

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ, СЕТИ И СИСТЕМЫ»

На правах рукописи

Арифжанова Инесса Кабировна

**Системы автоматического регулирования возбуждения
синхронных генераторов**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на соискание степени бакалавра по направлению
5520200 – «Электроэнергетика»

Зав.кафедрой:

доц. Гайибов Т.Ш.

Руководитель:

проф. Аллаев К.Р.

Ташкент – 2014 г.

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе исследованы различия схем автоматического регулирования возбуждения, принципы регулирования и задачи регулирования. Рассчитан переходный процесс на выводах синхронного генератора и приведены результаты расчетов на графиках.

СОДЕРЖАНИЕ	
ВВЕДЕНИЕ	4
I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН	6
1.1. Системы возбуждения синхронных генераторов.....	8
1.2. Системы возбуждения синхронных машин.....	10
1.3. Электромашинная система возбуждения с возбудителем постоянного тока.....	11
1.4. Электромашинная система возбуждения с высокочастотным генератором переменного тока.....	13
1.5. Возбудители тиристорные для синхронных машин.....	17
II. ТОКОВОЕ КОМПАУНДИРОВАНИЕ	21
2.1. Устройство токового компаундирования.....	21
2.2. Электромагнитный корректор напряжения.....	23
III. МОДЕЛИ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ	26
3.1 Обобщенная модель регулятора.....	26
3.2 Идеально регулируемый генератор.....	31
3.3 Типы систем возбуждения.....	35
3.4 Типы АРВ.....	40
3.5 Модель АРВ.....	44
3.6 Модель форсировки возбуждения.....	50
IV. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	53
4.1. Вопросы санитарии.....	53
4.2. Эргономика.....	58
4.3. Электрическая безопасность.....	61
4.4. Пожарная безопасность.....	62
V. ЭКОЛОГИЯ	66
5.1 Защита от шума.....	66
5.2 Защита от вибрации.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	74
ЛИТЕРАТУРА	77

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы трансформации структуры Единой энергетической системы, усложнение условий эксплуатации энергосистем, наличие крупных атомных электростанций с базисным режимом работы и ухудшенными динамическими характеристиками, трудности учета многообразия режимов электростанций и другие причины привели к тому, что управление режимами энергосистем значительно усложнилось. В этих условиях обеспечение параллельной работы энергосистем и одновременное выполнение заданных нормативов статической и динамической устойчивости предъявляют повышенные требования как к принципам и точности управления нормальными, аварийными и послеаварийными режимами энергосистем, так и к аппаратной реализации устройств противоаварийной автоматики, а также их эксплуатации в действующих энергосистемах.

В современных энергосистемах (ЭЭС) должна обеспечиваться высокая эффективность противоаварийного управления для различных условий функционирования и с учетом индивидуальных особенностей ЭЭС:

структуры сети ЭЭС, жесткости ее связей с Единой Энергосистемой, возможности реверса потоков мощности по системообразующим ЛЭП;

режимных и структурных различий для всех характерных режимов года — зимнего максимума нагрузки, периода паводка ГЭС, летнего минимума нагрузки;

специфики нетиповых ремонтных схем или нерасчетных режимов при выборе режимных параметров настройки противоаварийной автоматики (ПА).

Широкий спектр учитываемых факторов свидетельствует о многообразии требований, предъявляемых к устройствам ПА, алгоритмам их функционирования.

Поэтому анализ режимов и устойчивости энергосистем представляет собой неотъемлемую часть работы по созданию систем ПА, которые по структуре исполнения являются иерархическими. Системы ПА должны

оказывать дозированные воздействия на ЭЭС, чтобы обеспечивать локализацию и ликвидацию аварийных режимов, а также минимизировать ущербы от аварий.

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ УСТРОЙСТВАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

Напряжение является показателем качества электроэнергии. Отклонение напряжения в ту или иную сторону от номинального значения ухудшает условия работы энергоприемников потребителей: снижается производительность механизмов и КПД установок, сокращается срок службы электрооборудования, появляется брак выпускаемой продукции и прочее. Поэтому в нормальном режиме работы системы электроснабжения допускается отклонение напряжения у потребителей не более чем на $\pm 5\%$ номинального значения. В ненормальном (послеаварийном) режиме работы допускается снижение напряжения не более чем на 10% номинального.

Напряжение зависит от различных факторов, воздействуя на которые, можно поддерживать заданное его значение.

Напряжение на шинах низшего напряжения приемной подстанции (рис.1.1), т.е. на шинах, от которых получают питание потребители:

$$U_{II} \approx (U_{ЭС} - \frac{PR + Qx}{U_{ЭС}}) \cdot \frac{1}{n_T}, \quad (1.1)$$

где $U_{ЭС}$ - напряжение на шинах высшего напряжения электростанции; P , Q - активная и реактивная мощности, поступающие к подстанции; R , x - активное и реактивное сопротивления линии и трансформатора приемной подстанции; n_T - коэффициент трансформации понижающего трансформатора.

Из (1.1) видно, что напряжение U_{II} зависит от напряжения на шинах электрической станции, перетока мощности по ВЛ и коэффициента трансформации трансформатора понижающей подстанции. Следовательно, воздействовать на напряжения у потребителей можно, изменяя:

- напряжение на шинах электростанции $U_{ЭС}$;
- реактивную мощность Q , передаваемую по линии;

- коэффициент трансформации n_T трансформатора понижающей подстанции.

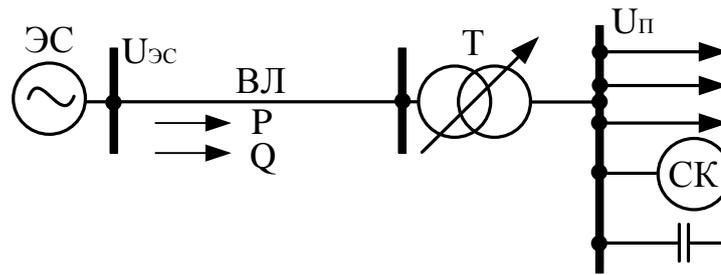


Рисунок 1.1. – Схема электроснабжения

Регулировать значение $U_{Эс}$ и изменять значение Q можно путем изменения тока возбуждения генераторов станции, а также синхронных компенсаторов и двигателей системы электроснабжения. Эту задачу выполняют устройства автоматического регулирования возбуждения (АРВ) синхронных машин.

Устройства АРВ могут быть выполнены на основе двух различных принципов автоматического управления. Первый принцип предусматривает создание разомкнутой автоматической системы управления, т.е. системы управления по возмущающему воздействию. Применительно к АРВ синхронных машин это означает, что возбуждение машины автоматически изменяется в зависимости от значения параметра возмущающего воздействия, влияющего на напряжение на зажимах машины. Если, например, в качестве возмущающего воздействия на вход АРВ подается значение тока статора $I_{ст}$, то АРВ носит название токового компаундирования. Если в качестве возмущающих воздействий учитываются ток статора и фазовый сдвиг тока статора по отношению к напряжению статора, то имеет место фазовое компаундирование синхронной машины.

В соответствии со вторым принципом АРВ выполняется в виде замкнутой автоматической системы управления и представляет собой регулятор по отклонению напряжения, который реагирует на разность фактического и заданного значений напряжения статора синхронной

машины и, воздействуя на систему возбуждения машины, стремится свести эту разность к нулю.

АРВ синхронной машины представляет собой, как правило, совокупность устройства компаундирования и регулятора (или корректора) напряжения.

1.1. Системы возбуждения синхронных генераторов

Система возбуждения и регулирования синхронных машин – это машины и аппараты, создающие ток возбуждения и необходимый поток, для преобразования энергии и управления ими. Система возбуждения синхронных машин состоит из обмотки ротора генератора или двигателя, источника напряжения постоянного тока, подводимого к обмотке ротора и коммутационной аппаратуры.

Влияние системы возбуждения на характер переходного процесса весьма существенен. Поэтому возбудители генераторов должны обеспечивать:

- необходимую мощность возбуждения как в нормальных эксплуатационных, так и в аварийных режимах;
- изменение тока ротора генератора по заданному закону при автоматическом или ручном регулировании возбуждения;
- возможно более высокий потолок возбуждения;
- максимально возможную скорость нарастания тока ротора, что особенно важно для крупных генераторов.

Однако при быстром изменении параметров режима (например, посадка U при к.з.) действие системы возбуждения неизбежно запаздывает, поскольку обмотки возбуждения и возбудителя и генератора обладают самоиндукцией – электромагнитной инерцией, благодаря которой ток в этих обмотках изменяется по экспоненциальному закону.

Автоматические регуляторы возбуждения (АРВ) должны поддерживать величину напряжения генератора по возможности неизменной независимо от колебаний нагрузки и обеспечить устойчивую

работу в электрической системы при различных возмущениях в ней и подавлять качания как отдельных генератора, так и системы в целом.

Рассмотрим структурную схему работы АРВ (рис.1.1).

Допустим по какой либо причине уменьшилось напряжение генератора U_G , тогда это изменение передается в преобразовательный элемент (ПЭ). Поданное напряжение преобразуется в постоянное и передается в измерительный элемент (ИЭ), где происходит сравнение реального значения напряжения с эталонным U_0 или номинальным напряжением и определяется разность $\Delta U = U_G - U_0$. В зависимости от знака и величины ΔU вырабатывается сигнал, который обрабатывается в усилительном элементе (УЭ) и далее воздействие оказывается на исполнительный элемент (ИсЭ). В результате регулирования тока возбуждения напряжение генератора изменяется до тех пор, пока не выполнится условие $\Delta U = 0$, т.е. значение напряжение генератора будет равным номинальному (эталонному), или же вернется к первоначальному значению. Отметим, что независимо от типа и системы регулирования усилительным элементом является подвозбудитель, а исполнительным – возбудитель.

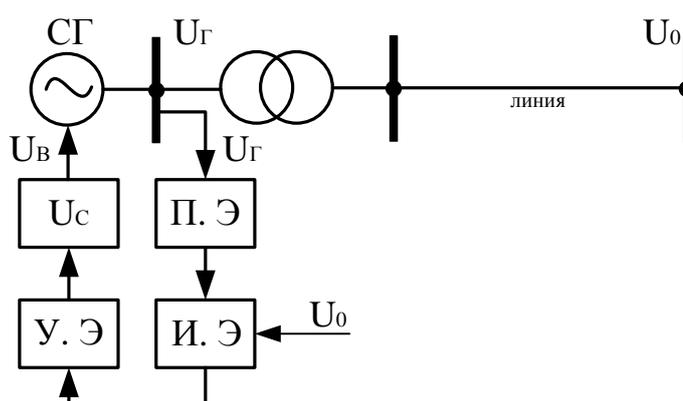


Рис.1.1. Структурная схема автоматического регулирования возбуждения синхронного генератора.

Если измерительный элемент реагирует на любое сколь угодно малое отклонение U_G , т.е не обладает нечувствительностью, то система АРВ носит название системы без зоны нечувствительности.

Если измерительный элемент содержит механические устройства и в силу инерционности не может реагировать на некоторые малые изменения U_G , то система АРВ носит название системы с зоной нечувствительности.

Необходимо подчеркнуть, что регуляторы, имеющие механические движущиеся части, обязательно обладают зоной нечувствительности.

Автоматические регуляторы возбуждения, реагирующие на знак и величину отклонения регулируемого параметра режима, называются регуляторами пропорционального типа (АРВ-П).

На современных крупных генераторах электростанций, связанных с энергосистемой длинными линиями электропередачи, применяется более сложные АРВ, так называемые регуляторы сильного действия (АРВ-С). Эти АРВ регулируют ток и напряжение возбуждения генератора по сложному закону, реагируя не только на знак и величину изменения U_G и I и других параметров режима, но также на скорость их изменения.

1.2 Системы возбуждения синхронных машин.

В зависимости от источников энергии, используемых для питания постоянным током обмотки ротора, системы возбуждения подразделяют на группы:

- электромашинное возбуждение с возбудителем постоянного тока;
- электромашинное возбуждение от генератора переменного тока с преобразованием его в постоянный ток;
- самовозбуждение путем преобразования части электрической энергии переменного тока турбогенератора в энергию постоянного тока.

Ко всем системам возбуждения предъявляют следующие важные требования:

- устойчивое автоматическое регулирование тока возбуждения в любых режимах, в том числе и при авариях в энергосистемах;

- быстрое действие и обеспечение форсировки возбуждения (потолочное напряжение возбуждения для турбогенераторов должно быть не менее 2—2,5 от номинального значения);
- быстрое гашение магнитного поля без появления перенапряжений в обмотке возбуждения при оперативных отключениях генератора, а также в случае аварий в генераторе.

Конструкцию устройств и элементов входящих в схему возбуждения, рассчитывают с учетом перечисленных требований, выполнение которых позволяет улучшить работу не только турбогенератора, но и энергосистемы в целом.

1.3 Электромашинная система возбуждения с возбудителем постоянного тока.

Генератор постоянного тока в качестве основного источника энергии возбуждения широко применялся для турбогенераторов мощностью до 120 МВт. Соединен возбудитель муфтой непосредственно с валом турбогенератора, поэтому данная система возбуждения является независимой от напряжения на выводах генератора. Достоинствами системы являются относительная простота, малая стоимость и высокая надежность. К существенным недостаткам электромашинной системы возбуждения с возбудителем постоянного тока относятся большие постоянные времени (0,3—0,6 с), низкий потолок возбуждения (не более $2U_{в.н}$) и, соответственно, небольшие скорости подъема возбуждения (1,5—2,5 ед. возб/с). Из-за этих недостатков рассматриваемая система возбуждения применяется в настоящее время только для турбогенераторов мощностью до 60 МВт.

Коллекторные возбудители постоянного тока объединены в серию, обозначенную ВТ.

Возбудитель является четырех- или шестиполюсной машиной с воздушным охлаждением. На главных полюсах расположены основная и дополнительная обмотки возбуждения. В наконечники полюсов

встроена компенсационная обмотка. Генераторы постоянного тока типа ВТ имеют, как правило, параллельное возбуждение.

Принципиальная схема рабочей системы возбуждения с возбудителем постоянного тока показана на рис. 1.1. Обмотка якоря возбудителя В подключена к обмотке возбуждения турбогенератора ОВГ.

Реостат РР, включенный последовательно с основной обмоткой возбуждения ОВВ, позволяет вручную регулировать напряжение возбудителя. Изменением тока в дополнительной обмотке возбуждения ДОВВ, подключенной к автоматическому регулятору возбуждения АРВ, осуществляется поддержание заданного уровня напряжения турбогенератора.

