

Результаты исследования контроллера MX60, реализующего технологию заряда ОТММ

В соответствии с проведенными поисковыми исследованиями, в ходе которых проанализировано множество существующих сегодня типов контроллеров заряда (см. Приложение в конце документа) для фотоэлектрических станций (ФЭС), было установлено, что наиболее перспективным в настоящее время являются контроллеры заряда, использующие технологию ОТММ солнечных модулей. Термин ОТММ – означает *Отслеживание Точки Максимальной Мощности* отдаваемой источником энергии (или в англоязычной транскрипции *Maximum Power Point Tracking (MPPT)*). В устройстве, построенном на принципах ОТММ, напряжение и ток солнечных модулей конвертируются в наиболее оптимальное из любых возможных сочетание напряжения и тока для заряда аккумуляторных батарей. Это позволяет максимально полно использовать солнечные модули для заряда аккумулятора, увеличивая их эффективность, т.е. получаемую мощность, на 20...45% зимой и 10...15% летом, по сравнению с применяемыми сегодня принципами регулирования процесса заряда. Максимальное увеличение тока заряда по сравнению с током, отдаваемым солнечными модулями, в общем случае составит для такого контроллера 50...60%. Таким образом, можно ожидать, что применение контроллера заряда ОТММ даст существенный выигрыш в производительности реализованной на его базе ФЭС (в целом на 30...40%).



В результате анализа существующих сегодня на рынке контроллеров заряда ОТММ установлено, что устройства подобного класса в России не производятся. Все поставляемые импортные устройства, построенные по этой технологии, предназначены для эксплуатации при температуре выше 0°C, не имеют защиты от воздействия влаги и пыли, а также требуют в ходе эксплуатации обязательных периодических профилактических мероприятий, выполняемых квалифицированным обслуживающим персоналом. Единственным из контроллеров заряда ОТММ, который предназначен для работы в температурном диапазоне -40°C...+60°C является контроллер заряда аккумуляторных батарей **MX60 MPPT 60A, =12-60VDC**, выпускаемый фирмой **OutBack Power Systems** из США (<http://www.outbackpower.com>).

Контроллер OutBack MX60 позволяет увеличить производительность организуемой на его базе ФЭС примерно на 30%. Поддерживает

широкий ряд номинальных напряжений обслуживаемых аккумуляторов - 12, 24, 32, 36, 48, 54 или 60 вольт. Максимальное напряжение подключаемого к прибору комплекта солнечных модулей ограничено предельным значением 141 вольт. Встроенная память и специализированный узел мониторинга параметров позволяют накапливать данные по процедуре заряда за 64 дня.

Контроллер может быть использован со следующей мощностью солнечных панелей: 12 В до 800 Вт; 24 В до 1600 Вт; 48 В до 3200 Вт. В МХ60 используется 5-стадийный алгоритм заряда, позволяющий увеличить сроки службы аккумуляторных батарей.

Контроллер OutBack МХ60 имеет европейский сертификат качества и безопасности **CE Марк**, а также российский сертификат соответствия: **№ РОСС.СА.АЕ70.В00042**.

Для оценки эффективности работы МХ60 с целью определения перспектив его использования при организации ФЭС энергопитания светящихся навигационных знаков (СНЗ), обеспечивающих безопасность судоходства в высоких широтах побережья Российской Федерации, была закуплена одна единица этого изделия и проведены его всесторонние испытания для различных стадий заряда аккумулятора и различных схем соединения солнечных модулей. При этом все исследования проводились с реально используемыми в настоящее время солнечными модулями и кислотными аккумуляторами, являющимися основой множества ФЭС, развертываемых в настоящее время в Дальневосточном регионе РФ. Сравнение эффективности работы контроллера МХ60 производилось по отношению к контроллеру, разработанному специалистами РНЦ «Курчатовский Институт» (далее *контроллер РНЦ КИ*), который с успехом эксплуатируется в настоящее время в составе более трех десятков различных ФЭС. Мониторинг всех параметров, характеризующих качество и особенности работы тестовых ФЭС, построенных на базе контроллера МХ60 и контроллера РНЦ КИ, производился поверенными цифровыми измерительными приборами и регистраторами iBDL (<http://www.ibdl.ru/>), которые являются полноценными метрологически обеспеченными средствами измерения.

