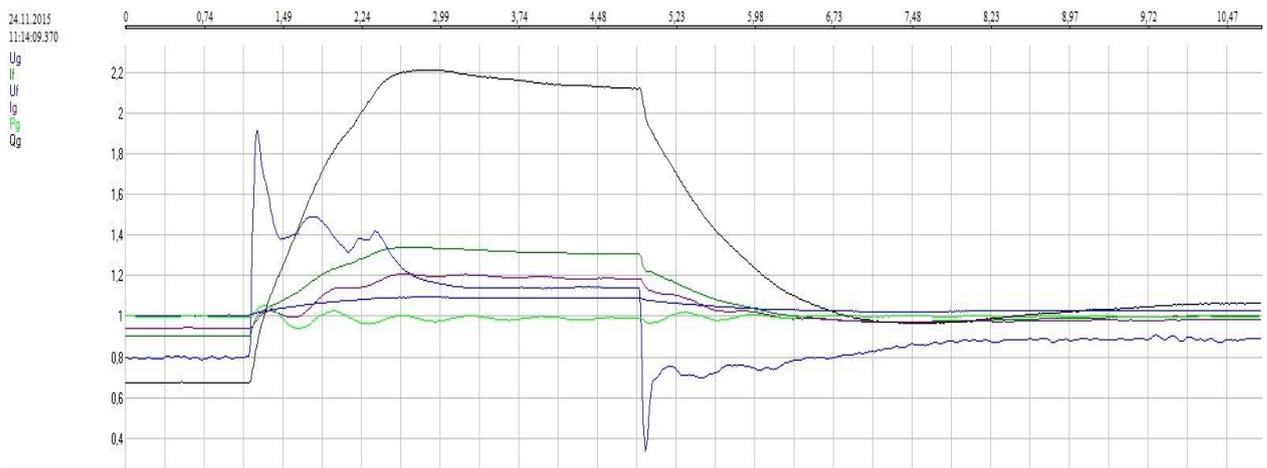


Рисунок 3.50 - Опробование ограничителя максимального тока ротора и ОПР
APB-1

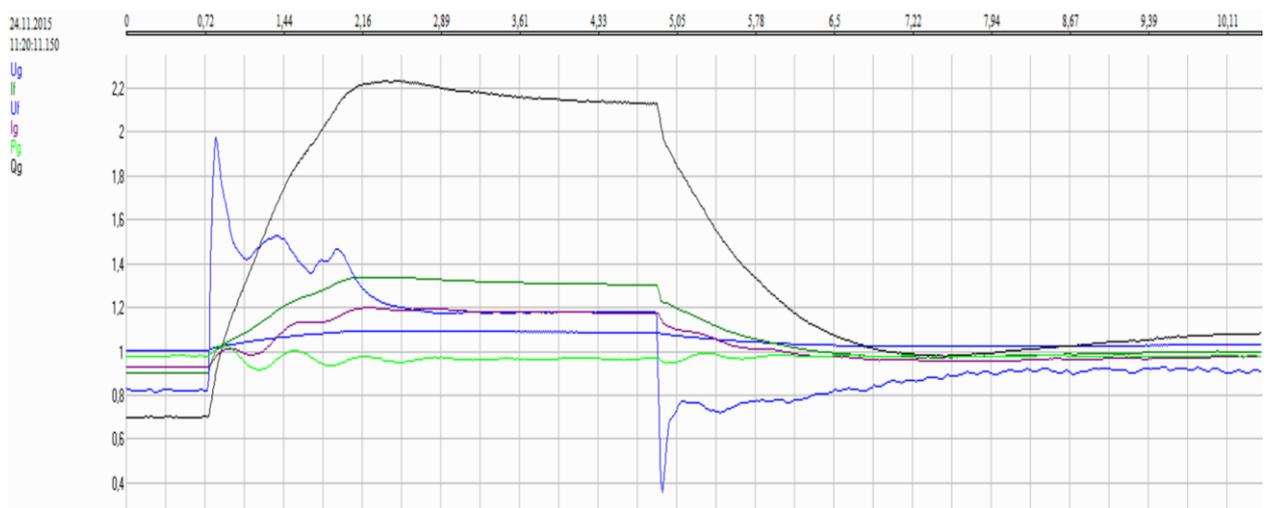


Рисунок 3.51 - Опробование ограничителя максимального тока ротора и ОПР
APB-2

Определение границ ОМВ в диапазоне изменения активной мощности от 0 до 125,5МВт

При изменении активной мощности в диапазоне от 0 до 125,5 МВт, были измерены границы вступления в работу ОМВ.

