АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

АВТОРЫ:

Ю.Г. ШАКАРЯН,
Д.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

П.В. СОКУР,
К.Т.Н.,
АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Н.Д. ПИНЧУК,
К.Т.Н.,
ОАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

О.В. АНТОНЮК,
ОАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

В.Ю. НОВОЖИЛОВ,
ОАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

В современных условиях эксплуатации электроэнергетических сетей актуальным является вопрос о поддержании на высоком уровне качества электроэнергии, надежности и управляемости энергосистемы. Основными параметрами качества электроэнергии являются частота, уровни и гармонический состав напряжений в ключевых узлах энергосистемы.

Ключевые слова: асинхронизированная машина; машина двойного питания; турбогенератор; гидрогенератор; синхронный компенсатор; накопитель энергии.

Асинхронизированный турбогенератор ТЭФАУ-160-2У3 мощностью 160 МВт на блоке № 11 ТЭЦ-21 «Мосэнерго»

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. КОНСТРУКЦИЯ, ВОЗБУЖДЕНИЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ

В 1950-х гг. по инициативе и под научным руководством д.т.н. М.М. Ботвинника в СССР были развернуты работы по созданию и практическому применению в электроэнергетике асинхронизированных машин (АСМ). Эти работы при головной роли ВНИИЭ (ныне АО «НТЦ ФСК ЕЭС») проводились в ряде научных и проектных институтов, на заводах [1, 2].

Несколько позже, приблизительно с начала 1980-х гг. разработкой, созданием и практическим применением АСМ занялись ведущие мировые фирмы: «Мицубиси», «Тошиба», «Хитачи», ABB, «Альстом», «Сименс» и др. В западной литературе эти машины называются асинхронными машинами двойного питания.

АСМ в отличие от синхронной машины содержит на неявнополюсном роторе не одну, а две или три обмотки возбуждения, расположенные друг относительно друга под произвольным углом, намагничивающая сила которых в общем случае может различаться. Обмотки возбуждения получают питание от реверсивных выпрямителей — преобразователей частоты, выполненных на элементной базе силовой электроники. Структурная схема АСМ показана на рис. 1.

При скорости вращения ротора 3000 об/мин и 1500 об/мин АСМ выполняется с массивным ротором, а при частоте 1000 об/мин и ниже — с шихтованным.

АСМ с массивным ротором работает в установившемся режиме с синхронной частотой вращения (скольжение $s = 0$), так как при несинхронной частоте вращения существенно возрастают потери в массиве ротора.

АСМ с шихтованным ротором может работать в широком диапазоне изменения частоты вращения ротора. На рис. 2 приведена возможная классификация АСМ.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА АСМ

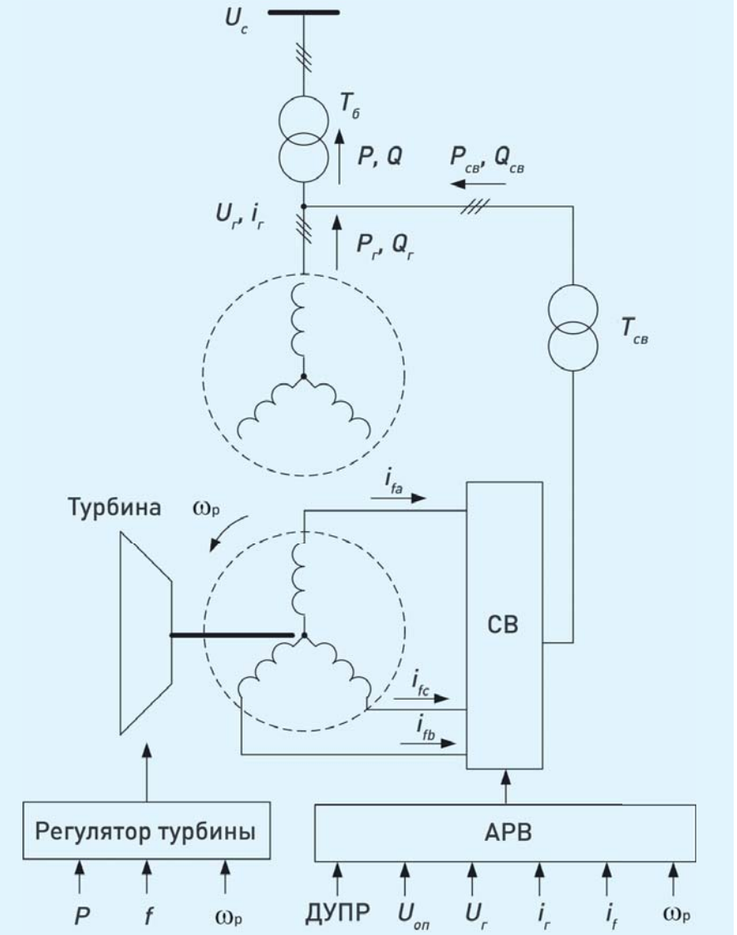


Рис. 1

В АСМ реализуется так называемый векторный принцип регулирования возбуждения[1], при котором раздельно и независимо друг от друга регулируются следующие параметры режима: активная мощность, или электромагнитный момент, и реактивная мощность, или напряжение машины. Выходная частота напряжения возбужде-

[1] В ряде публикаций этот принцип регулирования назван асинхронизированным принципом управления [3].

