



ЭКСПЛУАТАЦИЯ, МОНТАЖ И НАЛАДКА

Система управления режимами совместной работы газопоршневой электроустановки и промышленной сети*

Директор Л. Б., доктор техн. наук, Марков А. В., Суслов В. А., инженеры

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва

Приведены результаты стендовых испытаний системы управления, обеспечивающей согласованные режимы работы газопоршневой энергетической установки с промышленной сетью (параллельная работа, резервирование, аварийные режимы).

Ключевые слова: малая распределенная энергетика, газопоршневая энергоустановка, система интеллектуального управления.

В последние годы в России существенное внимание уделяется малой распределенной энергетике, что объясняется как экономическими, так и технологическими причинами. Большая часть страны не охвачена централизованными сетями. Учитывая относительно невысокие требуемые мощности для объектов малой энергетике, строительство протяженных ЛЭП для них экономически нецелесообразно в связи со значительными капитальными затратами и потерями в сетях [1]. Кроме того, даже в крупных городах и мегаполисах существующие сети и подстанции не в состоянии удовлетворить растущий спрос на электроэнергию.

Электрогенерирующие установки малой энергетике можно разделить на три основные группы: традиционные, использующие углеводородное топливо, установки на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ) и топливные элементы. Нисколько не умаляя достоинств установок на ВИЭ и топливных элементов, отметим, что сегодня наиболее востребованы российским потребителем в диапазоне мощности от нескольких десятков до сотен киловатт традиционные дизель-генераторные установки и газопоршневые электростанции. Рынок таких установок динамично развивается, причем наряду с продукцией известных зарубежных компаний заметную долю занимают и отечественные установки [2].

Очевидно, что наиболее эффективна эксплуатация подобных установок в составе небольших локальных сетей, которые в пер-

спективе могут быть интегрированы в единую энергосистему. При этом значительно снижаются капитальные затраты и эксплуатационные расходы, повышаются надежность и безопасность энергоснабжения. Эти установки могут работать по когенерационному циклу и, учитывая небольшую протяженность тепловых сетей, обеспечивать потребителя теплотой при максимальной степени использования топлива.

Эффективная реализация таких схем возможна только с помощью современной интеллектуальной системы управления и диспетчеризации, определяющей оптимальные режимы работы электрогенерирующих установок и локальной сети при переменных графиках энергетических нагрузок потребителей [3].

Принятая в большой энергетике концепция интеллектуальных активно-адаптивных сетей актуальна и для распределенной энергетике. В Меморандуме о создании и деятельности технологической платформы «Малая распределенная энергетика» развитие интеллектуальных сетей и систем управления (micro grid) определено как одно из основных направлений исследований и разработок [4]. Их назначение — обеспечение согласованной работы источников электроэнергии и сети. При параллельной работе станции с промышленной сетью система управления должна обеспечивать автоматическую синхронизацию с сетью и прием нагрузки, автоматическое управление генераторным и сетевым выключателями, разделение активной и реактивной нагрузок, автоматическое поддержа-

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-08-00781а.

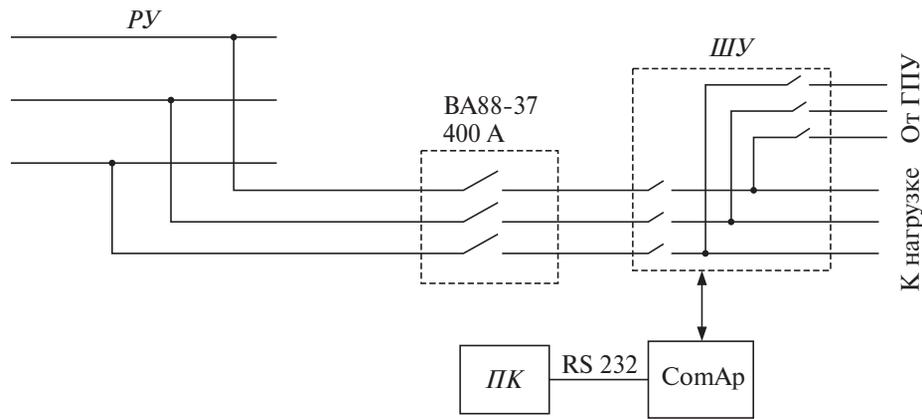


Рис. 1. Схема электрических соединений силовой части стенда

ние частоты и напряжения электрогенератора, предупредительную защиту установки и сети с последующим отключением нагрузки и электрогенератора при аварийной ситуации. Система управления должна автоматически поддерживать установленный предел импорта (экспорта) электроэнергии из сети, осуществлять перевод нагрузки с сети на генератор и обратно без обесточивания потребителя.