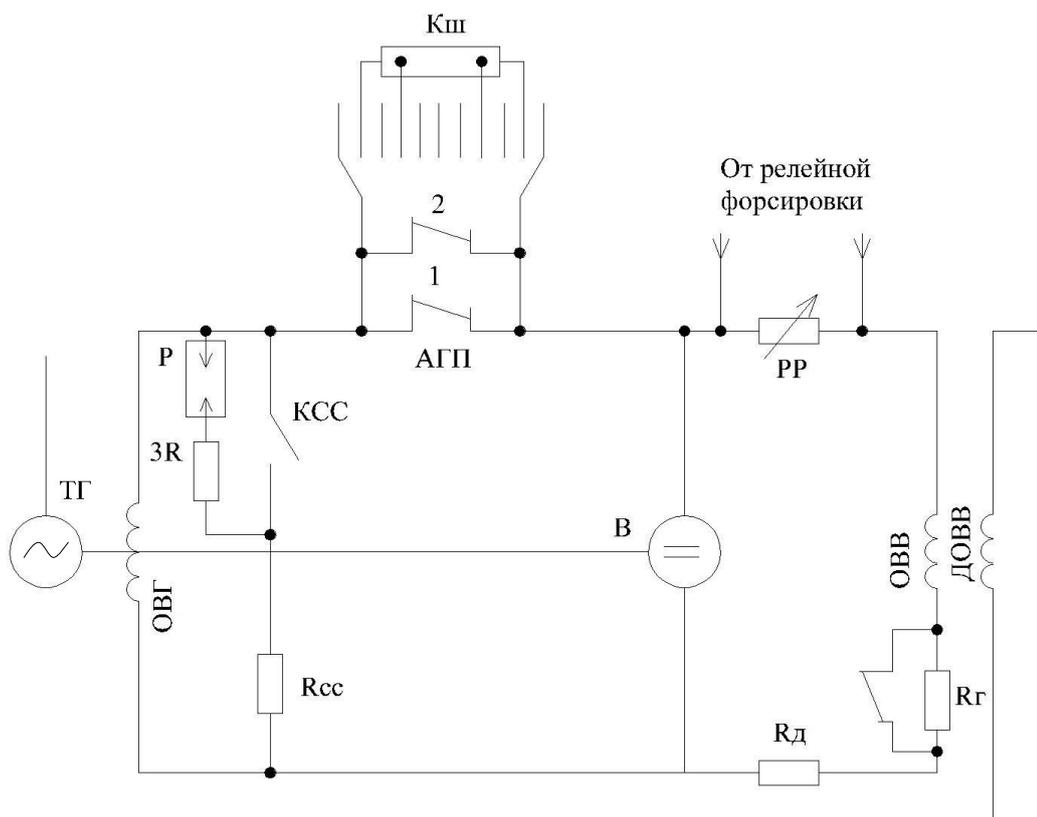


Рисунок 1.1 Система возбуждения с электромашинным возбудителем постоянного тока.

Добавочный резистор R_d ограничивает максимальное напряжение возбуждения и предотвращает тем самым появление «кругового огня» на коллекторе возбудителя в режиме форсировки. Контакт КСС и

резистор $R_{сс}$ используются при включении турбогенератора в сеть способом самосинхронизации. Разрядник P и резистор $3R$ защищают обмотку возбуждения турбогенератора от перенапряжений. Регулировочный реостат PP шунтируется специальным контактором в режиме форсировки. Для быстрого гашения магнитного поля в схеме установлен автомат гашения поля АГП.

Тихоходные возбудители с приводом от асинхронного двигателя нашли более широкое распространение, но в качестве резервной системы возбуждения. Питание асинхронных двигателей осуществляется от шин 6 кВ собственных нужд, поэтому такая система возбуждения является зависимой. На электростанциях с блоками мощностью 60 и 100 МВт устанавливают один резервный возбудитель на станцию, а с блоками мощностью 150 МВт и выше— по одному на четыре турбогенератора. Недостатком тихоходных возбудителей является малое быстродействие возбуждения при форсировке. Для уменьшения влияния на работу резервной системы возбуждения снижения напряжения на шинах собственных нужд станции при авариях в системе на валу асинхронного двигателя устанавливают маховик, создающий запас кинетической энергии.

1.4 Электромашинная система возбуждения с высокочастотным генератором переменного тока.

Система возбуждения от вспомогательного генератора переменного тока частотой 500 Гц с последующим преобразованием его в постоянный ток статическими выпрямителями позволяет осуществить высокий потолок возбуждения (до четырехкратного) и может быть выполнена для турбогенераторов большой мощности. Такой системой возбуждения оборудованы генераторы серии ТВВ мощностью до 320 МВт. В качестве возбудителя переменного тока используются синхронные высокочастотные индукторные генераторы типа ВГТ.

Соединяется индукторный генератор непосредственно с валом ротора турбогенератора. На статоре генератора расположены трехфазная обмотка переменного тока, две независимые и одна последовательная обмотки возбуждения постоянного тока. Ротор обмоток не имеет и представляет собой десятизубцовый сердечник, набранный из листов электротехнической стали. Таким образом, ротор индукторного генератора образует зубчатую магнитную систему, создающую при частоте вращения 3000 об/мин пульсацию магнитного потока с частотой 500 Гц. Охлаждение возбuditеля косвенное, воздушное. Четыре вертикальных воздухоохладителя встроены в корпус статора. На фундаментной плите возбuditеля на изолированной подставке установлен подвозбудитель, представляющий собой трехфазный синхронный генератор с постоянными магнитами. Подвозбудитель служит для питания обмоток возбуждения индукторного генератора через выпрямительное устройство. Высокочастотный возбuditель имеет двастояковых подшипника с принудительной циркуляцией масла, подаваемого от масляной системы турбины.

Подшипники изолированы от фундаментной плиты и от напорного и сливного маслопроводов. Отсутствие обмоток на вращающемся роторе возбuditеля существенно повышает надежность системы возбуждения, так как скользящий контакт в виде контактных колец и щеток отсутствует. Электрическая схема электромашинной системы возбуждения переменного тока для турбогенераторов серии ТВВ мощностью 165—320 МВт показана на рис. 1.1.

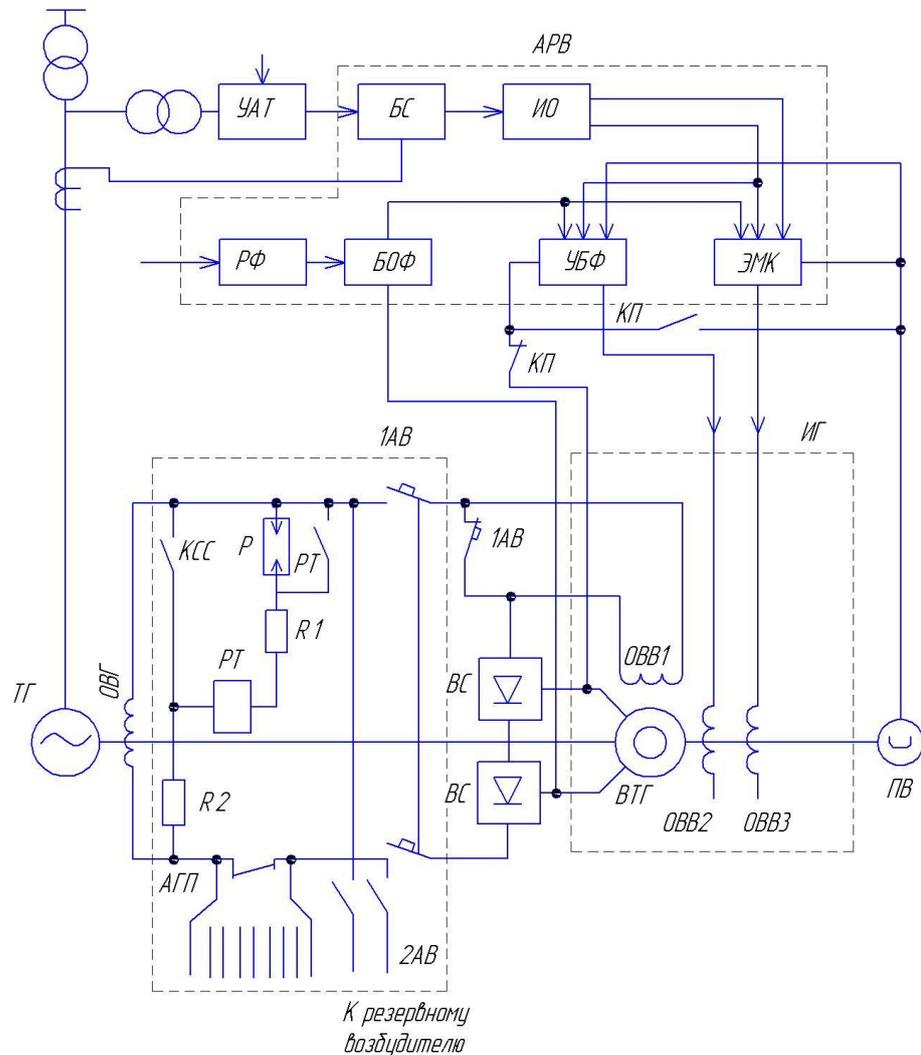


Рис. 1.1. Система возбуждения с высокочастотным возбудителем.

ВГТ — возбудитель; ПВ — подвозбудитель; ТН — трансформатор напряжения; ТТ — трансформатор тока; УАТ — установочный автотрансформатор; КП — контактор начального пуска; КСС — контактор самосинхронизации; ОБВ1, ОБВ2, ОБВ3 — обмотки возбуждения возбудителя; R1, R2 — резисторы; РТ — реле токовое; Р — разрядник; 1АВ, 2АВ — автоматы рабочего и резервного возбуждения; блоки АРВ (БС — блок статизма; ИО — измерительный орган; РФ - схема расфорсировки; УБФ — устройство бесконтактной форсировки; ЭМК. — электромагнитный корректор; ЛЭ, НЛЭ — входы линейного и нелинейного элементов измерительного органа АРВ)

Трехфазная обмотка статора имеет две независимые ветви, соединенные со своими выпрямителями ВС, собранными по мостовой схеме. Выпрямители питают постоянным током обмотку ротора ОБГ

турбогенератора. Магнитное поле возбуждения в индукторном генераторе создается его обмотками ОВВ1, ОВВ2 и ОВВ3. Обмотка возбуждения ОВВ1 соединена последовательно с обмоткой возбуждения турбогенератора. Независимые обмотки возбуждения ОВВ2 и ОВВ3 используются для автоматического регулирования возбуждения, при этом обмотка ОВВ2 включена согласно с последовательной ОВВ1, а обмотка ОВВ3 — встречно. Наибольшей МДС обладает обмотка ОВВ1, и ее последовательное включение создает компаундирование по току нагрузки, а при переходных процессах позволяет использовать компаундирование по свободному току в обмотке ротора турбогенератора. Кроме того, поскольку через последовательную обмотку проходит весь ток ротора, удастся снизить мощность регулирования обмоток ОВВ2 и ОВВ3.

При форсировке возбуждения встречно направленная МДС обмотки ОВВ3 уменьшается электромагнитным корректором, а МДС обмотки ОВВ2 возрастает благодаря увеличению тока на выходе устройства бесконтактной форсировки УБФ. С увеличением результирующей МДС обмоток возбуждения происходит форсированный рост ЭДС в трехфазной обмотке индукторного генератора и соответственно тока ротора. Для ограничения потолка возбуждения в схему введен блок ограничения форсировки (БОФ). При длительности форсировки более 20 с в схеме предусмотрено гашение поля возбуждения автоматом АГП и отключение генератора. Регулирование возбуждения и реактивной нагрузки турбогенератора производится установочным автотрансформатором УАТ.

Недостатками высокочастотной системы возбуждения являются относительно невысокое быстродействие, составляющее 2— 2,5 ед. возб/с (при глубоких снижениях напряжения — до 2,5— 4 ед. возб/с), и почти в два раза меньшее использование активных материалов в индукторном генераторе по сравнению с обычным синхронным генератором.

В крупных синхронных генераторах применяется электромашинная система возбуждения с управляемыми статическими выпрямителями (тиристорами).

В этой системе возбуждения в качестве возбудителя используется вспомогательный синхронный генератор частотой 50 Гц, расположенный на одном валу с турбогенератором. Переменный ток возбудителя выпрямляется статической установкой, состоящей из управляемых полупроводниковых кремниевых вентилей — тиристоров.

Управление тиристорами практически безынерционно, поэтому их использование обеспечивает малые постоянные времени системы возбуждения ($T_e < 0,02$ с) и высокое быстродействие (до 50 ед.возб/с) при потолке возбуждения до $4U_{в.н.}$. С системой независимого тиристорного возбуждения работают турбогенераторы серии ТВВ мощностью 500 и 800 МВт, 500 и 800 МВт, и предполагается ее установка на всех турбогенераторах этой серии мощностью 160—800 МВт.

1.5 Возбудители тиристорные для синхронных машин.

Тиристорные возбудители серии ВТ предназначены для возбуждения гидро- и турбогенераторов малой мощности, синхронных двигателей и компенсаторов. В комплект ВТ входит: трансформатор Т, автоматический выключатель QF, тиристорный преобразователь ТП со схемой управления, регулирования и защиты СУ, резистор самосинхронизации с R и тиристорный разрядник FA (рис. 1.1).

Типоразмер возбудителя ВТ-500Т дополнительно содержит выключатели для отключения основного и подключения резервного возбудителя.

Напряжение питания 380 В частотой 50 Гц; для типоразмеров ВТ-400, ВТ-500 и ВТ-500Т возможно напряжение питания 380 В или 6,3 и 10,5 кВ. Исполнение шкафа по степени защиты IP21, охлаждение воздушное естественное.

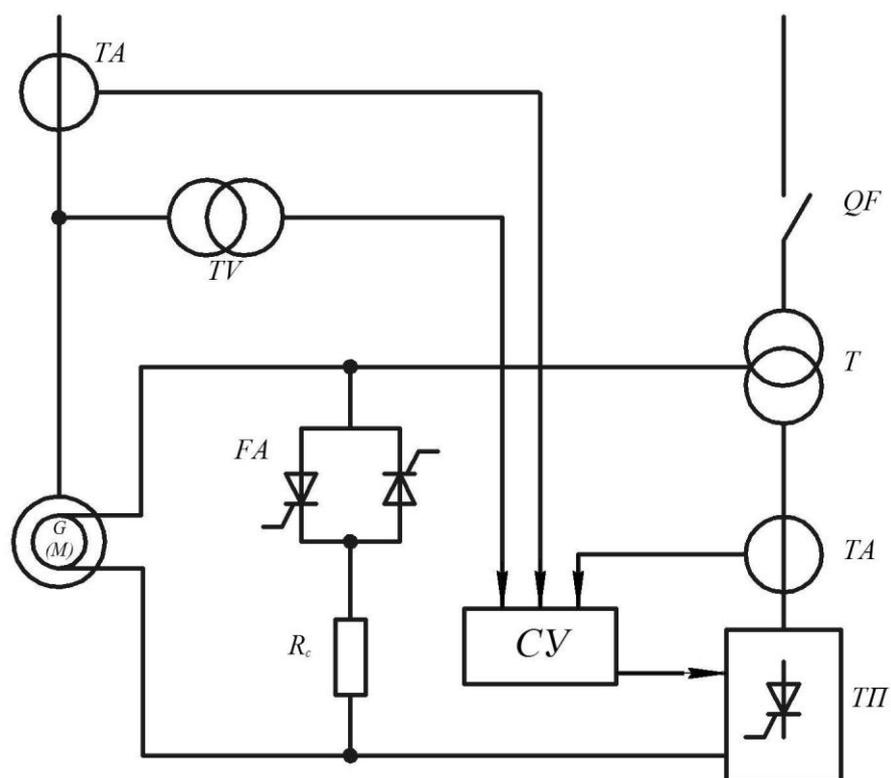


Рисунок 1.1 Функциональная схема тиристорного возбудителя серии ВТ

Для типоразмера ВТ-320 схема возбуждения независимая, для других типоразмеров — независимая или самовозбуждение.

Возбудители серии ВТ обеспечивают:

- автоматическую подачу возбуждения при пуске двигателя или включении генератора в сеть методом самосинхронизации в функции скольжения (для двигателей) или частоты и фазы ЭДС (для генераторов);
- постоянство заданного тока возбуждения с точностью $\pm 5\%$ при колебаниях напряжения питающей сети в диапазоне от 70 до 100 % от номинального;
- местное управление уставкой тока возбуждения;
- гашение тока возбуждения инвертированием при отключении двигателя или генератора от сети;
- ограничение минимального и максимального значений тока возбуждения.