ния АСМ (ω_f) формируется как разность частоты сети (ω_c) и вращения ротора (ω):

$\omega_f = \omega_c - \omega = s\omega_c$,

где $s=(\omega_c-\omega)/\omega_c$ — скольжение машины.

Если частота вращения ротора и частота сети одинаковы, то выходная частота преобразователей системы возбуждения равна нулю и ротор вращается с синхронной частотой вращения. При $\omega_c \neq \omega$ ротор машины вращается с частотой, отличной от синхронной, при этом частота токов и напряжений статора остается неизменной и равной частоте сети. Это означает, что в АСМ частота вращения ротора и частота напряжений сети оказываются «развязанными» друг относительно друга, что определяет ряд преимуществ АСМ перед синхронными и асинхронными машинами.

На рис. 3 построена векторная диаграмма режима работы АСМ через реактивное сопротивление (x) на шины бесконечной мощности (U).

Активная (электромагнитный момент) и реактивная мощность АСМ, имеющей две обмотки возбуждения, соответствуют выражению:

$$P = M \cdot \omega_c = \frac{UE_q}{x}\sin\delta - \frac{UE_d}{x}\cos\delta$$

$$Q = -\frac{U^2}{x} + \frac{UE_q}{x}\cos\delta - \frac{UE_d}{x}\sin\delta \qquad (1)$$

ЭДС $E_q = x_a \cdot i_{fd}$ и $E_d = x_a \cdot i_{fq}$ наводятся в статоре АСМ токами возбуждения i_{fd} и i_{fq}.

Сформируем токи i_{fd} и i_{fq} как

$$I_{fd} = \alpha\sin\delta + \beta\cos\delta;$$

$$I_{fq} = \beta\sin\delta - \alpha\cos\delta. \qquad (2)$$

Подставляя формулы (2) в формулы (1) после достаточно простых преобразований, получим:

КЛАССИФИКАЦИЯ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ МАШИН (АСМ)

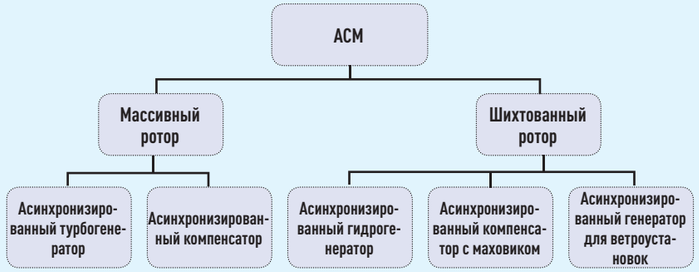
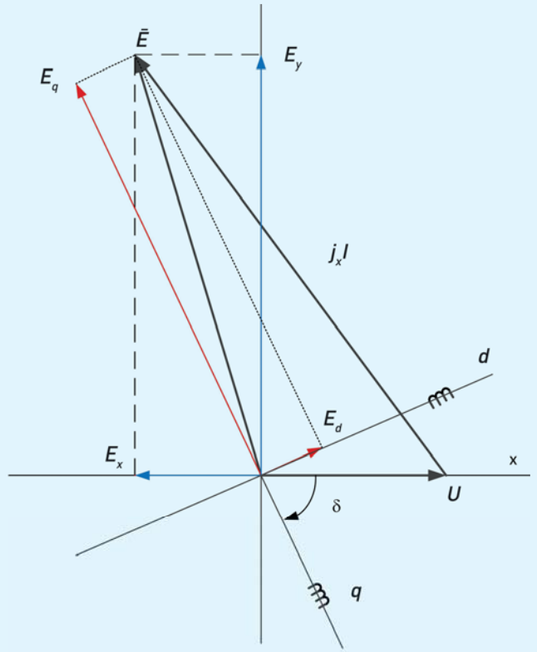


Рис. 2

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА АСМ



$\bar{E}$ — вектор ЭДС АСМ;
E_y, E_x — проекции вектора Е на «синхронные» оси ***xy***;
$\bar{U}$ — вектор напряжения энергосистемы (опорный вектор);
E_q, E_d — проекции вектора Е на оси обмотки ротора.

Рис. 3

$$M \cdot \omega_c = P = \frac{U \cdot x_a}{x}\alpha$$

$$Q = -\frac{U^2}{x} + \frac{U \cdot x_a}{x}\beta \qquad (3)$$

Путем изменения требуемым образом α и β обеспечивается независимое и раздельное управление активной и реактивной мощности АСМ.

Из векторной диаграммы рис. 3 следует, что:

$x_a \cdot \alpha = E_y$, $x_a \cdot \beta = E_x$,

где E_y и E_x — проекции вектора E на координатные оси, вращающиеся синхронно с вектором (U) мощных шин.

