



Авторы:

**Быков К.В.,
Ерезеев А.Н.,
Иванов А.Л.,
Казаков Е.И.,
Лях А.В.,
Можайкин А.Ю.,**
ООО НПП «ЭКРА»,
г. Чебоксары, Россия.

МАКЕТ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НПП «ЭКРА»

Аннотация: в статье представлено описание макета солнечной электростанции, введенного в работу на ООО НПП «ЭКРА», и приведены некоторые результаты его эксплуатации.

Ключевые слова: солнечная электростанция, инвертор, инсоляция, точка отслеживания максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking - MPPT).



Быков
Константин Владимирович
Дата рождения: 20.07.1976 г.
В 1997 г. окончил электро-технический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра «САУЭП». В 1999 г. там же защитил магистерскую диссертацию.
Заместитель директора департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА».



Ерезеев
Александр Николаевич
Дата рождения: 13.12.1980 г.
В 2002 г. окончил электро-технический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра «САУЭП». В 2002 г. там же защитил магистерскую диссертацию.
Руководитель направления тиристорных ЗПУ и ИБП департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА».

В настоящее время во всем мире происходит активное строительство электростанций с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в первую очередь солнечной энергии и энергии ветра.

В России также есть примеры реализации проектов электростанций на ВИЭ, в основном на солнечной энергии.

Основными элементами любой солнечной электростанции (СЭС) являются:

- фотоэлектрические модули (ФЭМ), которые преобразуют энергию солнечного излучения в электрическую энергию;
- инверторы, которые преобразуют напряжение постоянного тока от ФЭМ в напряжение переменного тока;
- трансформаторы, для согласования и связи выхода инвертора с энергосистемой;
- вводно-распределительные устройства 0,4-110 кВ;
- система управления и мониторинга оборудования СЭС (АСУ СЭС), которая осуществляет управление режимом работы СЭС, диагностику состояния всех элементов СЭС, связь с диспетчерами, а также энергоучет.

С целью изучения возможности разработки, изготовления и поставки оборудования для СЭС, было принято решение об изготовлении макета СЭС мощностью 10 кВА с трехфазным выходом 0,4 кВ.

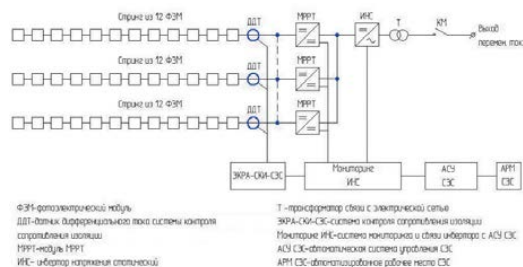


Рис. 1. Функциональная схема макета СЭС

В рамках реализации этого проекта решались следующие основные вопросы:

- изучение работы;
- исследование режимов совместной работы и инвертора;
- исследование режимов работы инвертора на электрическую сеть (передача электроэнергии в сеть);
- исследование и разработка инвертора для макета СЭС;
- исследование и разработка АСУ для макета СЭС;
- исследование и разработка системы энергоучета для СЭС.

При выборе топологии первичной схемы макета была предпринята попытка объединить в одной схеме максимальное количество элементов и свойств, характерных для различных топологий СЭС [1], чтобы изучить их характеристики:

- от централизованной схемы: один инвертор на все панели ФЭМ (на все стринги), выходной трансформатор для связи с энергосистемой;
- от секционной (стринговой) схемы: отдельная обработка напряжения с каждого стринга (модули MPPT на каждом стринге).

СЭС преобразует электроэнергию, вырабатываемую ФЭМ, в трехфазный ток частотой 50 Гц с линейным напряжением 380 В. СЭС работает параллельно с сетью 0,4 кВ. Так как в системе отсутствует аккумуляторная батарея, то вся энергия отдается сразу в сеть. Функциональная схема макета СЭС представлена на рис. 1.

ФЭМ соединены в три стринга, каждый из которых состоит из 12-ти последовательно соединенных панелей. В макете СЭС применены модули HVL 300 производства ООО «ХЕВЕЛ» (г. Новочебоксарск). Стринги из ФЭМ устанавлены на опорные металлокон-



Иванов
Антон Леонидович
 Дата рождения 22.03.1990 г.
 В 2012 г. окончил ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра «Промышленная электроника».
 Инженер 1 категории департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА».



Казakov
Евгений Игоревич
 Дата рождения 03.07.1990 г.
 В 2012 г. окончил ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра «Промышленная электроника».
 Инженер 2 категории департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА».