Возбудитель обеспечивает защиту от короткого замыкания возбудителя и перегрева резистора самосинхронизации. Тиристорные возбудители серии ВТЕ (возбудитель тиристорный с естественным охлаждением). Возбудители предназначены для питания постоянным током обмотки возбуждения и управления этим током при прямом или реактивном пуске, синхронном вращении и аварийных режимах синхронных двигателей серий СТДМ, СТД, СДК, СДКП, СДГМ, ДС, ДСК.

Возбудители получают питание от трёхфазной сети частотой 50 Гц напряжением 380 В и частотой 60 Гц напряжением 440 В. Возбудители для высоковольтных двигателей конструктивно выполняются в шкафах со степенью защиты IP21, климатическое исполнение УХЛ, категория размещения 4. В возбудителе применена схема выпрямления трёхфазная с нулевым выводом.

Возбудители имеют ручной и автоматический способы регулирования возбуждения. Комплектно с возбудителем поставляются силовой согласующий трансформатор.

Тиристорные возбудители серии ТВУ обеспечивают:

- автоматическую подачу тока возбуждения в функции тока статора;
- форсировку тока возбуждения ном в $I_4 I_1$., при падении напряжения в сети на 15 – 20 % от номинального значения;
- ограничение напряжения возбуждения по его минимальному значению и тока возбуждения по его наибольшему значению;
- форсированное гашение поля ротора переводом выпрямителя в инверторный режим;
- защиту от внутренних и внешних коротких замыканий.

Тиристорный агрегат возбуждения типа АТВ предназначен для регулирования тока возбуждения мощных синхронных двигателей в приводах насосов, вентиляторов, компрессоров т.п. Он обеспечивает уверенный пуск двигателя с автоматической подачей возбуждения с

необходимой выдержкой времени; защиту при аномальных режимах и диагностику причин отключения; возможность регулирования тока возбуждения по значениям коэффициента мощности двигателя.

Технические данные агрегата:

Номинальный выпрямительный ток	250 А
Диапазон регулировки тока	140 – 260 А
Погрешность регулирования (не более) ...	2 %
Сопротивление пускового резистора	1,5 Ом
Напряжение питающей сети	380 В
Габаритные размеры шкафа	800×600×300 мм
Масса	50 кг

Агрегат обеспечивает управление возбуждением синхронного двигателя как в рабочем (синхронном) режиме, так и при асинхронном пуске.

Тиристорный агрегат имеет световую сигнализацию о наличии напряжения питания и причине аварийного отключения.

II. ТОКОВОЕ КОМПАУНДИРОВАНИЕ

2.1 Устройство токового компаундирования.

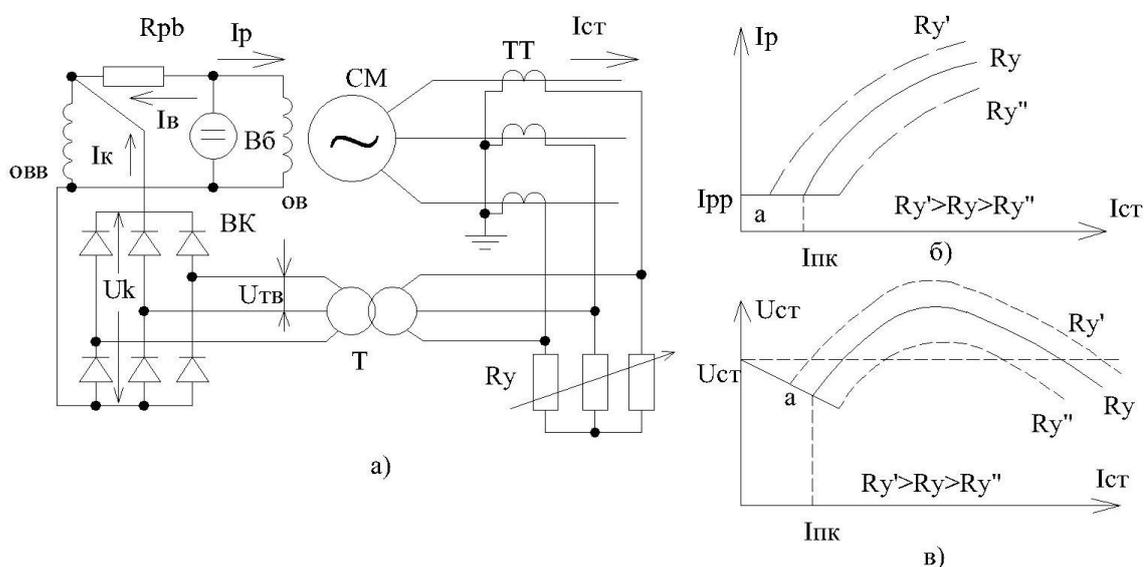


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема токового компаундирования (а); характеристика компаундирования (б) и внешняя характеристика (в) компаундированной машины.

Напряжение на шинах синхронной машины $U_{ст}$, работающей с перевозбуждением, т.е. в режиме выдачи реактивной мощности, снижается по мере увеличения тока статора $I_{ст}$.

Поскольку значение ЭДС E_q пропорционально току возбуждения, то, изменяя в соответствии с изменением тока статора ток ротора машины, можно поддерживать значение $U_{ст}$ приблизительно постоянным независимо от значения тока $I_{ст}$. Эту задачу и выполняет устройство токового компаундирования (УТК) (рис.2.1), которое состоит из выпрямителя ВК, подключенного через трансформатор Т ко вторичным цепям трансформаторов тока ТТ, установленных в статорной цепи регулируемой синхронной машины. Напряжение на выходе Т может изменяться путем изменения установочного сопротивления R_y . Выпрямленное напряжение U_K на выходе устройства токового

компаундирования, пропорциональное току статора, подводится к обмотке возбуждения оов возбуждителя Вб.

Зависимость напряжения U_K от тока I_{CT} регулируемой машины может быть представлена следующим образом:

$$U_K = \frac{R_y n_{TB} \beta_{BK}}{K_I} I_{CT}, \quad (2.1)$$

где K_I , n_{TB} - коэффициенты трансформации соответственно ТТ и ТВ; $\beta_{BK} = U_K/U_{tb}$ - коэффициент преобразования выпрямителя ВК.

Если

$$U_K \geq R_{OОВ} \cdot I_{B,0}, \quad (2.2)$$

где $R_{OОВ}$ - сопротивление оов; $I_{B,0}$ - ток в оов, соответствующий холостому ходу синхронной машины, то в обмотке возбуждения возбуждителя проходит ток I_K от устройства токового компаундирования.

Зависимость тока I_p ротора от тока I_{CT} статора (нагрузки) компаундированной синхронной машины (характеристика компаундирования), а также внешняя характеристика компаундированной синхронной машины, поясняющие работу УТК, представлены на рис.2.1, б, в. Точка а этих характеристик соответствует значению тока статора $I_{п,к}$, при котором начинает выполняться условие (2.2). Ток $I_{п,к}$ называется порогом компаундирования и изменяется с изменением сопротивления установочного резистора R_y . При токе нагрузки компаундированной машины $I_{CT} < I_{п,к}$ ее внешняя характеристика совпадает с внешней характеристикой некомпануированной машины, а $I_p = I_{p0}$.

Необходимые изменения характеристики компаундирования и внешней характеристики компаундированной машины могут производиться путем изменения сопротивлений R_{PB} (изменение I_{PO} и $U_{CT,0}$) и R_y (изменение $I_{п,к}$), т. е. регулировочного и установочного сопротивлений. Однако внешняя характеристика компаундированной машины нестабильна и изменяется с изменением $\cos\phi$. Следовательно, $\cos\phi$ наряду с I_{CT} является возмущающим воздействием, которое в токовом компаундировании не

электромагнитного корректора (рис.2.1) содержит измерительный орган ИО, магнитный усилитель МУ и выпрямитель В, на выход которого подключается обмотка возбуждения возбудителя о.в. При отклонении напряжения синхронной машины от заданного значения на выходе ИО появляется сигнал, пропорциональный значению этого отклонения, МУ усиливает этот сигнал, и выходной ток корректора $I_{рег}$ изменяет возбуждение синхронной машины в сторону уменьшения отклонения напряжения. Корректор напряжения по принципу действия является статическим, т.е. он уменьшает отклонение регулируемого напряжения синхронной машины от заданного значения, но не сводит его к нулю, так как выходной ток корректора имеет место только при наличии сигнала на выходе ИО.

Стабильность регулирования уменьшается с увеличением коэффициента усиления усилителя регулятора (в нашем случае МУ корректора). Однако при этом возникает опасность неустойчивой работы регулятора, что может потребовать принятия специальных мер по сохранению, устойчивости регулирования, например введения в схему регулятора звена гибкой отрицательной обратной связи.

Измерительный орган ИО рассматриваемого корректора состоит из двух элементов - линейного ЛЭ и нелинейного НЭ, подключенных к выходу установочного автотрансформатора УАТ, получающего питание от трансформатора напряжения ТН.

Выходным сигналом ИО является разность токов $I_{ио} = I_{лэ} - I_{нэ}$. (2.3)

Значение $I_{ио} = 0$ только при единственном значении $U_{УАТ} = 0$. При $U_{УАТ} < U_0$ $I_{ио} > 0$, а при $U_{УАТ} > U_0$ $I_{ио} < 0$.

Ток $I_{ио}$ является входным сигналом МУ. Если выходной ток корректора $I_{РЕГ}$ увеличивает возбуждение синхронной машины, то корректор напряжения носит название согласованного. В противном случае корректор называется противовключенным. Совокупность согласованного и противовключенного корректоров образует регулятор напряжения,

называемый двухсистемным корректором. При двухсистемном корректоре целесообразна нормальная настройка компаундирования синхронной машины.

АРВ, представляющие совокупность устройства токового компаундирования и электромагнитного корректора напряжения, нашли широкое применение. Ими оборудуются синхронные машины, имеющие электромашинную систему возбуждения. К ним относятся турбогенераторы и гидрогенераторы мощностью до 100 МВт, а также синхронные компенсаторы мощностью до 75 МВ-А. Для турбогенераторов используется токовое компаундирование с односистемным, а для гидрогенераторов и синхронных компенсаторов, как правило, с двухсистемным корректором.

III. МОДЕЛИ СИСТЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ

3.1 Обобщенная модель регулятора

На режим работы синхронного генератора оказывают непосредственное влияние три основные системы регулирования: система автоматического регулирования режима работы котла (АРК), система автоматического регулирования скорости вращения турбины (АРС) и система автоматического регулирования возбуждения генератора (АРВ). Упрощенная схема тепловой электростанции, как системы автоматического регулирования, показана на рис.3.1.

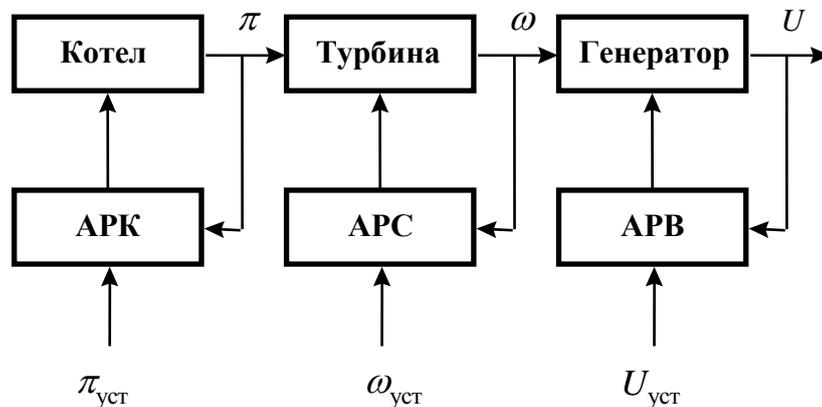


Рис. 3.1

Вместе с тем рассмотренная схема отображает также три этапа преобразования химической энергии топлива в тепловую энергию пара, во вращательное движение турбины и, наконец, в электрическую энергию. АРК регулирует давление пара π на входе в турбину, изменяя расход топлива, АРС регулирует частоту вращения ω , изменяя впуск пара в турбину, а АРВ поддерживает уровень напряжения U на шинах электростанции путем изменения тока в обмотке возбуждения генератора.

Котлы, турбины и их системы автоматического регулирования иногда называют *первичными двигателями* синхронных генераторов.

Автоматическое устройство, предназначенное для поддержания необходимого уровня некоторого параметра режима (регулируемой величины), называется *автоматическим регулятором*. Совокупность элементов автоматического регулятора, машин и устройств, принимающих участие в процессе автоматического регулирования, составляют *систему автоматического регулирования*. Система автоматического регулирования (рис.3.2) состоит из трех основных элементов: измерительного органа (ИО), автоматического регулятора (Р) и исполнительного элемента (ИЭ).

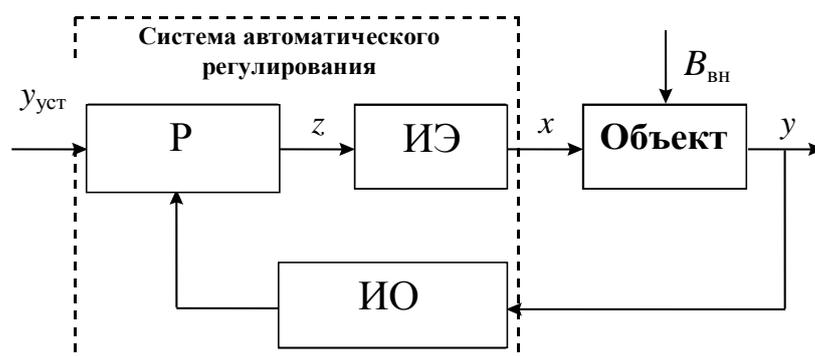


Рис. 3.2

Под влиянием внешней среды ($B_{вн}$) параметры режима объекта регулирования, в том числе регулируемая величина y , непрерывно изменяются. При отклонении регулируемой величины от желаемой уставки ($у_{уст}$) регулятор должен так отработать, чтобы вернуть ее или к начальному, или к новому значению соответственно условиям регулирования.

Сигнал на выходе автоматического регулятора z благодаря действию исполнительного элемента усиливается, и на вход объекта регулирования поступает регулирующая величина x , стремящаяся вернуть регулируемую величину y к необходимому уровню. В любой системе автоматического регулирования должна действовать по крайней мере одна отрицательная обратная связь для стабилизации процесса.

Измерительный орган (обычно статический элемент) в модели отображается алгебраическим уравнением. Поэтому при использовании о.е. его можно не учитывать. Другие элементы моделируются дифференциальными уравнениями, отображающими с некоторым запаздыванием регулирующее действие системы в переходном процессе.

Пример Пусть способ действия объекта регулирования отображается алгебраическим уравнением

$$y = 0.5x + B_{\text{вн}}. \quad (3.1)$$

Автоматический регулятор выполняет простую функцию поддержания y на уровне заданной уставки $y_{\text{уст}}$, формируя сигнал z согласно дифференциальному уравнению

$$\frac{dz}{dt} = \frac{1}{T_p} (y_{\text{уст}} - y). \quad (3.2)$$

Исполнительный элемент описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{T_e} (x_0 - x + z), \quad (3.3)$$

где x_0 – значение переменной x в нормальном установившемся режиме. Постоянные времени регулятора и исполнительного элемента: $T_p = 1$ с, $T_e = 5$ с. Уставка регулируемой величины $y_{\text{уст}} = 1$. Значения переменных в нормальном установившемся режиме (начальные условия): $x = x_0 = 2$, $y = y_{\text{уст}} = 1$, $z = 0$. Влияние внешней среды в нормальном режиме отсутствует ($B_{\text{вн}} = 0$). В некоторый момент влияние внешней среды резко изменяется ($B_{\text{вн}} = -0.2$) и дальше снова остается неизменным. Определить график переходного процесса изменения регулируемой величины y вследствие указанного влияния внешней среды.

