

УДК 621.313.333

В.В. Шевченко, Д.В. Потоцкий

Национальный технический университет «ХПИ», Харьков

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

*Работа посвящена вопросам регулирования баланса энергии в общих и в автономных системах электроснабжения с использованием асинхронизированных турбогенераторов. Показано, что общепринятые способы регулирования баланса не всегда решают проблему, т.к. ограничены значением напряжения регулируемой сети, величиной компенсируемых параметров.*

**Ключевые слова:** асинхронизированный турбогенератор, режим эксплуатации, активная мощность, реактивная мощность, баланс электроэнергии, износ электрооборудования.

### Введение

**Постановка проблемы.** В электросетях, как Украины, так и других странах Европы, обострилась проблема регулирования баланса активной и реактивной мощности для поддержания требуемых уровней напряжения и частоты, с преобладающей необходимостью потребления реактивной мощности из системы. Это обусловлено следующими причинами:

1) линии электропередач имеют большую протяженность и недостаточную загрузку активным током, неравномерное распределение потоков реактивной мощности между сетями различного класса напряжений;

2) высоковольтные линии электропередач (ЛЭП) генерируют в электрическую сеть реактивную мощность. Каждые 100 км линии 220 кВ генерируют 11 Мвар реактивной мощности, для линий 330, 500 и 750 кВ эти значения составляют 30, 90 и 230 Мвар соответственно. При этом в линиях недостаточно (или даже отсутствует) необходимое количество средств компенсации реактивной мощности. Так в линиях 500 кВ компенсация реактивной мощности составляет в среднем 45 % при рекомендуемых 80–100 %. Для линий 750 кВ – 75 % при рекомендуемых 100–110 %. В линиях 220 и 330 кВ компенсация практически отсутствует.

Поэтому напряжения в высоковольтных сетях часто превышают допустимые значения на 10–15 %, что повышает износ и аварийность электрооборудования блоков электростанций и электроприемников. Для решения этой проблемы принимаются специальные меры, которые нередко приводят к ухудшению показателей устойчивости и экономичности работы энергосистем. В частности, для нормализации напряжения персонал электростанций, работающих на шины 220–500 кВ, вынужден переводить турбогенераторы (ТГ) в режимы потребления реактивной мощности, что позволяет несколько снизить уровни напряжения. Но это со временем приводит к ускоренному износу этих ТГ, а, в ряде случаев, и к аварийным от-

ключениям из-за разрушения торцевых зон активной стали статоров, так как серийные ТГ фактически не рассчитаны на эти режимы. Это приводит к значительному числу аварийных отключений, увеличению простоев с вынужденными восстановительными ремонтами ТГ. Ситуация усугубляется тем, что почти весь генераторный парк страны имеет превышенный нормативный срок службы [1].

Одним из действенных способов решения указанных проблем является применение турбогенераторов нового типа – асинхронизированных турбогенераторов (АСТГ) [2–4].

АСТГ обладают существенно более высокими пределами устойчивости и предназначены для работы в режимах не только выдачи, но и глубокого потребления реактивной мощности. Кроме того, АСТГ позволяют исключить режимы недо возбуждения для работающих параллельно с ними ТГ, повышая, тем самым, надежность и долговечность последних. Этим обстоятельством может быть обусловлена прямая техническая и экономическая заинтересованность электростанций в использовании АСТГ, подкрепленная возможной экономией топлива от уменьшения числа повторных пусков энергоблоков после аварийных остановок.

Также перспективно использование АСТГ не только для нормализации параметров электроэнергии в автономных энергоустановках путем регулирования баланса реактивной мощности, но и то, что АСТГ также может служить источником активной электроэнергии для питания электроприемников.

### Основной материал

Функциональное назначение, особенности нагрузки и условия эксплуатации электрических машин автономных источников питания выдвигает ряд требований:

- малые габаритные размеры и масса;
- высокий уровень надежности;
- бесперебойная работа при значительных тепловых и механических нагрузках и перегрузках в

различных нейтральных и агрессивных средах, с пониженным или повышенным давлением [5];

– возможность экономичного регулирования в широких пределах выходного напряжения с высокой точностью;

– высокое качество вырабатываемой электроэнергии;

– жесткость конструкций, минимальные аксиальные размеры и надежность работы подшипниковых узлов при размещении на одном валу двух и более машин;

– хорошие условия вентиляции и теплоотдачи;

– высокий уровень экономических, энергетических, эксплуатационных и других показателей;

– высокая стабильность выходного напряжения при значительной несимметрии и моментальных сбросах и набросах нагрузки;

– синусоидальная форма кривой выходного напряжения, кратковременность протекания переходных электродинамических процессов;

– устойчивость систем регулирования напряжения при изменении нагрузки в широких пределах.