Таблица 3.7 – Границы вступления в работу ОМВ 1 канал

P %		30	61	83	100
Q %		-131	-120	-70	-31
P МВт		38	77	103	125
Q Мвар		-79	-73	-43	-19

Таблица 3.8 – Границы вступления в работу ОМВ 2 канал

P %		31	60	80	98
Q %		-130	-122	-74	-34
P МВт		38	76	100	123
Q Мвар		-79	-74	-45	-21

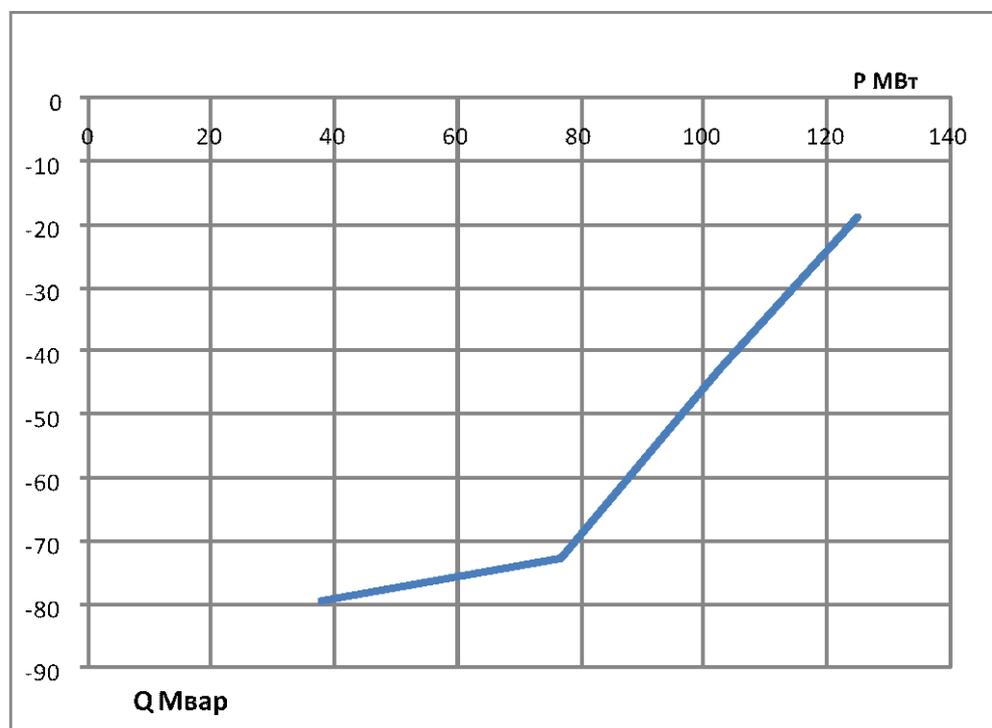


Рисунок 3.52 - Границы вступления в работу ОМВ

Характеристика ОМВ соответствует заданной. Статизм регулирования напряжения на шинах 500кВ при мощности (125,5 МВт) составил 6,75 % .

Настройка датчика температуры ротора

Сопротивление ротора генератора при 20°C составляет $R_{f20}=0,1488$ Ом.

Для номинальных параметров ротора генератора (напряжение ротора $U_{fn}=380$ В и тока ротора $I_{fn}=1920$ А) номинальное значение сопротивления ротора составляет $R_{fn}=0,2$ Ом.

