



СИЛОВЫЕ МАШИНЫ. ЭНЕРГИЯ НА РЕЗУЛЬТАТ

# СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ



ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ ТУРБО-, ГИДРО- И ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

# МИССИЯ КОМПАНИИ

Предоставлять надежные и эффективные комплексные решения для удовлетворения нужд мировой энергосистемы, непрерывно совершенствуя свои технологии и бизнес-процессы.

# ВИДЕНИЕ КОМПАНИИ

Занимать первое место на рынке энергетического машиностроения России и СНГ и быть ключевым игроком на мировом рынке.

# ЦЕННОСТИ КОМПАНИИ

ВНИМАНИЕ К КЛИЕНТАМ  
ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ОПЕРАТИВНОСТЬ  
ИННОВАЦИОННОСТЬ  
БЕЗОПАСНОСТЬ  
КОМАНДНАЯ РАБОТА  
УВАЖЕНИЕ К ЛЮДЯМ

«Силовые машины» – крупнейшая энергомашиностроительная компания России, имеющая международный опыт и компетенцию в области проектирования, изготовления и комплектной поставки оборудования для тепловых, атомных и гидравлических электростанций, различных отраслей промышленности, транспортной и судовой энергетики.

## В 57 СТРАНАХ МИРА

установлено и работает оборудование, произведенное на предприятиях «Силовых машин»



## 70% – ДОЛЯ КОМПАНИИ

на рынке России и СНГ



Компания «Силовые машины» создает эффективные комплексные проекты для мировой энергетики, опираясь на полуторавековой опыт производственных активов компании и применяя новейшие достижения науки и техники.

## БОЛЕЕ 300 ГВт –

совокупная мощность произведенного компанией оборудования



Оборудование, изготовленное и поставленное предприятиями компании, работает в 57 странах мира и в настоящее время насчитывает более 300 000 МВт установленной мощности.

# СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Производство систем возбуждения для оснащения турбо-, гидро- и дизель-генераторов в «Силовых машинах» осуществляется в современном и высокотехнологичном производственном комплексе компании (поселок Металлострой, Колпинский район Санкт-Петербурга).

Основные типы изготавливаемых систем возбуждения:

- системы тиристорные самовозбуждения (СТС);
- системы тиристорные независимые (СТН);
- системы диодные независимые (СДН);
- системы бесщеточные диодные (СБД);
- резервные системы (СТР).

Системы возбуждения обеспечивают следующие режимы работы синхронных генераторов:

- начальное возбуждение;
- холостой ход;
- включение в сеть методом точной синхронизации или самосинхронизации;
- работу в энергосистеме с нагрузками и перегрузками, допустимыми для генератора;
- форсировку возбуждения с заданной кратностью по напряжению и по току;
- разгрузку по реактивной мощности до значения  $\cos\phi=1$ ;
- развозбуждение при нарушениях в энергосистеме;
- гашение поля генератора в аварийных режимах и при нормальной остановке;
- работу генератора в составе группового регулятора мощности;
- электрическое торможение агрегата.

Электромаши́нны́е систе́мы возбужде́ния, выпущенны́е предпры́тием боле́е полу́века на́зад и нахо́дяще́ся до сих пор в эксплуатации, могу́т бы́ть заме́нены при необходи́мости на современны́е полупроводнико́вые стати́ческие систе́мы с любым набо́ром заданных функций.

Концепция конструирования щитов систем возбуждения основана на унификации конструкции с использованием отработанных унифицированных секций, модулей и блоков, что позволяет осуществить любое исполнение щитов, удовлетворяющее требованиям заказчика. Основными унификационными единицами являются: секция тиристорная, секция управления и регулирования и секция силовая.

## Авторское сопровождение и услуги

шефмонтаж, наладка и испытания систем возбуждения на электростанциях;  
гарантийное и послегарантийное обслуживание;  
модернизация и ремонт систем возбуждения всех типов;  
поставка запасных частей;

обучение обслуживающего персонала электростанций и энергосистем;  
экспертиза технического состояния оборудования;  
технические консультации по выбору силового оборудования, систем управления, регулирования и защиты.

## Карта поставок систем возбуждения



Азербайджан  
Ангола  
Аргентина  
Армения  
Беларусь  
Болгария  
Бразилия

Венгрия  
Вьетнам  
Греция  
Грузия  
Египет  
Индия  
Казахстан

Киргизия  
Китай  
Колумбия  
Латвия  
Литва  
Мексика  
Пакистан

Россия  
Румыния  
Сербия  
Словакия  
Туркмения  
Турция  
Узбекистан

Украина  
Филиппины  
Хорватия  
Черногория  
Чили

## Система качества

Система менеджмента качества ПАО «Силовые машины» сертифицирована на соответствие требованиям стандартов ISO серии 9000 (ISO 9001:2015, ГОСТ Р ИСО 9001-2015) и ГОСТ Р В 0015-002-2012. Компания ПАО «Силовые

машины» развивает и совершенствует систему менеджмента качества, применяя современные методы управления качеством и обеспечивая способность производить продукцию, отвечающую требованиям потребителей.

# ПРЕИМУЩЕСТВА

## Преимущества систем возбуждения нашей конструкции

- 1.** Максимальная безопасность обслуживающего персонала и оборудования обеспечивается комплексом специальных конструктивных мероприятий: наличием не менее двух ступеней изоляции между элементами оборудования с разными потенциалами; созданием защитных диэлектрических барьеров, препятствующих возникновению дуги и распространению пожара в аварийных ситуациях; организацией необходимых воздушных зазоров; установкой защитного заземления; обоснованным выбором конструкционных материалов и т. д.
- 2.** Удобство обслуживания щитов возбуждения достигается сочетанием блочно-модульной конструкции, обеспечивающей удобный доступ к любому элементу щита, с рациональным расположением органов управления, сигнализации, приборов и контрольных точек. В секции тиристорной блоки, содержащие тиристор, предохранитель и другие элементы, легко отсоединяются с помощью обычного инструмента и могут быть изъяты для осмотра и ремонта. Большинство стандартных работ, связанных с заменой элементов блока (тиристора, предохранителя), не требуют его существенной разборки и выполняются за минимально короткий срок. Этот же принцип воплощен и в конструкции секции силовой. Одновременно конструкция щита возбуждения имеет набор необходимых защит и блокировок от некорректных действий персонала.
- 3.** Высокая степень заводской готовности осуществляется благодаря выполнению всех электрических соединений между секциями внутри щита. Каждая секция является отдельным транспортным модулем, что значительно упрощает монтаж системы возбуждения на объекте. При монтаже щита достаточно установить секции в ряд, соединить шины секции силовой и секции тиристорной с помощью перемычек и подключить разъемы межсекционных кабелей управления.