Если сформировать значение α как

$$\alpha = \alpha_0 - \alpha_1 \cdot \Delta s, \qquad (4)$$

где Δs — отклонение от значения скольжения s_0 в установившемся режиме, то из уравнения движения следует, что:

$$T_j \frac{d\Delta s}{dt} + \alpha_1 \frac{U \cdot x_a}{x}\Delta s = 0 \qquad (5)$$

Условие статической устойчивости, согласно полученному выражению, записывается как:

$\alpha_1 > 0$. (6)

Отсюда видно, что статическая устойчивость АСМ не зависит от параметров режима машины и обеспечивается при всех возможных значениях активной и реактивной мощностей машины. Это означает, что можно обеспечить устойчивую работу АСМ при любых значениях реактивной мощности — от режимов выдачи до режимов потребления. Рабочие области АСМ ограничиваются лишь номинальными значениями токов статора и возбуждения (рис. 4).

Общая структурная схема векторного регулирования АСМ приведена на рис. 5.

Векторное регулирование положительно влияет на пределы динамической устойчивости. Так, например, при коротком замыкании в сети имеется принципиальная возможность, воздействуя на угловое положение ЭДС E или E', повернуть эту ЭДС в противоположную от вращения ротора сторону. Разумеется, это воздействие зависит, кроме прочего, от степени форсировки напряжения возбуждением АСМ, исходного режима и т.д.

АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ МАШИНЫ С МАССИВНЫМ РОТОРОМ

ТУРБОГЕНЕРАТОРЫ

Как уже отмечалось, поскольку турбогенераторы имеют массивный ротор, то работа в установившихся режимах со скольжением не выгодна, так как возникают большие потери в массиве ротора. Поэтому в установившихся режимах АСТГ работают с синхронной частотой

ОБЛАСТИ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ТУРБО- (АСТГ) И ГИДРОГЕНЕРАТОРОВ (АСТГ) ПО СРАВНЕНИЮ С СИНХРОННЫМИ ТУРБО- (СТГ) И ГИДРОГЕНЕРАТОРАМИ (СГГ)

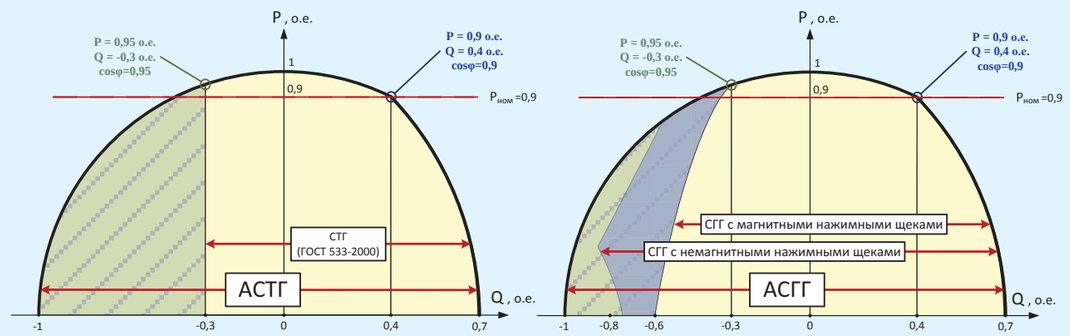


Рис. 4

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ АСМ

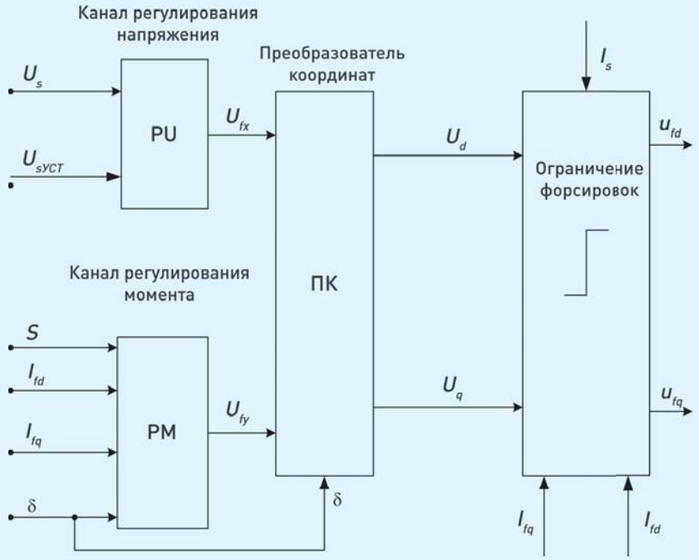


Рис. 5

вращения. При этом осуществляется независимое регулирование электромагнитного момента и напряжения в соответствии с описанной выше системой регулирования.

Как известно, у синхронных турбогенераторов (СТГ) в режимах с недовозбуждением вводится ограничение минимального возбуждения (ОМВ), обусловленное повышением нагрева торцевых зон статора и значительным снижением запасов статической и динамической устойчивости.

У асинхронизированных турбогенераторов диаграмма допустимых режимов в ее левой части ограничена только номинальным током статора. Как видно из рис. 3, асинхронизированные турбогенераторы обладают существенно большими регулировочными возможностями в области потребления реактивной мощности по сравнению с синхронными турбогенераторами.

Технико-экономический эффект от применения асинхронизированных турбогенераторов заключается в следующем:

1. Отказ от дополнительных устройств компенсации реактивной мощности (реакторов) на шинах станции, устанавливаемых для недопущения работы синхронных турбогенераторов в режимах потребления реактивной мощности.
2. Улучшение режимов работы по реактивной мощности синхронных турбогенераторов электростанции, работающих параллельно с АСТГ, за счет исключения неблагоприятных для СТГ режимов с потреблением реактивной мощности (или близких к потреблению).
3. Увеличение надежности работы генерирующего оборудования в целом.

