

ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАТИВНОГО И ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

В статье поднимается вопрос изменения структуры электроэнергетических систем и режимов их работы. Рассмотрены новые средства, позволяющие совершенствовать принципы и системы управления режимами ЭЭС. В качестве основного направления предлагается повышение адаптивности управления, расширение и углубление координации этапов, средств и систем управления режимами. Рассматриваются основные положения системы мониторинга и прогнозирования режимов и управления ими, а также вопросы краткосрочного прогнозирования параметров режима с использованием современных информационных технологий.

ВОРОПАЙ Н. И., директор Института систем энергетики СО РАН

Тенденции развития электроэнергетических систем (ЭЭС) и изменения условия их функционирования привели к существенным трансформациям в структуре систем и режимах их работы. Эти трансформации обусловлены следующими факторами:

- увеличением масштабов, расширением обслуживаемых территорий, объединением на совместную работу различных ЭЭС с созданием межрегиональных, межгосударственных и межконтинентальных энергообъединений;
- децентрализацией электроснабжения в связи с расширением использования источников распределенной генерации, подключаемых к узлам распределительной электрической сети;
- реструктуризацией электроэнергетики, в результате которой ее структура часто коренным образом отличается от технологической структуры ЭЭС как технически единого объекта и от структуры управления этим объектом;
- либерализацией отношений в электроэнергетике, в результате которой возникает множество субъектов отношений с несовпадающими, часто противоре-

выми интересами в процессе развития, функционирования и управления ЭЭС.

Все эти факторы существенно усложняют режимы работы ЭЭС, повышают их динамичность и непредсказуемость, увеличивают опасность тяжелых аварий с нежелательным развитием и массовыми последствиями для системы и потребителей и поэтому требуют более оперативной и адекватной реакции систем управления. Это вызывает необходимость совершенствования и развития принципов и систем управления режимами ЭЭС, в процессе которого следует использовать:

- новые средства измерения параметров режимов (PMU) и управления ими (FACTS, накопители энергии и др.), радикально повышающих наблюдаемость и управляемость ЭЭС;
- современные средства коммуникаций, новые информационные технологии и методы искусственного интеллекта, высокоэффективные компьютерные средства, принципиально изменяющие процессы сбора, обработки, передачи, представления

(визуализации) и использования информации об ЭЭС;

- эффективные математические методы теории управления в многокритериальных противоречивых условиях.

С учетом изложенных обстоятельств за рубежом сформировалась так называемая концепция Smart Grid [1, 2 и др.]. Часто это понятие связывают с интеграцией в ЭЭС возобновляемых источников энергии, а также с распределительной электрической сетью с использованием информационных технологий и искусственного интеллекта в распределенных системах управления электроснабжением и электропотреблением [3, 4 и др.]. Наиболее комплексное понимание концепции Smart Grid на сегодня дано M.Shahidehpour [5], с учетом которого концепцию Smart Grid можно представить в виде следующих составляющих:

- генерацию – в части повышения надежности и экономичности производства электроэнергии с использованием современных высокоинтеллектуальных средств контроля и управления, интеграции источников возобновляемой энергии, распределенной генерации и

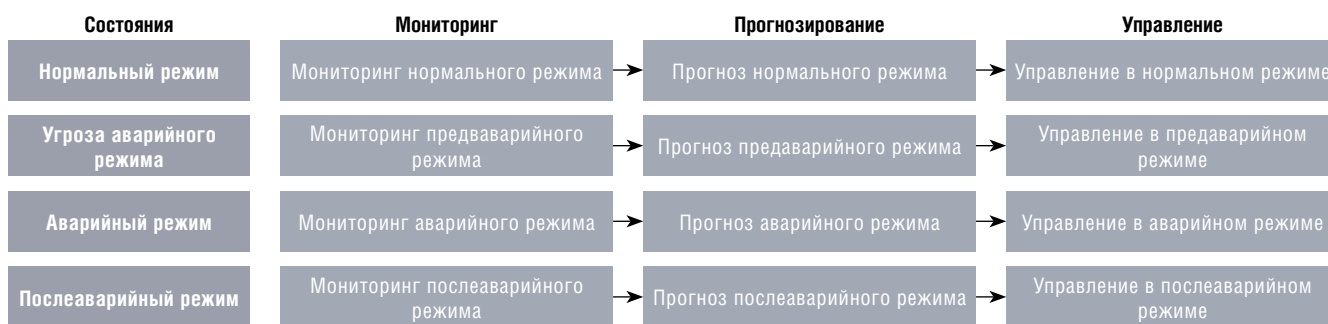


Рис. 1. Соответствие состояний ЭЭС и блоков задач мониторинга и прогнозирования режимов и управления ими

