



УДК 621.313.322

ГРУБОЙ А.П., главный конструктор,
ЧЕРЕМИСОВ И.Я., канд. техн. наук, главный научный сотрудник,
БОГАТЫРЕВА Л.И., канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
 ГП завод "Электротяжмаш", г. Харьков.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ СИНХРОННЫХ МАШИН В КАЧЕСТВЕ ОБРАТИМЫХ ГЕНЕРАТОРОВ-ДВИГАТЕЛЕЙ ГАЭС НА КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ

Рассматривается влияние на коэффициент мощности обратимых асинхронизированных синхронных машин на ГАЭС, работающих в режиме генератора-двигателя с перевозбуждением и недо возбуждением, в определенном диапазоне изменения частоты вращения.

В настоящее время в ряде стран за рубежом (Япония, Германия, Испания) на ГАЭС в качестве обратимых гидрогенераторов-двигателей применены не синхронные машины (СМ), а асинхронизированные синхронные машины (АСМ), объединяющие положительные свойства СМ (отсутствие ограничения по мощности, высокий КПД, простота регулировки напряжения) и положительные свойства асинхронных машин (возможность работы с переменной частотой вращения в определенном диапазоне ее изменения) [1].

Асинхронизированные синхронные машины имеют немного более низкий КПД по сравнению с СМ и несколько большую массу, а также большую мощность возбуждения при несинхронных частотах вращения, но эти недостатки АСМ компенсируются их техническими достоинствами и коммерческими преимуществами возможности регулирования частоты вращения.

В литературе [2] подробно изложены все положительные свойства АСМ в генераторном и двигательном режимах работы, что и обусловило их применение в качестве обратимых машин на ГАЭС:

- обеспечение более высокой эффективности регулировки режима работы энергосистемы по активной мощности (P_a) и частоте (f), так как мощность изменяется не только турбиной или насосом, но и величиной и угловым положением вектора магнитного потока возбуждения, учитывая, что электромагнитные процессы в асинхронизированной машине проходят менее, чем за 100 мс (при регулировке через турбину — это несколько секунд из-за инерции воды в трубопроводе);

- более высокая статическая и динамическая устойчивость АСМ;

- в генераторном режиме АСМ может работать в зоне с частотой вращения меньше номинальной, при этом зона кавитации для турбины

существенно улучшается и КПД агрегата генератор-турбина повышается;

- в двигательном режиме есть возможность регулировки потребления активной мощности из сети и соответственно регулировки мощности насоса, чего не может обеспечить СМ в режиме двигателя при постоянной частоте вращения, а также появляется возможность установившегося режима работы при такой частоте вращения, когда КПД агрегата двигатель-насос — максимальный;

- в режиме синхронного компенсатора асинхронизированные синхронные машины могут работать в режиме более глубокого потребления реактивной мощности, так как рабочий угол нагрузки θ таких машин не связан с механическим перемещением ротора, как это имеет место в СМ.

Одним из важнейших достоинств АСМ при работе на ГАЭС является существенно меньшая мощность циклоконвертора — тиристорного преобразователя частоты (ТПЧ) в обмотке ротора для запуска такой машины в режиме двигателя (до 30 % от обычно необходимой мощности ТПЧ синхронного двигателя при прямом пуске от сети).

Первые АСМ небольшой мощности 22 МВт с ТПЧ в цепи обмотки ротора были применены на ГЭС в Японии. В настоящее время там на стадии разработки находятся асинхронизированные синхронные машины мощностью 400 МВт для ГАЭС.

Несколько лет назад в Германии на ГАЭС "Гольдисталь" были запущены в эксплуатацию две обратимых СМ мощностью 331 МВ·А при номинальной частоте вращения 333,3 об/мин и две обратимых АСМ с такой же номинальной мощностью и переменной частотой вращения. Впервые



ГРУБОЙ А.П.



ЧЕРЕМИСОВ И.Я.



БОГАТЫРЕВА Л.И.



Таблица 1. Коэффициент мощности АСМ в режиме генератора-двигателя с перевозбуждением

Наименование параметра	Величина							
	Генератор				Двигатель			
Режим работы	-10	-5	+5	+10	-10	-5	+5	+10
Частота вращения в % от синхронной								
Номинальная активная мощность машины $P_{ам}$, МВт*	200,6	200,6	200,6	200,6	-224,2	-224,2	-224,2	-224,2
Номинальная реактивная мощность машины Q_n , Мвар*	124,3	124,3	124,3	124,3	73,7	73,7	73,7	73,7
Номинальный коэффициент мощности машины $\cos \varphi_n$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	0,95
Активная мощность циклоконвертора P_2 , МВт*	21,1	11,1	-9,0	-19,0	22,0	10,8	-11,5	-22,7
Реактивная мощность циклоконвертора Q_2 , Мвар*	-41,7	-20,8	-20,8	-41,7	-34,4	-17,6	-16,0	-32,7
Коэффициент мощности АСМ при учете циклоконвертора	0,937	0,898	0,880	0,910	0,982	0,967	0,971	0,987

* – знак минус при потреблении активной или реактивной мощности из сети.