Что касается надежности работы собственно АСТГ, то при формальном подходе, казалось бы, его надежность должна быть ниже, так как увеличивается количество конструктивных элементов, в которых возможен отказ (две обмотки возбуждения, два реверсивных тиристорных преобразователя). Однако если рассматривать способность сохранять работоспособность с ограниченной функциональностью, то здесь у АСТГ безусловные преимущества.

Во-первых, при отказах в одном из тиристорных преобразователей есть возможность работы с одной обмоткой возбуждения. В этом случае генератор становится обычным синхронным. При этом АСТГ не отключается от сети, а остается в работе. После устранения неисправности по команде оператора генератор снова переводится в асинхронизированный режим с возбуждением по двум обмоткам.

Во-вторых, АСТГ способен неограниченно долго работать без возбуждения. Работа синхронных генераторов при потере возбуждения ограничивается по времени (не более 30 мин.) и величиной активной мощности (не более 60% от номинальной), после чего генератор отключается от сети. На практике в большинстве случаев релейная защита настраивается на практически мгновенное отключение генератора от сети. Это связано с тем, что из-за электромагнитной асимметрии ротора синхронного генератора в асинхронном режиме возникают существенные колебания напряжения, тока и электромагнитного момента. У асинхронизированного турбогенератора ротор имеет электромагнитную симметрию, поэтому при работе без возбуждения параметры режима генератора стабильны. АСТГ в этих

режимах способен длительно работать с активной мощностью до 75–80% от номинальной.

Указанные преимущества АСТГ были востребованы в системе «Мосэнерго». В 2002 г. для улучшения управляемости режимами с точки зрения поддержания требуемых уровней напряжения и регулирования перетоков реактивной мощности, а также для повышения устойчивости и надежности энергосистемы в ОАО «Мосэнерго» было принято решение об установке АСТГ на ряде электростанций.

Первым этапом внедрения таких машин стала установка на ТЭЦ-22 ОАО «Мосэнерго» первого в России промышленно эксплуатируемого АСТГ. В декабре 2003 г. на ТЭЦ-22 был введен в опытно-промышленную эксплуатацию головной образец АСТГ типа ТЗФА 110 2УЗ, станционный номер блока № 8, производства ОАО «Силовые машины» — завод «Электросила».

АСТГ работает как в режимах выдачи, так и потребления реактивной мощности. В режимах потребления генератор работает, как правило, в ночные часы и круглосуточно в выходные дни. Средний уровень потребляемой реактивной мощности –30÷–40 МВ·А при пониженной активной нагрузке. Были решены сразу две задачи: поддержание требуемого значения напряжения на шинах станции и предотвращение для параллельно работающего блока № 7 с синхронным турбогенератором опасных для него режимов с потреблением реактивной мощности.

Вторым этапом внедрения АСТГ стал ввод в эксплуатацию еще трех турбогенераторов в 2007–2008 гг. В составе парогазовых блоков (ПГУ) общей мощностью блока 450 МВт на ТЭЦ-27 (блоки № 3 и 4) и ТЭЦ-21 (блок № 11) установлены турбогенераторы ТЗФАУ-160-2УЗ мощностью 160 МВт (рис. на с. 20) [4].

СУТОЧНЫЕ ГРАФИКИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ № 33 И № 43 ТЭЦ-27 «МОСЭНЕРГО» ДЛЯ ЗИМНЕГО И ЛЕТНЕГО ДНЯ