В данной статье представлены результаты стендовых испытаний системы управления режимами эксплуатации отечественной газопоршневой электростанции, работающей в параллель с промышленной электрической сетью. Испытания проводили на комплексном стенде ОИВТ РАН [5]. В состав оборудования стенда входят: газопоршневая установка (ГПУ) АГ-200 номинальной мощностью 200 кВт на базе двигателя ЯМЗ-240 ПМ2Г Ярославского моторного завода, система подвода природного газа, системы измерений, диагностики, управления. Для моделирования нагрузок потребителя энергии стенд оснащен имитатором активной нагрузки, представляющим собой набор калориферов СФО-99 (3 комплекта), каждый из которых имеет три независимые нагревательные секции по 33 кВт, и распределительным щитом для управления активной нагрузкой с минимальным шагом 10 кВт.

Схема шкафа управления ШУ параллельной работой реализована на базе контроллера ComAp IG-NT (Чехия), обеспечивающего включение агрегата в режим параллельной работы с аналогичным агрегатом или с сетью через соответствующие контакторы, что позволяет использовать сеть в качестве опорной, а также перераспределять нагрузку между сетью и генератором ГПУ. Контроллер по последовательному интерфейсу RS-232 соединен с персональным компьютером ПК. Для

отладки работы системы управления предусмотрена возможность подключения к шинам распределительного устройства РУ стендового корпуса контакторов шкафа управления (рис. 1). Подключение реализовано через автоматический выключатель ВА88-37, рассчитанный на предельный ток 400 А, и допускает импорт (экспорт) мощности из сети до 200 кВт.

Управляющий контроллер постоянно осуществляет мониторинг электрических параметров сетевого ввода и текущей нагрузки. Если текущее значение нагрузки превышает максимально допустимую мощность генератора ГПУ, контроллер дает команду на импорт электроэнергии из промышленной сети и начинает процесс автоматической синхронизации генераторной установки с сетью. По завершении синхронизации сеть плавно нагружается до разрешенного уровня мощности.

Для настройки параметров конфигурации контроллера и управления энергокомплексом применяли управляющую программу IntelliMonitor v. 2.6 компании "ComAp Ltd." [6] (рис. 2). Эта программа работает в ОС Windows 2000/XP/Vista/Win7 и обеспечивает следующие основные функции: интернет-мониторинг контроллера, просмотр всех измеренных и вычисленных значений, просмотр и архивацию записей истории событий, регулировку уставок контроллера, установку и изменение параметров конфигурации контроллера.

Ниже приведены результаты испытаний системы управления:

1. *Испытания системы управления на динамический прием и распределение нагрузки.* Установлен приоритет выдачи мощности от генератора ГПУ.

Результаты испытаний представлены в таблице, где приняты следующие обозначения: $N_{ГПУ}^{max}$ — ограничение по максимальной