Взяв за базисное значение R_{fn} рассчитаем приведенное сопротивление ротора при 15°C:

$$R_{f15np} = R_{f20} \cdot (235+15^0C)/(235+20^0C) = 0,14588 \text{ (Ом)};$$

$$R_{f15np} = R_{f15} / R_{fn} = 0,14588 / 0,2 = 0,729 \text{ (о.е.)}$$

Далее рассчитан $\#363kTrot$ gr $\#363kTrot=250 \cdot U_{fn} \cdot R_{f15} \cdot I_{fn} = 250 \cdot 380 \cdot 0,14588 \cdot 1920 = 339,18^{\circ}C$

3.4 Вывод по результатам испытаний

По результатам пуско-наладочных работ, параметры оборудования системы возбуждения типа СТС-2П-420-2100-2,5УХЛ4 гидроагрегата станционный №6 Жигулевской ГЭС типа СВ2 1500/200-88 соответствуют требованиям заводской и нормативной документации, система возбуждения признана годной к вводу в промышленную эксплуатацию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской работе решена задача увеличения надежности работы системы возбуждения гидрогенератора путем замены тиристорной системы возбуждения с естественным охлаждением тиристоров на статическую тиристорную систему самовозбуждения с принудительным охлаждением тиристоров, а также снижение затрат на аварийные и неплановые ремонты в связи с увеличением надежности системы возбуждения.

Выбрана структурная схема. В процессе проектирования произведен расчет элементов силовой части системы возбуждения.

В данной работе рассмотрено устройство и работа составных частей системы, которая состоит из щита управления, щита тиристорного преобразователя, щита силового, шкафа ввода и шкафа гашения поля.

Приведен алгоритм работы программного обеспечения цифровой системы управления возбуждением.

Приведено описание и обоснование технических решений примененных при модернизации системы возбуждения.

Проведены наладочные и эксплуатационные испытания системы тиристорной самовозбуждения типа СТС-2П-420-2100-2,5УХЛ4, гидрогенератора СВ 1500/200-88 УХЛ4 результаты которых приведены в данной работе в месте с рекомендациями по настройке системы управления тиристорами.

Применение новой системы возбуждения позволяет повысить надежность работы гидрогенератора в энергосистеме за счет применения явного резервирования 2-х тиристорных мостов и значительно уменьшить время простоя гидрогенератора за счет снижения человеко-часов при ремонте и техническом обслуживании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Герасимов, А.С. Уточнение математических моделей современных АРВ для повышения достоверности анализа устойчивости сложных энергосистем. / А.С. Герасимов, М.В., А.Х. Есипович // Известия НИИ постоянного тока. 2006.
2. ГОСТ 21558-2000 Системы возбуждения турбогенераторов, гидрогенераторов и синхронных компенсаторов. – М.: Стандартинформ, 2000.
3. Стандарт ОАО «СО ЕЭС». Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов http://www.so-cdu.ru/fileadmin/files/laws/standards/STO_ES_AER_SA.pdf (СТО 59012820.29.160.20.001-2012) утвержден и введен в действие 03.04.12
4. Тимощенко, К.П. Ключевые особенности проектирования систем управления возбуждением синхронных машин. / К.П. Тимощенко, А.А. Юрганов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2014.
5. Забудский, Е.И. 312 Электрические машины. Ч. 3. Синхронные машины. / Е.И. Забудский // Учебное пособие для вузов. – Москва: МГАУ, 2008.
6. Армеев, Д.В. Расчет параметров АРВ синхронного генератора методом модальной оптимизации / Д.В. Армеев, А.В. Михеев, А.В. Чехонадских // Сборник научных трудов НГТУ . – 2011.
7. Голубовский, А.В. Оптимизация режимов работы синхронных двигателей в узлах нагрузки систем электроснабжения компрессорных станций магистральных газопроводов / А.В. Голубовский // дис канд. тех .наук : 05.09.03 Самара, 2008.
8. Михалев, С.В. Повышение устойчивости синхронных двигателей при кратковременной потере питания /С.В. Михалев, Н.Д. Поляхов // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ ». – 2012.
9. Вольдек, А.И. Электрические машины/А.И. Вольдек// – СПб.: Энергия, 2008.-832

