

ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ

INFORMATICS,
COMPPUTER ENGINEERING
AND CONTROL

УДК 621.311

DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-77-90

Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью*

А.И. МАРЧЕНКО^а, В.В. ДЕНИСОВ^б, И.С. МУРАШКИНА^с

630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет

^а andrey1991@ngs.ru ^б wden@ngs.ru ^с murashkinainna@yandex.ru

Актуальность темы обусловлена ростом количества объектов малой распределенной генерации и стремлением их подключения на параллельную работу к электрической распределительной сети электроэнергетической системы преимущественно низкого класса напряжения.

В настоящей работе проведен анализ тенденций развития современных технических решений для управления параллельной работой малой генерации с электрической сетью.

Авторы представили результаты как теоретических (анализ средств и способов управления), так и экспериментальных исследований возможности и эффективности подключения малой распределенной генерации к электрической сети на параллельную работу.

Разработка управляемого интеллектуального соединения, которое позволит синхронно подключать автономные системы энергоснабжения к единой энергосистеме и отключать их при нарушении режимных параметров, является одним из перспективных трендов развития электроэнергетики будущего. Решение данной технической задачи необходимо и предусматривается в России в рамках Национально-технологической инициативы и дорожной карты «Энерджинет». Одним из таких решений является предлагаемая автоматика управления параллельной работы локальной системы электроснабжения с внешней электрической сетью.

На кафедре автоматизированных электроэнергетических систем Новосибирского государственного технического университета с участием авторов разработана и испытана на физической модели инновационная автоматика управления режимом параллельной работы электростанций малой мощности с внешней электрической сетью энергосистемы, реализованная на предложенном и запатентованном способе опережающего сбалансированного деления генераторов. Исследованы возможности ее применения в электрической сети.

Научная новизна заключается в исследовании эффективности средств и способов управления параллельной работой малой генерации в электрической сети.

Ключевые слова: малая синхронная генерация, автономная работа, параллельная работа с сетью, управление, автоматика, испытания

* Статья получена 22 сентября 2018 г.

ВВЕДЕНИЕ

Современные сети SmartGrid и энергосистемы должны удовлетворять требованиям энергоэффективного и экономичного функционирования. Новый качественный уровень функционирования возможен за счет скоординированного управления, развития коммерческих и технологических взаимодействий между субъектами и системами управления электрических сетей, электрических станций большой мощности, распределенной малой генерацией и активными потребителями.

В понятие малой генерации входят генерирующие установки малой мощности, подключаемые к распределительной электрической сети на напряжение 0,4...35 кВ, использующие источники первичной энергии различных видов [1, 2]. В зарубежной литературе распределенная малая генерация понимается как «распределенная» генерация (Distributedgeneration) или «распределенная» генерация (Dispersedgeneration), «включенная» (Embeddedgeneration), а также «виртуальная электростанция» (Virtualpowerplant) – группа распределенных генераторов, находящихся под единым автоматизированным управлением [3].

Установки распределенной генерации классифицируют по установленной мощности единичного генерирующего оборудования, находящегося в пределах от нескольких киловатт до 100 МВт, а также по классам напряжения электрической сети, режиму работы и схемам выдачи мощности.

В России распределенная генерация в основном выражена синхронной генерацией на топливе различных видов, когенерацией, малыми гидроэлектростанциями мощностью не более 25 МВт, а также автономно работающими локальными энергетическими системами.

Рост количества распределенной генерации в электроэнергетической системе не только имеет положительные стороны, но и создает определенные технические трудности, связанные с изменением схемно-режимных свойств энергосистемы, возможностями управления ими в нормальных и аварийных режимах. При подключении энергоблоков объектов малой генерации изменяются потокораспределение в прилегающем районе электрической сети и условия регулирования напряжения, происходит снижение потерь при передаче электроэнергии, разгрузка распределительной сети и, следовательно, увеличение ее пропускной способности.

Распределенная малая генерация при параллельной работе усложняет задачи управления режимами централизованной энергосистемы в связи с чувствительностью малоинерционных генерирующих установок к внешним воздействиям и, как следствие, их частому отключению, но при этом данный источник генерации позволяет повысить надежность и независимость энергоснабжения присоединенного потребителя [4, 5].

Распределительная сеть с появлением в ней малой генерации приобретает свойства основной сети и становится локальной энергосистемой, для которой необходимо решение тех же задач, что и для большой энергосистемы, по обеспечению надежного и безопасного функционирования [6, 7].

На сегодняшний день большинство установок малой распределенной генерации работает в автономных режимах, поскольку присоединение к существующим электрическим сетям встречает технические, экономические и административные барьеры.

1. ПОНЯТИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

К технологиям распределенной генерации (распределенных энергоресурсов, Distributed Energy Resources) в мировой практике относят широкий спектр технических решений и сервисов, например [3]:

- распределенную генерацию (Distributed Generation);
- управление спросом (Demand Response);
- управление энергоэффективностью;
- микрогрид системы;
- распределенные системы хранения электроэнергии;
- электромобили.

Базовое свойство всех этих технологий – близость к конечному потребителю энергии.

Под распределенной малой генерацией будем понимать совокупность электростанций, расположенных близко к месту потребления энергии и подключенных непосредственно к потребителю либо к распределительной электрической сети (в случае, когда потребителей несколько). Тип используемого электростанцией источника первичной энергии (например, органическое топливо или возобновляемая природная энергия), как и принадлежность ее к потребителю, генерирующей или сетевой компании, или третьему лицу, не имеет значения.