Таблица 2. Коэффициент мощности АСМ в режиме генератора-двигателя с недозовбузд

Наименование параметра	Величина							
	Генератор				Двигатель			
Режим работы	-10	-5	+5	+10	-10	-5	+5	+10
Частота вращения в % от синхронной								
Номинальная активная мощность машины $P_{ам}$, МВт*	200,6	200,6	200,6	200,6	-224,2	-224,2	-224,2	-224,2
Номинальная реактивная мощность машины Q_n , Мвар*)	-124,3	-124,3	-124,3	-124,3	-73,7	-73,7	-73,7	-73,7
Номинальный коэффициент мощности машины $\cos \varphi_n$	0,85	0,85	0,85	0,85	0,95	0,95	0,95	0,95
Активная мощность циклоконвертора P_2 , МВт*)	20,6	10,5	-9,6	-19,7	22,6	11,5	-10,9	-22,1
Реактивная мощность циклоконвертора Q_2 , Мвар*	-6,3	-3,1	-3,1	-6,3	-13,4	-7,0	-6,0	-12,4
Коэффициент мощности АСМ при учете циклоконвертора	0,861	0,856	0,832	0,811	0,918	0,935	0,947	0,944

* – знак минус при потреблении активной или реактивной мощности из сети.

здесь было достигнуто большой диапазон регулирования мощности с помощью АСМ от 170 МВт до 300 МВт при регулировании частоты вращения от -10% до +4%.

При проведении в России конкурса на реконструкцию шести обратимых синхронных генераторов-двигателей мощностью 236 МВ·А и номинальной синхронной частотой вращения 150 об/мин для Загорской ГАЭС ГП завод "Электротяжмаш" предложил альтернативный вариант. На базе синхронного генератора-двигателя мощностью 236 МВ·А с сохранением его статора и при замене явнополюсного ротора на шихтованный ротор с трехфазной обмоткой, питаемой от циклоконвертора, был разработан обратимый асинхронизированный синхронный генератор-двигатель мощностью 236 МВ·А, обеспечивающий диапазон регулирования частоты вращения от -10% до +10%.

Наличие циклоконвертора в АСМ при частоте вращения ниже синхронной (при снижении напора) обеспечивается выдача в сеть активной мощности, а при частоте вращения выше синхронной (при увеличении напора) – потребление активной мощности из сети [3]. Реактивная мощность циклоконвертора потребляется только из сети. Нами было исследовано влияние режимов работы предлагаемых для реконструкции АСМ с сохранением кажущейся мощности 236 МВ·А при перевозбуждении и недозовбуздении данных машин в диапазоне регулирования частоты вращения от -10% до +10% на их коэффициент мощности. Результаты данных исследований приведены в Табл. 1 и 2.

Проведенные исследования показали, что режимы работы асинхронизированных синхронных машин на ГАЭС оказывают существенное влия-



ние на их коэффициент мощности. Как показали расчеты для асинхронизированного синхронного генератора-двигателя, работающего с постоянной кажущейся мощностью 236 МВ·А в диапазоне регулирования частоты вращения от -10% до $+10\%$ это влияние различно:

- в генераторном и двигательном режимах работы АСМ с перевозбуждением при указанном диапазоне регулирования частоты вращения коэффициент мощности рассматриваемых машин существенно увеличивается;

- в генераторном режиме работы АСМ с недо-возбуждением при частоте вращения ниже синхронной коэффициент мощности АСМ незначительно увеличивается, а при частоте вращения выше синхронной - несколько уменьшается;

- в двигательном режиме работы АСМ с недо-возбуждением при частотах вращения как ниже, так и выше синхронной коэффициент мощности АСМ уменьшается.

Уменьшение коэффициента мощности АСМ при наличии циклоконвертора в режиме работы с недо-возбуждением объясняется тем, что в данном режиме работы к реактивной мощности, потребляемой машиной из сети, добавляется реактивная мощность циклоконвертора, также забираемая из сети, и растущая с увеличением скольжения машины. Для устранения этого фактора в режиме недо-возбуждения АСМ необходимо уменьшение диапазона регулирования частоты вращения в генераторном режиме от -10% до $+4\%$, а в режиме работы двигателем от -3% до $+4\%$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федоренко Г.М., Кузьмин В.В., Выговский В.И., Саратов В.А. Повышение надежности и эффективности гидрогенераторов ГЭС и ГАЭС при изменяющейся частоте вращения // Гидроэнергетика Украины. — 2005. — № 2. — С. 41-46.
2. Шакарян Ю.Г. Асинхронизированные синхронные машины. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 192 с.
3. Ботвинник М.М. Асинхронизированная синхронная машина — М.-Л.: ГЭИ, 1960. — 67 с.

© Грубой А.П., Черемисов И.Я., Богатырева Л.И., 2011

