

Лекция 5

# Синхронные генераторы электростанций

## Синхронные генераторы.

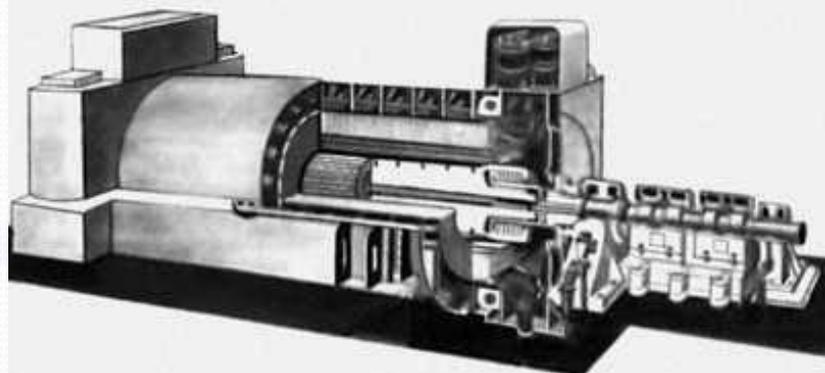
- Типы и параметры СГ.
- Системы охлаждения СГ.
- Системы возбуждения СГ.
- Режимы работы.
- Включение СГ на параллельную работу.

Выработка электроэнергии на электростанциях энергосистем осуществляется турбогенераторами и гидрогенераторами.

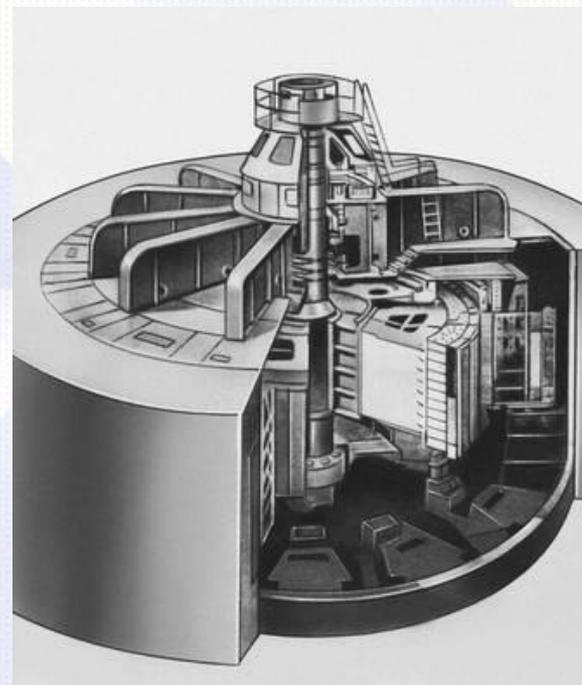
Турбогенераторы (1) устанавливаются на КЭС, ТЭЦ и АЭС,

Гидрогенераторы (2)— на ГЭС и ГАЭС.

Синхронные компенсаторы(3) обычно устанавливаются на подстанциях и служат для регулирования напряжения в сети.



1



2



3

# Турбогенераторы.

Турбогенератор представляет собой быстроходную горизонтальную электрическую машину с неподвижным статором и вращающимся цилиндрическим неявнополюсным ротором.

В соответствии с частотой переменного тока 50 Гц отечественная промышленность изготавливает в основном двухполюсные турбогенераторы с номинальной частотой вращения 3000 об/мин. Для атомных электростанций (АЭС) ввиду низких параметров пара целесообразно применение более тихоходных, четырехполюсных турбогенераторов с номинальной частотой вращения 1500 об/мин.

Промышленность поставляет двухполюсные турбогенераторы мощностью 2,5; 4; 6; 12; 30; 50; 60 (63); 100; 150 (160); 200; 300; 500; 800; 1200 МВт.

Номинальное напряжение генераторов принимается от 6,3 до 24 кВ, коэффициент мощности от 0,8 до 0,9.

При этом номинальный ток составляет от 0,35 до 32 кА, КПД от 95,8 до 99,03 %, масса ротора от 3,5 до 100 т, общая масса турбогенератора (без возбuditеля и фундаментных плит) от 16 до 600 т.

