УДК 621.311.26:006.354

ОБЗОР ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

Андрианова Людмила Прокопьевна

д-р техн. наук, профессор

Гузайров Айнур Ильгизович

Голубев Дэнис Михайлович

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Аннотация: В статье приведена краткая характеристика децентрализованных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) для удаленных объектов. Представлены модификации функциональных схем индивидуальных систем производства электроэнергии с накопителем, без накопителя, совместной работы с дизель-генератором.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии; децентрализованная система электроснабжения; индивидуальная система электроснабжения; тип генератора; структура систем производства электрической энергии.

OVERVIEW OF FUNCTIONAL SCHEMES OF DECENTRALIZED POWER SUPPLY SYSTEMS WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Andrianova Lyudmila Prokopyevna

Guzairov Ainur Ilgizovich

Golubev Denis Mikhailovich

Abstract: The article provides a brief description of decentralized power supply systems with renewable energy sources (RES) for remote facilities. Modifications of the functional schemes of individual power generation systems with a storage device, without a storage device, and working together with a diesel generator are presented.

Key words: renewable energy sources; decentralized power supply system; individual power supply system; generator type; structure of electric power generation systems.

Децентрализованные системы электроснабжения (ДЦЭС) для энергоснабжения удаленных от центральной энергосистемы в соответствии с ГОСТ [1, 2] подразделяются на две категории:

- индивидуальные системы электроснабжения (ИСЭ) для единичного потребителя;
- коллективные системы электроснабжения (КСЭ) для широкого числа потребителей.

ИСЭ включает в себя две подсистемы:

- подсистему производства электроэнергии;
- подсистему потребления электроэнергии для использования произведенной электроэнергии.

КСЭ включает в себя три подсистемы:

- подсистему производства электроэнергии (микроэлектростанцию);
- подсистему распределения электроэнергии для передачи этой электроэнергии отдельным потребителям (микросеть);
- подсистему потребления электроэнергии, включая домашнюю проводку и бытовое электронное оборудование отдельных пользователей.

Параметры электроснабжения могут быть следующими:

- передача электроэнергии на постоянном токе;
- передача электроэнергии на переменном токе с инвертором, являющимся частью генерирующей подсистемы;
- передача электроэнергии обоими способами (на постоянном и переменном токе);
- с одним конечным пунктом доставки электроэнергии (с постоянным или переменным током);
- с несколькими конечными пунктами доставки электроэнергии.

В настоящей статье приведен обзор функциональных схем только для индивидуальных децентрализованных систем электроснабжения.

Структура ДЦЭС с возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ) для удаленных объектов определяется типами используемых генераторов, т. е. подсистемой производства электроэнергии [3, 4].

Выбор подсистемы производства электроэнергии зависит от категории надежности электроснабжения потребителей электроэнергии [1, 2].

Децентрализованные системы электроснабжения с ВИЭ могут быть не управляемые оперативно (**рис. 1**) и управляемые оперативно (**рис. 2**).

Рис. 1. Системы электроснабжения с ВИЭ, не управляемые оперативно: *а* – система без накопителя; *б* – система с накопителем;
ЧНУО – система не управляемая оперативно;
АС – нагрузка на переменном токе; DC – нагрузка на постоянном токе [2]

Источник, генератор, система являются не управляемыми оперативно (ЧНУО), если они зависят от наличия ресурсов, и энергия может быть недоступна в требуемый момент времени.

Рис. 2. Системы ДЦЭС управляемые оперативно: *а* – система без накопителя; *б* – система с накопителем;
СУО – система управляемая оперативно;
АС – нагрузка на переменном токе; DC – нагрузка на постоянном токе [2]

Источник, генератор, система являются управляемыми оперативно (СУО), если энергия, необходимая для поставки, имеется в наличии в любой требуемый момент времени [3, 4].

В качестве примера на **рис. 3** показаны структуры комбинированных ДЦЭС, когда в них имеется источник СНУО с ВИЭ, а также СУО с генераторной установкой.