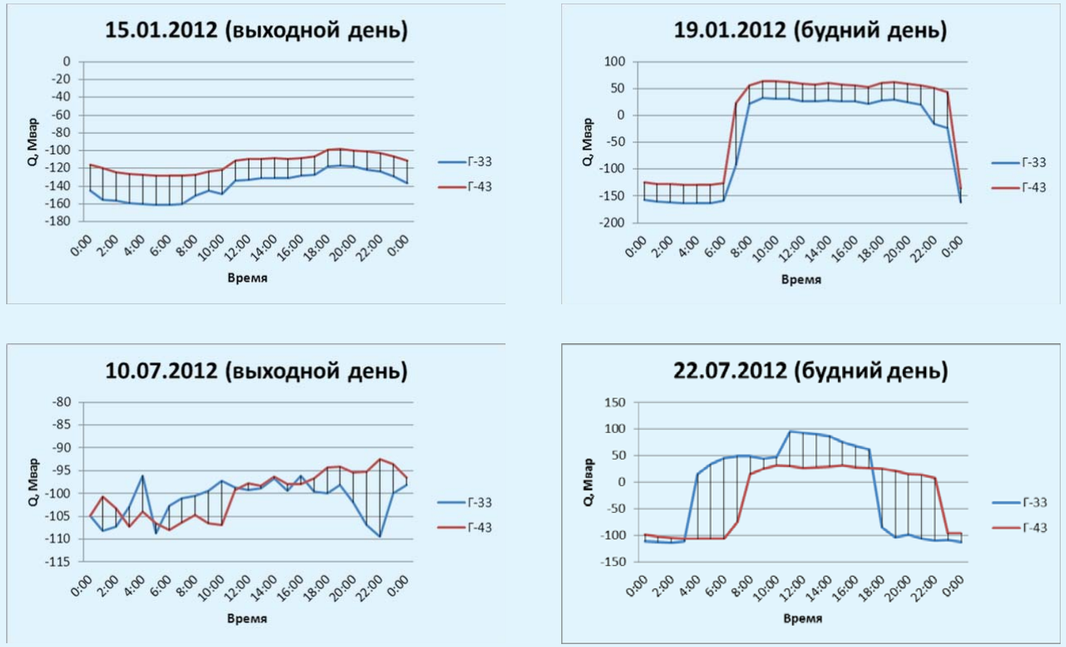


Рис. 6

В таблице 1 приведены средние значения величин реактивной мощности и средние значения числа часов работы в режимах выдачи и потребления реактивной мощности асинхронизированных турбогенераторов ТЗФАУ-160-2У3 на ТЭЦ-27 Мосэнерго (станционные № 33 и № 43), а на рис. 6 — суточные графики по реактивной мощности для зимнего и летнего периодов.

В декабре 2009 г. на блоке № 3 Каширской ГРЭС был введен в эксплуатацию асинхронизированный турбогенератор ТЗФСУ-320-2У3 мощностью 320 МВт.

Все эти генераторы были разработаны и изготовлены ОАО «Силовые машины» — завод «Электросила».

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ И СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЧИСЛА ЧАСОВ ПРИ РАБОТЕ В РЕЖИМЕ ВЫДАЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Месяц	Станционный номер	Знак Q	$Q_{среднее}$, Мвар	Число часов
Январь	33	+	14	161
		–	–128	580
	43	+	28	248
		–	–116	333
Июль	33	+	49	303
		–	–97	348
	43	+	–96	439
		–	36	336

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСК-100-4

Наименование параметра	Величина
Номинальная мощность, МВ·А	100
Реактивная мощность, Мвар	±100
Напряжение статора, кВ	20
Ток статора, А	2900
Ток обмоток ротора:	
по оси d, А по оси q, А	2200 740
Частота вращения, об/мин	1500
Полные потери в компенсаторе, кВт	1500
Охлаждение	Полностью воздушное

Таблица 2

АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Одним из важных элементов современных электрических сетей являются устройства компенсации реактивной мощности. Их наличие позволяет не только поддерживать уровни напряжения в узлах сети, но и снизить потери в сетях за счет выбора оптимального режима.

Электромашинные компенсаторы реактивной мощности в отличие от статических устройств выдерживают кратковременную двукратную перегрузку, что для статических устройств может быть достигнуто фактически только за счет удвоения установленной мощности. Важна также устойчивость к возможным импульсным перенапряжениям в линиях (например, вследствие грозовой деятельности). Электромашинные компенсаторы не генерируют высшие гармоники в сеть.

АО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с ОАО «Силовые машины» — завод «Электросила» были разработаны, изготовлены и введены в эксплуатацию асинхронизированные компенсаторы реактивной мощности типа АСК-100-4 мощностью 100 МВ·А [5]. При проектировании и изготовлении учтен опыт разработки асинхронизированных турбогенераторов.

Наличие двух обмоток возбуждения с системой возбуждения и векторного управления придает новые свойства и преимущества таким компенсаторам по сравнению с традиционными синхронными компенсаторами с одной обмоткой возбуждения:

1. Расширенный диапазон регулирования реактивной мощности от +100 Мвар до –100 Мвар (у традиционных синхронных компенсаторов от +100 Мвар до –40 Мвар).
2. Более высокое быстродействие регулирования реактивной мощности (напряжения) за счет возможности реверса токов в обмотках возбуждения.
3. Улучшенное демпфирование колебаний режимных параметров при возмущениях в сети.
4. Повышенная живучесть за счет возможности работы в резервных режимах при отказах в системе возбуждения.

Два компенсатора типа АСК-100-4 были установлены в г. Москве на подстанции «Бескудниково». Основные их технические характеристики приведены в табл. 2.

АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ МАШИНЫ С ШИХТОВАННЫМ РОТОРОМ

АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ ГИДРОГЕНЕРАТОРЫ

В современных условиях эксплуатации электроэнергетических сетей актуальным является вопрос о поддержании на высоком уровне качества электроэнергии, надежности и управляемости энергосистемы. Основными показателями качества электроэнергии являются частота, уровни и гармонический состав напряжений в узлах энергосистемы.

Наиболее маневренными, а следовательно, наиболее приспособленными для регулирования частоты и мощности в энергосистеме являются гидро- (ГЭС) и гидроаккумулирующие (ГАЭС) электростанции. Скорость регулирования активной мощности агрегатов у электростанций данного типа определяется скоростью открытия/закрытия направляющего аппарата, составляет до 500 МВт/мин и ограничивается по условиям возникновения гидроудара, параметрами регулирующего аппарата и другими гидродинамическими характеристиками.