накопителей энергии с помощью в том числе Интернет-технологий;

- передающую электрическую сеть – в части широкомасштабного мониторинга режимов и управления ими с использованием новых средств и технологий (FACTS, PMU, искусственный интеллект и др.) с целью обеспечения надежности передачи электроэнергии и управляемости электрической сети;

- подстанции – в плане автоматизации подстанций, базирующихся на современном электротехническом оборудовании, с применением современных средств диагностики, мониторинга и управления на основе информационных и компьютерных технологий для обеспечения надежности и управляемости подстанций;

- распределительную электрическую сеть – в части радикального повышения ее управляемости и надежности внедрением распределенных систем автоматики и защиты на современной микропроцессорной основе с использованием новых информационных, компьютерных и Интернет-технологий;
- потребителей – в плане оснащения их высокоинтеллектуальными системами контроля и учета электроэнергии, регулирования электропотребления и управления нагрузкой, в том числе в аварийных ситуациях.

В России с учетом преобразований в электроэнергетике и новых методов и технических средств управления также формируются принципы и методы развития систем оперативного и противоаварийного управления ЭЭС [6, 7 и др.].

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ И УПРАВЛЕНИЯ ИМИ.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

С учетом изложенного рассмотрим задачи и направления совершен-

ствования принципов и повышения эффективности систем оперативного и противоаварийного управления режимами ЭЭС. Основные актуальные направления в этом плане – повышение адаптивности управления и расширение и углубление координации этапов, средств и систем управления режимами. Для реализации этих направлений необходима разработка эффективной системы широкомасштабного мониторинга и прогнозирования режимов и управления ими. На рис. 1 показаны состояния ЭЭС и соответствующие этим состояниям блоки задач мониторинга режимов, прогнозирования режимов и управления режимами.

В состав блоков мониторинга и прогнозирования нормальных, предаварийных и послеаварийных режимов ЭЭС входят следующие задачи:

- оценивание состояния системы;
- прогнозирование параметров предстоящего режима. Оно необходимо в связи с тем, что оценивание состояния дает текущую оценку режима с определенным запаздыванием, в то время как для задач мониторинга и управления требуется некоторое упреждение оценки состояния системы («управлять – значит предвидеть»); заметим, что для этих двух блоков задач упреждение может быть различным;
- оценка слабых мест в системе в предстоящем режиме;
- оценка запасов пропускных способностей связей в предстоящем режиме; она нужна для эффективного использования запасов в оперативном режиме и при автоматическом управлении путем соответствующих управляющих воздействий;
- визуализация предстоящего режима;
- определение показателей и критериев перехода из нормального в

предаварийный режим и обратно, а также из послеаварийного режима в нормальный.

Относительно последней задачи необходимо сделать специальное пояснение. Оно связано со следующими базовыми принципами управления режимами ЭЭС в рыночных условиях:

- в нормальных режимах – эффективная реализация договорных отношений субъектов оптовых рынков электроэнергии, мощности и системных услуг, координируемых на рыночной основе;

- при угрозе аварийной ситуации – переход от рыночных критериев управления режимами на централизованные принципы диспетчерского управления;

- в аварийных и послеаварийных режимах – использование жестко централизованного диспетчерского и автоматического противоаварийного управления.

Перечисленные задачи имеют определенную специфику для нормальных режимов, с одной стороны, и предаварийных и послеаварийных режимов – с другой. В предаварийном и послеаварийном (при восстановлении системы) режимах требуется большее быстроедействие алгоритмов и меньшие интервалы времени между отдельными состояниями, для которых решаются задачи мониторинга режимов и управления ими.