Все элементы монтажа – шинные перемычки и межсекционные кабели управления входят в комплект поставки и проходят проверку при контрольной сборке щита и испытаниях перед отгрузкой. В объем монтажных работ входит также установка кассет с печатными платами и силовых тиристорных блоков, которые транспортируются в отдельных ящиках для обеспечения лучшей сохранности. Любая операция при монтаже выполняется с помощью стандартного слесарного инструмента. Никакого дополнительного крепежа, подгонки, прокладки монтажа и пайки не требуется.

- 4.** Разнообразие конструктивных исполнений по желанию заказчика – это возможность легкой трансформации унифицированных секций, что позволяет в любых сочетаниях получать следующие исполнения оборудования:
  - одностороннее или двухстороннее обслуживание;
  - стационарная или полностью выкатная конструкция силового тиристорного преобразователя;
  - различные сочетания подвода шин (кабелей) постоянного и переменного тока (ориентация шин по умолчанию – шины переменного тока сверху, постоянного – снизу);
  - установка воздушных фильтров, противоконденсатное оборудование, внутреннее освещение, дополнительные розетки, карманы для документации и др.;
  - различные климатические исполнения;
  - дополнительные секции специального назначения – секции ввода резервного возбуждения, секции электроторможения и т. п.;
  - любой вид охлаждения тиристоров.

**5.** Испытания головных образцов систем возбуждения производятся в испытательных стендах завода «Электросила» и комплекса в пос. Металлострой при номинальных параметрах тока и напряжения. Проводятся ЭМС испытания, связанные с ограничением эмиссии и обеспечением устойчивости к электромагнитным помехам в соответствии с федеральным законом «О техническом регулировании» и техническим регламентом «Об электромагнитной совместимости». В соответствии с требованиями СО ЕЭС РФ все автоматические регуляторы возбуждения, используемые в составе систем возбуждения, производства нашей компании соответствуют требованиям стандарта АО «СО ЕЭС» СТО 59012820.29.160.20.001-2012 «Требования к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов». Подтверждение соответствия регуляторов возбуждения требованиям данного стандарта выполнено путем сертификации в АО «НТЦ ЕЭС». Эта организация допущена в установленном порядке к осуществлению работ по данному направлению. Проверка соответствия регуляторов осуществляется в широком диапазоне схемно-режимных условий работы конкретной станции, при нормативных и расчетных аварийных возмущениях, в том числе с учетом действия систем противоаварийной автоматики, включая и имевшие место реальные системные аварии.

**6.** Улучшенный дизайн щитов с учетом европейского стандарта эргономических характеристик достигается использованием современных конструкционных материалов. Принятый цвет окраски щитов RAL 7035 (светло-серый) создает отличную контрастную видимость приборов и сигнализации. Простота компоновки секций и четкая маркировка облегчают идентификацию узлов и их техническое обслуживание. Все секции выполняются в единой архитектуре, в результате чего щит возбуждения имеет стилистически законченный вид, которому присущ свой фирменный стиль.

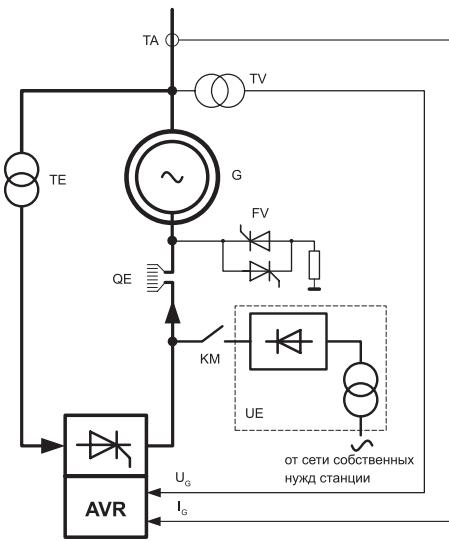
# СИСТЕМЫ ТИРИСТОРНЫЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ (СТС)



СТС предназначены для питания обмоток возбуждения турбо- и гидрогенераторов выпрямленным регулируемым током. Питание тиристорного выпрямителя осуществляется через трансформатор (ТЕ), подключенный к главным выводам генератора. Для запуска генератора предусмотрена цепь

начального возбуждения (UE), которая автоматически формирует кратковременный импульс напряжения на обмотке ротора до появления ЭДС обмотки статора генератора, достаточной для поддержания устойчивой работы тиристорного преобразователя в цепи самовозбуждения.

## Система тиристорная самовозбуждения:



AVR – автоматический регулятор возбуждения; G – генератор; KM – контактор начального возбуждения; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; UE – устройство начального возбуждения; TE – выпрямительный трансформатор; TA, TV – измерительные трансформаторы тока и напряжения генератора

Характеристика	Значение
Выпрямленное номинальное напряжение, В	до 800
Выпрямленный номинальный ток, А	до 6200
Кратность форсировки возбуждения по отношению к напряжению возбуждения генератора в номинальном режиме, о.е.	не менее 2,5
Кратность форсировки по току, о.е.	2
Длительность форсировки, с	20...50
Время нарастания напряжения возбуждения до максимального значения при уменьшении напряжения прямой последовательности в точке регулирования на 5% от номинального, мс	не более 25
Время развозбуждения от максимального положительного до минимального отрицательного напряжения возбуждения, мс	не более 30
Точность поддержания напряжения на шинах генератора относительно статической характеристики, %	не более $\pm 0,5\%$ ; $\pm 1\%$
Система охлаждения тиристорного выпрямителя	принудительная воздушная; естественная воздушная; водяная

Высокие быстродействие и предельные уровни напряжения и тока возбуждения в сочетании с эффективными законами управления, ограничения параметров и стабилизации обеспечивают высокое качество регулирования и большие запасы устойчивости энергосистем.

Питание цепей начального возбуждения осуществляется как от стационарной аккумуляторной батареи, так и от источника переменного тока собственных нужд электростанции.  
Защита ротора от перенапряжений выполняется на основе быстродействующих тиристорных разрядников (FV).  
Интенсивное гашение поля генераторов в нормальных условиях эксплуатации достигается за счет перевода тиристорного преобразователя

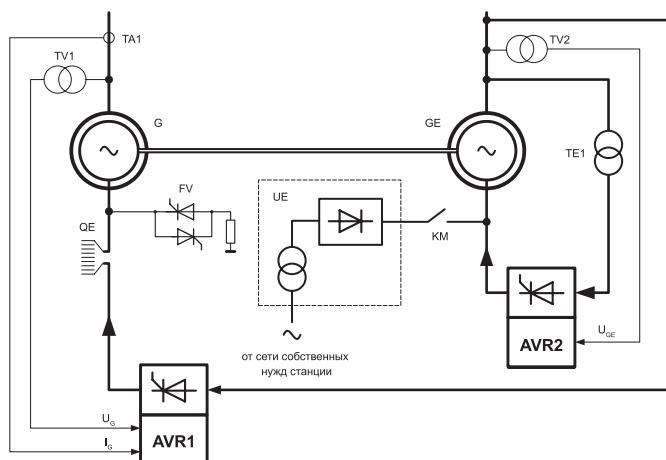
в инверторный режим изменением полярности напряжения возбуждения. Экстренное снятие возбуждения в аварийных режимах обеспечивается автоматом гашения поля (QE) – электрическим аппаратом специальной конструкции, который при срабатывании производит оптимальное гашение поля генератора, заключающееся в минимизации времени гашения поля при соблюдении предельно допустимой по условиям электрической прочности изоляции величине напряжения на обмотке возбуждения.