Данные преимущества ГЭС и ГАЭС привели к их широкому применению в электроэнергетике, однако существует совокупность проблем, связанных как с электрической, так и гидравлической частью гидроагрегата с синхронным генератором:

- снижение КПД гидротурбин при переменных напорах (снижение выработки электроэнергии);
- наличие запрещенных зон (нестационарности потока) работы гидротурбин;
- ограничение скорости регулирования активной мощности;
- ограничение регулирования напряжения и реактивной мощности в больших диапазонах;
- недостаточные запасы по динамической устойчивости.

Рассмотрим эффективность применения АСГГ на примерах.

Пример 1. Увеличение выработки электроэнергии. Эксплуатационные характеристики гидроагрегатов с постоянной скоростью вращения имеют явно выраженную зависимость от параметров режима работы (напор и мощность турбины), с небольшой оптимальной зоной работы, имеющей наибольший КПД.

Например, у турбины ПЛ 20/661 при синхронной скорости вращения агрегата n_c = 62,5 об/мин оптимальная зона по КПД лежит в пределах от 20–32 МВт при напоре 11,5 м до 30–38 МВт при напоре 15,5 м (рис. 7).

АСГГ с переменной частотой вращения за счет регулирования скорости вращения агрегата по критерию наибольшего КПД позволяют существенно расширить зону оптимальной работы. Для рассмотренного выше случая при замене синхронного генератора на асинхронный с переменной частотой вращения агрегата ($59 \leqslant n \leqslant 77{,}5$ об/мин) оптимальная зона составит от 18–30 МВт при напоре 11,5 м и до 42–66 МВт при напоре 20 м (рис. 8). Таким образом, работа с максимальным КПД становится возможной во всем рабочем диапазоне напоров.

Пример 2. Уход из запрещенных зон (нестационарных потоков). Особенность эксплуатации пропеллерных и радиально-осевых турбин, в первую очередь, высоконапорных, состоит в том, что у этих турбин при малых нагрузках существует диапазон режимов, работа в котором запрещена из-за повышенных гидродинамических нагрузок и вибраций, вызванных нестационарностью потока (запрещенная зона). На рис. 9 запрещенная зона обозначена красным цветом. Соответствующее ограничение на работу турбины с частичными мощностями задается заводом-изготовителем оборудования на эксплуатационной характеристике $H_т$–$N_т$.

При помощи агрегатов с переменной частотой вращения удается исключить запрещенную зону за счет перехода в режим с идентичной мощностью турбины, но лежащий вне запрещенной зоны. На рис. 9 показан пример выхода из запрещенных зон для пропеллерной турбины ПР-20/811 с номинальной скоростью вращения n = 37 мин$^{-1}$. Для выхода из запрещенной зоны при исходной скорости n = 37 мин$^{-1}$ необходимо при мощности $N_т$ = 11 МВт, увеличить скорость вращения ротора

на Δn = 5 мин$^{-1}$, а при мощности N_T = 12 МВт, уменьшить скорость вращения ротора на Δ = 5 мин$^{-1}$. Новые точки режимов будут лежать вне запрещенной зоны.

Пример 3. Мобильное регулирование активной мощности. В синхронном генераторе изменение активной мощности, выдаваемой в сеть, может осуществляться только регулированием мощности турбины. Скорость изменения электрической активной мощности определяется скоростью управления направляющим аппаратом турбины.

В АСГГ имеется возможность управления электрической активной мощностью независимо от механической мощности при изменении частоты вращения в определенных пределах. При этом достигается практически мгновенное регулирование активной мощности, отдаваемой (потребляемой) в сеть. При таком регулировании изменение активной мощности статора машины существенно опережает изменение механической мощности, поступающей от турбины. Возникающий при этом небаланс электромагнитного и механического моментов на валу агрегата приводит к торможению/ускорению агрегата, а мощность, необходимая для ускорения регулирования электрической активной мощности АСГГ, покрывается за счет изменения кинетической энергии вращающихся масс ротора.

Пример 4. Обеспечение динамической устойчивости. Для сравнения динамической устойчивости синхронного и асинхронизированного гидрогенераторов были проведены сопоставительные расчеты для генераторов одинаковой мощности в схеме генератор — трансформатор — ЛЭП — шины бесконечной мощности. На рис. 10 представлены зависимости предельного времени трехфазного КЗ на шинах станции от реактивной мощности.

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБИНЫ ПЛ 20/661 ПРИ СИНХРОННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ АГРЕГАТА N_C = 62,5 ОБ/МИН

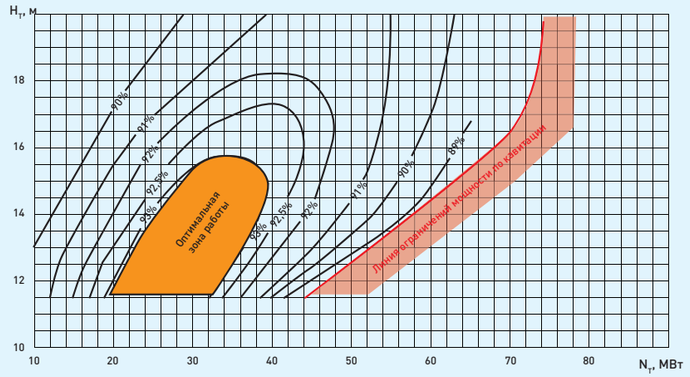


Рис. 7

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБИНЫ ПЛ 20/661 ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ АГРЕГАТА (59 ⩽ N ⩽ 77,5 ОБ/МИН)