Отдельную проблему составляет мониторинг аварийного режима. Учитывая динамичный характер аварийного режима, результаты мониторинга должны представляться диспетчеру очень оперативно, в интегрированном виде с указанием опасных с точки зрения нежелательного развития аварии мест в системе. Основная же информация,

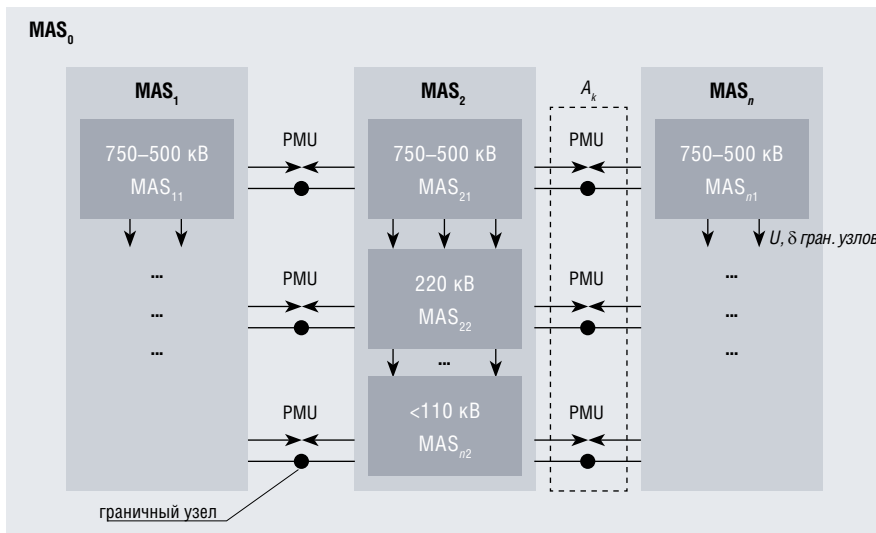


Рис. 2. Структура разработанной мультиагентной системы (МАС)

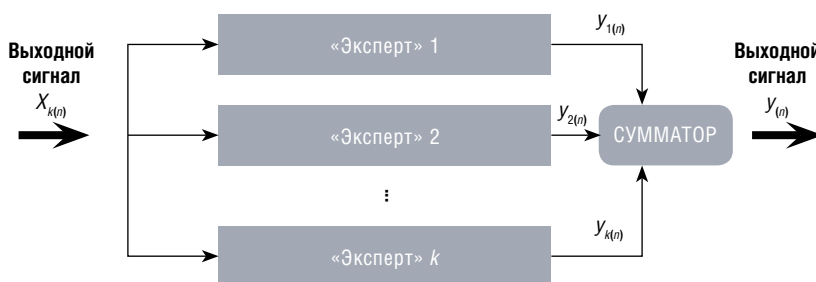


Рис. 3. Структура ассоциативной машины для задачи прогнозирования

получаемая в результате мониторинга аварийного режима, должна поступать на автоматические средства и системы управления с целью их адаптации к текущему состоянию аварийного режима ЭЭС.

Помимо мониторинга и прогнозирования режимов, важную роль в плане повышения адаптивности управления имеет использование эффективных адаптивных методов и алгоритмов выбора мест приложения и дозирования управляющих воздействий на основе новейших достижений теории управления и искусственного интеллекта, реализуемых диспетчером и системами автоматического управления и обеспечивающих адаптацию управлений к текущему состоянию системы и возможным возмущениям.

Существенное расширение и усиление координации управления необходимо в нижеследующих направлениях.

а) Расширение координации управления режимами ЭЭС:

- во временном разрезе – от координированного проектирования си-

стем управления до их реализации диспетчерскими и автоматическими средствами;

- в ситуативном плане – координация оперативного диспетчерского, непрерывного автоматического и дискретного противоаварийного управления.

б) Развитие и расширение номенклатуры средств координированного управления режимами ЭЭС:

- развитие традиционных средств – систем управления возбуждением и мощностью синхронных машин, противоаварийной автоматики и др.;

- использование новых средств измерения и управления – PMU, FACTS, накопители энергии и др.

в) Распространение и развитие принципов и систем координированного оперативного диспетчерского и противоаварийного управления на распределительные электрические сети, содержащие установки распределенной генерации.

г) Согласование коммерческих интересов субъектов рынков электроэнергетики, мощности и системных услуг и не-

обходимости обеспечения системной надежности и живучести ЭЭС.