В зарубежной практике есть тенденция ограничивать мощность электростанций распределенной малой генерацией верхним уровнем в зависимости от применяемой технологии. Например, исследовательская и консалтинговая компания Navigant Research в своей практике использует границу 500 кВт для ветряных, 1 МВт – для солнечных, 250 кВт – для газотурбинных и 6 МВт – для газопоршневых и дизельных электростанций. Европейский исследовательский проект партнерства в распределенной энергетике EU-DEEP использовал похожие границы: тепловые электростанции (паровые и газовые турбины, поршневые двигатели) – до 10 МВт, микротурбины – до 500 кВт, ветряные станции – 6 МВт и солнечные – до 5 МВт.

В российской практике единого мнения по этому поводу нет, как и нет ограничений в нормативных документах. Иногда используется общая для всех технологий граница деления по величине установленной мощности единичного энергоблока в 25 МВт, которая «разделяет» электростанции, работающие на розничном и оптовом рынках электроэнергии и мощности.

На базе развития и внедрения распределенной малой генерации формируются микрогрид-системы – объединенная энергосистема, состоящая из распределенных энергоресурсов и нескольких электрических нагрузок (потребителей), работающая как единый управляемый объект параллельно и вместе с существующей электрической сетью или в островном режиме.

Малая распределенная генерация направлена на решение локальных проблем основной энергетики, возникающих из-за «запертости» и недостаточности электрических мощностей и отсутствия их резервирования, когда строительство генерирующих производств малой мощности является экономически более эффективным, чем реконструкция и строительство электрораспределительных сетей.

Вследствие небольших мощностей энергоблока устанавливаются в распределительной сети в непосредственной близости от потребителей, формируя распределенную генерацию и микрогрид-системы, которые разгружают электрические сети, что способствует повышению надежности и качества

электроэнергии [8, 9] и дает дополнительные возможности для реализации электроэнергии и развития прилегающей территории.

Перспективным является развитие технологий на основе Российской национальной концепции SmartGrid, отличающейся от принятой в странах Европы, США и др.

Развитие распределенной малой генерации за границей происходит преимущественно на базе возобновляемых источников энергии, работающих в электрической сети режимно-изолированно, либо через частотно-преобразовательные устройства (вставки постоянного тока).

В России с ее климатическими и географическими особенностями речь идет о создании интеллектуальной автоматики и систем управления преимущественно для когенерационных установок топливной распределенной малой генерации. Энергоблоки, работая синхронно с общей распределительной электрической сетью единой энергосистемы, на основе системы автоматизированного интеллектуального управления позволяют полноценно использовать системные эффекты от совместного функционирования и синхронной работы крупной концентрированной и малой распределенной генерации.

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РАБОТЫ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Рассмотрим технические решения, обеспечивающие режим параллельной работы объединяемых синхронных генераторов малой генерации в Автономной системе электроснабжения (АСЭ) и в сети Единой электроэнергетической системы.

1) Работа АСЭ на базе синхронной малой генерации (СМГ) в островном режиме.

Источниками являются энергоблоки с синхронными генераторами. По критерию надежности ($n - 1$) необходим дополнительный генератор, а с учетом ремонтных работ – два генератора. Для запуска станции с нуля необходим резервный дизель-генератор. Достоинство – независимость от внешнего энергоснабжения. Недостатки: высокие затраты на надежность, необходимость регулирования режима и противоаварийного управления в полном объеме, низкое использование установленных мощностей.

2) Работа АСЭ на базе СМГ с накопителем и преобразователем.

Для выравнивания графика нагрузки, регулирования напряжения и кратковременного резервирования используется накопитель энергии (аккумуляторная батарея) с преобразователем. Достоинства: независимость, кратковременное резервирование от батареи, возможность использования генератора на постоянных магнитах и асинхронного генератора, возможность высокого использования мощности генераторов. Недостатки: высокие затраты на батарею и преобразователь, необходимость регулирования режима в полном объеме, искажение формы синусоиды (появление высших гармоник в собственной сети), дополнительные потери при накоплении и преобразовании энергии.

3) Работа АСЭ на базе СМГ в островном режиме с автоматическим вводом резерва от сети при погашении электростанции.

Параллельная работа электростанции с внешней сетью не предусматривается. Надежность электроснабжения потребителей обеспечивается автоматическим вводом резерва от внешней сети. Достоинство – обеспеченная

надежность при наличии сетевого резерва в требуемом объеме. Недостатки: необходимость регулирования режима и противоаварийного управления в полном объеме и низкое использование установленных мощностей.

4) Присоединение к электрической сети АСЭ с асинхронным генератором.

Использование асинхронных генераторов в энергоблоках станции. Достоинство – возможность выдачи избытков мощности и энергии во внешнюю электрическую сеть. Недостатки: надежность и качество электрической энергии определяются внешней сетью, подпитка коротких замыканий токами от внешней сети, невозможность автономной работы при нарушениях во внешней сети или связи с ней.

5) Присоединение к электрической сети АСЭ с асинхронным генератором и накопителем энергии.