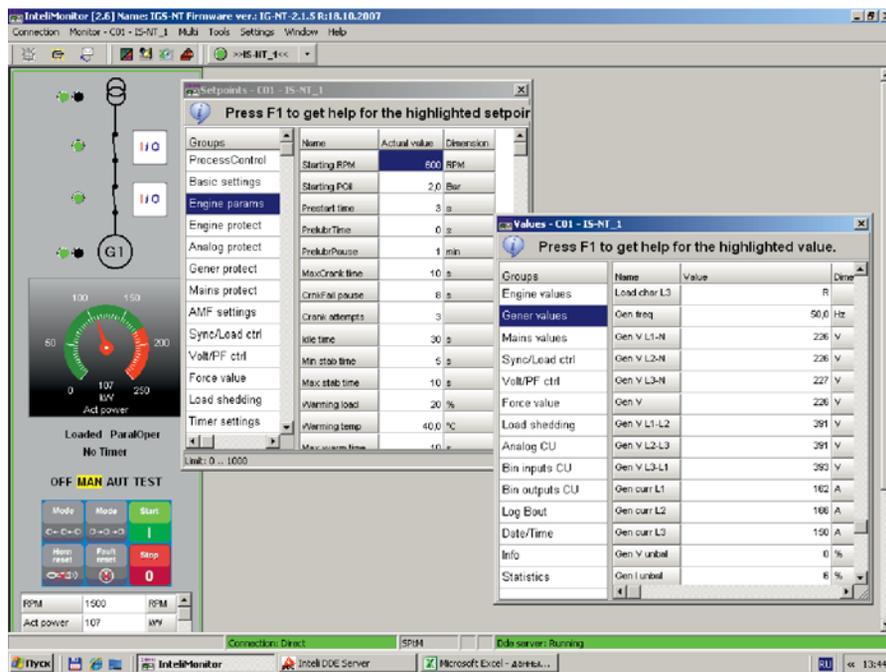


Рис. 2. Внешний вид информационного окна управляющей программы IntelMonitor v. 2.6 в режиме параллельной работы (замкнуты оба контактора)

$N_{ГПУ}^{max}$ (уставка), кВт	$N_{сеть}^{max}$ (уставка), кВт	$N_{нагр}$, кВт	$N_{ГПУ}$, кВт	$N_{сеть}$, кВт	Отклонение частоты в переходном процессе, Гц	Примечание
40	200	10	40	- 30	± 0,01	Экспорт в сеть
50		33	50	- 17		Экспорт в сеть
50		66	50	16		Импорт из сети
70		99	70	29		Импорт из сети
100		99	100	- 1		Экспорт в сеть
130		99	130	- 31		Экспорт в сеть
100		50	100	- 50		Экспорт в сеть

мощности ГПУ; $N_{сеть}^{max}$ — ограничение по максимальной мощности сети; $N_{нагр}$ — мощность нагрузки; $N_{ГПУ}$ — мощность генератора ГПУ; $N_{сеть}$ — мощность, отданная в сеть (отбираемая от сети).

Во всех режимах работы в параллель с сетью при набросе и сбросе нагрузки частота тока была стабильна. При набросе нагрузки в пределах уставки генератора ГПУ переходный процесс сглаживается за счет демпфирования внешней сетью.

2. Испытания системы управления в режимах выдачи электроэнергии потребителю с имитацией аварий (отключения) в промышленной сети и аварийной остановки генератора ГПУ.

Установлен приоритет выдачи мощности от генератора ГПУ.

Основные ограничения в процессе испытаний:

ограничение мощности генератора ГПУ — 100 кВт;

ограничение предельной мощности, потребляемой от сети, — в зависимости от режима;

экспорт в сеть запрещен.

Аварийные режимы моделировали отключением входного автомата сети (авария в сети) и прекращением подачи природного газа к двигателю ГПУ (авария ГПУ).

Результаты испытаний представлены в графическом виде на рис. 3. При набросе

нагрузки 100 кВт (режим 2) частота тока генератора ГПУ стабильна. Если нагрузка не превышает предельную мощность (ограничение мощности) генератора ГПУ и импорт из сети запрещен, нагрузку обеспечивает генератор ГПУ. При увеличении нагрузки до 140 кВт при тех же параметрах конфигурации контроллера превышение нагрузки над уставкой компенсирует сеть (режим 3). Ступенчатое изменение предельного уровня импорта с шагом 20 кВт (режимы 4, 5) не нарушает работу всей системы.

Принудительное отключение сети (имитация аварии в сети — режим 6) эквивалентно набросу нагрузки на генератор ГПУ 40 кВт. При этом всю нагрузку обеспечивает генератор ГПУ, частота тока не выходит за пределы уставок и стабилизируется через 2–3 с. Восстановление сети (импорт из сети запрещен — режим 7) не приводит к нарушению работы всей системы.

При имитации аварии ГПУ (прекращение подачи природного газа — режим 8) сеть обеспечивает нагрузку потребителя. При отключении сети, если нагрузка больше установленной предельной мощности генератора ГПУ, срабатывает защита от превышения допустимого тока генератора, и ГПУ останавливается аварийно. При установке приоритета выдачи мощности от сети (генератор ГПУ — резерв) ГПУ подключается, когда нагрузка превышает установленное ограничение импорта из сети или при аварии в сети.