Решение. Алгоритм вычислений на основе метода Эйлера:

$$y^{(i)} = 0.5x^{(i)} + B_{\text{вн}},$$

$$z^{(i+1)} = z^{(i)} + h(y_{\text{уст}} - y^{(i)}), \quad (3.4)$$

$$x^{(i+1)} = x^{(i)} + 0.2h(x_0 - x^{(i)} + z^{(i)}),$$

где $h=0.01$ с – шаг интегрирования.

По результатам вычислений построен график переходного процесса (рис. 3.3).

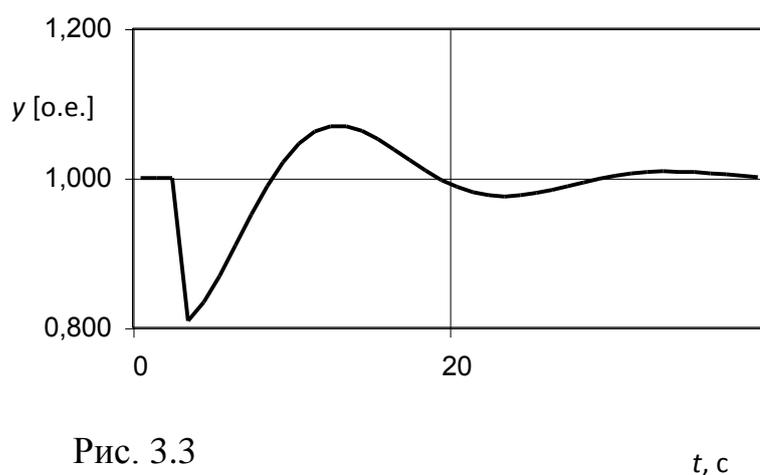


Рис. 3.3

t, c

Процесс регулирования чаще всего носит колебательный характер. На отклонение регулируемой величины от нормы регулятор реагирует довольно быстро. Но исполнительный элемент вследствие инерционности выполняет свою функцию с некоторым запаздыванием, постепенно изменяя x . Поэтому, когда y достигает нормального значения, исполнительный элемент по инерции продолжает изменять x в том же направлении. В результате имеет место так называемое перерегулирование, т.е. переход регулируемой величины через необходимое значение в противоположную сторону своего начального отклонения. При этом регулятор также изменяет свое действие в противоположную сторону и снова имеет место процесс перерегулирования. Повторение этих явлений и создает колебательный процесс, который обычно затухает.

Для усиления стабилизирующего действия регулятора иногда кроме отклонения переменных используют их первые и вторые производные. Если регулятор реагирует только на отклонение, он имеет название *регулятора пропорционального действия*. Если же регулятор реагирует кроме этого еще и на производные, он называется *регулятором сильного действия*.

В реальных условиях система автоматического регулирования непрерывно находится в процессе перехода из одного состояния равновесия к другому. Причем в новом состоянии равновесия регулируемая переменная может и возвращаться к своему нормальному значению, или принимать

какое-то новое значение в соответствии с характеристикой регулирования $y(x)$ (рис. 3.4).

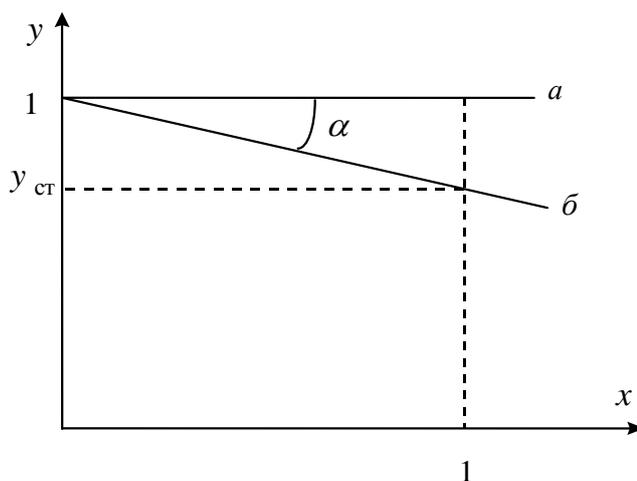


Рис. 3.4

При регулировании по астатической характеристике (a) установившееся значение регулируемой величины остается неизменным независимо от значения регулирующего фактора x (независимое регулирование). Такой закон регулирования положен в основу АРК и АРВ. При регулировании по статической характеристике (b) каждому новому значению x в установившемся режиме соответствует новое значение y (зависимое регулирование).

Мера зависимости регулируемой величины y от регулирующего фактора x называется коэффициентом статизма, который определяет крутизну наклона характеристики

$$K_{ст} = \frac{y_{ном} - y_{ст}}{x_{ном}} = tg \alpha . \quad (3.5)$$

Подобный закон регулирования характерен для АРС.

3.2 Идеально регулируемый генератор

В реальных условиях характеристики режима объекта под влиянием внешних факторов непрерывно изменяются. Системы регулирования стремятся поддерживать регулируемые величины, но вследствие запаздывания регулирующего действия имеет место переходный процесс. Причем, чем меньше постоянные времени элементов системы автоматического регулирования, тем меньше запаздывание регулирующего действия и колебание регулируемой величины. При идеальном регулировании регулируемые параметры остаются неизменными при любых изменениях режима объекта.

Системы регулирования первичных двигателей регулируют давление и расход пара, а следовательно, не только мощность генераторов, но и частоту в системе. Система АРВ регулирует ЭДС генератора, а следовательно, не только напряжение на шинах электростанции, но и ток и коэффициент мощности. В этом разделе мы не будем касаться переходных процессов, сопровождающих переход от одного установившегося режима к другому. Будем считать, что такой переход происходит мгновенно. Активные мощности и напряжения генераторов вследствие действия систем автоматического регулирования будут оставаться неизменными при переходе от одного установившегося режима к другому. Такие системы автоматического регулирования называются идеальными.

Рассмотрим некоторый режим, в котором синхронный генератор несет активно-индуктивную токовую нагрузку I при коэффициенте мощности $\cos\varphi$. АРВ регулирует ЭДС генератора E_G таким образом, что при любых изменениях режима напряжение U на шинах остается неизменным. Поскольку ЭДС генератора приложена за переходным реактивным сопротивлением x_d' , режим работы СГ можно представить графически с помощью векторной диаграммы (рис. 3.1).

В общем случае на параметры режима \dot{U} , i и \dot{E} не накладываются никакие ограничения, и поэтому модуль напряжения и мощность генератора могут иметь любые значения. Но если генератор идеально регулирован, необходимо принять во внимание два ограничения: $P=const$ и $U=const$.

Активную мощность генератора можно определить как

$$P = UI \cos \varphi. \quad (3.6)$$

Поскольку мощность и напряжение - величины постоянные,

$$I \cos \varphi = \frac{P}{U} = I_a = const. \quad (3.7)$$

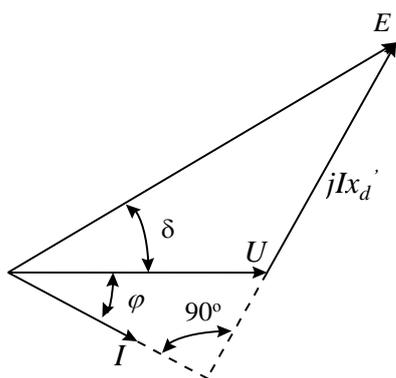


Рис. 3.1

С другой стороны, активную мощность генератора можно определить через угол ротора

$$P = \frac{EU}{x'_d} \sin \delta, \quad (3.8)$$

откуда, аналогично,

$$E \sin \delta = \frac{Px'_d}{U} = E_p = const. \quad (3.9)$$

Итак, особенностью режима идеально регулируемого синхронного генератора является то, что при любом изменении параметров составляющие I_a и E_p остаются неизменными. На рис. 3.2 показана векторная диаграмма, соответствующая двум режимам: в первом режиме векторы ЭДС и тока генератора равняются \dot{E} и \dot{i} , во втором, при большем возбуждении генератора, – \dot{E}' и \dot{I}' . При изменении возбуждения конец вектора \dot{E} скользит вдоль горизонтальной штриховой линии, а конец вектора \dot{I} , в то же время, перемещается вдоль вертикальной штриховой линии таким образом, что между векторами \dot{I} и $jx'_d \dot{I}$ сохраняется прямой угол. В новом режиме угол δ' и ток I' увеличились, коэффициент мощности $\cos \varphi'$ снизился, но активная мощность генератора и его напряжение остались неизменными.

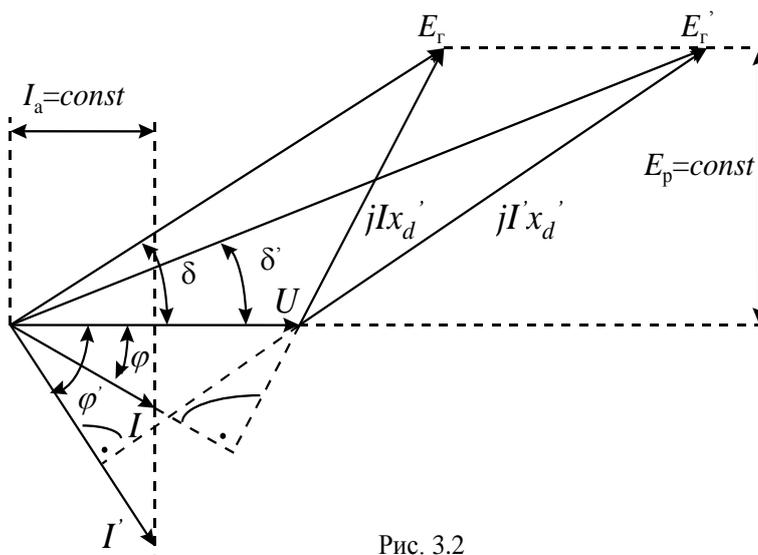


Рис. 3.2

Пример Турбогенератор ТВВ-1000-4 с номинальными параметрами $P_{\text{ном}}=1000$ МВт, $\cos \varphi_{\text{ном}}=0.9$ и $U_{\text{ном}}=24$ кВ в нормальном установившемся

режиме несет номинальную нагрузку и поддерживает напряжение на шинах $U=25.2$ кВ. Переходный реактанс генератора $x_d'=0.452$. Исследовать зависимости ЭДС, угла δ и реактивной мощности от тока нагрузки генератора при идеальном его регулировании.

Решение. Переходный реактанс генератора

$$x_d' = 0.452 \frac{24^2 \cdot 0.9}{1000} = 0.234 \text{ Ом.}$$

Действительная составляющая тока генератора

$$I_a = \frac{1000}{25.2} = 39.7 \text{ кА.}$$

Мнимая составляющая ЭДС генератора

$$E_p = \frac{1000 \cdot 0.234}{25.2} = 9.30 \text{ кВ.}$$

Минимально допустимое значение тока нагрузка генератора равняется 39.7 кА. Примем диапазон изменения тока 40-50 кА. Реактивная составляющая тока генератора при $I=40$ кА

$$I_p = \sqrt{40^2 - 39.7^2} = 5.03 \text{ кА.}$$

Угол отставания тока генератора от напряжения

$$\varphi = \arctg\left(\frac{4.99}{39.7}\right) = 7.2^\circ$$

Реактивная мощность генератора

$$Q_r = 25.2 \cdot 40 \cdot \sin 7.2^\circ = 127 \text{ МВАр.}$$

Действительная составляющая ЭДС генератора

$$E_a = \sqrt{\frac{9.30^2}{(\cos 7.2^\circ)^2} - 9.30^2} + 25.2 = 26.4 \text{ кВ.}$$

Модуль ЭДС генератора

$$E_r = \sqrt{26.4^2 + 9.30^2} = 28.0 \text{ кВ.}$$

Угол сдвига ЭДС относительно напряжения на шинах генератора

$$\delta = \arctg\left(\frac{9.30}{26.4}\right) = 19.4^\circ.$$

Аналогичные расчеты выполняем для других токов нагрузки генератора. Результаты вычислений сведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

I_r , кА	40	42	44	46	48	50	52	54
Q_r , МВА	12 7	347	479	586	680	767	84 7	92 3
E_r , кВ	28. 0	29. 9	31. 1	32. 0	32. 9	33. 6	34. 4	35. 0
δ , град	19. 4	18. 1	17. 4	16. 9	16. 4	16. 0	15. 7	15. 4

3.3 Типы систем возбуждения

Для адекватного отображения переходных процессов в синхронных генераторах нужно учитывать характеристики их систем возбуждения. В состав системы возбуждения синхронного генератора входят: возбудитель, автоматический регулятор возбуждения, а также ряд устройств, предназначенных для форсирования возбуждения, розвозбуждения, защиты ротора. Роль возбудителя может выполнять электрическая машина постоянного тока, электрическая машина переменного тока с

выпрямителем или преобразователь с трансформаторным источником питания.

Применяемые на практике регуляторы возбуждения характеризуются еще большим разнообразием. Поскольку практически невозможно предусмотреть все типы регуляторов, используют обобщенные модели. Различают регуляторы возбуждения нормального (пропорционального) действия и регуляторы возбуждения сильного действия.

Сначала АРВ выполняли единственную функцию – поддержание необходимого уровня напряжения в установившемся режиме. С течением времени они начали выполнять дополнительные функции: увеличение мощности, передаваемой через ЛЭП от генератора в систему, повышение статической устойчивости и качества переходных процессов при малых возмущениях, повышение динамической устойчивости и гашения колебаний ротора.

АРВ воспринимает исходные параметры режима синхронного генератора (ток I_{Γ} , напряжение U_{Γ} и др.) и формирует управляющие сигналы (добавки напряжения регулирования Δu_p и форсировки Δu_{ϕ}), которые поступают на вход возбудителя (рис. 3.1).

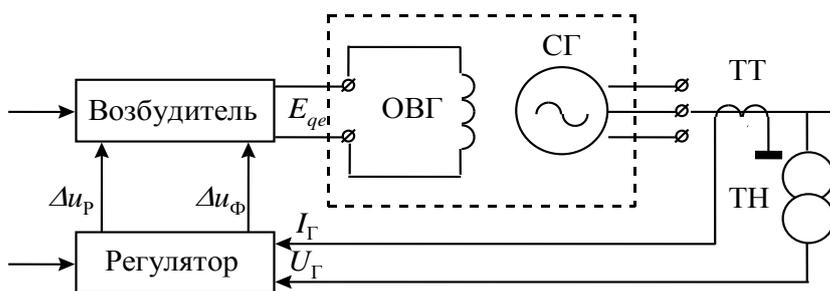


Рис. 3.1

В процессе регулирования напряжения генератора в нормальном режиме необходимо изменять ток в обмотке возбуждения генератора (ОВГ), а следовательно и ЭДС E_{qe} . Ток возбуждения при этом, как правило, не выходит за пределы номинального значения. Но в аварийном режиме

одним из эффективных средств повышения устойчивости генератора служит быстрое увеличение тока возбуждения сверх номинального значения на протяжении короткого промежутка времени (форсирование). Поэтому важнейшими с точки зрения

устойчивости следует считать такие показатели возбудителей как время возрастания входного напряжения и кратность форсировки.

На практике используют несколько принципиально различных конструкций возбудителей синхронных генераторов. Наибольшее распространение получили электромашинные, высокочастотные, бесщеточные и тиристорные возбудители.

Электромашинное возбуждение используется только на синхронных генераторах малой мощности. Возбудителем служит генератор постоянного тока, расположенный на общем валу с основным синхронным генератором (рис. 3.2).