Использование асинхронных генераторов в энергоблоках станции в сочетании с накопителями и преобразователями. Достоинства: обеспеченная надежность электроснабжения потребителей, возможность высокого использования мощности генераторов, меньшая потребность в сетевом резерве. Недостатки: высокие затраты на батарею и преобразователь, искажение формы синусоиды, в том числе появление гармоник во внешней сети, подпитка коротких замыканий токами от внешней сети, дополнительные потери при накоплении и преобразовании энергии.

6) Присоединение к электрической сети АСЭ на базе синхронной малой генерации через вставку постоянного тока.

Использование несинхронной связи на базе вставки постоянного тока. Достоинства: обеспеченная надежность электроснабжения потребителей и работы электростанции, возможность выдачи избытков мощности и энергии в сеть. При этом данное решение обладает существенными недостатками: высокие затраты на преобразовательную вставку, искажение формы синусоиды, дополнительные потери мощности и энергии.

7) Присоединение к электрической сети АСЭ на базе синхронной малой генерации через электромеханическую вставку.

Использование несинхронной связи на базе асинхронизированного электромеханического преобразователя частоты. Достоинства: обеспеченная надежность электроснабжения и работы электростанции, возможность выдачи избытков мощности и энергии в сеть. Недостатки: высокие затраты на преобразовательную вставку, дополнительные потери мощности и энергии.

8) Присоединение к электрической сети АСЭ на базе синхронной малой генерации с использованием обычной противоаварийной автоматики.

Использование традиционного комплекса автоматики для обеспечения безопасной и надежной работы энергоузла с электростанцией в составе энергосистемы. Достоинства: обеспеченная надежность электроснабжения потребителей и работы электростанции, возможность выдачи избытков мощности и энергии в сеть, повышение качества электрической энергии в районе присоединения станции к сети за счет автоматического регулирования возбуждения (АРВ) генератора. Недостатки: рост отключаемых токов короткого замыкания в сети АСЭ и внешней сети, возможность нарушения синхронности параллельной работы, возможность возникновения недопустимых ударных моментов на валах синхронных генераторов с повреждением энергоблоков, взаимное влияние АСЭ и внешней сети на работу релейных защит и необходимость их согласования, дополнительные затраты на реконструкцию суще-

ствующей автоматики и дооснащение дополнительной, необходимость интеграции системы управления АСЭ в систему объединенного диспетчерского управления внешней сети, дополнительные затраты на оснащение автоматикой управления режимом параллельной работы.

9) Присоединение к электрической сети АСЭ на базе синхронной малой генерации с использованием автоматики опережающего сбалансированного деления сети и автооператора.

Использование автоматики опережающего сбалансированного деления сети при нарушениях нормального режима и автооператора для автоматического восстановления нормального режима и осуществления режимного управления. Основные достоинства технического решения: обеспеченная надежность электроснабжения потребителей и работы электростанции, возможность выдачи избытков мощности и энергии в сеть, повышение качества электрической энергии в районе присоединения станции к сети за счет АРВ генератора. Недостатки незначительные и заключаются только в дополнительных затратах на оснащение предлагаемой специальной автоматикой.

10) Объединение АСЭ на базе синхронной малой генерации в малые изолированно работающие энергосистемы.

Создание изолированно работающих энергосистем на базе АСЭ. Достоинства: обеспеченная надежность электроснабжения потребителей и работы электростанции, возможность обмена избытками мощности и энергии в сети, повышение качества электроэнергии за счет системного регулирования и выравнивания суммарного графика нагрузки. Недостатки: дополнительные затраты на создание системообразующей сети, оснащение системной автоматикой.

Из рассмотренных вариантов следует выделить *новый способ управления режимом параллельной работы СМГ в сети, использующий опережающее сбалансированное ее отделение от внешней сети при нарушении условий нормальной параллельной работы*, далее он и будет рассмотрен в реализации для автоматики.

3. АВТОМАТИКА УПРАВЛЕНИЯ «МИНИГРИД» С «БЕСПИЛОТНОЙ» ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ МАЛОЙ ГЕНЕРАЦИИ

Предлагается новое техническое решение и способ управления [10]:

- для снижения отключаемых токов короткого замыкания;
- предотвращения нарушений устойчивости параллельной работы с возникновением асинхронных режимов и для возникновения недопустимых динамических моментов на валах синхронных генераторов и асинхронных режимов;
- снижения мощности отключаемых нагрузок;
- исключения необходимости согласования защит внешней сети с защитами и автоматикой присоединяемой сети малой генерации [11].

Разработанная на кафедре автоматизированных электроэнергетических систем НГТУ автоматика является режимно-противоаварийной, а также автоматическим оператором изменений структуры системы, включая разделение автономной системы электроснабжения на части, их объединение между собой и с сетью внешней энергосистемы [12, 13]. Таким образом, является автоматикой полного цикла управления автономной системой энергоснабжения в нормальных и аварийных условиях работы.

Безопасная работа объединяемых на параллельную работу синхронных генераторов автономной системы энергоснабжения и внешней электрической сети обеспечивается за счет опережающего сбалансированного отделения всей автономной системы энергоснабжения или ее части от внешней сети при возникновении нарушений нормального режима системы. При восстановлении условий для нормальной работы производится автоматическое восстановление нормального режима [14, 15].