д) Формирование новых критериев и разработка новых методов мониторинга и прогнозирования режимов и управления ими с целью обеспечения эффективности координированного управления для всех субъектов оптового рынка, системной надежности и живучести ЭЭС.

Реализация изложенных положений позволит существенно повысить эффективность функционирования, управляемость, надежность и живучесть современных ЭЭС. Рассмотрим некоторые конкретные результаты исследований в этом направлении, выполненных в ИСЭМ СО РАН.

ОЦЕНКА ТЕКУЩИХ РЕЖИМОВ ЭЭС НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ И ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА [8]

При оценивании текущего режима (оценивании состояния) современных ЭЭС большой размерности, содержащих тысячи узлов и связей различных уровней напряжения, возникают проблемы, связанные с неоднородностью расчетных схем, большим объемом, неоднородностью, неполнотой и неточностью обрабатываемой информации, получаемой от устройств измерения параметров режима. Это приводит к плохой обусловленности решаемой задачи и, как следствие, к медленной сходимости вычислительного процесса и существенному искажению результатов оценивания состояния из-за появления даже единичных плохих данных.

Распределенная обработка информации при декомпозиции задачи оценивания состояния и ее реализации на основе мультиагентных технологий является эффективным методом решения этих проблем для задач мониторинга и прогнозирования режимов, оперативного и противоаварийного управления ими. В этом направлении исследований получены следующие результаты:

- разработан иерархический алгоритм оценивания состояния, использующий структурную декомпозицию задачи, т.е. разбивку расчетной схемы на подсистемы, и функциональную декомпозицию, которая выполняется в соответствии с задачами,

Бесплатная электронная версия журнала предоставлена компанией

Другие номера журнала на сайте редакции:

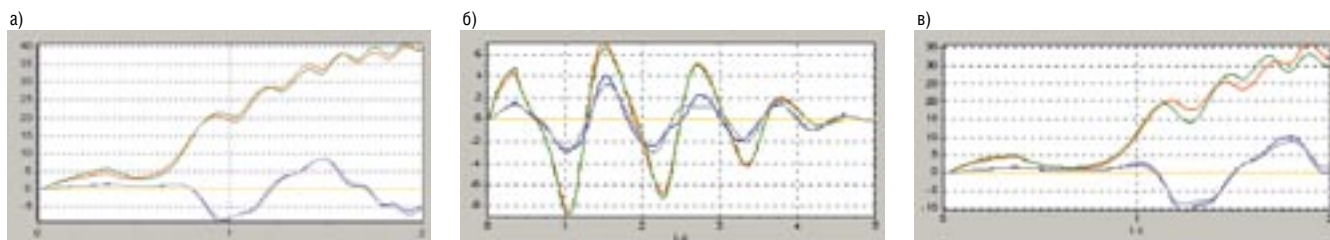


Рис. 4. Изменения угловой скорости вращения роторов генераторов при аварийном отключении линии:

а – для обычного АРВ; б – для нечеткого АРВ с экспертной настройкой; в – для нечеткого АРВ с оптимальной настройкой

решаемыми при оценивании состояния ЭЭС: обнаружение плохих данных, непосредственно оценивание состояния по квадратичным и неквадратичным критериям;

- разработан двухуровневый алгоритм разбивки расчетной схемы на подсистемы при оценивании состояния методом контрольных уравнений, который позволяет фиксировать значения измеренных переменных, задавая им нулевые дисперсии, а также установка в граничных узлах устройств PMU, дают возможность существенно упростить процедуру координации решений отдельных подсистем;

- для реализации декомпозиционного алгоритма оценивания состояния разработана мультиагентная система, структура которой показана на рис. 2.

Применение мультиагентных технологий дает возможности выполнять функциональную декомпозицию задачи; координировать взаимодействие между подзадачами, решаемыми на разных уровнях; организовать гибкий выбор метода решения той или иной подзадачи оценивания состояния для каждой подсистемы; интегрировать методы искусственного интеллекта и численные методы решения задач; ускорить процесс обработки телеизмерений и, соответственно, уменьшить время оценивания состояния полной схемы.

КРАТКОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЖИМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ [9]

Данный подход реализован на базе нейросетевых технологий и эвристических методов нелинейной оптимизации – методов имитации отжига и нейро-генетического отбора, обеспечивающих процедуру

выбора наилучшей прогнозной модели для каждой отдельной выборки. В процессе исследований были выделены типы искусственных нейронных сетей, такие как радиально-базисная функция и обобщенно-регрессионная нейронная сеть, которые позволяют получать достаточно точные результаты при краткосрочном прогнозировании.