В зависимости от графиков изменения нагрузки потребителя, значения и структуры сетевого тарифа (обычный или дифференцированный по времени суток), уровня мощности и КПД ГПУ при частичных нагрузках оптимальное распределение мощности между сетью и генератором ГПУ может изменяться. Параметры конфигурации контроллера могут изменяться без отключения ГПУ и сети, в том числе в режиме удаленного доступа, что позволяет реализовывать динамическое распределение нагрузки для достижения оптимальных режимов эксплуатации с помощью оптимизационных программ верхнего уровня [7, 8].

Выводы

1. Система управления показала свою функциональность и надежность как в режимах с переменной нагрузкой, так и при возникновении аварийных ситуаций, обеспечивая бесперебойное электроснабжение потребителя.

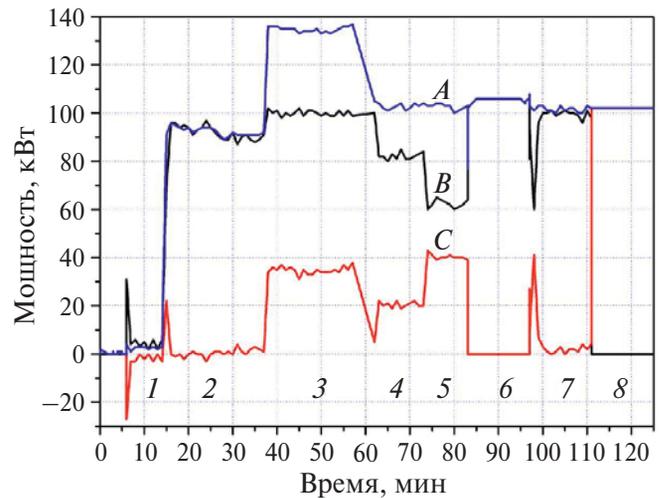


Рис. 3. Графики изменения активной мощности:

A — нагрузка потребителя; B — мощность генератора ГПУ; C — мощность сети; режимы: 1 — запуск ГПУ и прогрев в режиме холостого хода; 2 — нагрузка — 100 кВт; 3 — нагрузка — 140 кВт; 4 — нагрузка — 100 кВт, ограничение импорта из сети — 20 кВт; 5 — нагрузка — 100 кВт, ограничение импорта из сети — 40 кВт; 6 — отключение сети (авария в сети); 7 — нагрузка — 100 кВт, импорт из сети запрещен; 8 — нагрузка — 100 кВт, импорт из сети запрещен, отключение ГПУ (авария ГПУ)

2. При установленных параметрах защит система допускает переходные режимы при набросе/сбросе нагрузки до 40 % номинальной без выхода частоты тока за пределы разрешенного диапазона.

Список литературы

1. Филиппов С. П. Малая энергетика в России. — Теплоэнергетика, 2009, № 8.
2. Филиппов С. П. Перспективы применения электрогенерирующих установок малой мощности. — Атомная энергия, т. 111, вып. 5, 2011.
3. Директор Л. Б., Зайченко В. М., Майков И. Л. Интеллектуальные системы управления автономными энергетическими комплексами в составе локальных распределительных сетей малой энергетики. — Изв. РАН. Энергетика, 2012, № 1.
4. http://www.e-apbe.ru/distributed_energy/memo_TP_SDE.php.
5. Результаты стендовых испытаний газопоршневой мини-ТЭЦ на базе двигателя ЯМЗ-240 / Л. Б. Директор, В. М. Зайченко, А. В. Марков, В. А. Сулов. — Теплоэнергетика, 2008, № 11.
6. <http://www.comap.cz/products/detail/intelimonitor/>
7. Директор Л. Б., Майков И. Л. Решение задач оптимизации сложных энергетических систем: Управление большими системами / Сб. трудов. Вып. 28. — М.: ИПУ РАН, 2010.
8. Директор Л. Б., Майков И. Л. Программа оптимизации автономных энергетических комплексов. — Свидетельство о регистрации в реестре программ для ЭВМ Российской Федерации № 20100616660 от 28 октября 2010 г.