Автоматика управления режимом параллельной работы автономной системы энергоснабжения с внешней электрической сетью подразделяется на технологическую (ТА) и противоаварийную (ПА). К последней относится и автоматическое опережающее сбалансированное деление (АОСД). Автоматика выполнена резервированной. Кроме того, резервная автоматика выполняет основную функцию резервирования, функцию резервирования отказа выключателя устройства, осуществляющего деление по второму штатному сечению.

Основными функциями ПА являются блокировка возникновения недопустимых коммутационных состояний сети, сбалансированное деление сети малой электрической станции и региональной электрической системы при внутренних и внешних коротких замыканиях. Для блокировки используются данные о топологии сети имеющейся автоматизированной системы управления технологическими процессами, а для деления – системой измерения напряжения прямой и обратной последовательностей на шинах распределительного пункта тепловой электрической станции. При снижении напряжения прямой последовательности ниже уставки или возникновении напряжения обратной последовательности выше уставки выдается сигнал на деление сети.

Деление сети происходит не более чем за 0,1 секунды, что позволяет исключить недопустимое влияние аварийного режима при параллельной работе на оборудование и необходимость его модернизации/замены. Срабатывание АОСД определяется уставками по напряжению прямой и обратной последовательностей напряжения (измерение в каждом полупериоде промышленной частоты с периодичностью 10 мс) в некотором контрольном узле сети (на шинах распределительного пункта с выключателями, используемыми для деления) исходя из основных условий:

- 1) уставка по напряжению прямой последовательности должна быть ниже (отстраивается от) максимальных снижений напряжения прямой последовательности при нормальном оперировании сетью (режимных изменений напряжения, изменении напряжения при коммутациях нагрузки и энергоблоков в сети 10 кВ подстанции примыкания);

- 2) уставка по напряжению прямой последовательности должна быть выше остаточного напряжения при отключении питающей силовой подстанции примыкания линий 110 кВ при ложном срабатывании их защит или отключении резервными защитами;

- 3) уставка по напряжению прямой последовательности должна быть выше допустимого снижения напряжения прямой последовательности (по условию вероятного возникновения недопустимых динамических моментов на валах синхронных генераторов энергоблока – около 0,65 номинального значения), а уставка по напряжению обратной последовательности ниже уставки срабатывания защиты от напряжения обратной последовательности генераторов энергоблока при одно-, двух- и трехфазных коротких замыкани-

ях в сети 110 кВ; двух- и трехфазных коротких замыканиях в сети 10 кВ продолжительностью более 0,1 секунды.

Одной из основных технологических функций автоматики является также способность к синхронизации генераторов между собой и с внешней электрической сетью энергосистемы.

Схема экспериментальной установки, моделирующей работу локальной системы электроснабжения на базе малой генерации присоединенной на параллельную работу к силовой подстанции 110/10 кВ распределительной сети электроэнергетической системы Новосибирской области (ПС ЭЭС), с учетом топологического расположения элементов на наборном поле электродинамической модели (ЭДМ) электроэнергетических систем Центра коллективного пользования «Центр испытаний устройств контроля и управления режимами электроэнергетических систем» НГТУ представлена на рис. 1.

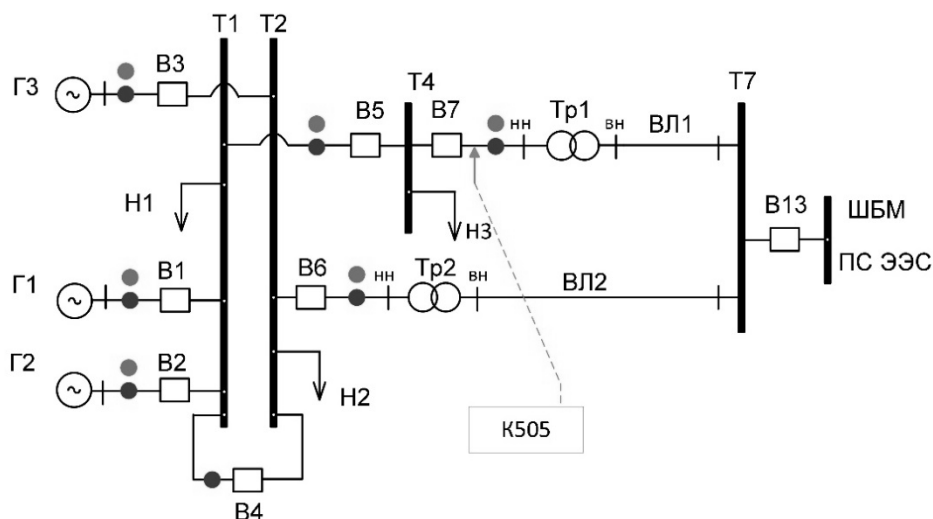


Рис. 1. Схема экспериментальной установки, моделирующей работу СМГ с электрической сетью, с учетом топологического расположения элементов на наборном поле ЭДМ

Fig. 1. A diagram of the experimental setup that simulates the operation of the SMG with the electrical network taking into account the topological arrangement of elements on the EDM dial pad

На рис. 1 Г1–Г3 – генераторы; Н1, Н2; В1–В7, В13; Т1, Т2, Т4, Т7; Тр1, Тр2 – трансформаторы; нн, вн – низкое и высокое напряжение; ВЛ1, ВЛ2 – воздушная линия; ШБМ – шины бесконечной мощности; К505 – измерительный комплект тока напряжения и мощности.