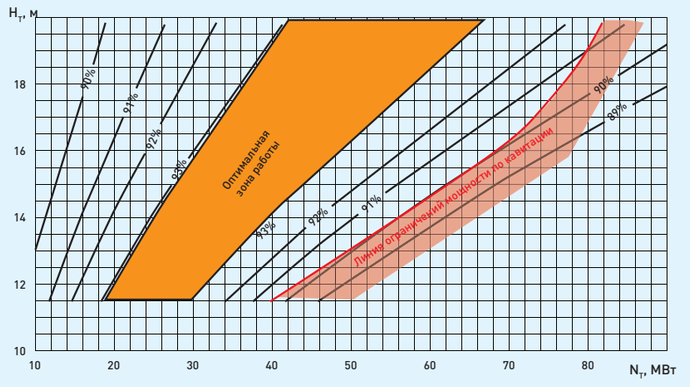


Рис. 8

Из рисунка видно, что максимальное время КЗ для СГГ составляет примерно 0,2 с, в то время как для АСГГ оно составляет 1 с.

Это обусловлено тем, что в синхронном генераторе при увеличении длительности КЗ возрастает угол выбега ротора. Предел устойчивости наступает тогда, когда достигается предельный угол, при котором не удается обеспечить торможение ротора. Запас по углу выбега уменьшается по мере перехода в режимы недовозбуждения, так как увеличивается начальный угол нагрузки.

У АСГГ благодаря возможности быстродействующего и независимого управления активной мощностью и работе с переменной частотой вращения ротора обеспечивается сохранение динамической устойчивости при нормативных возмущениях в энергосистеме. Изменение частоты вращения в пределах рабочего диапазона во время переходных процессов у АСГГ не связано с потерей «синхронизма». Именно этим объясняется значительный запас динамической устойчивости у АСГГ по сравнению с СГГ.

Необходимо отметить, что первые в мире АСГГ мощностью 40 МВт были разработаны и изготовлены в 60-е годы прошлого века в СССР на заводе «Электросила». В настоящее время на ОАО «Силовые машины» — завод «Электросила» изготовлен и испытан макет АСГГ мощностью 3 МВт с системой возбуждения и регулирования, разработан технический проект АСГГ мощностью 200 МВт.

За последние 20 лет рядом зарубежных фирм были изготовлены и внедрены в эксплуатацию более 20 АСГГ единичной мощностью от 80 до 420 МВт.

АСИНХРОНИЗИРОВАННЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ С МАХОВИКОМ

Асинхронизированные машины с шихтованным ротором с маховиком на валу могут использоваться в энергетике в качестве компенсатора электромеханического накопителя энергии.

ВЫХОД ИЗ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ ПРОПЕЛЛЕРНОЙ ТУРБИНЫ ПР-20/811 ПРИ ПЕРЕМЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ И ПОСТОЯННОМ НАПОРЕ H = 6 М

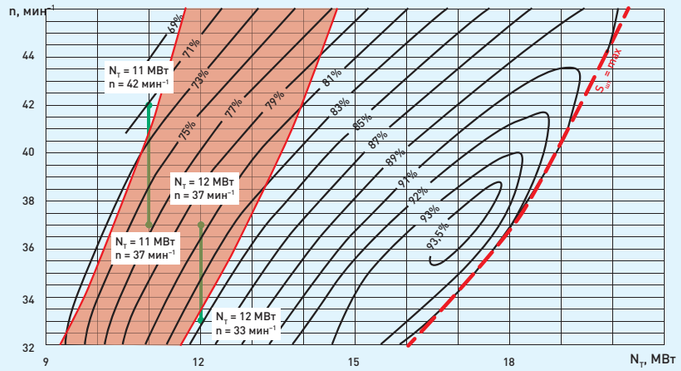


Рис. 9

Такое устройство способно за счет изменения частоты вращения и кинетической энергии вращающихся масс обеспечить аккумулирование или генерирование значительной энергии. Кроме того, АСКМ обладает всеми свойствами АСК в отношении регулирования реактивной мощности.

Конструктивно АСКМ выполняется в виде электрической машины с симметричной многофазной обмоткой на шихтованном роторе. Статор АСКМ подключен к сети. Так же, как у АСГГ, установленная мощность преобразователя в цепи обмотки ротора пропорциональна полной мощности машины (при номинальной реактивной и максимально допустимой активной) и диапазону регулирования частоты вращения. Разумное соотношение мощностей машины и возбудителя получается при диапазоне скольжений не более ±10%.

Для АСКМ более предпочтительным представляется вертикальное конструктивное исполнение. По условиям обеспечения прочности шихтованного ротора, вероятно, следует ограничить синхронную частоту вращения ротора до 1500 об/мин и ниже.

АСКМ может обмениваться с сетью активной мощностью только кратковременно, в объеме изменения кинетической энергии вращающихся частей при вариации частоты вращения в допустимых пределах. Пиковая активная мощность может также ограничиваться максимальным током полупроводникового возбудителя. В первом приближении максимальную активную мощность можно считать равной номинальной реактивной.