## СИСТЕМЫ ТИРИСТОРНЫЕ НЕЗАВИСИМЫЕ (СТН)

СТН предназначены для питания обмоток возбуждения крупных турбо- и гидрогенераторов выпрямленным регулируемым током. В отличие от систем самовозбуждения, в СТН тиристорный выпрямитель главного генератора получает питание от независимого источника напряжения переменного

тока промышленной частоты – вспомогательного синхронного генератора (GE), вращающегося на одном валу с главным генератором. При этом вспомогательный генератор возбуждается по схеме самовозбуждения.

### Система тиристорная независимая:



AVR1 – автоматический регулятор возбуждения; AVR2 – автоматический регулятор возбуждения вспомогательного генератора; G – генератор; GE – вспомогательный генератор; KM – контактор начального возбуждения; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; UE – устройство начального возбуждения; TE1 – выпрямительный трансформатор; TV2 – измерительный трансформатор напряжения вспомогательного генератора; TA1, TV1 – измерительные трансформаторы тока и напряжения генератора

Характеристика	Значение
Выпрямленное номинальное напряжение, В	до 800
Выпрямленный номинальный ток, А	до 6200
Кратность форсировки возбуждения по отношению к напряжению возбуждения генератора в номинальном режиме, о.е.	не менее 2
Кратность форсировки по току, о.е.	2
Длительность форсировки, с	20..50
Время нарастания напряжения возбуждения до максимального значения при уменьшении напряжения прямой последовательности в точке регулирования на 5% от номинального, мс	не более 25
Время развозбуждения от максимального положительного до минимального отрицательного напряжения возбуждения, мс	не более 30
Точность поддержания напряжения на шинах генератора относительно статической характеристики, %	не более $\pm 0,5\%$ ; $\pm 1\%$
Система охлаждения тиристорного выпрямителя	принудительная воздушная; естественная воздушная; водяная

Оборудование переменного тока  
и трансформаторы собственных нужд

Тиристорный  
выпрямитель

Оборудование  
для гашения поля  
генератора



Параметры СТН не зависят от процессов, протекающих в энергосистеме. Благодаря своей конструкции СТН обеспечивает:

независимость возбуждения от длительности и удаленности коротких замыканий и других возмущений в энергосистеме;

высокую скорость нарастания напряжения возбуждения;

быстрое снятие возбуждения за счет изменения полярности напряжения возбуждения.

## СИСТЕМЫ БЕСЩЕТОЧНЫЕ ДИОДНЫЕ (СБД)

Применение бесщеточных возбудителей благодаря их главному достоинству – отсутствию скользящего контакта в цепи обмотки ротора турбогенератора – позволяет обеспечить возбуждение сверхмощных машин, токи возбуждения которых превышают 5500 А. Использование бесщеточных систем для возбуждения турбогенераторов приводит к существенному уменьшению массогабаритных показателей аппаратуры возбуждения.

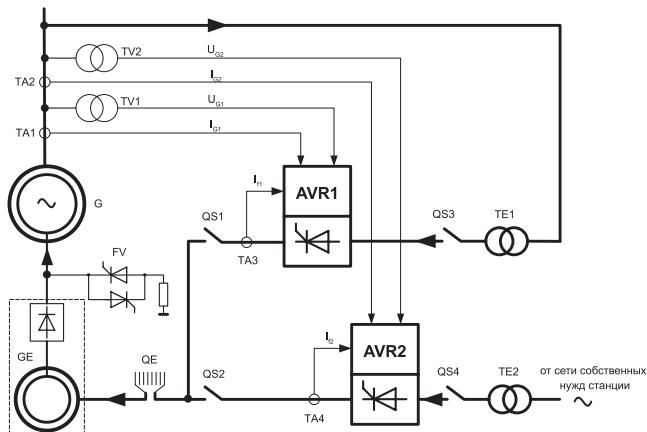
СБД предназначены для питания обмоток возбуждения турбогенераторов выпрямленным регулируемым током. Бесщеточный возбудитель представляет собой синхронный генератор обращенного типа, якорь которого с обмоткой переменного тока и диодным выпрямителем жестко соединен с ротором турбогенератора. Обмотка возбуждения возбудителя расположена на статоре возбудителя. Регулирование возбуждения генератора осуществляется управлением током обмотки возбуждения возбудителя. Типовой комплект системы включает в себя автомат гашения поля (QE), тиристорный разрядник (FV) и два преобразовательно-регулирующих канала (AVR-1 и AVR-2), один из которых находится в активном режиме (AVR-1), другой (AVR-2) – в горячем резерве. В частном случае основной канал регулирования получает питание от выпрямительного трансформатора, подключенного к главным выводам генератора, резервный – через трансформатор от шин собственных нужд электростанции.

Осуществляется поставка турбогенераторов (мощностью до 660 МВт) в комплекте с бесщеточной системой возбуждения и подвозбудителем



с постоянными магнитами (PMG – permanent magnet generator). Силовые преобразовательные каналы могут быть выполнены на основе IGBT-транзисторов или тиристоров, регулирующие каналы – цифровые, на базе сертифицированного автоматического регулятора возбуждения типа AVR-45M.

## Система бесщеточная диодная:



AVR1, AVR2 – автоматические регуляторы возбуждения основного и резервного каналов, соответственно; G – генератор; GE – возбудитель; QS1, QS2, QS3, QS4 – разъединители; QE – автомат гашения поля; FV – тиристорный разрядник; TE1, TE2 – выпрямительные трансформаторы; TA1, TA2, TV1, TV2 – измерительные трансформаторы тока и напряжения основного и резервного каналов; TA3, TA4 – датчики тока возбуждения возбудителя

Характеристика	Значение
Выпрямленное номинальное напряжение, В	до 600
Выпрямленный номинальный ток, А	до 9000
Кратность форсировки возбуждения по отношению к напряжению возбуждения генератора в номинальном режиме, о.е.	2,5
Кратность форсировки по току, о.е.	2
Длительность форсировки, с	20...50
Время нарастания напряжения возбуждения до максимального значения при уменьшении напряжения прямой последовательности в точке регулирования на 5% от номинального, мс	не более 25
Время развозбуждения от максимального положительного до минимального отрицательного напряжения возбуждения, мс	не более 30
Точность поддержания напряжения на шинах генератора относительно статической характеристики, %	не более $\pm 0,5\%$ ; $\pm 1\%$
Система охлаждения тиристорного выпрямителя	естественная воздушная

## СИСТЕМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ГЕНЕРАТОРОВ АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

«Силовые машины» являются крупнейшим производителем генераторов мощностью от 200 до 16 500 кВт, предназначенных для различных автономных электроэнергосистем и установок, в том числе и бортовых. Такие генераторы приводятся в движение двигателями внутреннего сгорания, паровыми или газовыми турбинами, которые имеют широкий спектр частот вращения.