# Гидрогенераторы.

Гидрогенераторы относятся к числу тихоходных электрических машин. Их номинальная частота вращения может иметь различные значения – от нескольких десятков до нескольких сотен оборотов в минуту, так как частота вращения гидротурбин зависит от напора и расхода воды в створе реки.

Гидрогенераторы выпускаются мощностью от 8 до 640 МВт с номинальным напряжением от 3,15 до 15,75 кВ, номинальным током от 0,6 до 26 кА, массой ротора от 30 до 935 т, общей массой генератора от 75 до 1790 т, диаметром ротора от 5 до 16 м.

Гидрогенераторы являются многополюсными, а потому относительно тихоходными синхронными машинами.

Частота их вращения обычно находится в диапазоне 50—250 об/мин (у отдельных типов генераторов до 500—600 об/мин).

## Синхронные компенсаторы.

Синхронный компенсатор представляет собой ненагруженный синхронный двигатель, который в зависимости от значения тока возбуждения и его направления либо вырабатывает (в режиме перевозбуждения), либо потребляет (в режиме недо возбуждения) реактивную мощность.

Особенностью синхронных компенсаторов является возможность работы как с положительным, так и с отрицательным возбуждением.

Синхронные компенсаторы выпускаются мощностью 10; 16; 25; 32; 50; 100; 160; 320 МВА.

Их номинальные параметры находятся в следующих пределах: напряжение 6,6—15,75 кВ, ток статора 0,45-5,9 кА, частота вращения 1000 и 750 об/мин; масса ротора 8 -110 т, общая масса 20—303 т. Разработаны синхронные компенсаторы мощностью 320 МВА.

# СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Полная номинальная мощность электрической машины, кВА, может быть определена по выражению

$$S_{\text{НОМ}} = k \cdot A \cdot B_{\delta} \cdot D_{\text{СТ}}^2 \cdot l_{\text{СТ}} \cdot n_{\text{НОМ}},$$

где  $k=1,1$  - коэффициент;

$A$  — линейная плотность статора в номинальном режиме, А/см;

$B_{\delta}$  — магнитная индукция в воздушном зазоре, Тл;

$D_{\text{СТ}}$  — диаметр расточки статора, м;

$l_{\text{СТ}}$  — длина активной части статора, м;

$n_{\text{НОМ}}$  — номинальная частота вращения, об/мин.

Для увеличения мощности турбогенераторов необходимо увеличивать линейную нагрузку статора и пропорциональную ей линейную нагрузку ротора. Это влечет за собой увеличение плотности тока в проводниках обмоток статора и ротора, что допустимо только при повышении эффективности систем охлаждения генераторов.

Все системы охлаждения можно подразделять на косвенные и непосредственные. Некоторые машины выполняют со смешанной системой охлаждения. В качестве охлаждающих сред используют воздух, водород, воду и масло.

Косвенные системы охлаждения

При косвенной системе охлаждения газ (воздух или водород) циркулирует в зазоре между ротором и статором, а также в вентиляционных каналах сердечника статора. При косвенной системе охлаждения основная доля превышения температур приходится на изоляцию, поэтому номинальная мощность генератора заданных размеров в значительной мере ограничена тепловыми характеристиками изоляции.

Непосредственная система охлаждения.

При таких системах охлаждающая среда непосредственно соприкасается с медью обмоток, благодаря чему основная часть тепла, выделяемого в меди, отводится непосредственно к охлаждающей среде, минуя изоляцию и сталь. При этом имеют место только две составляющие превышения температуры: превышение между поверхностью проводников и охлаждающей средой и превышение в охлаждающей среде. Следовательно при непосредственном охлаждении теплоотводящие свойства среды могут быть использованы более эффективно, чем при косвенном охлаждении.

В непосредственных системах охлаждения в качестве охлаждающей среды используют водород, воду и масло.