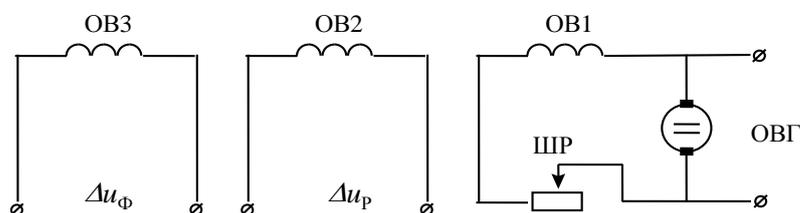


Рис. 3.2

Регулирование тока в обмотке возбуждения генератора (ОВГ) осуществляется с помощью регулятора возбуждения, который изменяет ток в обмотке возбудителя ОВ2 относительно уровня, установленного обмоткой ОВ1. На вход регулятора возбуждения подается сигнал, пропорциональный напряжению и току синхронного генератора. Электромашинные возбудители имеют постоянную времени 0.3-0.5 с и кратность форсировки 1.3-2.0 о.е., что не достаточно для поддержания магнитного потока и переходной ЭДС E_q' генератора во время к.з.

Для СГ мощностью 300 МВт и более, которые сегодня составляют основную часть генераторного парка современных энергосистем, электромашинные системы возбуждения не используются вследствие технических трудностей создания коллекторных машин соответствующей мощности. Кроме того, такая система возбуждения часто не отвечает требованиям скорости реакции, необходимой для обеспечения устойчивости энергосистемы. Поэтому для возбуждения современных мощных турбогенераторов используют машины переменного тока с нерегулируемыми и регулируемыми выпрямителями.

При высокочастотном возбуждении используется индукторный генератор (ИГ) частотой 500 гц, размещенный на общем валу с синхронным генератором (рис. 3.3).

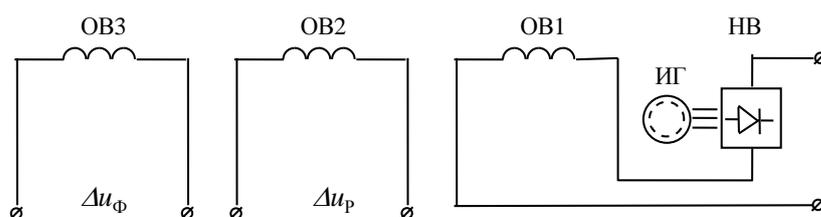
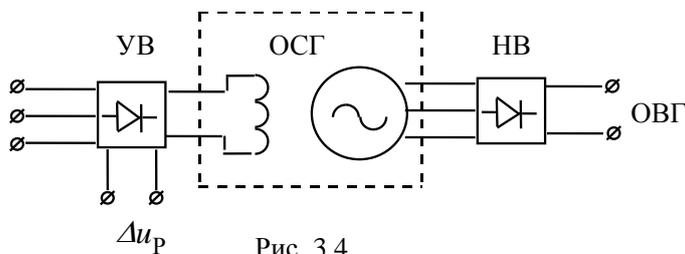


Рис. 3.3

Трехфазная обмотка якоря, размещенная на статоре ИГ, питает ОВГ через неуправляемый выпрямитель (HV). ИГ имеет две обмотки возбуждения: последовательную ОВ1 и независимую ОВ2, которые выполняют те же функции, что и на рис. 5.8. Выпрямленное напряжение с выхода HV подается на ОВГ через контактные кольца. Постоянная времени высокочастотной системы возбуждения составляет около 0.36 с. Наличие контактных колец ограничивает ток возбуждения, поэтому высокочастотная система возбуждения используется лишь для турбогенераторов мощностью 200-300 МВт.

Для мощных турбогенераторов разработана безщеточная система возбуждения (рис. 3.4).



Возбудитель состоит из двух элементов: обратного синхронного генератора (ОСГ) и неуправляемого выпрямителя (НВ). Обмотка возбуждения ОСГ размещена на его статоре, а обмотка переменного тока – на роторе. Ротор ОСГ и НВ находятся на одном валу с ротором основного синхронного генератора. Проводники, соединяющие обмотки переменного тока ОСГ, НВ и ОВГ, проходят вдоль общего вала. Таким образом, питание ОВГ осуществляется без использования подвижных контактов. На вход управляемого выпрямителя (УВ) подается трехфазное напряжение от источника питания, которым является обычно высокочастотный индукторный генератор. При этом АРВ действует на систему сетевого управления тиристорного преобразователя. Выпрямленное напряжение из выхода УВ подается на обмотку возбуждения ОСГ.

Безщеточная система возбуждения благодаря отсутствию подвижных контактов позволяет изготовить возбудитель практически на любые токи и, следовательно, снять ограничения на номинальную мощность синхронных генераторов. Кроме того, безщеточное возбуждение характеризуется значительно большей скоростью действия по сравнению с высокочастотным и электромашинным. Его эквивалентная постоянная времени составляет 0.10-0.15 с.

В тиристорной системе возбуждения (рис. 3.5) питание ОВГ осуществляется непосредственно от управляемого выпрямителя.

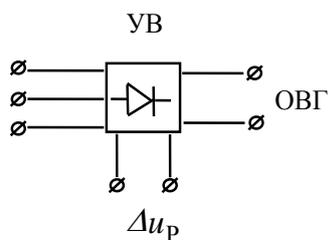


Рис. 3.5

Сетевое управление тиристорного преобразователя происходит, как и в предыдущем случае, с помощью АРВ. Отсутствие электрических машин в составе возбудителя обуславливает высочайшую скорость работы тиристорной системы возбуждения. Ее постоянная времени составляет лишь 0.02-0.04 с. Источником питания такому выпрямителю служит независимый синхронный генератор частотой 50-100 Гц. Используется также самовозбуждение с помощью трансформатора, подключенного к выходу синхронного генератора. Тиристорная система самовозбуждения используется на турбогенераторах мощностью 300 МВт и мощных гидрогенераторах.

3.4 Типы АРВ

Любая система регулирования возбуждения синхронного генератора является системой автоматического регулирования с обратной связью. В ее состав входят система возбуждения и генератор. Система возбуждения состоит из регулятора возбуждения и возбудителя. Таким образом, синхронный генератор рассматривается как часть системы регулирования возбуждения, а собственно элементы регулирования составляют просто систему возбуждения.

Современные синхронные генераторы используют много разных видов регулирования возбуждения, среди которых можно выделить шесть основных групп:

- независимое тиристорное возбуждение, тиристорное самовозбуждение с серийными трансформаторами и безщеточное возбуждение с подвижными управляемыми тиристорами (АРВ сильного действия);

- тиристорное самовозбуждение без серийных трансформаторов (АРВ сильного действия);
- безщеточное возбуждение с подвижными диодами (АРВ сильного действия);
- высокочастотное возбуждение (корректор напряжения);
- высокочастотное возбуждение с блоком сильной стабилизации (корректор напряжения);
- электромашинное возбуждение (компаундирование с корректором напряжения и релейной форсировкой).

Одной из составляющих системы возбуждения является АРВ. Соответственно функциям, которые должна выполнять система регулирования возбуждения, можно выделить три отдельных группы каналов:

- каналы регулирования по отклонениям режимных параметров от заданных уставок (напряжение и ток на выходе генератора), которые влияют как на статические, так и на динамические характеристики системы;
- каналы регулирования по производным режимных параметров (каналы стабилизации), которые влияют только на динамические характеристики системы, т.е. на показатели качества переходных процессов;
- форсировка и развозбуждение, которые действуют при больших возмущениях и предназначены для повышения динамической устойчивости электроэнергетической системы.

Существующие АРВ можно разделить в зависимости от способа стабилизации на две группы: пропорционального (нормального) и сильного действия. В АРВ пропорционального действия стабилизация режима осуществляется с помощью гибкой обратной связи по напряжению. В АРВ сильного действия для стабилизации используются производные параметров режима генератора (производные напряжения и тока на выходе генератора, отклонение частоты и ее производная).

АРВ пропорционального действия используются в системах возбуждения с невысокой скоростью действия, таких как электромашинная и высокочастотная. Они не проявляют существенного влияния на статическую и динамическую устойчивость системы. Поэтому такие регуляторы используются на синхронных генераторах, которые имеют сильную связь с энергосистемой, т.е. присоединенные относительно короткими линиями электропередачи. В противоположность этому АРВ сильного действия совместно с быстродействующими системами возбуждения (безщеточная и тиристорная) значительно повышают статическую и динамическую устойчивость систем, имеющих длинные линии электропередачи от электростанций.

Рассмотрим принцип работы АРВ пропорционального действия, осуществляющего регулирование возбуждения по отклонению напряжения. Сигнал U от трансформатора напряжения выпрямляется и усиливается и отклонение

$$\Delta u_p = U_{r0} - U_r \quad (3.10)$$

подается на обмотку возбуждения ОВ2 (рис. 3.2 или 3.3). Регулятор стремится поддерживать напряжение генератора U_r на уровне U_{r0} . Если $U_r = U_{r0}$, то регулятор не изменяет напряжения возбуждения, которое определяется в данном случае только действием обмотки ОВ1. При снижении U_r величина Δu_p становится положительной, что приводит к увеличению магнитного потока в обмотке ОВ2 и тока в ОВГ, а следовательно и напряжения U_r . При увеличении U_r свыше U_{r0} величина Δu_p становится отрицательной, что вызывает уменьшение суммарного потока и напряжения генератора.

Таким образом, регулирование осуществляется по принципу отрицательной обратной связи и называется статическим. При таком регулировании невозможно точно поддерживать неизменной величину

напряжение генератора, поскольку при $\Delta u_p = 0$ регулятор бездействует. Точность регулирования будет тем большей, чем больше коэффициент усиления регулятора, но при этом ухудшаются условия устойчивости системы. Чтобы повысить устойчивость системы при больших значениях коэффициента усиления используется гибкая обратная связь в виде дополнительного сигнала, пропорционального первой производной напряжения, подаваемого на вход усилительного элемента.

В АРВ сильного действия регулирование осуществляется по отклонению напряжения и первой производной напряжения U_T' на шинах генератора, которые по сути не отличаются от аналогичных блоков АРВ пропорционального действия, а также по отклонению $\Delta\omega$ и первой производной ω' частоты. Стабилизация осуществляется по производной напряжения. Соответствующий сигнал, который формируется с помощью дифференцирующего элемента, подается на вход усилительного элемента. Сигналы $\Delta\omega$ и ω' , также предназначенные для стабилизации переходного процесса, формируются с помощью преобразователя частоты и поступают на вход усилительного элемента. Из выхода усилительного элемента суммарный сигнал поступает в систему сетевого управления тиристорного возбуждения или управляемого выпрямителя безщеточного возбуждения.

Блок форсирования возбуждения функционирует на основе реле минимального напряжения. Форсировка срабатывает при снижении U_T ниже минимально возможного значения U_{\min} , составляющего в зависимости от конкретных условий 80-90% от номинального напряжения генератора. Соответствующий сигнал, подаваемый на обмотку ОВЗ, вызывает быстрое увеличение (форсирование) суммарного потока возбуждения до максимального значения. Это приводит к быстрому увеличению электромагнитного момента генератора при к.з. или других больших возмущениях во время аварий, улучшая тем самым условия

динамической устойчивости энергосистемы. При восстановлении напряжения форсирование выключается.

3.5 Модель АРВ

Модель АРВ используется в расчетах электромеханических переходных процессов, если синхронный генератор не представлен неизменной ЭДС. Она имеет вид системы дифференциальных уравнений с учетом ряда ограничений в форме неравенств. Математическая модель системы возбуждения должна быть универсальной, т.е. в ней должны присутствовать все возможные каналы регулирования существующих систем возбуждения. Тогда, принимая те или иные коэффициенты усиления или постоянные времени не равными 0, можно моделировать соответствующую систему возбуждения в рамках одной и той же модели.

Система возбуждения, как правило, описывается двумя дифференциальными уравнениями, учитывающими инерционность регулятора и возбудителя. На вход регулятора возбуждения поступает суммарный сигнал

$$\begin{aligned} \Delta u_{p\Sigma} = & K_{U0}(U_{r0} - U_r) + K_{U1} \frac{dU_r}{dt} + K_{if} \frac{dE_q}{dt} + \\ & + K_{\omega 0}(\omega - \omega_t) + K_{\omega 1} \frac{d\omega}{dt}, \end{aligned} \quad (3.11)$$

где K_{U0} , K_{U1} , K_{if} , $K_{\omega 0}$, $K_{\omega 1}$ – коэффициенты усиления для разных каналов регулирования;

E_q – ЭДС генератора, пропорциональная току возбуждения,

$$E_q = E'_q - (x_d - x'_d)i_d, \quad (3.12)$$

ω – частота напряжения на шинах генератора в о.е.;

ω_t – аналогичная переменная с учетом задержки времени в апериодическом звене, вычисляемая из уравнения

$$\frac{d\omega_t}{dt} = \frac{\omega - \omega_t}{T_\omega}, \quad (3.13)$$

T_ω – постоянная времени, приблизительно равная 1 с.

Величина суммарного сигнала $\Delta u_{p\Sigma}$ ограничивается диапазоном изменения

$$u_p^{\min} \leq E_{qe0} + \Delta u_{p\Sigma} \leq u_p^{\max}, \quad (3.14)$$

где u_p^{\min} , u_p^{\max} – пределы изменения сигнала регулятора;

E_{qe0} – ЭДС возбуждения в нормальном установившемся режиме.

Выходной сигнал регулятора изменяется в соответствии с дифференциальным уравнением

$$\frac{d\Delta u_p}{dt} = \frac{1}{T_p} (\Delta u_{p\Sigma} - \Delta u_p), \quad (3.15)$$

где T_p – постоянная времени регулятора возбуждения.

Возбудитель моделируется дифференциальным уравнением

$$\begin{aligned} \frac{dE_{qe1}}{dt} = \frac{1}{T_\epsilon} [E_{qe0} + \Delta u_p - E_{qe1} + \\ + K_{0if}(E_q - E_{q0}) + K_{0I}(I_\Gamma - I_{\Gamma0})], \end{aligned} \quad (3.16)$$

где E_{qe1} – внутренняя расчетная ЭДС возбуждения в нормальном режиме при $U_\Gamma = U_{\Gamma0}$, ограничиваемая диапазоном

$$E^{\min} \leq E_{qe1} \leq E^{\max}, \quad (3.17)$$

T_ϵ – постоянная времени возбудителя;

K_{0if} , K_{0l} – коэффициенты усиления каналов жесткой обратной связи по току ротора и компаундирования по току статора;

E_{q0} , I_{r0} – синхронная ЭДС E_q и ток статора I_r в нормальном установившемся режиме.

При независимой системе возбуждения и при самовозбуждении с последовательными трансформаторами исходная ЭДС возбуждения $E_{qe}=E_{qe1}$. Если генератор имеет систему самовозбуждения без последовательных трансформаторов, ЭДС на обмотке возбуждения пропорциональна напряжению генератора

$$E_{qe} = \frac{U_r}{U_{r0}} E_{qe1}. \quad (3.18)$$

Рассмотренная модель соответствует тиристорной системе возбуждения. Минимальное и максимальное значение E^{\min} и E^{\max} в ограничении (3.17) может изменяться в процессе моделирования. Если ток возбуждения (т.е. соответствующая этому току ЭДС E_q) находится в допустимых пределах, учитывается ограничение по ЭДС возбуждения, т.е. $E^{\min} = E_{qe}^{\min}$,

$E^{\max} = E_{qe}^{\max}$. Если ограничение по току ротора поднимается, то E^{\min} , E^{\max} изменяются так, чтобы ликвидировать это нарушение с инерционностью обмотки возбуждения.

