

## Лекция 9

Технологии солнечных батарей. Солнечные панели на основе кремния.

Автономные фотоэлектрические системы используются там, где нет сетей централизованного электроснабжения. Для обеспечения энергией в темное время суток или в периоды без яркого солнечного света необходима аккумуляторная батарея (АБ). Автономные фотоэлектрические системы часто используются для электроснабжения отдельных домов. Малые системы позволяют питать базовую нагрузку (освещение и иногда телевизор или радио), более мощные системы могут также питать водяной насос, радиостанцию, холодильник, электроинструмент и т.п. Такая система состоит из солнечной панели, контроллера, аккумуляторной батареи, кабелей, электрической нагрузки и поддерживающей структуры (рис. 1.17).

Рис. 1.17. Автономная фотоэлектрическая система: 1 – солнечные панели; 2 – контроллер; 3 – АБ; 4 – нагрузка

1.9.2. Соединенные с сетью солнечные фотоэлектрические системы Когда есть сеть централизованного электроснабжения, но есть желание иметь электроэнергию от чистого источника, солнечные панели могут быть соединены с сетью. При подключении достаточного количества солнечных панелей определенная часть нагрузки в доме может питаться от солнечного электричества. Соединенные с сетью фотоэлектрические системы обычно состоят из одной или нескольких панелей, инвертора, кабелей, поддерживающей структуры и электрической нагрузки (рис. 1.18). Инвертор используется для соединения солнечных панелей с сетью. Существуют также так называемые АС-панели, в которых инвертор встроен в её заднюю часть. Избыток электрической энергии может продаваться электросетям. Если используются специальные повышенные тарифы для солнечного электричества, то устанавливают два счетчика – один на генерацию, другой на потребление. При этом вся электроэнергия, выработанная солнечной панелью, продается сетям по повышенной цене, а потребности дома в электроэнергии обеспечиваются покупкой электроэнергии у сетей по обычной цене. Таким образом можно обеспечить не только нулевые расходы по затратам на электроэнергию в течение года, но и нулевое потребление электроэнергии за год (летом избыток энергии поставляется сетям, а зимой, при недостатке солнца, дом питается в основном от сетей).

Рис. 1.18. Соединенная с сетью солнечная фотоэлектрическая система: 1 – солнечные панели; 2 – инвертор; 3 – сеть; 4 – нагрузка

1.9.3. Резервные системы Резервные солнечные системы используются там, где есть соединение с сетью централизованного электроснабжения, но она ненадежна. Резервные системы могут использоваться для электроснабжения в периоды, когда нет напряжения в сети. Малые резервные солнечные системы электроснабжения могут использоваться для освещения, снабжения энергией компьютера и средств

связи (телефон, радио, факс и т.п.). Более крупные системы могут снабжать энергией и холодильник во время отключения сети. Чем больше мощность, необходимая для питания ответственной нагрузки, и чем дольше периоды отключения сети, тем больше мощность фотоэлектрической системы необходима. Если сеть есть, то система обычно работает как соединенная с ней. Система состоит из солнечных панелей, контроллера, аккумуляторной батареи (АБ), кабелей, инвертора, нагрузки и поддерживающей структуры (рис. 1.19). Рис. 1.19. Резервные системы: 1 – солнечные панели; 2 – инвертор; 3 – АБ; 4 – сеть; 5 – нагрузка

1.10. Поддерживающая конструкция Важной частью солнечной фотоэлектрической системы является поддерживающая конструкция для солнечных панелей. Она обеспечивает правильный угол наклона панелей и необходимую жесткость всей системы. Комбинация поддерживающей конструкции с солнечными панелями должна выдерживать порывы ветра и другие воздействия окружающей среды. Разнообразие конструкций огромно – от самодельных до промышленно изготавливаемых для больших фотоэлектрических систем. Такая конструкция может быть изготовлена из металла или синтетического материала. Есть несколько типов поддерживающих конструкций, в зависимости от места установки фотоэлектрической системы. Для соединенных с сетью систем это может быть плоская конструкция или с малым наклоном крышная или для фасада здания. Соединенные с сетью системы также могут быть элементом конструкции здания (интегрированные солнечные системы).

1.11. Контроллеры заряда-разряда Контроллеры заряда используются в автономных фотоэлектрических системах для защиты аккумуляторных батарей от глубокого разряда, когда есть перерасход энергии, или перезаряда, когда батарея заряжена, а солнечная панель вырабатывает избыток электричества (рис. 1.20). Использование контроллеров заряда необходимо, потому что он отключает нагрузку, когда аккумулятор недопустимо разряжен. Обычно контроллером заряда снабжаются фотоэлектрические солнечные комплекты. При этом нагрузка никогда не подключается напрямую к аккумуляторной батарее, минуя контроллер заряда, иначе аккумуляторная батарея может выйти из строя. Рис. 1.20. Контроллер заряда-разряда

1.11.1. Контроллеры с широтно-импульсной модуляцией тока заряда Простейшие контроллеры просто отключают источник энергии (солнечную батарею), если напряжение на аккумуляторной батарее (АБ) достигло примерно 14,4 В (для АБ номинальным напряжением 12 В). При снижении напряжения на АБ до  $\approx 12,5$ –13 В снова подключается солнечная батарея, и заряд возобновляется. При этом максимальный уровень заряженности АБ составляет 60–70%. При регулярном недозаряде происходит резкое сокращение срока службы АБ. Современные контроллеры на завершающей стадии заряда используют так называемую широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) тока заряда. При этом возможен заряд АБ