К системам возбуждения этого класса предъявляется особое требование – обеспечение необходимой форсировки вплоть до глухого короткого замыкания на выводах генератора. Серийно производятся следующие типы систем возбуждения:

Смешанного самовозбуждения статические диодно-тиристорные, в которых осуществляется токовое компаундирование (с электрическим или магнитным суммированием напряжения и тока статора). В комплект поставки входят силовые электромагнитные устройства специальной конструкции с воздушными зазорами или магнитными шунтами. Как правило, силовая часть устанавливается в воздушном потоке охлаждения генератора с целью обеспечения хороших массогабаритных характеристик. Применяется также естественное воздушное или принудительное водяное охлаждение силовой части систем возбуждения генераторов, имеющих водяное охлаждение. Конструкция корректоров напряжения или автоматических регуляторов возбуждения выполняется в вариантах установки в щит управления генератором или в виде отдельного шкафа.

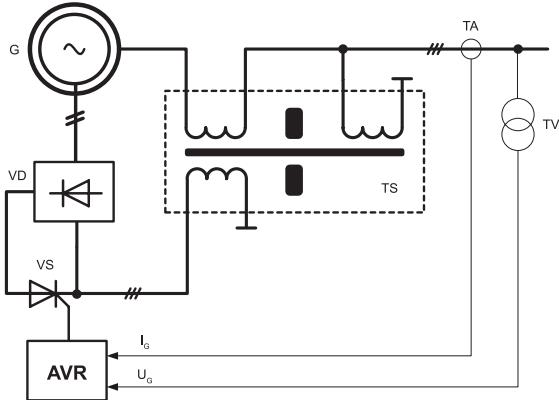
Управление тиристорами «отбора» силового преобразователя для мощных генераторов осуществляется двухканальным цифровым автоматическим регулятором.

Бесщеточная диодная с тиристорным возбудителем и магнитоэлектрическим подвозбудителем. Вращающаяся часть оборудования системы за счет совмещения конструкции изготавливается в виде компактного блока, установленного на валу генератора. Регулятор возбуждения размещен в отдельном шкафу.

Бесщеточная тиристорная с тиристорным возбудителем и магнитоэлектрическим подвозбудителем. Последний тип системы возбуждения обладает явным преимуществом (по сравнению с диодной) – способностью быстрого гашения поля ротора путем перевода вращающегося тиристорного преобразователя в инверторный режим.

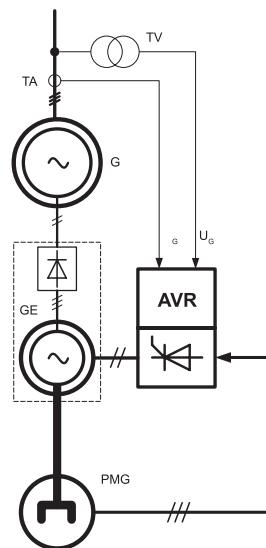
Характеристика	Значение
Диапазон уставок напряжения генератора, % от номинального значения	85...110
Статизм внешней характеристики, % от номинального значения	0...10
Форсировочная способность, обеспечивающая кратность тока короткого замыкания при замыкании выводов генератора, не менее, о.е.	3...3,5
Время восстановления напряжения генератора при внезапных изменениях нагрузки вплоть до 100% по току с $\cos \phi$ от 0,3 до 0,4, с	0,5...1,5
Точность поддержания напряжения генератора при изменении нагрузки по току от 0 до 100% и коэффициента мощности, не более, %	$\pm 1$
Точность распределения реактивных нагрузок при параллельной работе генераторов, не более, %	$\pm 10$

## Статическая система смешанного самовозбуждения:



AVR – автоматический регулятор возбуждения; G – дизель-генератор; VS – тиристор; VD – диодный выпрямитель; TS – трехобмоточный суммирующий трансформатор с магнитным шунтом; TA, TV – измерительные трансформаторы тока и напряжения дизель-генератора

## Бесщеточная диодная система возбуждения с подвозбудителем:



AVR – автоматический регулятор возбуждения; G – дизель-генератор; PMG – магнитоэлектрический подвозбудитель; GE – диодный синхронный возбудитель; TA, TV – измерительные трансформаторы тока и напряжения дизель-генератора

# СЕКЦИИ ТИРИСТОРНЫЕ

## Секции тиристорные с естественным охлаждением ТСЕ

Шкаф тиристорного преобразователя с естественным воздушным охлаждением представляет собой два выпрямительных моста с 6 тиристорами и 6 силовыми предохранителями в каждом, разделенных между собой огнестойкой перегородкой. Шкаф разработан специально для комплектования секций тиристорных мощных статических систем возбуждения.

### Преимущества

Перфорированная дверь преобразователя защищает персонал от прикосновения к токоведущим частям и позволяет произвести визуальную инспекцию.

Огнестойкая перегородка обеспечивает сохранность оборудования при нештатных ситуациях.

Разделение тепловых потоков исключает подогрев тиристоров по вертикали.

Отсутствие вентиляторов и насосов системы охлаждения повышает надежность тиристорного преобразователя и снижает эксплуатационные затраты.

### Особенности

Естественная воздушная система охлаждения с теплоотводами на тепловых трубках.

Перфорированная дверь.

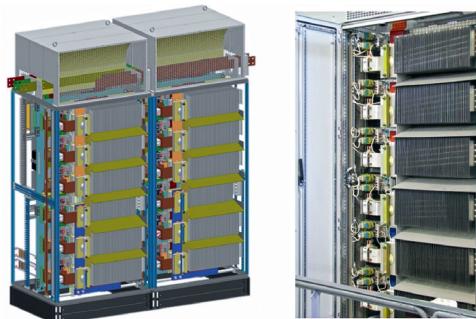
### Дополнительные возможности

Контроль температуры каждого тиристора.

Контроль входной и выходной температуры воздуха.

Контроль тока каждого тиристора.

Резервирование драйверов управления каждого тиристора.



Теплоотводы с резервированными тепловыми трубами сохраняют работоспособность даже в случае повреждения одной из них.

Наличие центрующей панели, удерживающей тиристор, позволяет быстро производить ремонт силового преобразователя. Время замены тиристора силами двух человек занимает менее 15 минут.

Минимальное количество элементов снижает затраты на обслуживание и хранение ЗИП.