Модель безщеточной системы возбуждения отличается от рассмотренной лишь величинами параметров.

Пример. Синхронный генератор с АРВ сильного действия работает на систему бесконечной мощности (рис. 3.1).

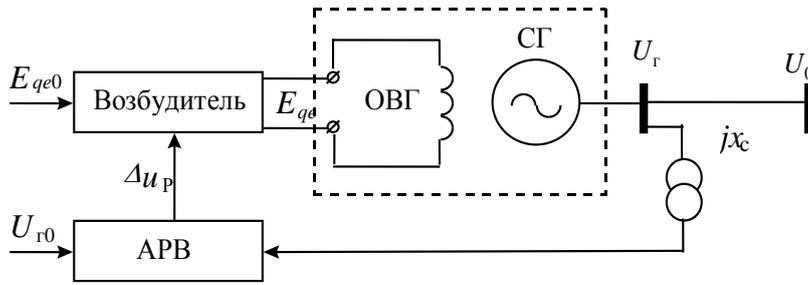


Рис. 3.1

Напряжение на шинах системы $U_0=1$ о.е. Реактивное сопротивление ветви связи генератора с системой $x_c=0.5$. Параметры синхронного генератора: $T_J=15$ с, $T_{d0}=9.1$ с, $x_d=2.31$, $x_d'=0.77$, $K_d=3$. Параметры возбудителя: $T_B=0.16$ с, $E_{qe}^{\min}=-2$, $E_{qe}^{\max}=3$. Параметры регулятора возбуждения: $T_p=0.15$ с, $K_{U0}=-25$, $K_{U1}=-2.1$, $K_{if1}=-2.5$, $K_{\omega 0}=10.4$, $K_{\omega 1}=4$, $T_{\omega}=1$ с, $u_p^{\min}=-5$, $u_p^{\max}=5$. Начальные условия: $\dot{U}_r=1+j0.5$, $\dot{I}_r=1$, $\dot{S}_r=1+j0.5$, $U_r=1.12$, $E_{qe0}=2.83$, $\delta_0=51.79^\circ$, $\omega_0=314$ рад/с. В момент $t=0$ на шинах генератора происходит трехфазное к.з., вследствие которого $U_r=0$. Через промежуток времени $t_{кз}=0.12$ с к.з. ликвидируется. Рассчитать переходный процесс длительностью 2 с.

Решение. Для численного интегрирования воспользуемся методом Эйлера. Рассмотрим последовательность вычислений на шаге i с интервалом времени $h=0.001$ с. ЭДС генератора

$$\dot{E}_r^{(i)} = E_q'^{(i)} [\cos \delta^{(i)} + j \sin \delta^{(i)}].$$

Ток генератора

$$\dot{I}_r = \begin{cases} \frac{\dot{E}_r^{(i)} - U_0}{j(x_d' + x_c)}, & \text{при } t \geq t_{кз} \\ \frac{\dot{E}_r^{(i)}}{jx_d'}, & \text{при } t \leq t_{кз} \end{cases}, \quad i_d^{(i)} = I_r''^{(i)} \cos \delta^{(i)} - I_r'^{(i)} \sin \delta^{(i)}.$$

Напряжение генератора

$$\dot{U}_r^{(i)} = \dot{E}_r^{(i)} - jx_d' \dot{I}_r^{(i)}.$$

Фазовый угол напряжения генератора

$$\delta_U^{(i)} = \arctg\left(\frac{U_{\Gamma}^{(i)}}{U_{\Gamma}'^{(i)}}\right).$$

Скольжения фазового угла напряжения:

$$\omega_U^{(i)} = \frac{\delta_U^{(i)} - \delta_U^{(i-1)}}{314h},$$

$$\omega_{U_t}^{(i+1)} = \omega_{U_t}^{(i)} + \frac{h}{T_{sU}}(\omega_U^{(i)} - \omega_{U_t}^{(i)}).$$

Синхронная ЭДС

$$E_q^{(i)} = E_q'^{(i)} - (x_d - x_d')i_d^{(i)}.$$

Суммарный сигнал на входе регулятора:

$$\begin{aligned} \Delta u_{p\Sigma}^{(i)} = & K_{U0}(U_{\Gamma}^{(i)} - U_{\Gamma 0}) + K_{U1} \frac{U_{\Gamma}^{(i)} - U_{\Gamma}^{(i-1)}}{h} + K_{1f} \frac{E_q^{(i)} - E_q^{(i-1)}}{hE_{qe0}} + \\ & + K_{\omega 0}(\omega_U^{(i)} - \omega_{U_t}^{(i)}) + K_{\omega 1} \frac{\omega_U^{(i)} - \omega_U^{(i-1)}}{h}, \\ & \Delta u_p^{\min} \leq \Delta u_{p\Sigma}^{(i)} \leq \Delta u_p^{\max}. \end{aligned}$$

Сигнал на выходе регулятора

$$\Delta u_p^{(i+1)} = \Delta u_p^{(i)} + \frac{h}{T_p}(\Delta u_{p\Sigma}^{(i)} - \Delta u_p^{(i)}).$$

ЭДС возбуждения

$$E_{qe}^{(i+1)} = E_{qe}^{(i)} + \frac{h}{T_{\delta}}(E_{qe0} + \Delta u_p^{(i)} - E_{qe}^{(i)}), E_{qe}^{\min} \leq E_{qe}^{(i+1)} \leq E_{qe}^{\max}.$$

Переходная ЭДС генератора

$$E_q'^{(i+1)} = E_q'^{(i)} + \frac{h}{T_{d0}}(E_{qe}^{(i)} - E_q'^{(i)}).$$

Угловая скорость и угол отклонения ротора генератора:

$$\omega^{(i+1)} = \omega^{(i)} + \frac{h}{T_J} [m_T - \operatorname{Re}(\hat{I}_r^{(i)} \dot{U}_U^{(i)}) - K_D(\omega^{(i)} - \omega_0)],$$

$$\delta^{(i+1)} = \delta^{(i)} + 314 \cdot 57.3 h (\omega^{(i)} - \omega_0).$$

Результаты расчета приведены на рис. 3.2.

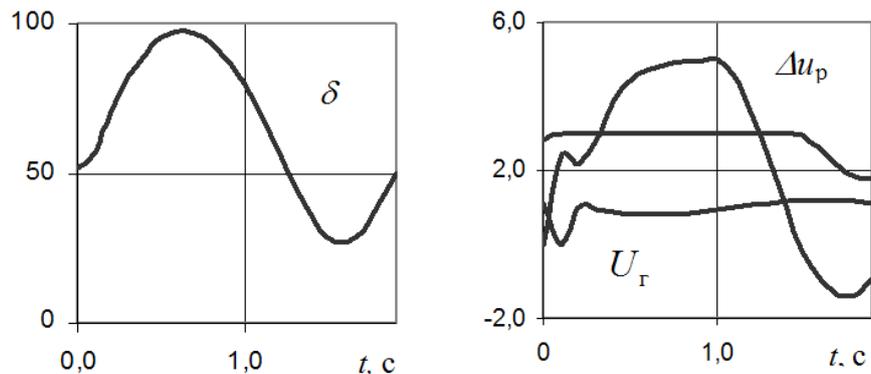


Рис.3.2

В корректоре напряжения высокочастотной системы возбуждения имеет место зависимость уставки U_{r0} от частоты

$$U_{r0}(\omega) = U_{r0} [1 + a(\omega_0 - \omega)]. \quad (3.19)$$

Постоянная времени регулятора возбуждения данного типа довольно большая (около 1 с). В модели возбудителя с компаундирующей обмоткой имеет место жесткая обратная связь по току ротора ($K_{0ij} \neq 0$). Блок сильной стабилизации в такой системе возбуждения приближенно можно учесть путем мгновенного увеличения постоянной времени T_b в $K_{ТВ}$ раз, если скорость изменения напряжения возбуждения dE_{qe}/dt превышает некоторое граничное значение.

В расчетах электромеханических переходных процессов иногда возникает необходимость моделирования потери возбуждения генератора, приняв, например, $E_{qe} = 0$. Для облегчения подобных расчетов в уравнениях (3.11) и (3.16) иногда предусматривают изменяемые во времени функции $f(t)$.

Для моделирования действия ограничителя перегрузки обмотки возбуждения генератора с форсированным охлаждением предусматривают возможность влияния на верхнюю границу E_{qe}^{\max} . Действие такого ограничителя может быть учтено мгновенным уменьшением указанного параметра до $(0.9-0.95)E_{qном}$ с выдержкой времени, определяемой фактически допустимой перегрузкой обмотки возбуждения. Так, например, при $i_f=2i_{fном}$ срабатывание ограничителя происходит через 18 с после возникновения условия перегрузки.

3.6 Модель форсировки возбуждения

Сигнал Δu_ϕ , используемый в электромашинной системе возбуждения и в специальных случаях АРВ сильного действия, формируется в каналах релейной форсировки и расфорсировки возбуждения. Математическая модель может быть описана нелинейным дифференциальным уравнением

$$\frac{d\Delta u_\phi}{dt} = \frac{1}{T}(u - \Delta u_\phi), \quad (3.20)$$

где u и T – дискретно изменяемые уставка и постоянная времени канала релейного форсирования возбуждения, которые определяются в зависимости от уровня напряжения на шинах генератора в соответствии с логическими условиями:

$$\begin{bmatrix} u \\ T \end{bmatrix} = \begin{cases} \begin{bmatrix} u_\phi \\ \tau_b \end{bmatrix}, & \text{если } U_\Gamma \leq U_\phi^{\min} \text{ и } t \leq t_c \\ \begin{bmatrix} 0 \\ \tau_c \end{bmatrix}, & \text{если } U_\phi^{\max} \leq U_\Gamma \leq U_{рф}^{\min} \text{ и } t \leq t_c, \\ \begin{bmatrix} u_{рф} \\ \tau_b \end{bmatrix}, & \text{если } U_\Gamma \geq U_{рф}^{\max} \text{ и } t \leq t_c \end{cases}, \quad (3.21)$$

где U_ϕ^{\min} , U_ϕ^{\max} , $U_{рф}^{\min}$, $U_{рф}^{\max}$ – минимальные и максимальные уставки срабатывания реле форсировки и расфорсировки; u_ϕ , $u_{рф}$ – кратности сигналов форсировки и расфорсировки; τ_b , τ_c – постоянные времени при введении и снятии форсировки или расфорсировки; t_c – время срабатывания (задержки).

Пример. Синхронный генератор с АРВ типа релейной форсировки работает на систему бесконечной мощности (рис. 3.12). Параметры линии, СГ и возбудителя те же, что и в пред. примере. Начальные условия и возмущение также аналогичны. Параметры форсировки: $U_{\phi}^{\min}=0.85$, $U_{\phi}^{\max}=0.95$, $U_{p\phi}^{\min}=1.05$, $U_{p\phi}^{\max}=1.15$, $u_{\phi}=2$, $u_{p\phi}=-2$, $\tau_B=0.02$ с, $\tau_c=0.2$ с.

Решение. Рассмотрим последовательность вычислений переходного процесса методом Эйлера на i -м шаге.

Переменные $E_r^{(i)}$, $I_r^{(i)}$, $U_r^{(i)}$, $i_d^{(i)}$ и $E_q^{(i)}$ вычисляются так же, как и в пред. примере. Сигнал на выходе канала релейной форсировки и расфорсировки по формуле (3.20) с учетом (3.21)

$$\Delta u_{\phi}^{(i+1)} = \Delta u_{\phi}^{(i)} + \frac{h}{T^{(i)}} (u^{(i)} - \Delta u_{\phi}^{(i)}).$$

ЭДС возбуждения

$$E_{qe}^{(i+1)} = E_{qe}^{(i)} + \frac{h}{T_3} (E_{qe0} + \Delta u_{\phi}^{(i)} - E_{qe}^{(i)}, E_{qe}^{\min} \leq E_{qe}^{(i+1)} \leq E_{qe}^{\max}).$$

Переходный процесс моделируется аналогично предыдущему примеру. Результаты расчетов приведены на рис. 3.1.

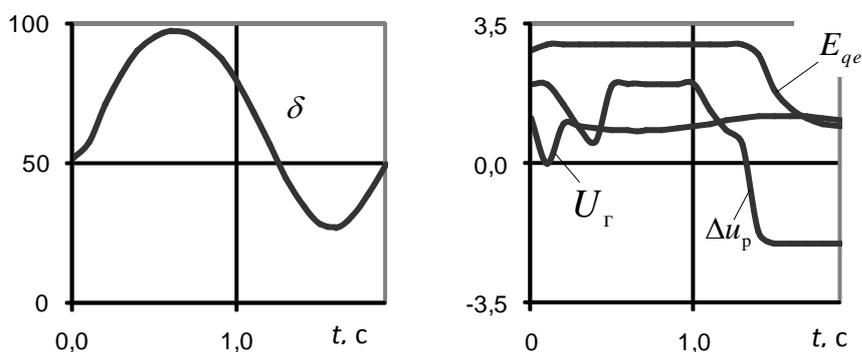


Рис.3.1

Как видно из расчетов, после снятия к.з. при $t=0.12$ с напряжение генератора поднимается до 1.0 о.е. и превышает уставку возврата реле

$U_{\phi}^{\max}=0.95$, вследствие чего форсировка снимается, после чего сигнал форсировки быстро падает и при $t=0.3$ с составляет лишь 0.55 о.е.

Чтобы предотвратить снятие форсировки сразу после отключения к.з. иногда вводится задержка на снятие форсировки около 0.1 с. Поскольку напряжение возбуждения, как правило, на данный момент находится на верхней границе, увеличение сигнала Δu_{ϕ} не дает заметного результата. Для улучшения демпфирования колебаний ротора необходима совместная работа АРВ сильного действия и релейной форсировки возбуждения.

IV. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

4.1 Вопросы санитарии

- **ОСВЕЩЕНИЕ В УЧЕБНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ:**

Освещение – использование световой энергии солнца и искусственных источников света для обеспечения зрительного восприятия окружающего мира

Существует 3 вида освещения:

Естественное (источник - Солнце) - ЕО

Искусственное (только искусственные источники) - ИО

Смешанное (ЕО+ИО)

ЕО: освещение помещений светом неба – прямым или отраженным, проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях (по КМК 01.02-97). Создается прямыми солнечными лучами и диффузным светом неба (солнечные лучи, рассеянные атмосферой).

В помещениях используют:

Боковое ЕО (через световые проемы в наружных стенах)

Верхнее ЕО (через фонари, световые проемы в стенах в местах перепада высот здания)

Комбинированное (верхнее ЕО + боковое ЕО)

Все учебные помещения должны иметь ЕО. Наилучшими видами ЕО в учебных являются боковое левостороннее. При глубине помещения более 6м необходимо устройство правостороннего подсвета. Направление основного светового потока справа, спереди и сзади недопустимо, т.к. уровень ЕО на рабочих поверхностях парт снижается в 3-4 раза.

ИО обеспечивается люминесцентными лампами (ЛБ, ЛЕ) или лампами накаливания. На помещение площадью 50м² должно быть установлено 12 действующих люминесцентных светильников. Классная доска освещается двумя установленными параллельно ей светильниками (на 0,3м выше верхнего края доски и на 0,6 в сторону класса перед доской). Общая электро мощность на класс в этом случае составляет 1040Вт.

При освещении лампами накаливания помещения площадью 50м² должно быть установлено 7-8 действующих световых точек общей мощностью 2400Вт.