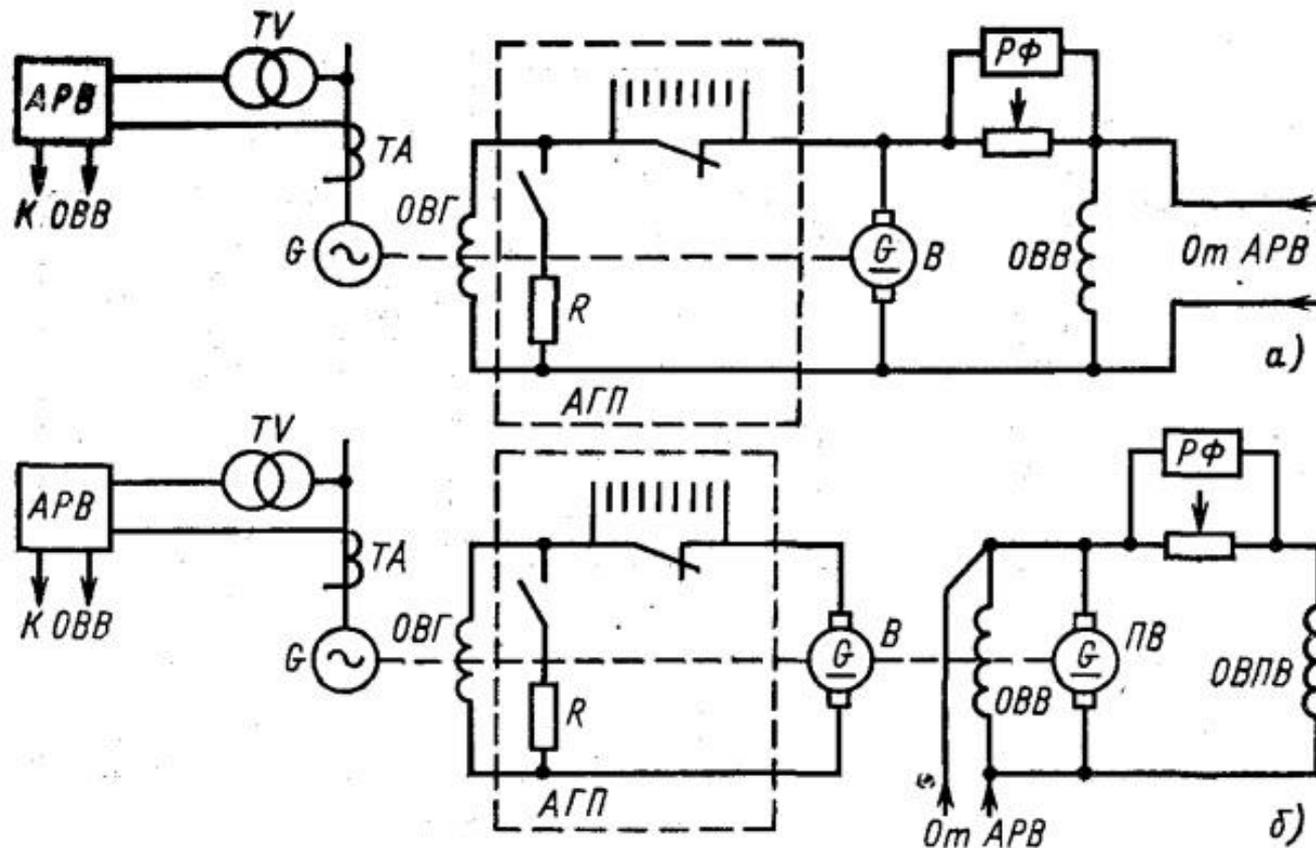
## Виды систем охлаждения

- A. Т – косвенное воздушное охлаждение обмоток;
- B. ТВ – косвенное водородное охлаждение обмоток;
- C. ТВФ – непосредственное охлаждение обмотки возбуждения и косвенное охлаждение обмотки якоря водородом;
- D. ТГВ – непосредственное охлаждение обмоток возбуждения и якоря водородом (ТГВ-200-2, ТГВ-300-2) или водой (ТГВ-500-2, ТГВ-800-2);
- E. ТВВ – непосредственное охлаждение обмотки возбуждения водородом, обмотки якоря – водой;
- F. ТЗВ – непосредственное водяное охлаждение обмоток возбуждения, якоря и сердечника статора.
- G. ТВМ – непосредственное охлаждение обмотки ротора водяное, обмотки и сердечника статора – масляное погруженного исполнения.