В случае сложной вычислительной задачи прогнозирования (например, когда обучающая выборка содержит много факторов) используется принцип ассоциативной машины (рис. 3), которая представляет собой нейросетевую систему, состоящую из комбинации нейросетей-«экспертов» и позволяющую найти общее решение $y_{(n)}$, которое имеет приоритет над каждым решением отдельного эксперта $y_{1(n)}$.

Расчеты показывают, что разработанный подход позволяет значительно эффективнее (по точности и быстродействию) решать задачи прогнозирования по сравнению с другими методами.

АДАПТАЦИЯ НАСТРОЙКИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ВОЗБУЖДЕНИЯ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ, РЕАЛИЗОВАННОГО НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ [10]

Нечеткий регулятор автоматически адаптируется по всей области значений параметров режима, вариантов схем (нормальная, ремонтные, послеаварийные) и расчетных возмущений на заданном интервале времени (день, неделя, месяц и т.д.). Задача решается в две стадии.

На первой в режиме off-line производится настройка параметров нечеткого регулятора для конечного набора расчетных ситуаций – сочетаний вариантов схем, параметров режима и расчетных возмущений. Оптимизация параметров нечеткого регулятора для каждой расчетной ситуации

выполняется с помощью генетического алгоритма. Исходный набор расчетных ситуаций и полученные оптимальные параметры нечеткого регулятора являются обучающей выборкой для обучения искусственной нейронной сети.

На второй стадии в режиме on-line обученная искусственная нейронная сеть позволяет оперативно выбирать параметры настройки нечеткого регулятора, оптимальные для текущей ситуации.

На рис. 4 для тестовой схемы ЭЭС показана эффективность демпфирования колебаний роторов генераторов предложенным адаптивным нечетким регулятором при возмущении в системе.

КООРДИНИРОВАННОЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НАГРУЗКОЙ И УСТРОЙСТВАМИ FACTS [11]

Одним из эффективных средств противоаварийного управления, обеспечивающих прерывание развития аварийных процессов и сохранения устойчивости ЭЭС, является специальная автоматика отключения нагрузки (CAON). Однако в настоящее время использовавшиеся ранее принудительные принципы организации CAON все более не устраивают потребителей, поскольку противоречат идеологии рыночных отношений. Возникает вопрос о возможности переложения, хотя бы частично, функций, возлагавшихся на CAON, на другие возможные средства. Одним из таких средств могут быть устройства FACTS.

Разработан метод координации противоаварийного управления потребителями и устройствами FACTS при необходимости разгрузки ЛЭП с целью недопущения развития аварии. Применение устройств FACTS на разгружаемых ЛЭП позволяет повысить эффективность использования этих

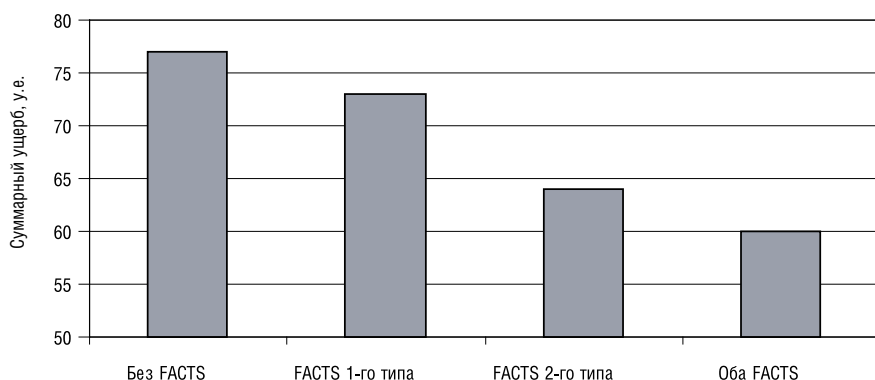


Рис. 5.

ЛЭП и тем самым снизить объем аварийно отключаемых потребителей. За счет этого минимизируется суммарный ущерб аварийно отключаемых потребителей при сохранении эффективности противоаварийного управления ЭЭС в целом.