до 100%. На рисунке 1.21 показаны четыре стадии заряда аккумуляторной батареи от солнечной батареи [7]. 1) Заряд максимальным током. На этой стадии АБ получает весь ток, поступающий от солнечных панелей. 2) ШИМ-заряд. Когда напряжение на АБ достигает определенного уровня, контроллер начинает поддерживать постоянное напряжение за счет ШИМ-тока заряда. Это предотвращает перегрев и газообразование в аккумуляторе. Ток постепенно уменьшается по мере заряжения аккумуляторной батареи. 3) Выравнивание. Многие батареи с жидким электролитом улучшают работу при периодическом заряде до газообразования, при этом выравниваются напряжения на различных банках АБ, очищаются пластины и перемешивается электролит. 4) Поддерживающий заряд. Когда АБ полностью заряжена, зарядное напряжение уменьшается во избежание дальнейшего нагрева или газообразования в батарее, и она поддерживается в заряженном состоянии.

43 Рис. 1.21. Стадии заряда аккумуляторной батареи от солнечной панели 1.11.2. Контроллер со слежением за точкой максимальной мощности

Если необходимо увеличить выработку энергии солнечными батареями без добавления солнечных панелей, то нужно заменить солнечный контроллер на «Maximum Power Point Tracker» (MPPT) со слежением за точкой максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи. Типичный MPPT-контроллер постоянно отслеживает ток и напряжение на солнечной батарее, перемножает их значения и определяет пару ток-напряжение, при которых мощность солнечной батареи будет максимальной. Встроенный процессор также следит, на какой стадии заряда находится аккумуляторная батарея (наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка), и на основании этого определяет, какой ток должен подаваться в неё. Одновременно процессор может давать команды на индикацию параметров на табло (при наличии), хранение данных, и т.п. Точка максимальной мощности может вычисляться разными способами. Методы поиска точки максимальной мощности (ТММ) тоже различны [7].

1) Обычно используется метод «Perturb and Observe». То есть проводится периодическое полное сканирование всей вольт-амперной характеристики солнечной батареи (обычно раз в два часа), находится ТММ, и до следующего полного сканирования контроллер ищет и вычисляет колебания мощности солнечной батареи и сдвигает рабочую точку на новое напряжение, если при нем мощность больше. Практически во всех контроллерах применяется именно этот метод. Недостатком его считается постоянная необходимость проводить измерения, во время которых генерация энергии от панелей прерывается. Различные производители подбирают параметры поиска – глубину и частоту итераций, периодичность полного сканирования, чтобы наиболее оптимально отслеживать точку

максимальной мощности солнечной батареи и получать оптимальное количество энергии от Солнца.

2) Второй метод – «Scan and Hold». После первичного сканирования напряжение устанавливается на уровне найденной точки и держится до следующего полного сканирования. Такой метод хорош там, где нет облаков и затенения панелей. Преимущества – высокая скорость работы, практически нет прерывания генерации на измерения.

3) Третий метод – «Percentage of open circuit voltage». Замеряется напряжение холостого хода ( $U_{xx}$ ), и рабочая точка выбирается на уровне ( $U_{xx} \cdot k$ ), где  $k$  может быть от 0 до 1 (по умолчанию  $k$  равен 0,8). Точка держится до следующего сканирования. Такой метод хорош там, где нет облаков и затенения панелей. Преимущества – высокая скорость работы, практически нет прерывания генерации на измерения.

4) Четвертый метод – жесткий выбор рабочей точки. Назначается любое напряжение, которое контроллер будет поддерживать. Никаких измерений и вычислений он уже не делает, то есть работает постоянно. Недостаток – выбранное напряжение может быть далеко от реальной ТММ. Однако, если точно известно, при каком напряжении батарея вырабатывает максимальную мощность, и солнечная батарея работает практически постоянно при ясном небе, то можно использовать и этот метод. При запуске системы нужно задать напряжение, которое контроллер будет поддерживать; оно вычисляется по параметрам конкретной солнечной батареи. Положение ТММ зависит от освещенности панелей, температуры, разнородности используемых панелей и т.д. Контроллер периодически пытается немного «отойти» от найденной на предыдущей стадии точки в обе стороны, и если мощность при этом увеличивается, то он переходит на работу в этой точке. Теоретически, при поиске ТММ теряется немного энергии, но эта потеря очень незначительна, по сравнению с той дополнительной энергией, которую обеспечивает МРРТ-контроллер. Количество дополнительно полученной энергии при этом трудно определить однозначно. Основными факторами, влияющими на дополнительную выработку, являются температура и степень заряженности аккумуляторной батареи. Наибольшая добавка к выработке будет при низких температурах панели и разряженных батареях (рис. 1.22). Напряжение солнечной панели в точке максимальной мощности может меняться при разных температурах панели (рис. 1.23). Чем горячее солнечная панель, тем меньше напряжение, а значит, и выработка энергии солнечной батареей. В какие-то моменты точка максимальной мощности может быть ниже напряжения на АБ, и в этом случае нет никакого выигрыша по сравнению с обычным контроллером. Это же происходит и при частичном затенении солнечной батареи. Текущая цена

MPPT-контроллеров позволяет эффективно их 46 применять при мощности панелей от 200 Вт или нестандартном напряжении панели. Рис. 1.22. Количество дополнительно полученной энергии при использовании MPPT-контроллера Рис. 1.23. Напряжение солнечной панели в точке максимальной мощности в зависимости от температуры панели 47