10. Антонов, М.В. Технология производства электрических машин: Учеб. Пособие для ВУЗов/ М.В. Антонов, Л.С. Герасимова // М.: Энергоиздат, 1982.-512с., ил.
11. Гессе, Б.А. Эксплуатация тиристорных систем возбуждения генераторов./ Б.А. Гессе// К.: Техника, 1981.- 144 с., ил. – Библиогр.: 139 – 141.
12. Абрамов, А.И. Проектирование гидрогенераторов и синхронных компенсаторов: Учеб. пособие для вузов/А.И. Абрамов, А.В. Иванов-Смоленский// 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Высш.шк., 2001. – 389 с.: ил.
13. Глебов, И.А. Системы возбуждения мощных синхронных машин / И.А. Глебов //Л., “Наука”, 1979. 316 с.
14. Релейная защита и устройства автоматики Волжской ГЭС имени В.И. Ленина. Руководство для персонала, обслуживающего устройства релейной защиты и автоматики.: Куйбышев, 1970.- 242 с.
15. Статическая система самовозбуждения типа СТС-М-420-2100-2,5 для г/г Волжской ГЭС (Жигулевск). Инструкция по эксплуатации; 2010г.
16. Инструкция по обслуживанию автоматики электрической части генераторов с тиристорной системой возбуждения с водяным охлаждением. 2000. Жигулёвск.
17. Система возбуждения тиристорная СТС-420-2100-2,5 УХЛ4 (Временная инструкция). 2003. Жигулевск.
18. Электротехнический справочник. Том 2.М.:МЭИ, 2007.
19. Тузельбаев, А.Е. Исследование системы возбуждения гидрогенераторов Капчагайской ГЭС. / А.Е. Тузельбаев // Сборник трудов научно-практической конференции магистрантов «Энергетика, радиотехника, электроника и связь». Алматы, АУЭС, 2013.
20. Набиев, Ф.М. Электрические машины./ Ф.М Набиев, И.И. Алиев// РадиоСофт 2012г
21. Иванов-Смоленский, А.В. Электрические машины: Учебник для вузов. В 2-х т. Том 2./ А.В. Иванов-Смоленский // 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство МЭИ, 2006.

22. Извеков, В.И. Проектирование турбогенераторов / В.И. Извеков, Н.А. Серихин, А.И. Абрамов // Учеб. для вузов –М.: Высш. шк. . 2006.
23. Вольдек, А.И. Электрические машины. Машины переменного тока. / А.И. Вольдек, В.В. Попов //СПб .: 2010.
24. Гольдберг, О.Д. Электромеханика / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская // М,: Академия . 2007.
25. Беляев, А.Н. Программирование на примере электротехнических и электроэнергетических задач / А. Н. Беляев, С. В. Смоловик // учебное пособие СПбГПУ – СПб.: НЕСТОР, 2006.
26. Герасимов, А.С. Разработка цифровых моделей отечественных и зарубежных АРВ и методика их верификации. / А.С. Герасимов, А.Х. Есипович, А.Н. Смирнов, Д.В. Сорокин // Известия НИИ постоянного тока. 2008.
27. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты – М.: Изд-во стандартов, 2009 -7с.
28. Калентионок Е.В. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. Пособие для вузов / Е.В. Калентионок, В.Г. Прокопенко , В.Т. Федин // под общ. Ред. В.Т. Фебина. – Гриф МО. – Минск: Высш. шк. 2007.
29. Бессонов Л.А. Теоретические основы Электротехники: Электромагнитное поле. Учебник / Л.А. Бессонов // М.: Гардарики,2014
30. Блохин В.Г. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов: учеб. для вузов / В.Г. Блохин, О.П. Глудкин, А.И. Гуров, М.А. Ханин // М.: Радио и связь,2007
31. Приказ Минтруда России от 24.07.2013 N 328н "Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 12.12.2013 N 30593)

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АЩУ	агрегатный щит управления
ССПрТ (АЕ1)	силовая секция переменного тока
ССПТ (АЕ3)	силовая секция постоянного тока
ТС (АЕ2)	тиристорная секция
СУР (АЕ4)	секция управления и регулирования
АМ	мост тиристорного выпрямителя
ЩВ	щит возбуждения
СН ГЭС	собственные нужды ГЭС
АРВ-4М	автоматический регулятор возбуждения (4-го поколения)
ОМВ	ограничитель минимального возбуждения
ОПР	ограничитель перегрузки ротора
ОПС	ограничитель перегрузки статора
АГП (QE1)	автомат гашения поля
PSS	системный стабилизатор
КШР	контактор шунтирования ротора генератора
SF	автоматический выключатель
ВН	обмотка высокого напряжения
НН	обмотка низкого напряжения
АС	переменный ток
DC	постоянный ток
ТП	тиристорный преобразователь
FV1	устройство защиты от перенапряжений типа, тиристорный разрядник
Manual If	ручной регулятор тока