1) *Параллельная схема подключения солнечных модулей (режим работы с максимальным током)*

Для оценки эффективности работы контроллера МХ60 на стадии заряда аккумулятора полным током, были проведены измерения токов заряда при различных уровнях освещенности для ФЭС, состоящей из двух параллельно включенных солнечных модулей и аккумулятора с номинальным напряжением 12 вольт. Токи измерялись в цепи заряда с помощью встроенной схемы контроллера МХ60, а также с помощью

стандартного амперметра, расположенного в цепи контроллер-аккумулятор. Для сравнения были проведены измерения при прямом подключении солнечных модулей к аккумулятору (стандартный режим работы контроллера РНЦ КИ). Результаты измерений приведены в Таблице 1.

Таблица 1. Сравнение рабочих характеристик контроллера МХ60 и контроллера РНЦ КИ при параллельной схеме подключения солнечных модулей

Уровень освещенности	Ток заряда, отображаемый на табло контроллера МХ60, I_o , (А)	Реальный ток заряда, измеренный амперметром для контроллера МХ60, I_p , (А)	Ток заряда при замыкании солнечных модулей на аккумулятор, равный току заряда для контроллера РНЦ КИ, I_z , (А)
Е1	1,4	0,95	1,30
Е2	1,8	1,28	1,56
Е3	4,0	3,76	4,02
Е4	4,5	4,21	4,51

Из данных Таблицы 1 видно, что контроллер с алгоритмом MPPT (*определение точки максимальной мощности*) не дает выигрыша при параллельном подключении солнечных модулей и токе заряда менее 5А. При этом зарядные токи от контроллера и токи при непосредственном подключении солнечных модулей практически отличаются только на величину тока, потребляемого схемами управления самого контроллера МХ60. Это обусловлено тем, что солнечные модули с рабочим напряжением 17В...18В (напряжение холостого хода $U_{xx} = 21,6В$), оптимизированы для заряда аккумуляторов с рабочим напряжением 12В.

Следует отметить, что если при первом включении контроллера МХ60 значение зарядного тока окажется менее 5А, его схема будет осуществлять заряд в точке, где напряжение на солнечном модуле равно значению, ранее выбранному пользователем (в процентах от U_{xx}), т.е. режим MPPT в этом случае НЕ РЕАЛИЗУЕТСЯ. Причем, если контроллер оказался в этом состоянии, следующий автоматически отработываемый его схемой перерасчет точки максимальной мощности произойдет только через 1,5 часа. Если же при расчете точки максимальной мощности значение зарядного тока больше 5А, то заряд будет осуществляться именно в этой найденной рабочей точке, а более точная подрегулировка её изменения будет производиться с интервалом 1...15 минут (значение этого параметра назначается пользователем при программировании прибора).

2) *Последовательное подключение солнечных модулей*

Эта схема потенциально ограничивает величину общего зарядного тока ФЭС фиксированной величиной тока заряда конкретного фотоэлектрического элемента в составе любого из солнечных модулей, который имеет наименьшую эффективность (свойство последовательного включения источников тока). Напряжение на выходе солнечных модулей при этом существенно превышает рабочее напряжение аккумулятора. Поэтому для систем, состоящих из контроллера РНЦ КИ и аккумулятора с номинальным напряжением 12В, этот режим не используется, так как в этом случае энергоотдача от двух последовательно соединенных солнечных модулей заведомо меньше энергоотдачи при их параллельном включении.