Внешний вид стойки автоматики АОСД показан на рис. 2. На рис. 3 представлена осциллограмма процесса синхронизации генераторов Г1 с Г2 при активном поведении Г1 и пассивной роли Г2. Осциллографирование процессов осуществляли системой регистрации – внутренним осциллографом автоматизированного рабочего места стойки АОСД.

На рис. 3 $f_{Г1}, f_{Г2}$ – частота генераторов Г1, Г2; $U_{Г1}, U_{Г2}$ – напряжение генераторов Г1, Г2; $P_{Г1}, Q_{Г1}$ – активная и реактивная мощность генератора Г1; $\delta_{Г1/Г2}$ – взаимный угол ротора генератора Г1 относительно ротора генератора Г2.

Рис. 2. Опытный образец автоматики управления режимами электростанции малой генерации

Fig. 2. A prototype of automatic control of low-generation power station modes



Из рис. 3 следует: до синхронизации генераторы находились в режиме холостого хода, после автоматической работы и выдачи управляющих воздействий, синхронизации Г1 и Г2 происходит их совместная параллельная и синхронная работа на общую нагрузку.

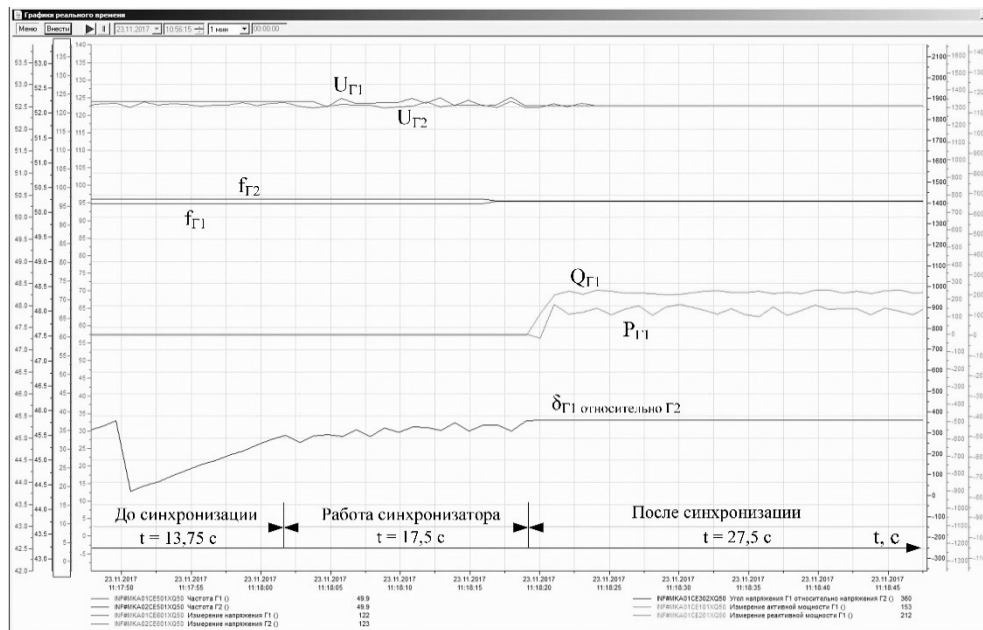


Рис. 3. Осциллограмма процесса при синхронизации Г1 и Г2 между собой при включенных регуляторах АРВ (возбуждения) и АРС (скорости) на Г1 и Г2 (измерение параметров на генераторе Г1) с записью процесса регистратором стойки автоматики

Fig. 3. An oscillogram of the process during synchronization of G1 and G2 with each other with enabled regulators AEC (excitation) and ASC (speed) on G1 and G2 (measurement of parameters on the generator G1) with recording of the process by the recorder of the automation stand