Светильники в учебном помещении располагают двумя рядами параллельно линии окон при расстоянии от внутренней и наружной стен 1,5м, от классной доски 1,2м, от задней стены 1,6м; расстояние между светильниками в рядах 2,65м.

- **МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ** — климат внутренней среды помещений.

От качества среды в учебных помещениях во многом зависит их самочувствие, работоспособность, состояние здоровья. От уровня работоспособности зависит, сколько времени учащийся затрачивает на приготовление уроков, каков результат его труда.

Он определяется действующим на организм человека сочетанием:

- температуры,
- влажности и скорости движения воздуха, а также
- температуры окружающих поверхностей.

Микроклимат зависит :

- климатического пояса и сезона года,
- размеров помещений,
- числа работающих,
- условий отопления и вентиляции.

Для создания благоприятных условий работы, соответствующих физиологическим потребностям человеческого организма, санитарные нормы устанавливают оптимальные и допустимые метеорологические условия в рабочей зоне помещения.

Оптимальные микроклиматические условия - сочетания параметров климата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции.

Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности.

Допустимые микроклиматические условия - сочетание параметров микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека могут вызвать преходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма и напряжения реакций терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфортные теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности.

- **ВЕНТИЛЯЦИЯ** – совокупность мероприятий и устройств, используемых при организации воздухообмена для обеспечения заданного состояния воздушной среды в помещениях и на рабочих местах в соответствии с строительными нормами.

Система вентиляции – это комплекс архитектурных, конструктивных и специальных инженерных решений, который при правильной эксплуатации обеспечивает необходимый воздухообмен в помещении.

Вентиляционная система – это инженерная конструкция, которая имеет определённое функциональное назначение (приток, вытяжка, местный отсос и т. п.) и является элементом системы вентиляции.

Для нормального самочувствия человека необходимо, чтобы был обеспечен постоянный отвод выделяемого им тепла.

Теплоотдачу человека в окружающую среду в большой степени зависит от температуры окружающего воздуха, относительной влажности, т. е. от метеорологических условий, создаваемых системами комфортной вентиляции. По способу создания давления для перемещения воздуха системы вентиляции разделяют на системы с естественным и искусственным механическим побуждением.

Любая система вентиляции может быть охарактеризована по четырем признакам: по назначению, зоне обслуживания, способу перемешивания воздуха и конструктивному исполнению.

Системы вентиляции включают группы самого разнообразного оборудования:

1. Вентиляторы **2.** Вентиляторные агрегаты **3.** Вентиляционные установки **4.** Воздушно-тепловые завесы. **5.** Шумоглушители. **6.** Воздушные фильтры. **7.** Воздухонагреватели **8.** Воздуховоды **9.** Запорные и регулирующие устройства **10.** Воздухораспределители и регулирующие устройства воздухоудаления **11.** Тепловая изоляция.

- **ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА** могут поступать в организм человека через органы дыхания (пары, газы, пыль), кожу (жидкие, масляные, твердые вещества), желудочно-кишечный тракт (жидкие, твердые и газы).

Наиболее часто вредные вещества попадают в организм человека через органы дыхания. У человека около 60 млн обонятельных клеток. Они располагаются в слизистой оболочке носовых раковин на площади примерно в 5 см². От обонятельных клеток отходят нервные волокна, посылающие сигналы о запахе в мозг.

Основным способом борьбы с пылью является предупреждение ее образования и выделения в воздух, где наиболее эффективными являются мероприятия технологического и организационного характера: внедрение непрерывной технологии, механизация работ; герметизация оборудования, пневмотранспортирование, дистанционное управление; замена пылящих материалов влажными, пастообразными, гранулирование; аспирация и др.

Большое значение имеет применение систем искусственной вентиляции, дополняющее основные технологические мероприятия по борьбе с пылью. Для борьбы со вторичным пылеобразованием, т.е. поступлением в воздух уже осевшей пыли, используют влажные методы уборки, ионизации воздуха и др.

• ГИГИЕНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

Требования к помещениям и оборудованию образовательных учреждений, размещенных в приспособленном здании. При размещении в приспособленном здании необходимо иметь обязательный набор помещений: учебные аудитории, помещения для занятий по физвоспитанию, столовую или буфет, медпункт и административно-хозяйственные помещения, санузлы, рекреации и гардероб.

Требования к водоснабжению и канализации. Здания образовательных учреждений должны оборудоваться системами хозяйственно-питьевого, противопожарного водоснабжения, канализацией и водостоками в соответствии с гигиеническими требованиями к планировке и застройке городских и сельских помещений. В общеобразовательных учреждениях обеспечивается централизованное водоснабжение и канализация. Обеспечивается подача доброкачественной питьевой воды. Горячим водоснабжением обеспечиваются, пищеблок, душевые, умывальные, помещение медицинского кабинета.

Требования к организации медицинского обслуживания. Все образовательные учреждения комплектуются квалифицированными кадрами средних медицинских работников, врачей-педиатров.

Моют полы, протирают места скопления пыли. Один раз в месяц проводят генеральную уборку помещений с применением не только моющих, но и дезинфицирующих средств. Окна снаружи и изнутри моют 2 раза в год (весной и осенью). Уборку столовой проводят после каждого посещения ее студентами. Мытье посуды осуществляется механическим способом (с щеткой) водой при 50°C, с добавлением моющих средств (1-я ванна), после в 0,2 % растворе хлорамина (2-я ванна), ополаскивается горячей проточной водой при температуре 65°C (3-я ванна) и просушивается в специальных шкафах или на решетках. На территории участка проводят ежедневную уборку.

Требования к сотрудникам пищеблока: допускаются здоровые лица, прошедшие медицинский осмотр.

Персонал обязан соблюдать правила личной гигиены.

Строго обязательными санитарно-бытовыми помещениями являются:

1. Туалет 2. Умывальник 3. Гардероб 4. Комната для приема пищи 5. Комната отдыха.

Необходимо помнить, что туалет, умывальник, гардероб для мужчин и женщин выполняется отдельно.

4.2 Эргономика

Организация мероприятий направленных на снижение утомляемости оператора:

- **РАБОЧАЯ ПОЗА.** Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 град. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Конструкция стула должна обеспечивать: 1. ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; 2. поверхность сиденья с закругленным передним краем; 3. регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400-550 мм и углом наклона вперед до 15 градусов и назад до 5 градусов.; 4. высоту опорной поверхности спинки 300 ± 20 мм, ширину — не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости 400 мм; 5. угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах 0 ± 30 градусов; 6. регулировку расстояния спинки от переднего края сидения в пределах 260-400 мм; 7. стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной 50-70 мм; 8. регулировку подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 ± 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350-500 мм.; 9. поверхность сиденья, спинки и подлокотников должна быть полумягкой, с нескользящим неэлектризующимся, воздухопроницаемым покрытием, легко очищаемым от загрязнения.

Рабочий стол может быть любой конструкции, отвечающей современным требованиям эргономики и позволяющей удобно разместить

на рабочей поверхности оборудование с учетом его количества, размеров и характера выполняемой работы.

Режим работы. Виды трудовой деятельности на ПК разделяются на 3 группы: группа А — работа по считыванию информации с экрана с предварительным запросом; группа Б — работа по вводу информации; группа В — творческая работа в режиме диалога с ПК .

Если в течение рабочей смены пользователь выполняет разные виды работ, то его деятельность относят к той группе работ, на выполнение которой тратится не менее 50% времени рабочей смены.

Категории тяжести и напряженности работы на ПК определяются уровнем нагрузки за рабочую смену: для группы А — по суммарному числу считываемых знаков; для группы Б — по суммарному числу считываемых или вводимых знаков; для группы В — по суммарному времени непосредственной работы на ПК. В таблице приведены категории тяжести и напряженности работ в зависимости от уровня нагрузки за рабочую смену.

Виды категорий трудовой деятельности с ПК

Категория работы по тяжести и напряженности	Уровень нагрузки за рабочую смену при видах работы на ПК		
	Группа А	Группа Б	Группа В
	Количество знаков	Количество знаков	Время работы, ч
І	До 20000	До 15000	До 2,0
ІІ	До 40000	До 30000	До 4,0
ІІІ	До 60000	До 40000	До 6,0

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены.

При 8-часовой рабочей смене и работе на ПК регламентированные перерывы следует устанавливать:

- для первой категории работ через 2 часа от начала смены и через 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый;
- для второй категории работ — через 2 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 15 минут каждый или продолжительностью 10 минут через каждый час работы;
- для третьей категории работ — через 1,5- 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы.

Продолжительность непрерывной работы на ПК без регламентированного перерыва не должна превышать 2 часа.

Эффективными являются нерегламентированные перерывы (микропаузы) длительностью 1-3 минуты.

Регламентированные перерывы и микропаузы целесообразно использовать для выполнения комплекса упражнений и гимнастики для глаз, пальцев рук, а также массажа. Комплексы упражнений целесообразно менять через 2-3 недели.

• Защита пользователей компьютерной техники

Рекомендуется использовать масштабы линий, развертки, шкалы, сетки, электроно-лучевые трубки.

Неблагоприятные изменения функционального состояния пользователей персональных компьютеров определяются сочетанием ряда факторов:

уровнями генерируемых электромагнитных полей, параметрами освещенности, микроклиматом в помещении, состоянием здоровья, интенсивностью и длительностью работы с компьютером. Решающее значение имеет характер и интенсивность воздействия электромагнитного излучения на пользователя.

Для защиты от ЭМП используются различные фильтры:

- стеклянные фильтры полной защиты. Они обеспечивают ослабление мощности электромагнитного и электростатического полей, а также ультрафиолетового излучения не менее чем на 90%, рентгеновского излучения – на 40-70%;

- спектральные компьютерные очки для улучшения качества изображения, защиты от избытков энергетических потоков видимого света;

4.3 Электробезопасность

Окружающая среда или окружающая обстановка усиливает или ослабляет опасность поражения электрическим током. Поэтому правила делят все помещения по степени опасности поражения людей электрическим током на три класса.

1. Помещения без повышенной опасности – сухие с изолирующим полом, в которых отсутствуют условия, свойственные помещениям с повышенной опасностью или особо опасным (жилые комнаты или конторы, а также лаборатории сборочные цехи часовых или приборных заводов, размещенные в сухих помещениях с нормальной температурой).

2. Помещения с повышенной опасностью – характеризуются наличием одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырости (относительная влажность воздуха превышает 75%, температура воздуха превышает +30%), токопроводящей пыли (технологическая пыль оседает на проводах и проникает внутрь

оборудования), токопроводящих полов – металлических, земляных, железобетонных, кирпичных и т.д.

3. Помещения особо опасные – характеризуется наличием одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости (влажность близка к 100%, стены, пол и предметы, покрыты влагой); химически активной среды (содержатся пары, действующие разрешающе на изоляцию и токоведущие части электрооборудования); одновременного наличия двух или более условий свойственных помещениям с повышенной опасностью

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тела, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Для электробезопасности используют защитные заземления, зануления, грозозащитные сооружения, предупреждающую маркировку.

4.4 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность — состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита — это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники.

Одна из наиболее важных задач пожарной защиты — защита строительных помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами.

Применение автоматических средств обнаружения пожаров является одним из основных условий обеспечения пожарной безопасности, т.к. позволяет оповестить персонал о пожаре и месте его возникновения. Пожарные извещатели преобразуют неэлектрические физические величины (излучение тепловой и световой энергии) в электрические, которые в виде сигнала определенной формы направляются по проводам на приемную станцию. По способу преобразования пожарные извещатели подразделяются на параметрические, преобразующие неэлектрические величины в электрические с помощью вспомогательного источника тока, и генераторные в которых изменение неэлектрической величины вызывает появление собственной ЭДС.

- **Пожарная эвакуация**

Для того чтобы предотвратить воздействие на людей опасных факторов пожара, необходимо при проектировании зданий обеспечить людям возможность быстро покинуть здание.

В начальной стадии развития пожара опасность для человека создают высокие температуры, снижение концентрации кислорода и появление токсичных веществ в воздухе помещения, а также плохая видимость вследствие задымленности. Время от начала пожара до возникновения опасной для человека ситуации именуется критической продолжительностью пожара. Это время зависит от многих факторов.

На основе данных о критической продолжительности пожара с учетом коэффициента безопасности КМК 01.02.-97 устанавливают

необходимое время эвакуации людей $t_{нб}$ из помещений зданий различного назначения.

Необходимое время эвакуации людей из помещений производственных зданий I, II и III степеней огнестойкости в зависимости от категории производства по пожарной опасности и объема помещения приведено в таблице.

Если здание имеет другой объем, то $t_{нб}$ находят интерполяцией. Для зданий IV степени огнестойкости приведенное в таблице время уменьшается на 30%, а для зданий V степени огнестойкости – на 50%.

Таблица

Категория помещения	Необходимое время эвакуации $t_{нб}$, мин при объеме помещения, тыс. м ³				
	до 15	30	40	50	60 и более
А, Б	0,50	0,75	1,00	1,50	1,75
В	1,25	2,00	2,00	2,50	3,00
Г, Д	Не ограничивается				

Устройство путей эвакуации должно обеспечивать возможность всем людям покинуть здание через эвакуационные выходы за так называемое расчетное время эвакуации t_p , которое не должно превышать необходимое время эвакуации $t_{нб}$. Расчетное время эвакуации устанавливается по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей. Методика расчета приведена в КМК.01.01-97. Выходы считаются эвакуационными, если они ведут:

- из помещений первого этажа непосредственно наружу или через вестибюль, коридор, лестничную клетку;
- из помещений любого этажа, кроме первого, в коридор, ведущий на лестничную клетку, или на лестничную клетку, имеющую выход

непосредственно наружу, или через вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверьми;

- из помещения в соседнее помещение на том же этаже, обеспеченное выходами, указанными выше.

Требования к устройству путей эвакуации и эвакуационных выходов из производственных зданий и помещений содержатся в КМК.01.01-97. Количество эвакуационных выходов из зданий, помещений и с каждого этажа зданий принимается по расчету, но обычно должно быть не менее двух. Они должны располагаться рассредоточенно. Лифты и другие механические средства транспортирования людей не относятся к путям эвакуации.

Обычно в производственных зданиях протяженность путей эвакуации измеряют от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода. Протяженность путей эвакуации для производственных зданий промышленных предприятий регламентируется КМК 01.02-97 в зависимости от степени огнестойкости здания, его объема, категории пожарной опасности производства и плотности людского потока в общем проходе. Например, для производств категорий А и Б, размещенных в зданиях I и II степеней огнестойкости объемом 15 тыс. м³, расстояние от наиболее удаленного рабочего места до эвакуационного выхода не должно превышать 40 м при плотности людского потока до 1 чел/м² и соответственно 15 м – при плотности свыше 3 до 5 чел/м². Для производств категорий Г и Д, размещаемых в зданиях I, II, III степеней огнестойкости любого объема, это расстояние не ограничивается. Если же здание имеет, например, V степень огнестойкости, то расстояние от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода зависит от плотности людского потока в общем проходе, составляя при плотности до 1 чел/м² – 120 м, свыше 1 до 3 чел/м² – 70 м и свыше 3 до 5 чел/м² – 50 м.

V. ЭКОЛОГИЯ

5.1 Защита от шума

Энергетическое оборудование при работе в расчетных режимах возбуждает постоянный широкополосный и непостоянный, колеблющийся во времени шум с непрерывным спектром в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц.

Шумовой влияние в крупных промышленных городах мира - одна из наиболее острых экологических проблем современности. Многочисленные эксперименты и практика показывают, что антропогенное шумовое воздействие неблагоприятно ВПЧ заливают на организм человека и сокращает продолжительность его жизни, потому что привыкнуть к шуму физически невозможно. Человек может субъективно не замечать звуки, но от этого разрушительное действие на его органы слуха не только не уменьшается, но и увеличивается. При приспособлении к сильному шуму организм человека теряет большое количество энергии, развивается гипертония.