Рис. 3. Комбинированные ДЦЭС: СНУО - ВИЭ и СУО - генератор:

а – система без накопителя; *б* – система с накопителем;

СНУО – система не управляемая оперативно;

СУО – система управляемая оперативно; АС – нагрузка на переменном токе; DC – нагрузка на постоянном токе [2]

Классификация индивидуальных ДЦЭС приведена в таблице 1.

Таблица 1

Классификация ДЦЭС в зависимости от типа генератора [2]

Тип генератора	Обозначение ИСЭ
Только на основе ВИЭ, гибридная или нет, без накопителя электроэнергии	T₁^I
Только на основе ВИЭ, гибридная или нет, с накопителем электроэнергии	T₂^I
На основе ВИЭ, гибридная или нет + дизель-генератор, без накопителя электроэнергии	T₃^I
На основе ВИЭ, гибридная или нет + дизель-генератор, с накопителем электроэнергии	T₄^I
Только дизель-генератор без накопителя ЭЭ	T₅^I
Только дизель-генератор с накопителем ЭЭ	T₆^I

Система типа Т₁I - Производство электроэнергии с помощью ВИЭ - это системы без накопителя, работающие в синхронном режиме с ВИЭ, использующими солнечную энергию, энергию ветра или волн.

В зависимости от типа источника электроэнергии (фотоэлектрический генератор или ветродвигатель) и от рода тока (постоянного или переменного) напряжения на выходе системы могут быть предусмотрены модификации системы данного типа, приведенные на **рис. 4 (таблица 2)**.

Таблица 2

Модификации системы типа Т₁I

Тип системы	Источник электроэнергии	Род тока напряжения на выходе системы
Т ₁ I-a (рис. 4, а)	Постоянный ток: фотоэлектрический модуль (PV-модуль)	Постоянный ток
Т ₁ I-b (рис. 4, б)	Переменный ток: ветродвигатель	Переменный ток
Т ₁ I-с (рис. 4, в)	Постоянный ток: фотоэлектрический модуль (PV-модуль)	Переменный ток (преобразование)
Т ₁ I-d (рис. 4, г)	Переменный ток: ветродвигатель	Постоянный ток (преобразование)

а

б

**Рис. 4. Системы типа T1 - Производство электроэнергии
с помощью ВИЭ без накопителя:
а - T1l-a; б - T1l-b; в - T1l-c; г - T1l-d**

Тип T1 системы главным образом предназначен для электропитания оборудования при различного рода процессах в случае, когда нежелательно или невозможно накопление электроэнергии, например, при перекачивании воды, вентиляции помещений и т. д.

Система типа T2 I: Производство с помощью источников на основе ВИЭ при наличии накопителя электроэнергии.

Система типа T2l (рис. 5) предназначена в первую очередь для пользователей, которые хотят получать электроэнергию в облачную или безветренную погоду. Данная система должна иметь способность запасать электроэнергию. Так как требования по резерву не установлены, то потребитель должен осознавать, что ограниченная емкость накопителя периодически будет приводить к перебоям в энергоснабжении [2].

Рис. 5. Система типа T2I - Производство с помощью источников на основе ВИЭ при наличии накопителя электроэнергии

Электрооборудование потребителя должно быть приведено к номинальному напряжению (например, на напряжение 24 В постоянного тока или 230 В переменного тока). Там, где это необходимо, система должна принимать во внимание ограничения по постоянному току: разъемы питания кабелей, заземления, устройства релейной защиты и т.д.

Электрооборудование потребителя системы типа **T2I** может работать: только на постоянном токе или только на переменном токе; на постоянном и переменном токе.

Система типа Т₃l: Производство с помощью источников на основе ВИЭ совместно с дизель-генератором без накопителя электроэнергии, представленная на рис. 6.

Рис. 6. Система типа Т₃ I -а - Производство с помощью источников на основе ВИЭ совместно с дизель-генератором GS без накопителя электроэнергии

Возможные варианты модификации схемы Т₃l указаны в таблице 3.

