

# НОВЫЕ ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ КОМПЕНСАТОРЫ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ С ДВУХОСНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

АВТОРЫ:  
ШАКАРЯН Ю. Г.,  
Д. Т. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

СОКУР П. В.,  
К. Т. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ПЛОТНИКОВА Т. В.,  
К. Т. Н.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ДОВГАНЮК И. Я.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

МНЕВ Р. Д.  
ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

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

АНТОНЮК О. В.  
ОАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

РОЙТГАРЦ М. Б.,  
К. Т. Н.  
ОАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

ЖУКОВ Д. В.  
ОАО «СИЛОВЫЕ МАШИНЫ»

ДЕМЕНТЬЕВ Ю. А.  
ОАО «ФСК ЕЭС»

СЕДУНОВ В. М.  
ОАО «ФСК ЕЭС»

АСК-100-4 на ПС Бескудниково

**У**стройства компенсации реактивной мощности являются важнейшими компонентами современных электрических сетей. Они позволяют не только стабилизировать уровни напряжения в узлах сети, но и за счет выбора оптимального режима существенно снизить потери активной мощности.

В последние годы в энергосистемах широко применяются статические устройства компенсации на базе силовой электроники. Наряду с несомненными достоинствами (высокое быстродействие, отсутствие вращающихся частей) такие устройства имеют и недостатки (возникновение гармоник и зависимость реактивной мощности от напряжения в точке подключения).



Вместе с тем электромашинные компенсаторы реактивной мощности выдерживают кратковременную двукратную перегрузку, что для статических устройств может быть достигнуто только за счет удвоения установленной мощности. Важна также способность этих компенсаторов сохранять стабильное функционирование при возможных импульсных перенапряжениях в линиях (например, вследствие грозовой деятельности).

В ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» совместно с ОАО «Силовые машины» разработан, изготовлен и введен в эксплуатацию новый тип электромашинных компенсаторов реактивной мощности типа АСК-100-4 с двухосным возбуждением мощностью 100 МВА. Компенсатор АСК-100 предназначен для работы в установившемся режиме с синхронной частотой вращения. При проектировании и изготовлении учтен предыдущий опыт разработки турбогенераторов с двухосным возбуждением.

Наличие двух обмоток возбуждения с системой возбуждения в сочетании с векторным управлением придает таким компенсаторам новые свойства и преимущества по сравнению с традиционными синхронными компенсаторами с одной обмоткой возбуждения:

- расширенный диапазон регулирования реактивной мощности от +100 Мвар до -100 Мвар (для сравнения, у традиционных синхронных компенсаторов диапазон от +100 Мвар до -40 Мвар);
- более высокое быстродействие регулирования реактивной мощности (напряжения) за счет возможности реверса токов в обмотках возбуждения;

## ГАБАРИТНЫЙ ЧЕРТЕЖ КОМПЕНСАТОРА АСК-100-4

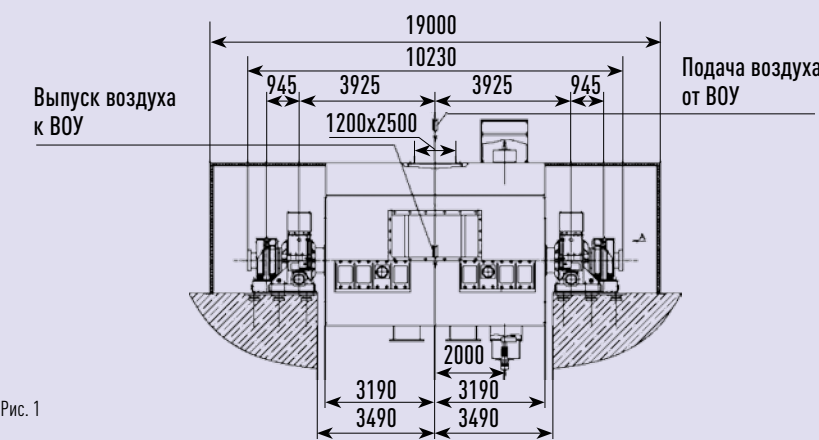


Рис. 1

- улучшенное демпфирование колебаний режимных параметров при возмущениях в сети;
  - повышенная живучесть за счет способности работать в резервных режимах при отказах в системе возбуждения.
- Два компенсатора типа АСК-100-4 установлены в г. Москве на подстанции «Бескудниково». Основные технические характеристики приведены в таблице 1, габаритный чертеж – на рис. 1.
- Охлаждение компенсатора полностью воздушное, включая охлаждение масла подшипников.