Шумовые характеристики

Шумовые характеристики источников шума, рабочих мест и зон прилегающих селитебных территорий используют для:

- контроля соответствующих шумовых характеристик действующим нормативным документам и оценки конструктивного совершенства энергетического оборудования;
- акустических расчетов и акустического проектирования;
- оценки шумового загрязнения окружающей среды в результате эксплуатации ЭС;
- определения ширины СЗЗ;
- разработки, планирования, осуществления и оценки мероприятий по защите от шума.

Для прилегающей к ТЭС селитебной территории устанавливаются шумовые характеристики:

- уровни звукового давления в октавных полосах частот, дБ (для постоянного шума);
- эквивалентный уровень звука в контрольных точках, дБА (для непостоянного шума);
- максимальный уровень звука, измеренный по временной характеристики «медленно» шумомера, дБА (для колеблющегося и прерывистого шуме) или по временной характеристике «импульс» шумомера, дБА (для импульсного шума).

В технической документации на газотурбинные установки (ГТУ), устанавливаемые на электрических станциях, должны приводиться значения уровней звуковой мощности, излучаемых от корпуса ГТУ, а также от воздухозабора и выхлопа.

Кроме санитарного нормирования шума необходимо проводить техническое нормирование шума, состоящее в установлении предельно допустимых шумовых характеристик (ПДШХ) машин, удовлетворение которым обеспечивает выполнение норм шума, воздействующего на людей при данных условиях. Основные положения по проведению такого нормирования приведены в ГОСТ 27409.

Обоснование ПДШХ энергетического оборудования должно содержать план мероприятий по снижению уровней возбуждаемого им шума и следующих мероприятий по защите от шума персонала ТЭС и селитебных территорий, а именно:

- снижение звуковой мощности источников шума за счет совершенствования конструкции, повышения точности изготовления и монтажа энергетического оборудования;
- совершенствование конструкции защитных кожухов машин и их отдельных узлов путем улучшения их звукоизоляционных качеств, применения звукопоглощающей облицовки внутренних поверхностей и вибропоглощающих покрытий внешних поверхностей кожухов, виброизоляции от корпуса машины, фундамента и других строительных конструкций;

- снижение звуковой мощности источников шума за счет установки глушителей;
- размещение энергетического оборудования, содержащего мощные источники шума, в отдельных звукоизолированных помещениях;
- размещение центральных и блочных щитов управления на ТЭС в максимально возможном удалении от энергетического оборудования, содержащего мощные источники шума;
- футеровка углеразмольного оборудования и металлических дымовых труб;
- замена теплоизолирующих материалов на паропроводах и прочих горячих поверхностях на термостойкие, тепло- и звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы, не содержащие асбест;
- оперативное устранение неплотностей, возникающих на трубопроводах и являющихся источниками шума;
- использование подземного пространства для размещения оборудования, содержащего мощные источники шума;
- оптимальное расположение шумных объектов на территории ТЭС по отношению к прилегающей селитебной территории;
- насаждение шумозащитных полос из деревьев и кустарников изолирующего типа на территориях ТЭС и санитарно-защитной зоны, устройство экранирующих сооружений на территории санитарно-защитной зоны и локальных экранов на селитебной территории.

Анализ средств и методов снижения уровней шума должен проводиться с учетом допускаемого технической документацией изменения режима работы энергетического оборудования.

Действительные значения шумовых характеристик должны быть указаны в паспорте на энергетическое оборудование после его испытания в условиях эксплуатации.

Шумовые характеристики энергетического оборудования должны контролироваться при приемочных, периодических и типовых испытаниях в соответствии с ГОСТ 23941 и ГОСТ 30691.

Для измерения шумовых характеристик должны применяться аппаратура и обеспечиваться условия по ГОСТ Р 51402. Режим работы энергетического оборудования - расчетный, сопровождающийся возбуждением максимальных уровней шума.

При составлении технических заданий (требований) по ГОСТ Р 15.201 на разработку нового энергетического оборудования ТЭС следует обосновывать допустимость эксплуатации оборудования, характеризуемого ПДШХ.

5.2 Защита от вибрации

Эксплуатация современных машин и оборудования сопровождается значительным уровнем виброакустических факторов. Источниками вибрации в жилых и общественных зданиях являются инженерное и санитарно-техническое оборудование, а также промышленные установки и транспорт (метрополитен мелкого заложения, тяжелые грузовые автомобили, железнодорожные поезда, трамваи), создающие при работе большие динамические нагрузки, которые вызывают распространение вибрации в грунте и строительных конструкциях зданий. Вибрации часто являются также причиной возникновения шума в помещениях зданий.

Вибрация - вид механических колебаний, возникающих при передаче телу механической энергии от источника колебаний. Согласно ГОСТ 24346-80 "Вибрация. Термины и определения" вибрацией называют движение точки или механической системы, при котором происходит поочередное возрастание и убывание во времени значений, по крайней мере, одной координаты.

Вибрацией сопровождается работа стационарных и передвижных машин, механизмов и агрегатов, в основу действия которых положено вращательное и возвратно-поступательное движение.

Методы снижения воздействия вибрации

Общие методы снижения вибраций основаны на анализе уравнений, описывающих колебания машин и аппаратов. Для простоты

анализа принято, что на систему действует переменная возмущающая сила, подчиняющаяся синусоидальному закону, поэтому уравнение, выражающее связь между амплитудами виброскорости (V_m) и возмущающей силы (F_m), имеет вид:

$$V_m = \frac{F_m}{\sqrt{\mu^2 + \left(m\omega - \frac{q}{\omega}\right)^2}}, \quad (1.1)$$

где: m – масса системы, кг ; q – коэффициент жесткости системы, Н/м; ω – угловая частота возмущающей силы, рад/с.

Знаменатель в данном уравнении выражает полное механическое сопротивление системы воздействию возмущающей силы, при этом величина μ характеризует активную часть этого сопротивления, а величина

– $\left(m\omega - \frac{q}{\omega}\right)$ реактивную часть.

В режиме резонанса, когда частота колебаний системы равна

частоте возмущающей силы, $\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{q}{m}}$ – реактивное сопротивление равно нулю и амплитуда колебаний резко возрастает.

Анализ вышеприведенного уравнения позволяет определить основные технические меры борьбы с вибрацией:

- устранение или снижение вибрации в источнике возникновения (устранение или снижение F_m);
- вибродемпфирование;
- динамическое гашение вибрации.

Устранение или снижение вибрации в источнике возникновения должны быть реализованы еще на стадии конструирования машин и проектирования технологических процессов. При этом особое внимание должно быть уделено исключению или максимальному сокращению динамических процессов, вызванных ударами, резкими ускорениями.

Ослабление вибрации в источнике ее возникновения производится за счет уменьшения действующих в системе переменных сил.

Такое уменьшение переменных возможно при замене динамических процессов статическими, при тщательной балансировке вращающихся частей и др.

При наличии контакта с вибрирующим объектом передачу вибрации можно уменьшить, используя дистанционное управление, автоматический контроль и сигнализацию ограждения. Эти методы должны полностью исключить контакт оператора с вибрирующим объектом.

Вибродемпфирование основано на уменьшении уровня вибрации путем преобразования энергии механических колебаний в тепловую. Оно может быть достигнуто:

- использованием в качестве конструкционных материалов с большим внутренним трением;
- нанесением на вибрирующие поверхности упруговязких материалов;
- применением поверхностного трения.

Эффективным видом демпфирующих устройств являются гасители колебаний, работающие по принципу антирезонанса, возникающего в системах с двумя степенями свободы. Принцип действия антирезонанса состоит в том, что одна из масс системы остается в состоянии покоя при действии на нее гармонического возмущения определенной частоты. Наибольший эффект динамических гасителей наблюдается при применении их в условиях резонансных режимов колебаний.

Динамическое виброгашение осуществляют установкой машин и агрегатов на фундаменты, массу которых рассчитывают так, чтобы амплитуда колебаний подошвы фундамента не превышала 0,1 – 0,2мм, а для отдельных сооружений – 0,005мм.

Вибропоглощение заключается в нанесении на вибрирующую поверхность упруговязких материалов, обладающих большим внутренним трением (резина, пластики, вибропоглощающие мастики).

Ослабление вибрации достигается за счет поглощения энергии колебаний в упруговязких материалах. Вибропоглощающие покрытия эффективны при условии, если толщина слоя равна нескольким длинам волн колебаний изгиба. Вибропоглощающие покрытия наносят в местах максимальных амплитуд вибраций, которые определяют на основании исследования виброскорости в различных точках конструкции. Толщина вибропоглощающего слоя обычно в 2 – 3 раза больше толщины покрываемой конструкции. В тех случаях, когда перечисленные выше меры защиты оказываются недостаточно эффективными и не удается снизить уровень вибрации до допустимых значений, используют виброизоляцию.

Виброизоляция основана на уменьшении передачи колебаний от источника возникновения защищаемому объекту с помощью устройств, помещаемых между ними. Между источником колебаний и защищаемым объектом появляется упругая связь, ослабляющая уровень вибрации. В качестве таких упругих элементов могут быть использованы виброизоляторы в виде пружин, рессор, резиновых прокладок и т.д.

Установка машины на виброизоляторы (амортизаторы) уменьшает передачу вибраций на основание и, следовательно, уменьшает вредные вибрации рабочих мест.

Виброизоляция называется активной, если она применяется для уменьшения вибраций от источника возбуждения (машины) на поддерживающую конструкцию.

Наиболее эффективным методом создания вибробезопасных условий является разработка активной виброизоляции, уменьшающей динамические нагрузки, передаваемые от вибрирующих установок на поддерживающие конструкции. Виброизоляция может быть двух вариантов: опорной и подвесной. При опорной виброизоляции виброизоляторы располагаются под корпусом изолируемой машины или под жестким фундаментным блоком. При подвесной виброизоляции изолируемый объект подвешивается на виброизоляторах, закрепленных выше подошвы фундамента.

Пассивная виброизоляция применяется, если требуется защитить виброизолируемый объект от колебаний поддерживающего основания.

Пассивная виброизоляция применяется для защиты людей, находящихся в зоне распространения вибрации. Чаще всего пассивная изоляция устраивается в виде массивной плиты, имеющей контакт с вибрирующим основанием через другие амортизаторы. Расчет такой изоляции сводится к подбору соотношения между массой плиты и коэффициентом жесткости упругих опор, при котором колебания плиты доводятся до значений более низких, чем колебания основания (под коэффициентом жесткости упругих опор (кг/см) имеется в виду величина усилия (кг), при котором осадка упругих опор равна 1 см).

При воздействии на работающих локальной вибрации используется также метод защиты временем. Он заключается в том, что при использовании виброопасных ручных инструментов работы следует производить в соответствии с разработанными режимами труда, согласно которым суммарное время контакта с вибрацией в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от величины превышения санитарных норм "Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий"

Заключение

Автоматическое регулирование возбуждения (АРВ), процесс изменения по заданным условиям тока возбуждения электрических машин. Осуществляется на синхронных генераторах, мощных синхронных двигателях, синхронных компенсаторах, на генераторах и двигателях постоянного тока и на других специальных электрических машинах изменением напряжения на обмотке возбуждения. При этом изменяется сила тока возбуждения электрической машины и, как следствие, основной магнитный поток и эдс в обмотках якоря. АРВ синхронных генераторов осуществляется в основном с целью обеспечения заданного напряжения в электрической сети, а также для повышения устойчивости их параллельной работы на общую сеть. АРВ широко применяется в электроприводе постоянного тока для поддержания постоянства частоты вращения рабочего органа машины путём воздействия на ток возбуждения двигателя или питающего генератора.

Различают АРВ пропорционального и сильного действия. АРВ пропорционального действия характеризуется изменением силы тока возбуждения пропорционально отклонению напряжения на зажимах машины от заданного значения (отрицательная обратная связь по напряжению). Регуляторы возбуждения пропорционального действия могут содержать устройства компаундирования (положительная обратная связь по току машины) и стабилизации (гибкая отрицательная обратная связь по напряжению возбуждения). АРВ пропорционального действия не обеспечивает достаточной точности поддержания напряжения электрических станций, работающих на дальние линии электропередачи и в случаях, когда в системе имеются резкопеременные нагрузки, приводящие к значительным колебаниям напряжения. Тогда применяют АРВ сильного действия, при котором увеличение эффективности достигается введением регулирования возбуждения по отклонению

напряжения, по производным от тока, напряжения, частоты и др., выбираемых в определенных соотношениях; характеризуется высоким быстродействием и большой мощностью системы возбуждения.

Влияние на пропускную способность и статическую устойчивость электропередач автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов практически обеспечиваются соответственно двумя основными видами автоматического регулирования возбуждения, а именно:

- пропорционального (П-) действия;
- пропорционально-дифференциального (ПД-) — «сильного» действия (СД).

При пропорциональном регулировании управляющее воздействие определяется отклонением напряжения от заданного значения, током нагрузки генератора и коэффициентом мощности $\cos \varphi_T$. Для выработки регулирующего воздействия при автоматическом регулировании возбуждения сильного действия используются производные (первая и вторая) напряжения и других режимных параметров электропередачи.

Повышение динамической устойчивости достигается быстрым увеличением тока возбуждения до его предельно допустимого значения — так называемой форсировкой возбуждения синхронного генератора. Для обеспечения результирующей устойчивости путем ресинхронизации генератора и в других случаях необходимо его развозбуждение. Форсировка возбуждения и развозбуждения осуществляется устройствами релейного автоматического управления возбуждением.

Автоматическое регулирование и релейное управление возбуждением способствуют быстрому и полному гашению колебаний, возникающих

после восстановления синхронной работы электропередачи: повышают четкость действия устройств релейной защиты; способствуют быстрому восстановлению напряжения после отключения коротких замыканий, облегчая самозапуск электродвигателей; решают другие задачи по улучшению качества режимов электроэнергетической системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллаев К. Р. Электромеханические переходные процессы: Учебное пособие.– Т.: Молия, 2007 г, - 280 с.
2. Юрганов А. А., Кожевников В. А. Регулирование возбуждения синхронных генераторов. — СПб.: Наука, 1996. — 138 с.
3. Соловьев И. И., Овчаренко Н. И. Автоматические регуляторы синхронных генераторов - М.: Энергоиздат, 1981. - 248 с., ил.
4. Кривенков В. В, Новелла В.Н. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981.328 с., ил.
5. Чернобровов Н. В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд.5-е, перераб. И доп.М., "Энергия", 1974.
6. Макаричев Ю. А., Овсянников В. Н. Синхронные машины: учеб.пособ.–Самара. Самар.гос.техн.ун-т, 2010. - 156с.: ил.
7. Веников В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах: Учеб. для электроэнергет. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1985. 536 с., ил.
8. Жданов П. С. Вопросы устойчивости электрических систем – М., Энергия, 1979. – 456 с., ил.
9. Беркович М. А. Комаров А. Н. Семенов В. А. основы автоматки энергосистем – М., Энергоиздат, 1981. – 432 с., ил.
10. Соколов Э.М., Захаров Е.И., Панфёрова И.В., Макеев А.В. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие для студентов университетов. – Тула, Гриф и К, 2001
11. Белов С.В. Девисилов В.А. Козьяков А.Ф. Безопасность жизнедеятельности: учебник для студ.– М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.
12. Кашина С. Г. Защита от вибрации: Учебное пособие для студентов. – Казань: Изд-во Казанского гос.ун-та, 2012. – 133 с.