Прежде всего АСКМ так же, как и любой электромашинный компенсатор, обеспечивает баланс

ПРЕДЕЛЬНЫЕ ВРЕМЕНА КЗ ДЛЯ СГГ И АСГГ

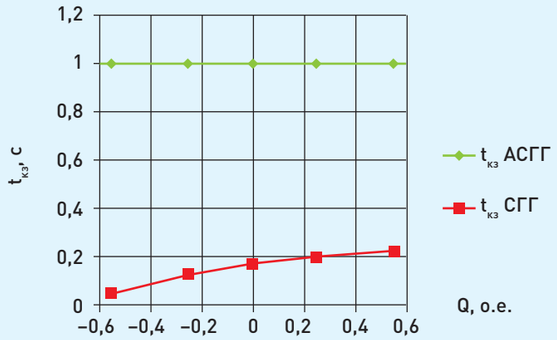


Рис. 10

реактивной мощности и регулирование напряжения. При этом АСКМ обладает расширенным диапазоном регулирования, так как не имеет каких-либо ограничений по устойчивости в зоне потребления реактивной мощности.

АСКМ также улучшает устойчивость энергосистемы и повышает пропускную способность ЛЭП, стабилизируя напряжение не только по величине, но и по фазе, создавая эффект «жестких шин». Для осуществления этой функции АСКМ должен иметь существенную для энергосистемы мощность (в российских условиях — на уровне 100 ÷ 160 МВ·А).

Кроме общих функций регулирования напряжения и повышения устойчивости, АСКМ имеют специфические области применения, обусловленные возможностью быстродействующего регулирования активной мощности и обмена мощностью с сетью в определенном объеме.

Так, при установке на подстанциях потребителей с резкопеременной активной нагрузкой АСКМ способны не только стабилизировать уровень напряжения, но и полностью или частично поглощать колебания активной нагрузки.

При установке в крупном узле энергосистемы АСКМ значительно улучшает качество послеаварийных переходных процессов за счет создания эффекта «жестких шин, так как удерживает в точке подключения не только величину, но и фазу напряжения, поглощает (по возможности) аварийные возмущения и снижает вероятность распространения аварии. В связи с этим рекомендуется также установка АСКМ на промежуточных подстанциях длинных магистральных линий электропередачи. При таком размещении АСКМ обеспечивается секционирование передачи, локализация и демпфирование аварийных возмущений, повышение надежности и пропускной способности ЛЭП.

В автономных энергосистемах АСКМ может найти применение и для регулирования частоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Асинхронизированные машины являются новым классом электромашиновентильных систем, обладающим рядом преимуществ перед традиционными синхронными машинами.
2. Асинхронизированные машины находят широкое применение в электроэнергетике. В России — это асинхронизированные турбогенераторы и компенсаторы реактивной мощности. В других странах — это асинхронизированные гидрогенераторы и генераторы ветроустановок.
3. Существует ряд областей, в которых асинхронизированные машины также могут найти применение: электромеханические накопители энергии, электромеханические вставки переменного тока для связи энергосистем, электропривод на основе асинхронизированных двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ботвинник М.М. Асинхронизированная синхронная машина. М.: Госэнергоиздат, 1960.
2. Tests of machines with direct-quadrature axis excitation and prospects of their application in power systems // Blotsky N.N., Botvinnik M.M., Klimov B.P., Mamikoniants L.G., Phylichev O.N., Pinsky G.B., Shakaryan J.G., Soukhanov L.A. // 28th Session of Sigre, Paris, 1980.
3. Концепция построения системы управления возбуждением асинхронизированных турбогенераторов // Довганюк И.Я., Лабунец И.А., Плотникова Т.В., Сокур П.В., Шакарян Ю.Г. // Электротехника. № 2. 2010. С. 30–35.
4. Experience in development and operation of new types of turbogenerators with vector type excitation system for wide-range reactive power control // Shakaryan Y.G., Labunets I.A., Sokur P.V., Plotnikova T.V., Dovganjuk I.Y., Shulginov N.G., Diyachkov V.A., Tuzlukova Y.V., Pinchuk N.D., Kadi-Ogli I.A., Zinakov V.Y. // Cigre Session 43, 22–27 august 2010, Paris, A1-108.
5. New electric machine compensators of reactive power with double-axis excitation // Shakaryan Y.G., Sokur P.V., Plotnikova T.V., Dovganjuk I.Y., Mnev R.D., Pinchuk N.D., Antonuk O.V., Roytgartz M.B., Zhukov D.V., Dementyev Y.A., Sedunov V.M. // CIGRE Session 44, 26–31 august 2012, Paris, A1-101-2012.

ноябрь 2016

VI
Открытый
шахматный турнир
энергетиков
памяти М. М. Ботвинника

2016

ШАХМАТНЫЙ ТУРНИР ЭНЕРГЕТИКОВ

Приглашаем команды энергетиков поддержать нашу добрую традицию и принять участие в ежегодном открытом шахматном турнире!

Состоится личное и командное первенство по правилам ФИДЕ для быстрых шахмат.

НАБИРАЙТЕ ЧЕТЫРЕХ ИГРОКОВ
И РЕГИСТРИРУЙТЕ КОМАНДУ
НА САЙТЕ ТУРНИРА
WWW.TURNIR.NTC-POWER.RU

реклама