### Технические характеристики единичного моста

Характеристика	Значение	
	Исп. 1	Исп. 2
Номинальное входное напряжение, $V_{AC}$	$\leq 1250$	$\leq 1250$
Номинальный ток, $A_{DC}$	$\leq 1500$	$\leq 2500$
Рабочая температура, °C	$\leq 45$	$\leq 45$
Ширина шкафа преобразователя, мм	1000	1200
Глубина шкафа преобразователя, мм	1000	1000
Высота шкафа преобразователя, мм	3000	3000
Вес шкафа, кг	1000	1150

### Стандартные конфигурации секций тиристорных

По желанию заказчика могут быть разработаны любые конфигурации с различным типом резервирования 100% или N-1, с максимальным числом параллельно соединенных единичных мостов равным 6.

Количество мостов	Резервирование	$U_i, V_{AC}$	$I_{EN}, A_{DC}$
3 (Исп. 1)	N-1	630 630	1600 2000
1+1 (Исп. 2)	100%	630 1000	2500 2500

# Секции тиристорные ТСП-2В

Шкаф тиристорного преобразователя с выкатным модулем, с принудительным воздушным охлаждением представляет собой выпрямительный мост с 6 тиристорами с оптическими драйверами управления и 6 силовыми предохранителями. Шкаф разработан специально для комплектования секций тиристорных мощных статических систем возбуждения

## Преимущества

Полностью выкатная конструкция позволяет быстро и безопасно произвести диагностику силового преобразователя в тестовом положении и, при необходимости, оперативно произвести замену всего модуля. Время замены модуля при использовании двух тележек – менее 10 минут.

Наличие световой индикации, электрических и механических блокировок, защитных шторок силовых контактов обеспечивает безопасную эксплуатацию.

Резервирование цепей управления, светодиодная индикация наличия питания и исправности драйвера управления обеспечивает высокую надежность и быструю диагностику.

## Особенности

Выкатная конструкция позволяет произвести обслуживание или быструю замену модуля

Резервированные вентиляторы с возможностью замены при работе системы

Контроль состояния вентиляторов и входных фильтров

## Дополнительные возможности

Замкнутый контур охлаждение с воздушно-водяным теплообменником

Контроль температуры каждого тиристора

Контроль входной и выходной температуры воздуха

Контроль тока каждого тиристора

Резервирование драйверов управления каждого тиристора



Наличие резервного вентиляторного модуля позволяет произвести замену неисправного модуля во время работы преобразователя.

Быстроъемная лицевая панель модуля позволяет быстро произвести инспекцию в тестовом положении.

Комбинированные разъемы, совмещающие как оптические, так и электрические связи, позволяют быстро отключить извлекаемый модуль.

Специальная гидравлическая тележка надежно удерживает извлекаемый модуль и позволяет транспортировать его для дальнейшей диагностики.

## Технические характеристики единичного моста

Наименование	Значение
Номинальное входное напряжение, $V_{AC}$	$\leq 1200$
Номинальный ток, $A_{DC}$	$\leq 3200$
Рабочая температура, °C	$\leq 45$
Ширина шкафа преобразователя, мм	800
Глубина шкафа преобразователя, мм	1000
Высота шкафа преобразователя, мм	2700
Вес шкафа, кг	700

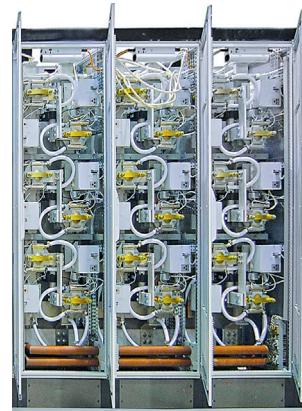
## Стандартные конфигурации секций тиристорных

По желанию заказчика могут быть разработаны любые конфигурации с различным типом резервирования 100% или N-1, с максимальным числом параллельно соединенных единичных мостов равным 6.

Количество мостов	Резервирование	$U_i, V_{AC}$	$I_{EN}, A_{DC}$
		630	1000
1+1	100%	800	2000
		1000	3150

## Секции тиристорные ТСВ

Шкаф тиристорного преобразователя с принудительным водяным охлаждением представляет собой два выпрямительных моста с 6 тиристорами и 6 силовыми предохранителями в каждом, разделенных между собой огнестойкой перегородкой. Шкаф разработан специально для комплектования секций тиристорных мощных статических систем возбуждения



### Преимущества

Наиболее эффективная водяная система охлаждения.

Огнестойкая перегородка обеспечивает сохранность оборудования при нештатных ситуациях.

Компактный шкаф с высокой удельной мощностью.

Драйверы управления тиристорами и светодиодная индикация расположены в водонепроницаемых коробках.

### Особенности

Возможность подключения к водяной системе охлаждения генератора.

Система охлаждения с силиконовыми армированными или фторопластовыми рукавами.

### Дополнительные возможности

Непрерывный или дискретный контроль параметров охлаждающей жидкости.

Контроль тока каждого тиристора.

Резервирование драйверов управления каждого тиристора.

### Технические характеристики единичного моста

Характеристика	Значение
Номинальное входное напряжение, $V_{AC}$	$\leq 1200$
Номинальный ток, $A_{DC}$	$\leq 3500$
Рабочая температура, °C	$25+40^*$
Ширина шкафа преобразователя, мм	800
Глубина шкафа преобразователя, мм	1000
Высота шкафа преобразователя, мм	2450
Вес шкафа, кг	850

\* Возможно исполнение мостов с рабочей температурой охлаждающей воды до 70 °C.

### Стандартные конфигурации секций тиристорных

По желанию заказчика могут быть разработаны любые конфигурации с различным типом резервирования 100% или N-1, с максимальным числом параллельно соединенных единичных мостов равным 6.

Количество мостов	Резервирование	$U_i, V_{AC}$	$I_{EN}, A_{DC}$
1+1	100%	1000	3500
3+3	100%	1250	4400
4	N-1	1250	7000

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Современные системы автоматического управления и регулирования возбуждения – это цифровые комплексы, основанные на высокопроизводительных быстродействующих микроконтроллерах.

## Регулятор возбуждения

Главным элементом этих систем является цифровой автоматический регулятор возбуждения (APB). Его основное назначение – реализация алгоритмов устойчивого регулирования напряжения энергетических машин во всех эксплуатационных режимах с заданной точностью в пределах диаграммы мощности генераторов.

Наиболее современным на сегодняшний день является регулятор возбуждения AVR-45M. Эта модель регулятора оптимизирована для реализации проектов модернизации морально и физически устаревших аналоговых регуляторов возбуждения и корректоров напряжения. Регулятор AVR-45M за счет монолитного исполнения аналогового и дискретного интерфейсов позиционируется как бюджетное техническое решение для генераторов средней и малой мощности. Для использования



Регулятор возбуждения AVR-45M

в системах возбуждения типа СБД регулятор оснащен встроенным контролем исправности диодного вращающегося выпрямителя и якоря возбудителя, поддерживает все современные протоколы обмена с автоматизированными системами верхнего уровня на базе интерфейса Ethernet.