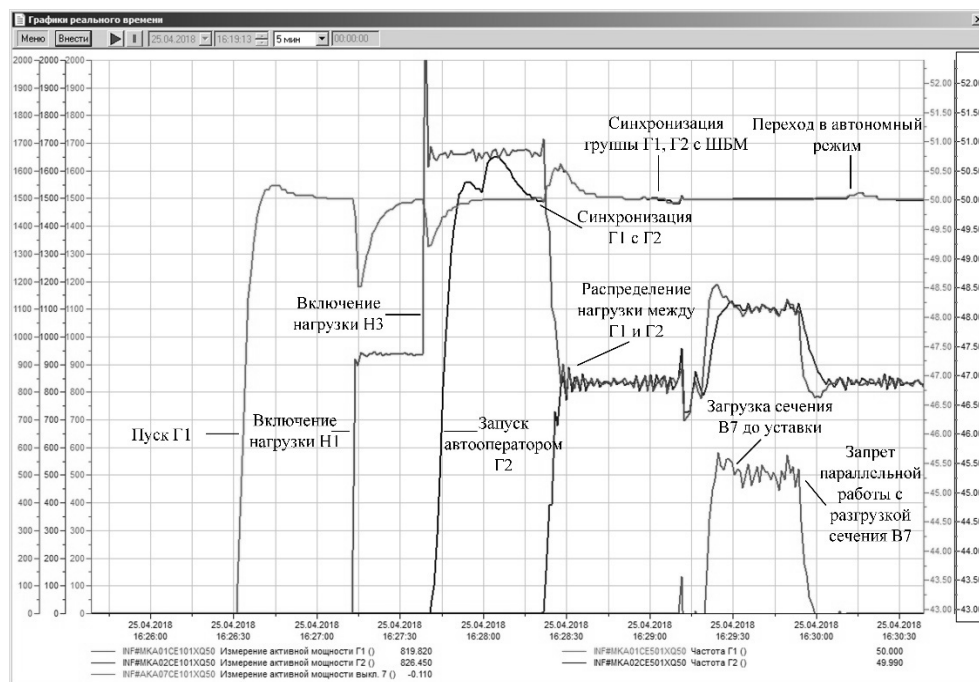


Рис. 4. Переходный процесс при запуске генератора Г1, набросе нагрузки, вводе Г2 для разгрузки Г1, синхронизации Г1 и Г2 с шинами бесконечной мощности (переход к режиму параллельной работы), запрете параллельной работы с разгрузкой сечения по выключателю В7 и отделением Г1 и Г2 от шин бесконечной мощности (переход в автономный режим) под управлением автоматики с автооператором

Fig. 4. Transition when starting the generator G1, loading-on, entering G2 for unloading G1, synchronizing G1, G2 with tires of infinite power (switching to a parallel operation mode), prohibiting parallel operation with unloading section through switch B7 and separation G1, G2 from busbars of infinite power (switching to an autonomous mode) under automation control with an auto-operator

На рис. 4 представлена характерная осциллограмма процессов при возмущениях режима локальной системы энергоснабжения, работающей параллельно с внешней электрической сетью энергосистемы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрен инновационный способ, предназначенный для реализации прямого включения объектов с малой (синхронной) генерацией в электрические сети посредством синхронных связей с применением специальной автоматики (виртуального роутера). Способ обеспечивает ограничение токов короткого замыкания, токов замыкания на землю, предотвращение нарушений устойчивости параллельной работы с возникновением асинхронных режимов, исключение ударных моментов на валах синхронных машин, исключение необходимости согласования защит внешней сети с защитами и автоматикой присоединяемой сети с электростанцией.

2. Автоматика, разработанная в НГТУ, является режимно-противоаварийной, а также автоматическим оператором изменений структуры системы,

включая разделение автономной системы электроснабжения на части, их объединение между собой и с сетью внешней энергосистемы. Безопасная работа обеспечивается за счет опережающего сбалансированного отделения всей автономной системы электроснабжения или ее части от внешней сети при возникновении нарушений нормального режима системы. При восстановлении условий для нормальной работы производится автоматическое восстановление нормального режима ее работы.

3. Из анализа переходных процессов можно сделать вывод о работоспособности автоматики, а именно запуске энергоблоков, наборе нагрузки, автоматической синхронизации генераторов между собой и с сетью, поддержании необходимого перетока при выдаче мощности в сеть энергосистемы, а при автономной работе – о поддержании частоты в отделившейся части локальной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухгольц Б.М., Стычински З.А. Smart Grids – основы и технологии энергосистем будущего: пер. с англ. / под общ. ред. Н.И. Воропая ; науч. ред. пер. Ю.В. Шаров, П.Ю. Коваленко, К.А. Осинцев. – М.: Изд. дом МЭИ, 2017. – 461 с.
2. Фишов А.Г., Ландман А.К., Сердюков О.В. SMART технологии для подключения к электрическим сетям и управления режимами малой генерации // Электроэнергетика глазами молодежи: материалы VIII Международной научно-технической конференции, Самара, 2–6 октября 2017 г. – Самара, 2017. – Т. 1. – С. 27–34.
3. Распределенная энергетика в России: потенциал развития / А. Хохлов, Ю. Мельников, Ф. Веселов, Д. Холкин, К. Дацко. – М.: Энергетический центр Московской школы управления Сколково, 2018.
4. Mukatov B.B., Fishov A.G. Disintegration of power grid as part of the task of increasing functionality of electric system // E3S Web of Conferences. – 2017. – Vol. 25: Methodological problems in reliability study of large energy systems (RSES 2017), Kyrgyzstan, Bishkek. – P. 03009. – DOI: 10.1051/e3sconf/20172503009.
5. Мукатов Б.Б., Фишов А.Г. Дезинтеграция электрической сети в задаче повышения функциональности энергосистемы // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Иркутск, 2017. – Вып. 68: Исследование и обеспечение надежности систем энергетики. – С. 505–514.
6. Анализ общих технических требований к распределенным источникам энергии при их интеграции в энергосистему / Ю.Н. Кучеров, П.К. Березовский, Ф.В. Веселов, П.В. Илюшин // Электрические станции. – 2016. – № 3 (1016). – С. 2–10.
7. Ilyushin P.V., Sukhanov O.A. The structure of emergency-management systems of distribution networks in large cities // Russian Electrical Engineering. – 2014. – Vol. 85, N 3. – P. 133–137.
8. Fishov A., Marchenko A. The impact of distributed generation on power quality of the electric network // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 792: Energy Systems, Materials and Designing in Mechanical Engineering. – P. 248–254. – DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.792.248.
9. Fishov A.G., Marchenko A.I. Synchronized mode operation of distributed generation in power grid // The 12th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2017): proceedings, Korea, Ulsan, 31 May – 2 June 2017. – Ulsan, 2017. – Vol. 1. – P. 276–280.
10. Патент 2662728 Российская Федерация. Способ противоаварийного управления режимом параллельной работы синхронных генераторов в электрических сетях / А.И. Марченко, Б.Б. Мукатов, А.Г. Фишов. – № 2016147843; заявл. 06.12.2016; опубл. 30.07.2018, Бюл. № 22.
11. СТО 59012820.29.240.001–2011. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. – М.: ОАО «СО ЕЭС», 2011.
12. Фишов А.Г., Марченко А.И. Автоматика опережающего деления в схемах присоединения малой генерации к электрической сети // Оперативное управление в электроэнергетике. Подготовка персонала и поддержание его квалификации. – 2017. – № 5. – С. 8–18.