# Система возбуждения

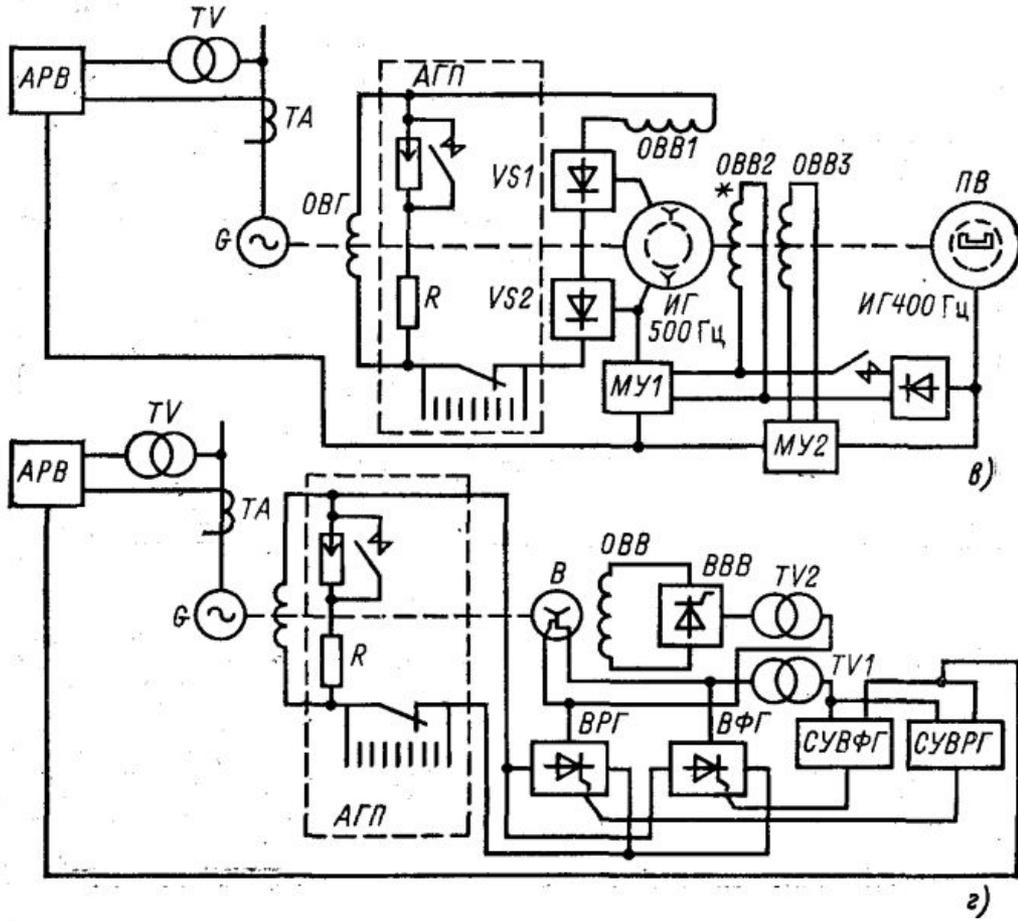
Синхронные машины в зависимости от их типа, номинальной мощности, частоты вращения ротора и других факторов оснащаются различными системами возбуждения. Система возбуждения предназначена для питания обмотки возбуждения синхронной машины постоянным током и соответствующего регулирования тока возбуждения.

На практике для возбуждения синхронных генераторов и компенсаторов используют: электромашинные системы возбуждения различного исполнения с приводом возбудителя от вала возбуждаемой машины; высокочастотные системы; тиристорные системы возбуждения со статическими полупроводниковыми выпрямителями; бесщеточные системы возбуждения с вращающимися полупроводниковыми выпрямителями.