На рис. 5 показана эффективность предлагаемого координированного противоаварийного управления при аварийном отключении одной из ЛЭП в тестовой схеме ЭЭС.

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ (СМПР) ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВАМИ FACTS [12]

Традиционно системы автоматического управления ЭЭС, в том числе и автоматические регуляторы, установленные на устройствах FACTS, используют локальную информацию о состоянии системы. Это не всегда позволяет эффективно бороться с ава-

рийными ситуациями, особенно при межсистемных колебаниях, которые могут возникать в крупных протяженных ЭЭС.

Исследована возможность использования в качестве входной информации для регуляторов FACTS сигналов, получаемых от СМПР на основе измерений устройствами PMU. В качестве устройства FACTS рассмотрен статический тиристорный продольный компенсатор (ССПК).

На первом этапе исследований рассмотрено применение локальных сигналов для управления ССПК. При этом настройка регулятора этого устройства оптимизировалась с целью максимального демпфирования колебаний роторов генераторов при возмущении. Результаты показывают, что использование ССПК совместно с автоматическими регуляторами возбуждения сильного действия позволяет обеспечить сохранение устойчивости ЭЭС в тех расчетных ситуациях,

когда без ССПК с оптимизированной настройкой устойчивость системы нарушается.

Однако при тяжелых аварийных возмущениях управление ССПК по локальным параметрам режима может не справиться со своей задачей, и устойчивость ЭЭС будет нарушаться. На рис. 6а приведена подобная ситуация для тестовой схемы ЭЭС. Использование же информации от СМПР позволяет успешно решить задачу сохранения устойчивости системы (рис. 6б). Адаптация настройки системы управления ССПК, подобно изложенной выше для нечеткого регулятора возбуждения, еще более увеличивает эффективность управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Режимы работы современных ЭЭС существенно усложнились, что повышает опасность тяжелых системных аварий и требует совершенствования и развития принципов и систем управления режимами ЭЭС. При этом необходимо использовать новые методы и средства измерения параметров режима, их передачи, обработки и использования и управления режимами. Предлагаемые основные положения системы мониторинга и прогнозирования режимов и управления ими позволяют существенно повысить эффективность и адаптивность координированного оперативного и противоаварийного управления в ЭЭС. Конкретные результаты,

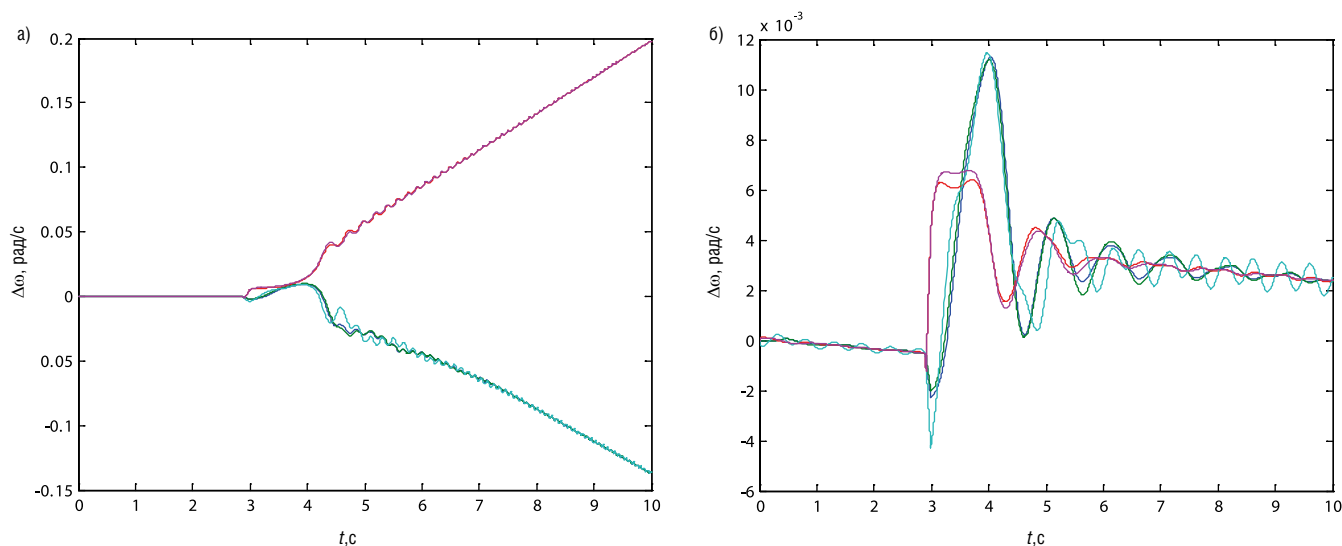


Рис. 6. Отклонение угловой скорости вращения роторов генераторов при возмущении

Бесплатная электронная версия журнала предоставлена компанией

. Другие номера журнала на сайте редакции:

приведенные в статье, иллюстрируют эффективность подхода и используемых методов и информационных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grid 2030: A National Version for Electricity's Second 100 Years. Office of Electric Transmission and Distribution, United State Department of Energy, July 2003.

2. European Smart Grids Technology Platform: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future. European Commission, 2006.

3. Amin S.M., Wollenberg B.F. Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century // IEEE Power and Energy Magazine, 2005, Vol.3, No.5.

4. Chuang A., McGranaghan M. Functions of a Local Controller to Coordinate Distributed Resources in a Smart Grid // IEEE PES General Meeting, Pittsburgh, USA, July 20–24, 2004.

5. Shahidehpour M. Smart Grid: A New Paradigm for Power Delivery // IEEE Bucharest Power Tech, Bucharest, Romania, June 28 – July 2, 2009.

6. Аюев Б.И., Шульгинов Н.Г., Коцев Л.А. Развитие принципов, алгоритмов и задач противоаварийного управления в ЕЭС России // 3-я Междунар. н.-т. конф. «Энергосистема: управление, конкуренция, образование», Екатеринбург, 14–16 октября 2008 г.

7. Воропай Н.И. Проблемы и направления развития систем управления в электроэнергетических системах // 3-я Междунар. н.-т. конф. «Энергосистема: управление, конкуренция, образование», Екатеринбург, 14–16 октября 2008 г.

8. Гамм А.З., Глазунова А.М., Гришин Ю.А., Колосок И.Н., Коркина Е.С. Развитие алгоритмов оценивания состояния электроэнергетической системы // Электричество, 2009, № 6.

9. Kurbatsky V.G., Tomin N.V. Use of the «ANAPRO» Software to Analyze

and Forecast Operating Parameters and Technological Characteristics on the Basis of Macro Applications // IEEE Bucharest Power Tech, Bucharest, Romania, June 28 – July 2, 2009.

10. Воропай Н.И., Этингов П.В. Развитие методов адаптации нечетких АРВ для повышения динамической устойчивости сложных электроэнергетических систем // Электричество, 2003, № 11.

11. Воропай Н.И., Этингов П.В., Удалов А.С., Жермон А., Шеркави Р. Координированное противоаварийное управление нагрузкой и устройствами FACTS // Электричество, 2005, № 10.

12. Этингов П.В. Применение систем мониторинга переходных режимов для управления устройствами FACTS // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Сб. докл. семинара. Харьков: Харьковский нац. техн. ун-т, 2006.

11-я международная специализированная выставка

ЭНЕРГЕТИКА

РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

ОРГАНИЗАТОРЫ:
Министерство промышленности и торговли Республики Татарстан,
Центр энергосберегающих технологий Республики Татарстан
при Кабинете Министров Республики Татарстан,
Мэрия г. Казани,
ОАО «Казанская ярмарка»
при поддержке
Президента и Правительства
Республики Татарстан.

В ПРОГРАММЕ:
X международный симпозиум
«Энергоресурсоэффективность и энергосбережение».
Заседание Правительства Республики Татарстан
по реализации Республиканской целевой программы
«Энергоресурсоэффективность» в Республике Татарстан
на 2006 – 2010 годы.

1-3 декабря, КАЗАНЬ, 2009

www.expoenergo.ru
420059, г. Казань, Оренбургский тракт, 8
тел.: (843) 570-51-06, 570-51-11 (круглосуточно), факс: 570-51-23
E-mail: 5705106@expokazan.ru, kazanexpo@telebit.ru

Генеральный
Информационный
спонсор
ENERGO
Генеральный
Интернет-спонсор
elec.ru

КАЗАНСКАЯ
ЯРМАКА