Наиболее широко используемым сегодня регулятором является регулятор AVR-4M. Это устройство обладает гибкой распределенной архитектурой, включающей блоки аналогового и дискретного ввода-вывода, и может быть оперативно настроено под решение индивидуальных проектных задач, которые возникают в системах возбуждения различного типа. Для реализации обмена с автоматизированными системами верхнего уровня в регуляторе наряду с широко распространенным протоколом Modbus/TCP предусмотрен канал связи по протоколу МЭК-61850.



Регулятор возбуждения AVR-4M

Все APB, применяемые в системах возбуждения производства «Силовых машин», имеют необходимые сертификаты соответствия требованиям ГОСТ 21558-2000 и СТО 59012820.29.160.20.001-2012.

## Базовые функции APB:

регулирование напряжения генератора в автоматическом режиме по ПИД-закону с заданной точностью и статизмом;

ПИ-регулирование тока ротора в ручном режиме;

ограничение токов ротора и статора генератора как по величине, так и по допустимому времени перегрузки;

ограничение минимального возбуждения генератора по условиям устойчивости, а также

с целью предотвращения перегрева его торцевой зоны при недовозбуждении;

поддержание допустимого для блочного трансформатора соотношения напряжение/частота (В/Гц);

регулирование коэффициента мощности или реактивной мощности;

импульсно-фазовое управление тиристорным преобразователем;

осуществление мягкого старта и включения генератора в сеть методами точной синхронизации и самосинхронизации;  
реализация алгоритма начального возбуждения и контроля в процессе начального возбуждения;  
реализация алгоритма безударного перехода с основного канала регулирования на резервный;

системная стабилизация с целью демпфирования колебаний мощности синхронной машины, возникающих вследствие послеаварийных качаний в энергосистеме.

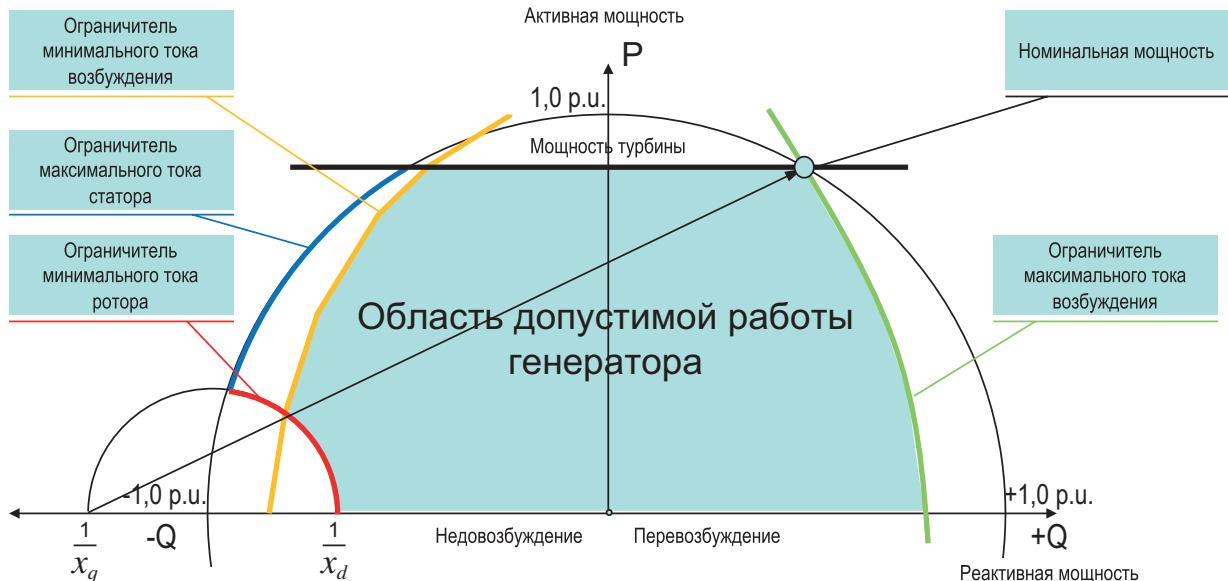


Диаграмма мощности синхронной машины с ограничителями

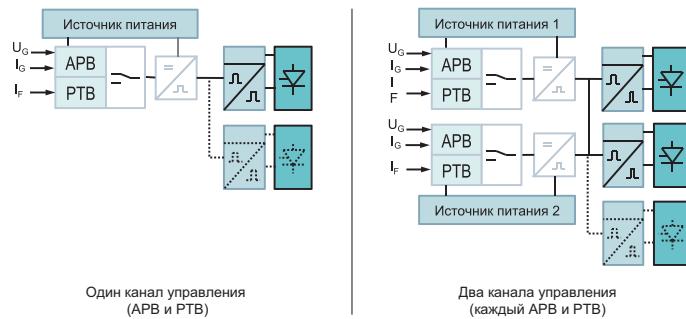
Применение системного стабилизатора позволяет также сохранить высокий коэффициент синхронизирующего момента, достигнутый за счет большого усиления регулятора напряжения, и восстановить демпфирующий момент синхронной машины. Выходной сигнал системного стабилизатора (PSS) суммируется с сигналом канала регулирования напряжения и позволяет эффективно демпфировать колебания в системе при использовании как статических, так и бесщеточных систем возбуждения.

Регуляторы возбуждения могут быть оснащены стабилизаторами различных типов:

системным стабилизатором, формирующими сигналы стабилизации как сумму сигналов изменения частоты, производной частоты и производной тока ротора;  
стабилизаторами на основе структур, предусмотренных международным стандартом IEEE 421.5-2016, использующими в качестве входных сигналов частоту и электрическую мощность.

## Резервирование каналов регулирования

Автоматическое слежение обеспечивает безударное переключение как между модулями регулирования, так и между автоматическим (APB) и ручным (PTB) регуляторами.