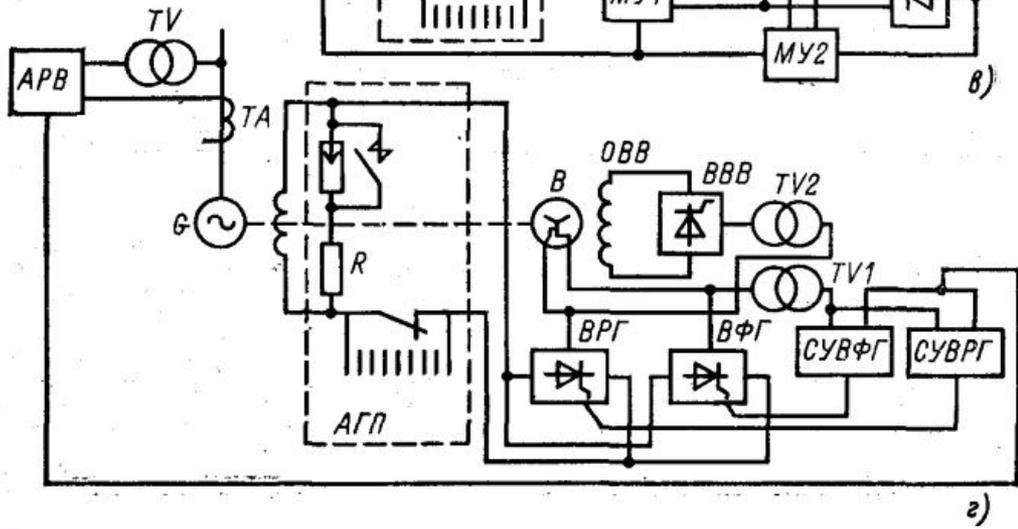


Первоначально были разработаны и внедрены электромашинные системы возбуждения с возбудителями постоянного тока, работающими по системе самовозбуждения или независимого возбуждения (а и б).

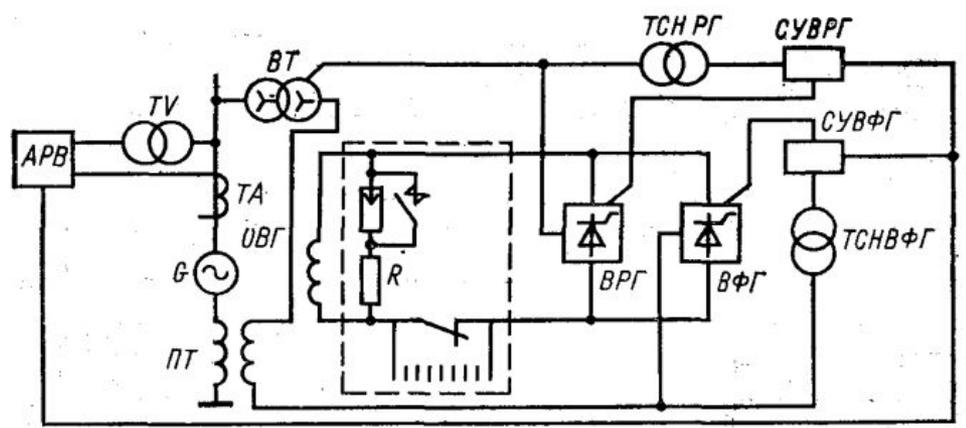
Опыт эксплуатации показал, что эти системы имеют ряд существенных недостатков и не могут быть изготовлены для современных мощных генераторов и синхронных компенсаторов.



в)