13. Системная автоматика для интеграции локальных систем электроснабжения с синхронной малой генерацией в электрические сети / Е.Н. Гежа, В.Е. Глазырин, Г.В. Глазырин, Е.С. Ивкин, А.И. Марченко, Р.Ю. Семендяев, О.В. Сердюков, А.Г. Фишов // Релейщик. – 2018. – № 2. – С. 24–31.

14. Automation of unmanned low capacity power plant with synchronized generation / A.G. Fishov, A.I. Marchenko, I.S. Murashkina, E. Erdenebat, Y.S. Ivkin // Актуальные проблемы электронного приборостроения: труды XIV Международной научно-технической конференции АПЭП-2018, Новосибирск, 2–6 октября 2018 г.: в 8 т. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2018. – Т. 1, ч. 5. – С. 108–114. – DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545916.

15. Fishov A.G., Semendyaev R.Y., Ifkin E. Reconfiguration of the electric grid, regulators and modes control of the "unmanned power station" of low power at parallel operation with an external grid // The 13th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2018): proceedings, Harbin, China, 30 May – 1 June, 2018. – Harbin, 2018. – P. 898–901.

Марченко Андрей Иванович, аспирант кафедры автоматизированных электроэнергетических систем факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – исследования и разработка автоматики систем электроснабжения с малой распределенной генерацией, работающей параллельно с электрической сетью. Имеет более 25 публикаций. E-mail: andrey1991@ngs.ru

Денисов Виктор Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных электроэнергетических систем факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – автоматизация управления режимами энергообъектов и энергосистеме. Имеет более 120 публикаций. E-mail: wden@ngs.ru

Мурашкина Инна Сергеевна, аспирант кафедры автоматизированных электроэнергетических систем факультета энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – исследование условий и режимов работы электронных генераторов в электрической сети. Имеет семь публикаций. E-mail: murashkinainna@yandex.ru

Marchenko Andrei Ivanovich, a postgraduate student at the department of automated electric power systems at the power engineering faculty in the Novosibirsk State Technical University. The main field of his research is study and design of automated power supply systems of small distributed generation operating parallel with the electric grid. He has published 25 research papers. E-mail: andrey1991@ngs.ru

Denisov Victor Vladimirovich, PhD (Eng.), an associate professor at the department of automated electric power systems at the power engineering faculty in the Novosibirsk State Technical University. The main field of his research is automation of power unit control modes in the power grid. He is the author of over 120 publications. E-mail: wden@ngs.ru

Murashkina Inna Sergeevna, postgraduate student at the department of automated electric power systems at the power engineering faculty in the Novosibirsk State Technical University. The main field of her research is study of conditions and modes of electronic generators in the electrical grid. She is the author of 7 publications. E-mail: murashkinainna@yandex.ru

Control modes of synchronized operation of a low capacity power plant with an electric network*A.I. MARCHENKO^a, V.V. DENISOV^b, I.S. MURASHKINA^c

Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation

^aandrey1991@ngs.ru ^bwden@ngs.ru ^cmurashkinainna@yandex.ru**Abstract**

The relevance of the topic is caused by an increasing number of facilities with low capacity distributed generation and by the tendency to synchronized operation with an electrical power distribution system of mainly a low voltage class.

This paper reviews the development of advanced engineering solutions to control parallel low capacity generator unit operation with an electrical network.

The authors present the outcomes of both theoretical (analysis of means and methods of control) and experimental tests of opportunities and effectiveness of connection of low-capacity generator units to a synchronized electrical system.

Development of controlled intelligent connection which makes it possible to synchronously connect stand-alone power supply systems to the united power grid and cut them off in the case of malfunctions is one of the most promising development trends of the prospective power sector. A solution to this engineering task is essential and is provided for within the Russian National technological initiative of the Energynet road map. One of such solutions is a proposed automated control of a local power supply system parallel operation with an exterior electrical network.

The authors together with department of electrical power systems of the Novosibirsk State Technical University have developed and tested innovation automated control of synchronized low capacity power plant operation with an exterior electrical power system using a physical simulator implemented based on the proposed and patented method of leading balanced timing of generators. Its application in electrical networks was studied.

The scientific novelty is in the study of efficiency of means and methods of synchronized control of low capacity generation in electrical networks.