Электрические машины (ЭМ), которые использовались в автономных источниках питания, до настоящего времени обладали рядом недостатков:

1) в ЭМ переменного тока со щеточным контактом и электромагнитным возбуждением, с повышенным использованием активных материалов трудно получить высокую надежность, высококачественные характеристики электроэнергии и безотказное возбуждение. Для устойчивой работы и самовозбуждения генераторов с регуляторами напряжения необходимы малая мощность обмоток индуктора, узкая петля гистерезиса характеристики намагничивания, относительно большой остаточный поток (15–20 %), который обычно в этих машинах не превышает 1–5 % рабочего потока возбуждения. Наличие участков из магнитной стали существенно увеличивает необходимую мощность возбуждения, что в ряде случаев недопустимо. Увеличение остаточного потока может оказаться недостаточным для самовозбуждения и требует усложнения схем управления. В то же время для стабильной работы систем регулирования необходима нелинейность начального участка характеристики намагничивания, которая соответствует остаточному потоку равному 15–20 % от рабочего потока возбуждения [5];

2) устойчивость выходного напряжения генераторов с электромагнитным возбуждением нарушается при несимметричном распределении электрической нагрузки между фазами и ее мгновенных изменениях, которые не могут быть устранены регуляторами напряжения. Для снижения моментальных изменений напряжения (провалов, всплесков) и явления несимметрии напряжений синхронные ТГ вы-

полняют с низким уровнем линейной нагрузки, что увеличивает габаритные размеры и массу;

3) бесконтактные синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением обладают высокой надежностью и механической прочностью при работе на больших частотах вращения, но имеют, примерно, в два раза большую массу, большие размеры по сравнению с аналогичными машинами с контактными кольцами и вращающимися обмотками и низкие электромагнитные характеристики;

4) при использовании бесконтактных источников питания необходимо решать ряд дополнительных проблем, связанных с получением высокого уровня энергетических и электромагнитных показателей при его минимальной массе. Необходимо обеспечивать высокую стабильность и синусоидальность формы кривой выходного напряжения при значительной несимметрии и мгновенных изменениях нагрузки, получение низкого коэффициента пульсации выпрямленного напряжения, кратковременность протекания электромеханических переходных процессов;

5) синхронные машины с постоянными магнитами обладают безотказным самовозбуждением с высоким качеством электромагнитных характеристик, но не имеют непосредственного и экономичного регулирования напряжения, что ограничивает их применение в современных источниках питания.

Основной отличительной чертой асинхронизированных машин от обычных синхронных машин является наличие двух (трех) обмоток возбуждения, которые могут питаться постоянным или переменным током. При питании обмотки возбуждения постоянным током, в отличие от обычной синхронной машины, осуществляется векторное управление возбуждением, что делает возможным устойчивую работу при любом угле нагрузки, до 180° включительно. При питании ротора переменными токами поле возбуждения вращается относительно ротора, сохраняя при этом синхронность с полем статора. В результате, появляется возможность работы с переменной частотой вращения турбины, что актуально для гидрогенераторов, генераторов ветроустановок и систем автономного энергоснабжения.

Векторное управление АСТГ обеспечивает стабильное значение напряжения при изменении нагрузки: осциллограмма напряжения на статорной обмотке АСТГ при номинальной нагрузке представлено на рис. 2; изменение и быстрая стабилизация напряжения при изменении нагрузки на АСТГ представлено на рис. 3.

Как видно (рис. 3), в АСТГ при изменении нагрузки изменение напряжения происходит кратковременно (около 0,01 с), в дальнейшем напряжение стабилизируется.