При подключении последовательно соединенных солнечных модулей к контроллеру МХ60 наблюдается эффект увеличения зарядного тока, т.е. происходит преобразование мощности (напряжение снижается, а ток увеличивается). Повышенное напряжение при последовательном включении солнечных модулей дает возможность использовать контроллер МХ60 при более низких освещенностях по сравнению с освещенностями, при которых может эксплуатироваться контроллер РНЦ КИ. Однако в этом случае следует учитывать потери мощности, связанные с работой внутренних схем контроллера МХ60 и малый ток, отдаваемый солнечными модулями при таком освещении.

Поэтому в целом значительного выигрыша схема ФЭС на базе контроллера МХ60 с последовательным подключением солнечных модулей не дает.

3) *Стадия стабилизации выходного напряжения (стадия окончания заряда - подзаряда)*

Солнечные модули ФЭС подключены к контроллеру параллельно.

На этой стадии были измерены значения токов подзаряда в режиме стабилизации выходного напряжения. Такой режим применяется на конечных стадиях заряда аккумулятора ФЭС и характеризуется общим током потребления контроллера МХ60 около 0,2А (общее потребление контроллера РНЦ КИ в любом режиме составляет не более 0,005А).

4) *Отсутствие заряда (спящий режим для контроллера МХ60)*

Величина тока потребления в случае, когда ФЭС, обслуживаемая контроллером МХ60, не требует его активности (прибор переходит в режим наименьшего потребления), составляет около 0,1А (общее потребление контроллера РНЦ КИ в любом режиме эксплуатации составляет не более 0,005А).

ВЫВОДЫ

1. Контроллер MX60 обладает большим количеством всевозможных настроек, реализует 5 различных стадий заряда, что зачастую действительно повышает эффективность заряда аккумулятора ФЭС.
Однако, функциональная избыточность, сложная система режимов и очень запутанное меню программирования затрудняет настройку контроллера, требует для инсталляции и обслуживания ФЭС, построенной на его базе, высококвалифицированного персонала, а также увеличивает вероятность ввода ошибочных управляющих параметров при непосредственной массовой инсталляции ФЭС на реальных объектах.
2. Контроллер MX60 наиболее полно реализует алгоритм поиска рабочей точки при токах заряда более 5А, достигая максимального КПД при токах более 30А. Однако, суммарные токи заряда в 40...60А реализуются при использовании в составе ФЭС не менее 10...15 единиц солнечных модулей, что является избыточным для абсолютного большинства ФЭС энергопитания СНЗ.
3. В контроллере MX60 предусмотрена возможность осуществления температурной компенсации режимов заряда, однако для ее реализации требуется подключение специального выносного датчика температуры (поставляется по отдельному заказу, цена ~30\$). В контроллере РНЦ КИ реализована двухступенчатая температурная компенсация - зима/лето, что особенно существенно для щелочных аккумуляторов.
4. В контроллер MX60 встроен маломощный программируемый узел управления внешними устройствами, который можно использовать для переключения лампы маяка, предварительно добавив внешние силовые элементы коммутации. Однако эта функция в рамках реализуемого в настоящее время регламента построения СНО представляется избыточной.
5. Исполнение контроллера MX60 по степени защиты от пыли и влаги предусматривает его использование только в помещениях (класс *indoor type 1*). Очевидно, что требование льготной среды для эксплуатации этого устройства определяется наличием в его конструкции множества вентиляционных отверстий системы теплоотвода и кулеров принудительного охлаждения. При этом рабочий диапазон температур прибора -40°C ...+60°C указан производителем со специальным предупреждением об уменьшении значения максимальной рабочей мощности преобразуемой данным устройством при температурах свыше 25°C). Кроме того, наличие средств управления допускает вмешательство в работу контроллера MX60 посторонних лиц с целью изменения реализуемых им режимов.

В контроллере РНЦ КИ все эти недостатки отсутствуют.

6. В условиях освещенности, когда $U_{х.х.}$ солнечных модулей незначительно превышает уровень напряжения на аккумуляторе - $U_{ак.}$, контроллер МХ60 проигрывает простейшим контроллерам по эффективности (см. значения I_p и I_z в Таблице 1 выше), так как большая часть тока, генерируемого солнечными модулями при такой освещенности, будет потребляться самим контроллером ($I_{потр.} \sim 0,5 \text{ A}$).