Лях
Анатолий Валерьевич
 Дата рождения 20.02.1990 г.
 В 2012 г. окончил ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра «Промышленная электроника».
 Инженер 1 категории департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА».

струкции в однорядном и двухрядном исполнении. Металлоконструкции размещены на крыше одного из зданий НПП «ЭКРА». Угол наклона двухрядных панелей ФЭМ равен 60°, а для однорядных панелей ФЭМ имеется возможность устанавливать угол 33, 60 и 76°. На рис. 2 показан внешний вид опорных металлоконструкций с ФЭМ.

Напряжение каждого стринга ФЭМ поступает на индивидуальный модуль MPPT, предназначенный для выполнения функции отслеживания точки максимальной мощности, выдаваемой ФЭМ, а также для поддержания напряжения на входе инвертора напряжения в рабочем диапазоне.

Модуль MPPT выполнен по схеме повышающего импульсного преобразователя без гальванической развязки. Система управления модуля выполнена с применением цифрового сигнального процессора. На входе модуля напряжение меняется в зависимости от уровня инсоляции, а на выходе поддерживается на постоянном уровне. В работе модуля используется алгоритм MPPT типа «Поиск максимума мощности методом возмущения» (Perturb and observe или P&O) [2], [3].

Выходы модулей MPPT включены параллельно на входе статического инвертора напряжения (ИНС), который преобразует напряжение постоянного тока в трехфазное напряжение переменного тока. Система управления инвертора выполнена с применением цифрового сигнального процессора. Выходное напряжение инвертора синхронизировано с напряжением сети переменного тока. На выходе инвертора включен трансформатор для гальванической развязки от сети и согласования уровня напряжения. Инвертор



Рис. 2. ФЭС макета СЭС

имеет возможность задания отдачи в сеть как активной, так и реактивной мощности.

Для контроля сопротивления изоляции кабельных линий от ФЭМ до шкафов СЭС применялась система ЭКРА-СКИ-СЭС, состоящая из терминала и датчиков дифференциального тока. Терминал измеряет и контролирует общее сопротивление изоляции системы, а датчики дифференциального тока позволяют определить линию конкретного стринга ФЭМ, у которого

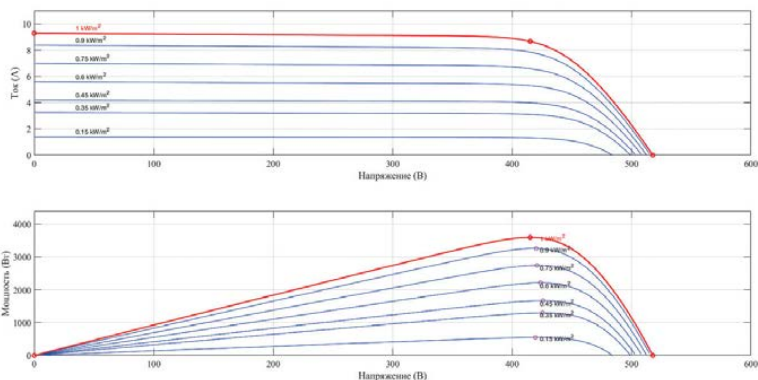


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики стринга ФЭМ в зависимости от уровня инсоляции

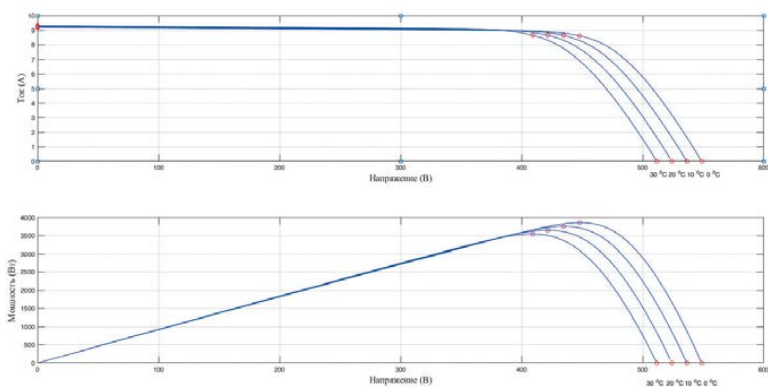
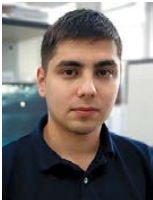


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики стринга ФЭМ в зависимости от температуры



**Можайкин
Алексей Юрьевич**

Дата рождения: 12.10.1993 г.
В 2015 г. окончил электро-технический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, кафедра «САУЭП», в 2017 г. – там же защитил магистерскую диссертацию.
Инженер 2 категории департамента НКУ и КРУ ООО НПП «ЭКРА».