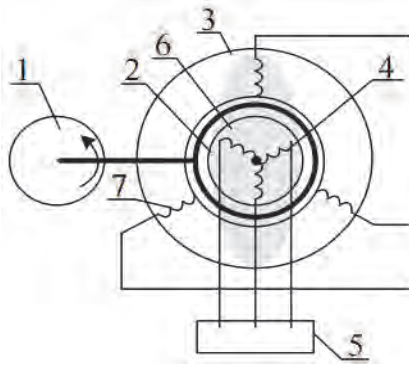


Рис. 1. Схема АСТГ

1 – приводной вал; 2 – ротор; 3 – статор АСТГ; 4 – обмотки ротора; 5 – полупроводниковый преобразователь частоты; 6 – форма магнитного поля возбуждения; 7 – обмотка статора

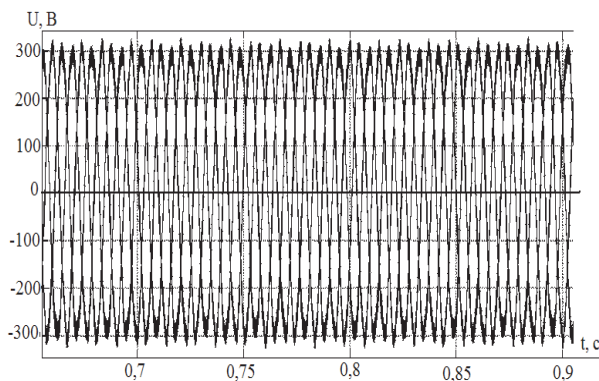


Рис. 2. Осциллограмма напряжения на статорной обмотке АСТГ при номинальной нагрузке

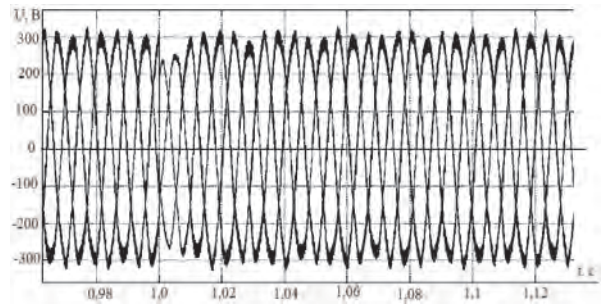


Рис. 3. Осциллограмма напряжения на статорной обмотке АСТГ при изменении нагрузки

## Выводы

1. АСТГ мощностью от 110 до 320 МВт введены в эксплуатацию и работают в энергосистемах Украины и России (табл. 1). АСТГ позволяют работать не только с выдачей, но и с глубоким потреблением реактивной мощности, тем самым регулируя напряжение на шинах станции в широком диапазоне и разгружая электросети от реактивного тока.

2. АСТГ позволяют решать ряд задач, актуальных для современных энергетических систем, как национального, так и автономного типа:

- позволяют отказаться от установки шунтирующих реакторов на линиях электропередачи, существенно сократив, таким образом, расходы на нормализацию уровней напряжения;

- расширяют допустимый диапазон регулирования напряжения на шинах станции за счет потребления избыточной реактивной мощности в системе;

Таблица 1

АСТГ энергосистем Украины и России

Тип генератора	Мощность, МВт	Место установки	Введен в эксплуатацию
АСТГ-200-2УЗ	200	Энергоблок №10, Бурштынская ГРЭС (Львовэнерго, Украина)	1985
АСТГ-200-2УЗ	220	Энергоблок № 9, Бурштынская ТЭС (Львовэнерго, Украина)	1991
ТЗФА-110-2УЗ	110	Энергоблок № 8, ТЭЦ-22 Мосэнерго	2003
ТЗФАУ-160-2УЗ	160	Энергоблок №3 (ПГУ-450), ТЭЦ-27 Мосэнерго	2007
ТЗФАУ-160-2УЗ	160	Энергоблок № 11 (ПГУ-450), ТЭЦ-21 Мосэнерго	2008
ТЗФАУ-160-2УЗ	160	Энергоблок №11 (ПГУ-450), ТЭЦ-21 Мосэнерго	2008
ТЗФСУ-320-2УЗ	320	Энергоблок №3, Каширская ГРЭС	2009

- позволяют вывести параллельно работающие синхронные ТГ из неблагоприятных для них режимов работы с высоким коэффициентом мощности близким к 1 (или даже с потреблением реактивной мощности) в безопасные для них режимы с выдачей реактивной мощности и, тем самым, обеспечивают продление срока их эксплуатации и увеличение межремонтных периодов [1; 5];

- в целом повысить надежность эксплуатации энергоблоков электростанции не только за счет более высокой устойчивости работы АСТГ в переходных режимах (работа в резервных режимах при отказах в системе возбуждения), но также и за счет

повышения надежности параллельно работающих энергоблоков с синхронными ТГ [6–7].