При низкой освещенности ($U_{х.х.}$ меньше $U_{ак.}$), контроллер МХ60 с последовательным включением солнечных модулей продолжает обеспечивать заряд (в отличие от простейших контроллеров с параллельным подключением солнечных модулей (в частности в отличие от контроллера РНЦ КИ)), благодаря реализации им специального механизма преобразования тока и напряжения. Именно для реализуемой контроллером МХ60 технологии определения точки максимальной мощности подобная схема включения солнечных модулей при проектировании ФЭС является наиболее эффективной. Однако эта схема не дает выигрыша в условиях номинальной освещенности при малом числе солнечных модулей (2...4 шт.), как у большинства ФЭС энергообеспечения СНО.

Учитывая все перечисленные выше аргументы, а также стоимость контроллера МХ60 по сравнению с простейшими контроллерами, обслуживающими параллельное подключение солнечных модулей, и дополнительные затраты для полноценной реализации возможностей этого изделия (с учетом высокой квалификации персонала, выполняющего монтаж и дальнейшее обслуживание, необходимость в значительно большем количестве солнечных модулей, цены их монтажа и коммутации элементов системы в целом и т.д.), целесообразность применения подобного прибора в составе абсолютного большинства ФЭС энергообеспечения СНЗ на гидрографических объектах вызывает сомнения.

Применение контроллера МХ60 представляется наиболее оправданным и эффективным при построении ФЭС для энергоснабжения мощных нагрузок (например, фонарей большой дальности), когда для обеспечения необходимого запаса энергии требуется применение большого количества аккумуляторных батарей и большого числа солнечных модулей (т.е. при обслуживании т.н. *полей солнечных батарей*).

Приложение
Сравнение доступных контроллеров заряда для ФЭС

Вариант	Особенности контроллеров в группе	Обозначение контроллер (производитель)	Макс. ток коммутации	Мин. рабочая температура	Цена
1. Простейшие	Реализуют простейший ключевой алгоритм заряда. При достижении порогового напряжения прекращают заряд и возобновляют его при понижении напряжения. Такой метод позволяет зарядить аккумулятор на 60-70%. Отсутствие температурной коррекции порогов заряда.	К-150 (РЗМКП, Рязань)	12А	-40°С	50\$
		РЗЗ-12-20 (Красное знамя)	20А	-40°С	72\$
		МФЗ-МЗ (САТУРН, Краснодар)	12А	-40°С	740\$
2. Стабилизаторы	Осуществляет более полный заряд аккумулятора благодаря переходу контроллера в режим стабилизации напряжения на завершающей стадии с постепенным уменьшением зарядного тока. Имеет двухступенчатую корректировку порогового зарядного напряжения по температуре и защиту от перегрева.	РНЦ КИ, ИЯР	20А	-40°С	80\$
		Steca Solsum 8.8 (Steca)	8А	-25°С	70\$
		SK-12 (Morningstar)	12А	-40°С	120\$
3. Корректоры	Реализуют многостадийный алгоритм заряда различной сложности (например, наполнение, поглощение и выравнивание), корректируя его либо по заранее заданной программе, либо постоянно контролируя параметры процесса заряда и аккумулятора, в том числе с использованием метода широтно-импульсной модуляции (ШИМ)	С35 (Xantrex)	35А	0°С	170\$
		PR1515-PR3030 (Steca)	15-30А	-10°С	200\$
		Steca Solarix (Steca)	8-30А	-25°С	170\$
4. ММРТ	Контроллеры с алгоритмом слежения за точкой максимальной мощности солнечных модулей (МРРТ). Содержат узел, преобразующий энергию солнечных модулей в оптимальные из возможных значения тока и напряжения для заряда аккумулятора в текущий момент, что дает повышение эффективности на 20-45% зимой и 10-15% летом.	MX60 (OutBack Power)	60А	-40°С	750\$