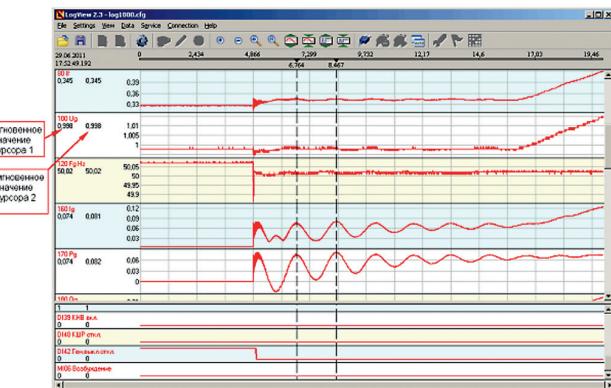
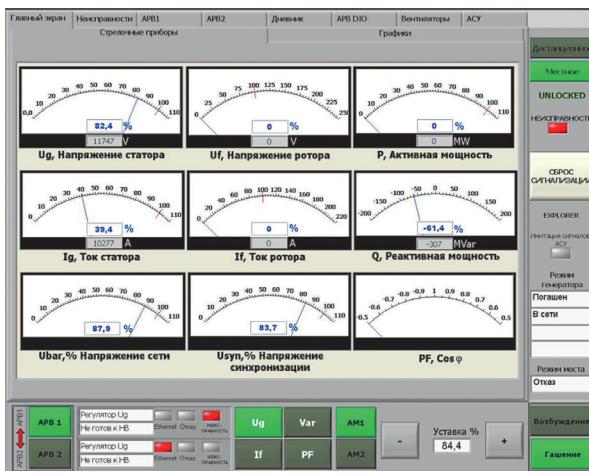


## Регистратор аварийных событий

Регистратор аварийных событий, встроенный в APB, предназначен для записи переходных процессов и измеряемых переменных состояния системы возбуждения и генератора, а также расчетных параметров APB. Для 24 аналоговых сигналов для каждой переменной могут быть заданы условия срабатывания: превышение, снижение заданного порога. Для 16 дискретных сигналов для каждой переменной могут быть заданы условия срабатывания: переход 0 – 1, переход 1 – 0, изменение значения, при сохранении параметром заданного уровня. Количество записанных осциллографов ограничено только свободным пространством на диске встраиваемого компьютера. Регистратор оцифровывает все сигналы с частотой 1000 Гц, время предыстории 5 с, размер одного события от 20 до 60 с

## Интерфейс оператора

Для управления параметрами системы возбуждения и генератора, просмотра диагностической информации и многих других технологических функций используется панельный промышленный компьютер, оборудованный сенсорным экраном диагональю от 15 до 19 дюймов. Взаимодействие с пользователем осуществляется при помощи интуитивно понятного и функционально богатого графического интерфейса.



Технологические функции системы управления и регулирования:

прием и передача дискретных и аналоговых сигналов систем автоматизации электростанции;

мониторинг тиристорного преобразователя и его компонентов;

контроль температуры обмотки ротора (только для статических систем);

контроль исправности выпрямительного трансформатора или возбудителя;

местное управление возбуждением;

наглядное отображение на дисплее текущей информации о состоянии системы возбуждения и хранение информации о неисправностях;

модификация параметров регулирования и мониторинга.

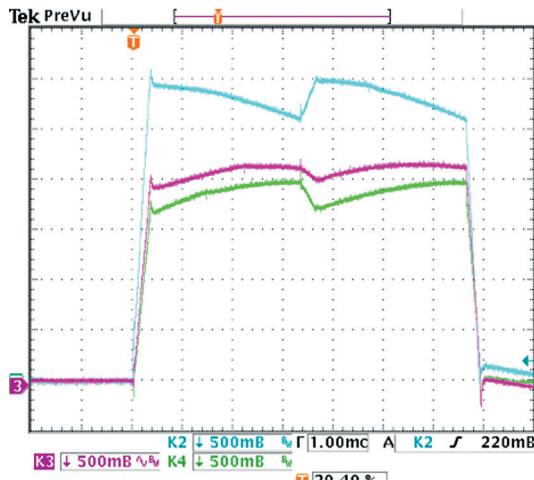
Обеспечение интерфейса с оператором и системой управления высшего уровня посредством последовательного канала, поддерживающего различные протоколы.

## Электронная система выравнивания нагрузок параллельно включенных тиристоров

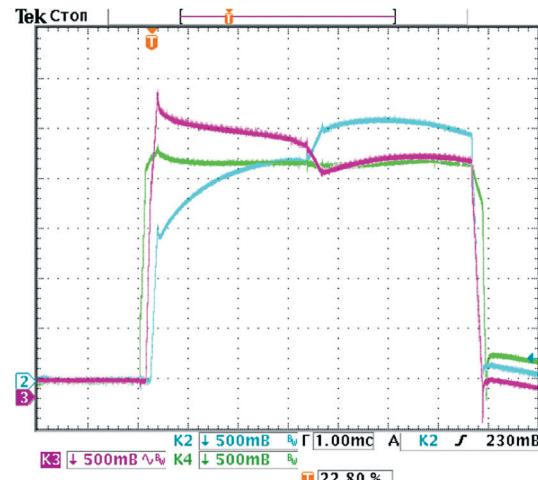
Электронная система осуществляет выравнивание токов, протекающих через параллельно включенные тиристоры силового преобразователя, с точностью не хуже 2,5%. В основе системы лежит метод задержки управляющего импульса на открытие каждого тиристора (см. рисунок).

Система использует современную микропроцессорную элементную базу, алгоритм динамического выравнивания – пропорционально-интегрального типа. Конструктивно система выравнивания нагрузок выполнена в виде кассеты с контроллерами токораспределения и драйверами тиристоров.

Пример осциллограмм токов через три параллельно включенных тиристора:  
выравнивание выключено и выравнивание включено



Выравнивание выключено



Выравнивание включено

Применение этой электронной системы позволяет получить следующие преимущества:

не требуется тщательный подбор параллельно работающих тиристоров по прямому падению напряжения;

в три раза снижается неравномерность загрузки тиристоров по току, по сравнению с индуктивными делителями;

поддерживается заданная точность выравнивания нагрузок тиристоров во всем диапазоне тока ротора (исключение составляет зона прерывистых токов);

возможна реализация режима выравнивания температуры тиристоров;

снижены габариты тиристорного преобразователя за счет отсутствия в нем индуктивных делителей тока;

увеличение нагрузочной способности единичного моста.

# КОНТРОЛЬ ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Устройство контроля вращающегося выпрямителя (УКВВ) предназначено для дистанционного контроля состояния диодных блоков вращающегося выпрямителя бесконтактным способом, а также для обнаружения двух- или трехфазных замыканий на переменной стороне вращающегося выпрямителя и принятия решений о допустимости его работы в текущем режиме. Контроль осуществляется посредством нескольких датчиков, установленных непосредственно на электрической машине: датчик начального отсчета; датчик тока ветви вращающегося выпрямителя (см. рисунок). Уникальной в общемировой практике опцией является отображение на экране панельного компьютера значения протекающего тока через каждый диодный блок с высокой точностью, что позволяет прогнозировать кривую деградации для каждого диодного блока и своевременно произвести их замену.