3. Экономическая выгода применения АСТГ при правильном выборе объектов их применения, значительна. АСТГ имеют более высокую стоимость по сравнению с синхронными машинами, но при этом обеспечивается экономия, как капитальных, так и эксплуатационных расходов, повышается надежность работы работающего рядом генераторного оборудования.

4. Отмечается повышение интереса (растет число научных публикаций, вводятся новые блоки) в

мировой энергетике к внедрению АСТГ в национальные энергосистемы.

### Список литературы

1. Шевченко В.В. Режимы эксплуатации турбогенераторов с учетом требований устойчивости работы энергосистемы / В.В. Шевченко, А.В. Строкоус // Энергосбережение Энергетика Энергоаудит, 2016. – № 02(145). – С. 33-42.

2. Шакарян Ю.Г. Целесообразность и перспективы оснащения электростанций асинхронизированными турбо- и гидрогенераторами. НПК «Электроэнерго-2002» / Ю.Г. Шакарян, И.А. Лабунец, П.В. Сокур // Сб. «Электросила». – Вып. 42. – СПб, 2003. – С. 35-43.

3. Лабунец И.А. Асинхронизированные турбогенераторы. Новые технологии в энергетике / И.А. Лабунец. – М.: Изд-во РАО «ЕЭС России», 2002. – С. 139-144.

4. Перспективы применения асинхронизированных турбогенераторов в европейской зоне «ЕЭС России» / Г.А. Дмитриева, С.Н. Макаровский, Ю.А. Поздняков А.Ю. и др. // Электрические станции. – 1997. – № 8. – С. 35-43.

5. Шевченко В.В. Предложения по предотвращению и ликвидации поврежденных сердечников статоров турбогенераторов / В.В. Шевченко, И.Я. Лизан // Научные работы Донецького Національного технічного університету. Серія: Електротехніка та енергетика, 2015. – № 1(17). – С. 138-143.

6. Shevchenko V.V. Influence of manufacturing quality of laminated core on a turbogenerator exploitation term / V.V. Shevchenko // Electrical Engineering & Electromechanics. – 2016. – № 4. – Pp. 28-33.

7. Шевченко В.В. Особенности эксплуатации и диагностики турбогенераторов в состоянии износа / В.В. Шевченко, Д.В. Потоцкий, А.В. Строкоус // Scientific journal "Fundamental scientiam". – Spain, Madrid, 2017. – № 2(3) – P. 87-94.

Поступила в редколлегию 4.01.2017

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Е. Плюгин, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова, Украина, Харьков.

### ВИКОРИСТАННЯ АСИНХРОНІЗОВАНИХ ТУРБОГЕНЕРАТОРІВ ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ НАПРУГИ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ

В.В. Шевченко, Д.В. Потоцький

Робота присвячена питанням регулювання балансу енергії в загальних та в автономних системах електропостачання з використанням асинхронізованих турбогенераторів. Показано, що загальноприйняті способи регулювання балансу не завжди вирішують проблему, тому що обмежені значеннями напруги регульованої мережі, величиною параметрів, що компенсуються.

**Ключові слова:** асинхронізований турбогенератор, режим експлуатації, активна потужність, реактивна потужність, баланс електроенергії, знос електроустаткування.

### USING ASYNCHRONIZED TURBOGENERATORS FOR STABILIZATION OF VOLTAGE IN THE POWER SYSTEM

V. Shevchenko, D. Pototsky

The work is devoted to determining the possible range of energy balance regulation in power systems using asynchronousized turbogenerators. It is shown that the generally accepted methods of regulating balance do not always solve the problems because its limited by the value of the voltage of the regulated network and the size of the compensated parameters.

**Keywords:** asynchronousized turbogenerator, operation mode, active power, reactive power, power balance, wear of electrical equipment.