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ВЕЛИЧИНА
НОМИНАЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ, МВА	100
РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, МВАР	±100
НАПРЯЖЕНИЕ СТАТОРА, КВ	20
ТОК СТАТОРА, А	2890
ТОК ОБМОТОК РОТОРА:	
ПО ОСИ D, А	2200
ПО ОСИ Q, А	740
ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ, ОБ/МИН	1500
ПОЛНЫЕ ПОТЕРИ В КОМПЕНСАТОРЕ, КВТ	1500

Таблица 1

## ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА РАБОТЫ АСК-100-4

в режимах выдачи  
и потребления реактивной  
мощности

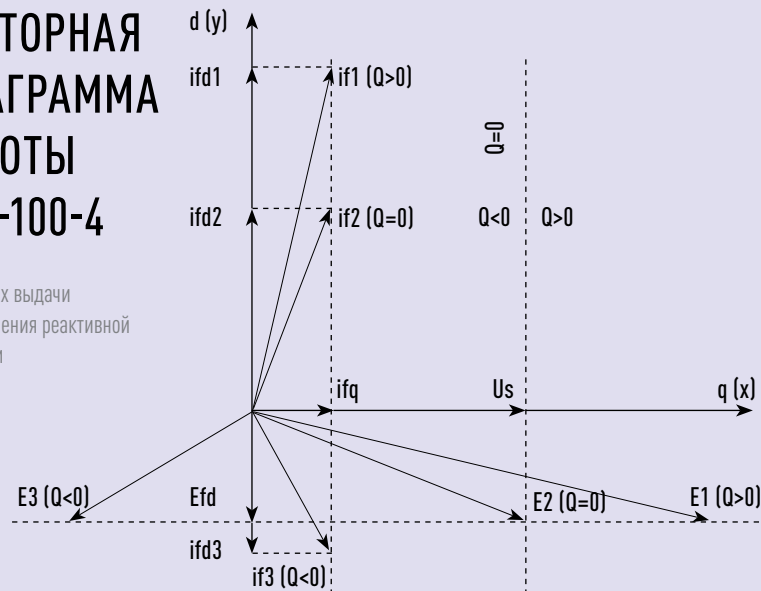


Рис. 2

Для отвода потерь, выделяющихся в обмотках статора и ротора, а также в магнитопроводах (в сердечнике статора и в валу ротора), предусмотрено непосредственное воздушное охлаждение сердечника статора и косвенное воздушное – обмоток статора и ротора.

Система охлаждения компенсатора – разомкнутая с забором наружного воздуха через воздухоподготовительное устройство и с частичным подмесом нагретого воздуха в холодное время.

Лобовые части обмотки статора – корзиночного типа. Стержни обмотки, сплетенные из сплошных элементарных проводников, имеют трансформацию в пазовой и лобовой частях. Стержни уплотнены в пазах прокладками из полупроводящего материала и закреплены специальными клиньями из стеклопластика и гофрированными стеклотекстолитовыми прокладками. Изоляция стержней – непрерывная, терморезистивная класса F.

Для демпфирования магнитных потоков рассеяния лобовых частей обмот-

ки статора под нажимными кольцами установлены медные экраны и шунты из электротехнической стали.

Ротор изготовлен из цельной поковки специальной стали, обеспечивающей его механическую прочность при любых режимах работы компенсатора.

Основная и управляющая обмотки возбуждения размещены в пазах. Пазовая и витковая изоляция катушек выполнена из стеклоткани, пропитанной термостойкими эпоксидными лаками (класс F). Охлаждение обмотки осуществляется холодным воздухом, циркулирующим в подпазовых и радиальных каналах, а также шлицах зубцов бочки ротора.

Для снижения влияния токов обратной последовательности при несимметричных режимах на роторе помещена специальная демпферная система, образованная: клиньями; прокладками из полосовой меди, расположенными под клином; короткозамыкающими медными сегментами в подбандажном пространстве.

С двух сторон компенсатора установлены щеточно-контактные аппараты,

которые осуществляют подвод тока возбуждения к контактным кольцам основной и управляющей обмоток ротора. Возбуждение компенсатора – статическое тиристорное реверсивное.

Запуск компенсатора из неподвижного состояния ротора, а также останов компенсатора (в том числе в аварийном режиме с минимизацией времени останова) осуществляется с помощью тиристорного пускового устройства.

Компенсатор содержит измерительно-диагностический комплекс, осуществляющий контроль необходимых величин, регистрирует и сигнализирует при отклонениях от заданных пределов.

Как видно на векторной диаграмме (рис. 2), ток возбуждения  $I_f$  складывается из двух составляющих: тока в основной обмотке возбуждения  $I_{fd}$  и в управляющей обмотке возбуждения  $I_{fq}$ . Управляющая обмотка возбуждения содержит меньшее (по сравнению с основной обмоткой) количество витков и меньший номинальный ток. Магнитодвижущая сила (МДС) управляющей обмотки составляет 6% от МДС основной обмотки возбуждения.

Управляющая обмотка возбуждения обеспечивает регулирование электромагнитного момента, тем самым гарантирует статическую устойчивость в режимах глубокого потребления реактивной мощности (Q). Последнее создается реверсом тока в основной обмотке возбуждения и обеспечивает высокое быстродействие регулирования реактивной мощности.