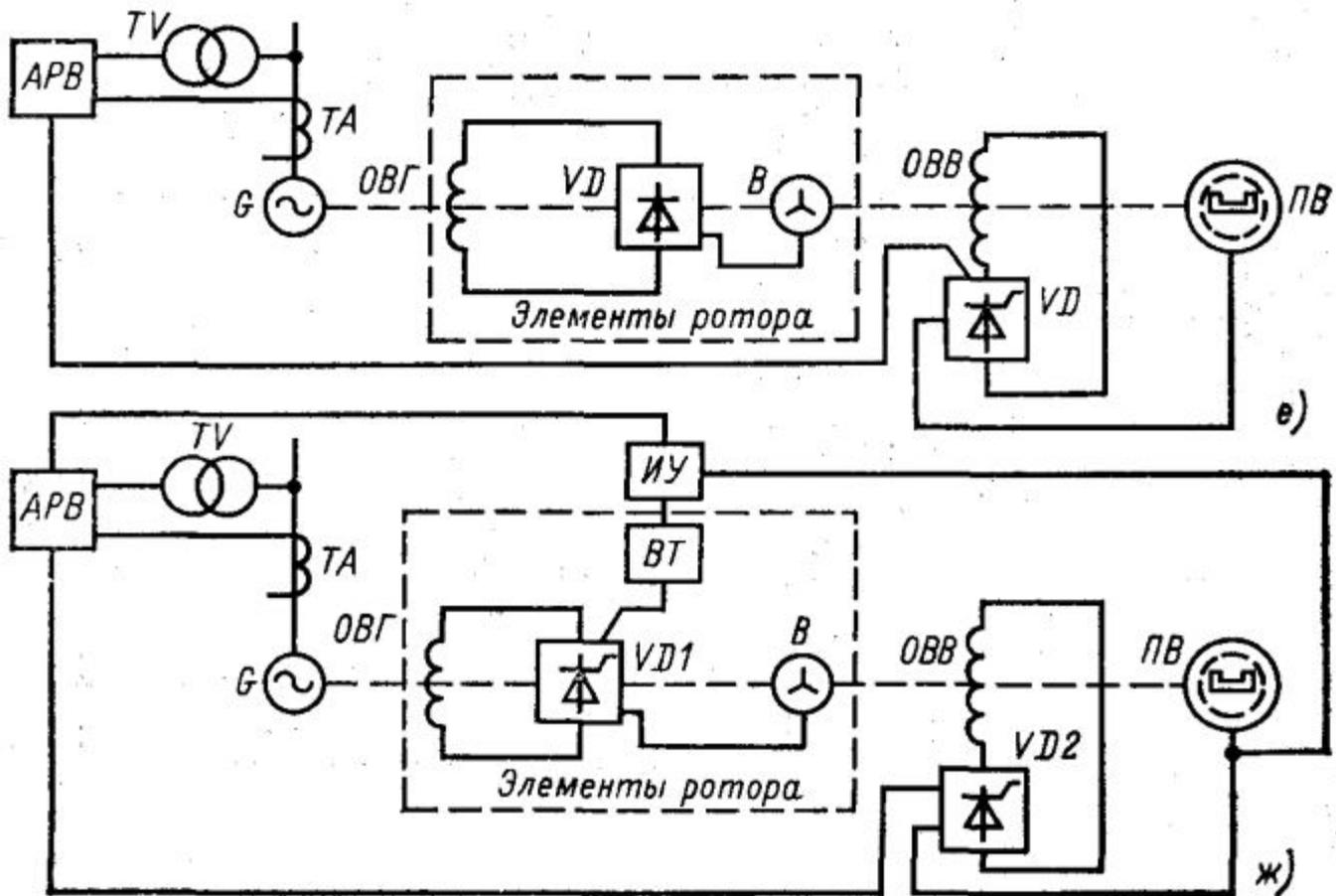


г)



д)

Системы возбуждения со статическими преобразователями в настоящее время являются основными для крупных синхронных машин. Эти системы (в, г и д) содержат тот или иной источник переменного тока и статический полупроводниковый преобразователь переменного тока в постоянный.



В последние годы в ряде стран разрабатываются и внедряются бесщеточные диодные и тиристорные системы возбуждения, являющиеся, по-видимому, наиболее перспективными системами возбуждения для крупных синхронных машин. Эти системы (рис. 4.2, е, ж) содержат источник переменного тока и полупроводниковый преобразователь, расположенные на валу ротора возбуждаемой машины.

Неотъемлемым элементом систем возбуждения синхронных машин являются устройства автоматического регулирования возбуждения (АРВ). Различают АРВ пропорционального и сильного действия. Первые реагируют на значение и знак отклонения параметров режима (ток, напряжение) от заданных значений. Вторые, кроме того, реагируют и на скорость изменения параметров (первые и вторые производные изменения параметров). Наличие устройств АРВ позволяет обеспечить оптимальный режим работы синхронных машин при изменениях нагрузки и повысить устойчивость их работы при возмущениях в энергосистеме.

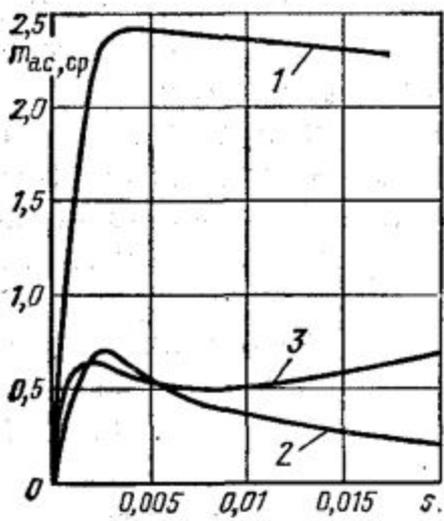
Все генераторы и синхронные компенсаторы оснащаются устройствами автоматического гашения поля машин при их внутренних повреждениях.