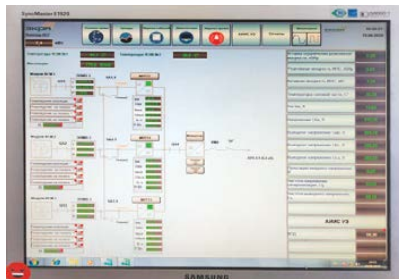


Рис. 5. Изображение на мониторе АРМ СЭС

ухудшилась, либо полностью нарушилась изоляция кабелей.

Ввод уставок и задание режимов работы инвертора осуществляется через сенсорную графическую панель оператора.

Задачами АСУ СЭС являются:

- сбор информации с датчиков температуры и пиранометра;
- управление и сбор информации с инвертора, МРРТ, ЭКРА-СКИ-СЭС и пр.;
- функции АИИС КУЭ (автоматизированное измерение объемов переданной и принятой электроэнергии по точкам учета);
- анализ полноты и достоверности данных измерений;
- обработка, хранение полученных измерений;
- мониторинг работоспособности элементов системы.

Для контроля за работой макета СЭС имеется автоматическое рабочее место (АРМ) СЭС, выполненное на базе персонального компьютера с программным обеспечением EKRA-SCADA. Пример изображения на мониторе АРМ приведен на рис. 5.

Испытания макета СЭС показали, что выработка электроэнергии с ноября по фев-

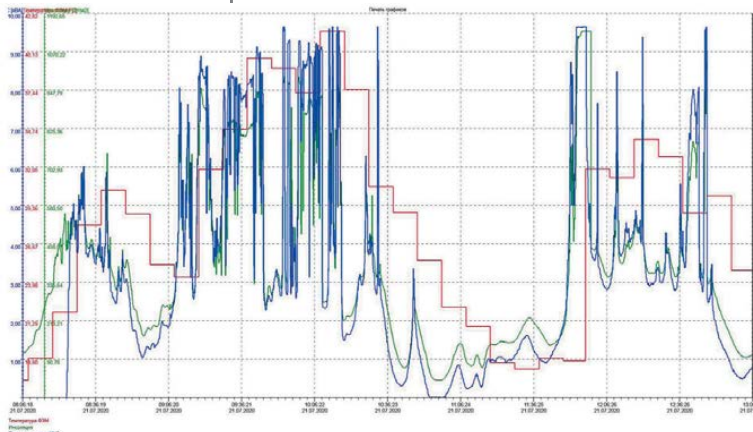


Рис. 6. График изменения инсоляции, выходной мощности СЭС и температуры ФЭМ



Рис. 7. Шкафы инвертора, АСУ и АРМ макета СЭС

раль очень мала из-за сильной облачности. Максимальная выработка энергии достигается в солнечные дни, особенно при низкой температуре воздуха.

Максимальный зарегистрированный уровень инсоляции был более 1000 Вт/м², при этом макет СЭС отдавал в электрическую сеть до 12 кВт энергии (макет работает в режиме отдачи в сеть активной мощности).

На рис. 6 приведены графики изменения уровня инсоляции (зеленый), выходной мощности (синий) СЭС и температуры солнечных панелей (красный) при переменной облачности.

По графикам видно как выходная мощность изменяется вместе с уровнем инсоляции в одном направлении. Резкие изменения обусловлены малой площадью поля ФЭМ, которое быстро и полностью затемняется или открывается для солнца при прохождении облаков или туч.

На рис. 7 приведена фотография шкафов и АРМ, входящих в состав макета СЭС.

Выводы

1. Макет СЭС обеспечил все заявленные характеристики, в том числе по мощности и по функциональности.
2. В период с ноября по февраль работа СЭС была малоэффективна из-за сильной облачности и низкого уровня инсоляции.
3. Применение функции МРРТ значительно повышает производительность СЭС.

Литература:

1. Дякин С.В., Ниткин Д.А., Вольский С.И. Способы построения солнечных установок // Новое в российской электроэнергетике. – 2016. - №8. – С. 39-47.
2. Introduction to Photovoltaic Systems Maximum Power Point Tracking. Application Report SLVA446. November 2010. TEXAS INSTRUMENTS.
3. Федотов А.Ю., Степанова Д.А., Наумов В.А., Антонов В.И. Обеспечение эффективности солнечной фотоэлектрической станции в условиях быстро меняющейся конфигурации освещенности // Релейная защита и автоматизация. – 2020. – №1 (38). – С. 42-47.