Таблица 3

Список возможных вариантов схемы типа Т₃l

Тип системы	Источник электроэнергии	Род тока напряжения на выходе системы
Т ₃ I-a	Постоянный ток, например: фотоэлектрический модуль (PV-модуль)	Постоянный ток
Т ₃ I-b	Переменный ток, например: ветродвигатель	Переменный ток

В системах типа **T3l -а** накопитель отсутствует, но требуется устройство минимальной емкости для накопления электроэнергии, необходимое для поддержания соответствующего уровня напряжения.

**Система типа T4l - Производство с помощью источников
на основе ВИЭ совместно с дизель-генератором GS при наличии
накопителя электроэнергии**

Система типа T4l (**рис. 7**) может поддерживать энергоснабжение в случае длительного отсутствия работы ВИЭ. Наличие резервного генератора обеспечивает потребителя электроэнергией даже в случае плохих погодных условий. Система этого типа обеспечивает производство электроэнергии как переменного, так и постоянного тока. В связи с этим необходимы две отдельные цепи распределения электроэнергии [2].

Электроснабжение напряжением переменного тока обычно осуществляют от аккумуляторной батареи через инвертор. Включение генераторной установки необходимо при:

- периодической подзарядке аккумуляторов (профилактика, компенсация саморазряда);
- обязательной подзарядке аккумуляторов при индикации низкого напряжения на выходе аккумуляторной батареи устройством управления потреблением электроэнергии;
- необходимости подведения электроэнергии к оборудованию потребителя в случае невозможности использования возобновляемых источников энергии.

Наличие генераторной установки позволяет обеспечить поставку электроэнергии в те периоды времени, когда невозможно или нежелательно ее осуществлять с использованием возобновляемых источников энергии [2].

Рис. 7. Система типа Т4 I - Производство с помощью источников на основе ВИЭ совместно с дизель-генератором GS при наличии накопителя электроэнергии

Снабжение электроэнергией потребителей может производиться:

- напряжением постоянного тока;

- напряжением переменного тока. В этом случае при отказе в системе электроснабжение напряжением переменного тока обеспечивается генераторной установкой. Генераторная установка и ВИЭ одновременно снабжать электроэнергией потребителя не могут;

- напряжением переменного и постоянного тока (двойное электроснабжение AC/DC);

- напряжением переменного и постоянного тока с одновременным использованием напряжения переменного тока для питания генераторной установки.

Заключение. Представленные функциональные схемы могут быть использованы при разработке децентрализованных индивидуальных систем электроснабжения с возобновляемыми источниками энергии для одиночных потребителей. При конкретном проектировании определяют количественные показатели энергопотребления, показатели качества электрической энергии, размеры различных частей системы: генераторов, накопителей, выключателей, устройств защиты.

Список литературы

1. ГОСТ Р 56124.1-2014 Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Часть 1. Общее введение для сельской электрификации. – М.: Стандартинформ, 2016. – 13 с.
2. Возобновляемая энергетика. Гибридные электростанции на основе возобновляемых источников энергии, предназначенные для сельской электрификации. Рекомендации. Ч. 2. Из требований по классификации систем электроснабжения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 52 с.
3. Андрианова Л.П. Системы децентрализованного электроснабжения сельских объектов на базе фотоэлектрических модулей / Л.П. Андрианова, А.Е. Усманова, В.А. Александров // Наука молодых – инновационному развитию АПК : Материалы 11 Национальной научно-практической конференции молодых ученых. 4 декабря 2018. Часть 2 . – Уфа: Башкирский ГАУ, 2018. – 368 с. – С. 3- 8.
4. Андрианова Л.П. Конфигурации солнечных фотоэлектрических генераторов децентрализованных систем электроснабжения / Л.П. Андрианова, А.Е. Усманова, В.А. Александров // Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы разработки инновационных технологий», 15 мая 2019 г. – Стерлитамак. Научно-издательский центр АЭТЕРНА. – Стерлитамак, 2019. – 62 с. – С. 3-6

© Л.П. Андрианова, А.И. Гузаиров, Д.М. Голубев, 2021