Keywords: low capacity synchronized generation, stand-alone operation, parallel mode with the network, control, automation, tests

REFERENCES

1. Buchholz B.M., Styczynski Z. *Smart grids: fundamentals and technologies in electricity networks*. Heidelberg, New York, Springer, 2014 (Russ. ed.: Bukhgo'l'ts B.M., Stychinski Z.A. *Smart Grids – osnovy i tekhnologii energosistem budushchego*. Moscow, Moscow Power Engineering Institute Publ., 2017. 461 p.).
2. Fishov A.G., Landman A.K., Serdyukov O.V. [SMART technology for connection to electric networks and control regimes of small generation]. *Elektroenergetika glazami molodezhi: materialy VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Proceedings to VIII International Scientific and Technical Conference "Power energy through the eyes of youth"], Samara, 2–6 October, 2017, vol. 1, pp. 27–34. (In Russian).
3. Khokhlov A., Mel'nikov Yu., Veselov F., Kholkin D., Datsko K. *Raspredelelnaya energetika v Rossii: potentsial razvitiya* [Distribution energy in Russia: development potential]. Moscow, Skolkovo Energy Center Publ., 2018.
4. Mukatov B.B., Fishov A.G. Disintegration of power grid as part of the task of increasing functionality of electric system. *E3S Web of Conferences*, 2017, vol. 25, p. 03009. DOI: 10.1051/e3sconf/20172503009.
5. Mukatov B.B., Fishov A.G. Mukatov B.B., Fishov A.G. Dezintegratsiya elektricheskoi seti v zadache povysheniya funktsional'nosti energosistemy [Disintegration of power grid as part of the task of increasing functionality of electric system]. *Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti*

* Received 22 September 2018.

bol'shikh sistem energetiki [Methodical issues study of the reliability of large energy systems]. Irkutsk, 2017, iss. 68, pp. 505–514.

6. Kucherov Yu.N., Berezovskii P.K., Veselov F.V., Ilyushin P.V. Analiz obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy k raspredelennym istochnikam energii pri ikh integratsii v energosistemu [Analysis of technical regulations for distributed generation, integrated into power system]. *Elektricheskie stantsii – Power Plants*, 2016, no. 3 (1016), pp. 2–10.

7. Ilyushin P.V., Sukhanov O.A. The structure of emergency-management systems of distribution networks in large cities. *Russian Electrical Engineering*, 2014, vol. 85, no. 3, pp. 133–137.

8. Fishov A., Marchenko A. The impact of distributed generation on power quality of the electric network. *Applied Mechanics and Materials*, 2015, vol. 792, pp. 248–254. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.792.248.

9. Fishov A.G., Marchenko A.I. Synchronized mode operation of distributed generation in power grid. *12th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2017): proceedings*, Korea, Ulsan, 31 May – 2 June 2017, vol. 1, pp. 276–280.

10. Marchenko A.I., Mukatov B.B., Fishov A.G. *Sposob protivovariinogo upravleniya rezhimom parallel'noi raboty sinkhronnykh generatorov v elektricheskikh setyakh* [Method to emergency control the mode in parallel operation of pooled generators in electrical networks]. Patent RF, no. 2662728, 2016.

11. *STO 59012820.29.240.001–2011. Avtomaticheskoe protivovariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Protivovariinaya avtomatika energosistem. Usloviya organizatsii protsesssa. Usloviya sozdaniya ob"ekta. Normy i trebovaniya* [Standard organization 59012820.29.240.001–2011. Automatic emergency control the modes of power systems. Emergency power system automation. Terms of process organization. Conditions for creating an object. Standards and requirements.]. Moscow, "SO UPS", JSC Publ., 2011.

12. Fishov A.G., Marchenko A.I. Avtomatika operezhayushchego deleniya v skhemakh prisoedineniya maloi generatsii k elektricheskoi seti [Automation outpacing fission in unit wiring diagram small generation of electrical networks]. *Operativnoe upravlenie v elektroenergetike. Podgotovka personala i podderzhanie ego kvalifikatsii – Operational management in the power industry. Training and maintaining staff qualifications*, 2017, no. 5, pp. 8–18.

13. Gezha E.N., Glazyrin V.E., Glazyrin G.V., Ivkin E.S., Marchenko A.I., Semendyaev R.Yu., Serdyukov O.V., Fishov A.G. Sistemnaya avtomatika dlya integratsii lokal'nykh sistem elektroobrazovaniya s sinkhronnoi maloi generatsiei v elektricheskii seti [System automation for the integration of local power supply systems with synchronous low generation in electrical networks]. *Relayman*, 2018, no. 2, pp. 24–31.

14. Fishov A.G., Marchenko A.I., Murashkina I.S., Erdenebat E., Ivkin Y.S. Automation of unmanned low capacity power plant with synchronized generation. *2018 14th International conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings*, 2018, vol. 1, pt. 5, pp. 108–114. DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545916.

15. Fishov A.G., Semendyaev R.Y., Ivkin E. Reconfiguration of the electric grid, regulators and modes control of the "unmanned power station" of low power at parallel operation with an external grid. *The 13th International Forum on Strategic Technology (IFOST 2018): proceedings*, Harbin, China, 30 May – 1 June, 2018, pp. 898–901.

Для цитирования:

Марченко А.И., Денисов В.В., Мурашкина И.С. Средства и способы управления параллельной работой электрической станции малой генерации с электрической сетью // Научный вестник НГТУ. – 2019. – № 1 (74). – С. 77–90. – DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-77-90.

For citation:

Marchenko A.I., Denisov V.V., Murashkina I.S. Sredstva i sposoby upravleniya parallel'noi rabotoi elektricheskoi stantsii maloi generatsii s elektricheskoi set'yu [Means and methods of control of low capacity power plant with]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2019, no. 1 (74), pp. 77–90. DOI: 10.17212/1814-1196-2019-1-77-90.