# Режимы работы синхронных машин.

У синхронных машин различают нормальные и аномальные режимы.

Под нормальными понимают такие режимы, которые допускаются длительно, без каких-либо ограничений. К ним относятся: работа машин с различными нагрузками от минимально возможной по технологическим условиям до номинальной; работа с коэффициентами мощности, отличными от номинального; работа при отклонении напряжения на выводах генератора в пределах  $\pm 5\%$  номинального; работа при отклонении частоты в сети в пределах  $2,5\%$  номинальной; работа при отклонении температуры охлаждающей среды от номинальной температуры и т. п.

К аномальным относятся режимы работы синхронных машин, связанные со значительными аварийными перегрузками или потерей возбуждения, работа с недовозбуждением, асинхронный ход, работа при отказе системы охлаждения, а также при появлении значительных несинусоидальности и несимметрии напряжения сети.



Кривые средних асинхронных моментов синхронных генераторов.

1 - Турбогенератор, 2 - Гидрогенератор, без демпферной обмотки 3 – Гидрогенератор с демпферной обмотки

Гидрогенераторы имеют пологую, так называемую «мягкую» асинхронную характеристику, причем с небольшим максимальным моментом. Кроме того, у них обычно  $X_d < 1$  и, следовательно, ток намагничивания больше номинального тока, поэтому они не допускают длительной работы в асинхронном режиме. При возникновении такого режима необходимо в зависимости от возникшей ситуации и местных условий либо немедленно восстановить возбуждение машины от рабочего или резервного источника возбуждения, либо отключить машину от сети.

Турбогенераторы имеют относительно крутую («жесткую») асинхронную характеристику со значительным максимальным моментом, причем их  $X_d > 1$ . Поэтому для них по условиям нагрева статора допускается относительно длительная работа в асинхронном режиме со сниженной нагрузкой.

## Включение на параллельную работу

В энергосистемах генераторы электростанций объединены на параллельную работу электрическими сетями различного напряжения. При синхронной работе генераторов вращающие моменты их турбин уравниваются соответствующими электромагнитными моментами генераторов.

В эксплуатации должна быть обеспечена устойчивая параллельная работа синхронных машин и частей энергосистемы. Устойчивость электрической системы — это способность электрической системы восстанавливать исходный установившийся режим или режим, близкий к исходному, при различного рода возмущениях.

Устойчивая параллельная работа генераторов в энергосистеме при возникающих эксплуатационных возмущениях (сброс и наброс нагрузки по разным причинам, короткие замыкания, неполнофазные режимы и т. п.) обеспечивается за счет мероприятий, таких как правильный выбор параметров нормального режима с учетом характеристик генераторов; оснащение генераторов быстродействующими эффективными устройствами АРВ; установка быстродействующих устройств релейной защиты и системной автоматики; повышение быстродействия коммутационной аппаратуры; использование специальных устройств для повышения устойчивости (например, устройства динамического торможения); быстродействующее регулирование вращающего момента турбин.

Для того чтобы параллельно работающие синхронные генераторы отдавали в сеть токи одинаковой частоты, они должны вращаться синхронно. При этом их частоты вращения должны быть обратно пропорциональны числам пар полюсов.

Идеальные условия для включения генераторов на параллельную работу, позволяющие избежать аварийных толчков тока и моментов (*точная синхронизация*), достигается при соблюдении следующих требований:

- 1) напряжение включаемого генератора  $U_G$  должно быть равно напряжению сети  $U_c$  или же работающего генератора;
- 2) частота тока генератора  $f_g$  должна равняться частоте тока сети  $f_c$ ;
- 3) чередование фаз генератора и сети должно быть одинаковым;
- 4) напряжения  $U_G$  и  $U_c$  должны быть в фазе.

Включение на параллельную работу без точного соблюдения перечисленных условий (*грубая синхронизация*) сопровождается сильными толчками момента и бросками тока. Они могут быть уменьшены, например, включением реакторов.

В ряде случаев применяется способ *самосинхронизации*, который ускоряет процесс включения, но сопровождается появлением переходных токов, в несколько раз превышающих номинальный ток генератора.