На рис. 3 показан переходный процесс при реверсе реактивной мощности компенсатора АСК-100-4. При опытных испытаниях осуществлялось скачкообразное изменение уставки напряжения автоматиче-

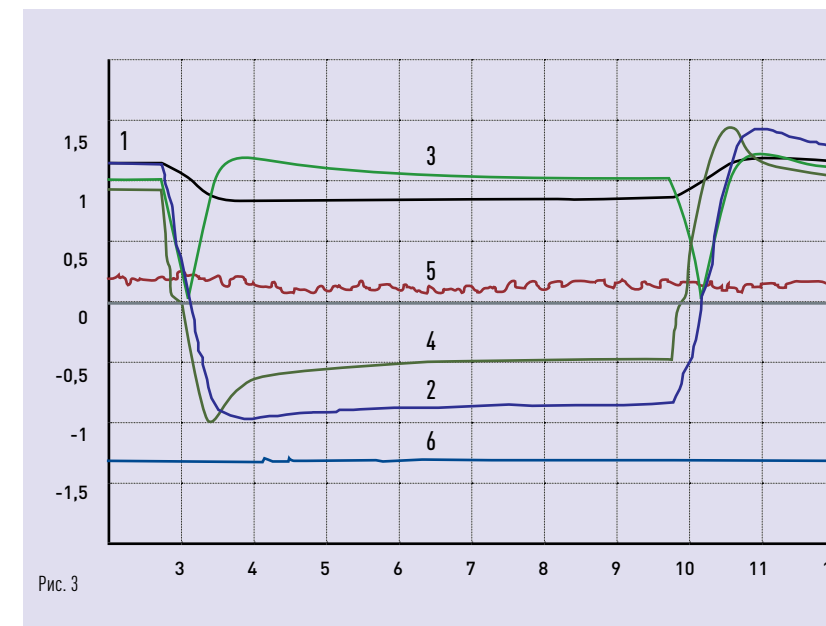


Рис. 3

## РЕВЕРС РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ КОМПЕНСАТОРА АСК-100-4

1 – напряжение статора;  
2 – реактивная мощность;  
3 – ток статора;  
4 – ток возбуждения обмотки d;  
5 – ток возбуждения обмотки q;  
6 – угловое положение ротора.

ского регулятора возбуждения (АРВ) с исходного значения  $U = 1,14$  о. е. до  $U = 0,84$  о. е. на время  $\Delta t = 7$  с и затем восстановление исходного значения уставки. При выбранных значениях уставок напряжения компенсатор работает сначала в режиме выдачи реактивной мощности ( $Q = 1,14$  о. е.) и затем в режиме глубокого потребления реактивной мощности ( $Q = -0,84$  о. е.) при номинальном токе статора  $I = 1$  о. е.

Реверс реактивной мощности компенсатора осуществляется за счет реверса тока  $I_{fd}$  в основной обмотке возбуждения. Угловое положение ротора АСК (Delta) при реверсе реактивной мощности остается практически неизменным. Процесс реверса реактивной мощности динамически устойчив. Новое значение напряжения на шинах генератора устанавливается примерно через 0,8 с, причем отличается от уставки не более чем на 5%. Максимальная скорость изменения реактивной мощности компенсатора составляет

$$\frac{dQ}{dt} = 300 \text{ Мвар/с}$$

При каких-либо отказах в системе возбуждения компенсатор может работать в одном из резервных режимов:

- с возбуждением только по основной обмотке ( $-30 \text{ Мвар} < Q < +100 \text{ Мвар}$ );
- в асинхронном режиме без возбуждения ( $Q \approx -40 \text{ Мвар}$ ).

Компенсатор может быть выполнен также для работы с переменной частотой вращения. В этом случае в шихтованном роторе размещается симметричная двух- или трехфазная обмотка возбуждения. При этом не только повышается качество управления, но и появляется возможность регулировать активную мощность статорной цепи машины. Этот эффект достигается за счет кинетической энергии, запасенной во вращающемся роторе компенсатора. Для увеличения запасаемой энергии компенсатор дополняется массивным маховиком. Такой компенсатор способен выполнять в энергосистеме особые функции, а именно:

- служить средством противоаварийного управления при возникновении дефицита или избытка активной мощности;
- использоваться в качестве дополнительного быстродействующего регулятора частоты;
- использоваться для демпфирования воздействия на энергосистему резкопеременной активной нагрузки;
- повышать пределы динамической устойчивости за счет быстродействующего регулирования активной мощности.
- уменьшать нагрузку на трансформаторы, что увеличивает срок их эксплуатации;
- улучшать качество электроэнергии (уменьшая искажения напряжения);
- уменьшать нагрузку на коммутационные аппараты.