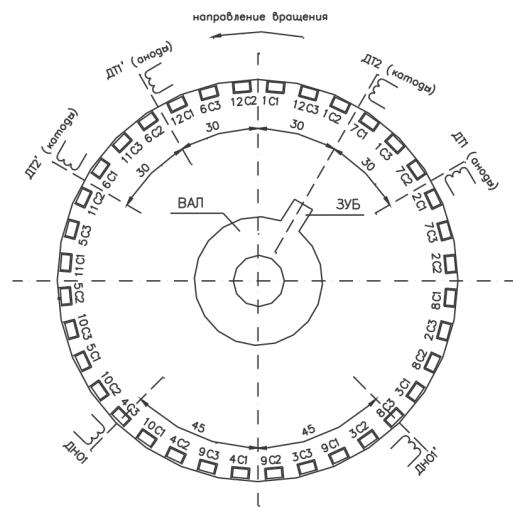
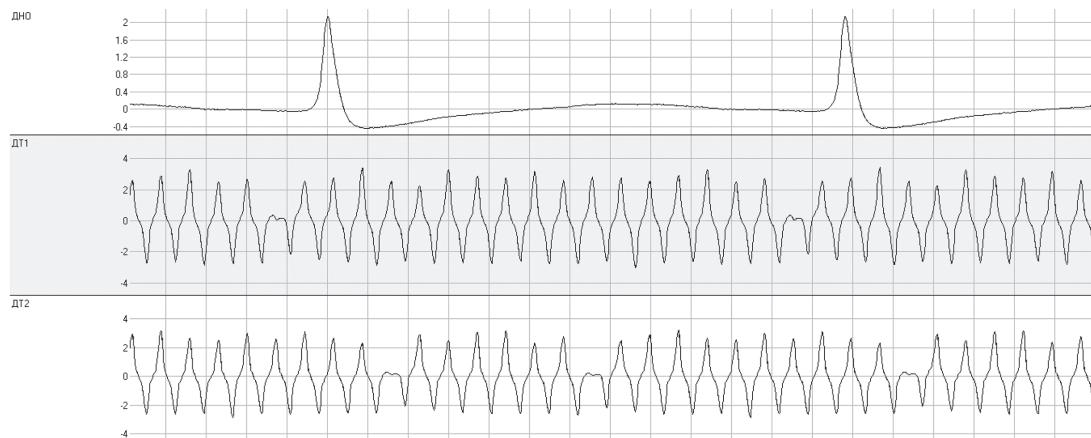


Схема расположения ветвей, датчиков начального отсчета (ДНО1) и датчиков тока (ДТ1, ДТ2) основного и резервного (ДНО1', ДТ1', ДТ2') каналов на БВД 4600



Форма сигналов с датчиков контроля возбудителя  
(отключены 3 диодных блока)

# ЗАЩИТЫ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

В системах возбуждения предусмотрены следующие защиты:

цепей ротора от замыкания на землю в одной точке (снижения изоляции);  
цепей ротора от перенапряжений посредством тиристорного разрядника;  
при пробое диодов вращающегося выпрямителя бесщеточных систем;  
от перегрузки обмотки ротора (интегральная характеристика);  
от неограниченной по времени форсировки;  
от неограниченной по кратности форсировки;

от короткого замыкания на шинах постоянного тока;  
при неуспешном инвертировании возбуждения;  
максимальная токовая выпрямительного трансформатора;  
токовая отсечка выпрямительного трансформатора;  
от превышения допустимой температуры выпрямительного трансформатора.

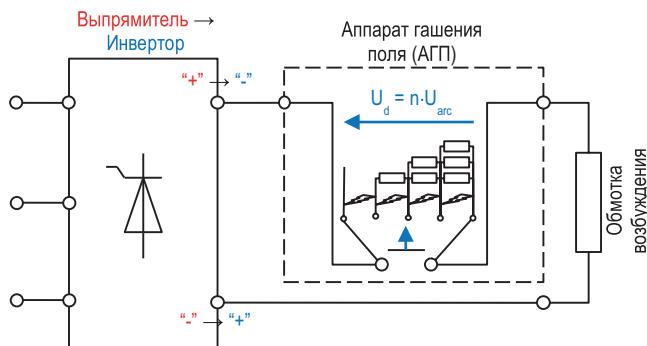


Опционально система возбуждения может оснащаться терминалами защит (встраиваются в щит возбуждения) или шкафами защит производства ООО НПП «ЭКРА» с возможностью расширения списка реализуемых защитами:

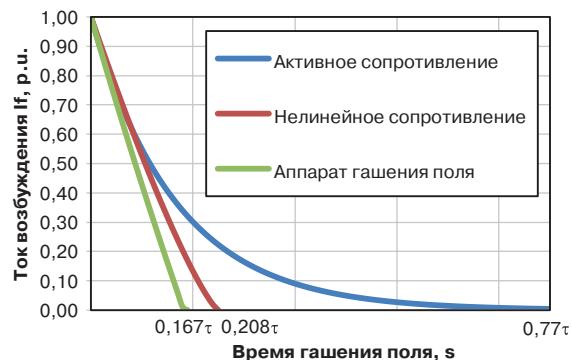
от повышения напряжения генератора на холостом ходу;  
от перевозбуждения генератора;  
от потери возбуждения генератора;  
от асинхронного хода генератора;  
от понижения частоты на холостом ходу.

# АППАРАТ ГАШЕНИЯ ПОЛЯ

Необходимость гашения поля часто встречается в условиях нормальной эксплуатации. Однако этот процесс приобретает особое значение при аварийных режимах, вызванных повреждениями изоляции на выводных зажимах или внутри самого турбо- или гидрогенератора. В таком случае гашение поля становится единственным способом, который может ограничить размеры аварии и спасти обмотку от полного сгорания. Размеры аварии определяются не только величиной тока, но и продолжительностью короткого замыкания. Они становятся тем меньше, чем быстрее осуществляется гашение поля. Оптимальными являются условия гашения поля возбуждения, при которых продолжительность процесса имеет наименьшую величину, а уровень напряжения на кольцах ротора безопасен для изоляции, что достигается при сохранении падения напряжения на разрядном сопротивлении при изменяющемся по величине токе. Остальные распространенные методы, такие как гашение поля на активное или нелинейное сопротивление, не дают такого быстродействия, как аппарат гашения поля.



В аппарате гашения поля в роли разрядного сопротивления выступает электрическая дуга, горящая между пластинами дугогасительной решетки, падение  $U_{arc}$  на каждом из таких промежутков составляет около 30 В и остается практически постоянным в широком диапазоне токов. Процесс протекает так,



как будто бы в цепь была внезапно введена постоянная э.д.с., равная  $U_d = n U_{arc}$  и направленная против э.д.с. возбудителя, где  $n$  – это количество пластин дугогасительной решетки. Энергия, накопленная в роторе, преобразуется в энергию дуги, которая преобразуется в тепло медными пластинами решетки.

Тип	Номинальный ток, А	Номинальное напряжение, В	Габаритные размеры (Ш×В×Г), мм	Масса, кг
АГП 12	1250		420×730×239	50
АГП 16	1600		512×940×313	140
АГП 30	3200		630×940×313	150
АГП 40	4000	660	820×1063×405	288
АГП 60	6300		820×1063×405	300
АГП 60-62	4400		820×1400×405	550



## АО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

Управление систем автоматического  
управления и систем возбуждения

Тел.: +7 (812) 333 02 53

[dnpp@power-m.ru](mailto:dnpp@power-m.ru)