

## ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ЗАТЕНЕНИИ

*Отображены проблемы, связанные с эксплуатацией солнечных элементов в составе солнечной электростанции. Детально рассмотрена проблема затенения солнечных модулей при последовательном соединении. Приведен способ повышения эффективности работы солнечной электростанции за счет использования энергии, вырабатываемой затененными модулями.*

*Висвітлено проблеми, пов'язані з експлуатацією сонячних елементів у складі сонячної електростанції. Детально розглянуто проблему затемнення сонячних модулів при послідовному з'єднанні. Наведено спосіб підвищення ефективності роботи сонячної електростанції за рахунок використання енергії, що генерують затемнені модулі.*

*Problems, concerning solar cell's exploitation in power station's composition, are considered. The problem of solar modules serial connection's shading is detailed contemplated. The method of efficiency improvement of solar power station, at the expense of energy usage produced by shaded modules, is considered.*

**Вступление.** Загрязнение окружающей среды, рост цен на энергоносители и уменьшение их запасов вынуждают нас задумываться об использовании экологически чистых и, возможно, более дешевых источников энергии. Ими являются так называемые альтернативные возобновляемые источники энергии. Останемся на таком виде энергии, как энергия солнца.

Солнце, по человеческим меркам, – неисчерпаемый источник энергии. Существуют устройства, преобразующие солнечную энергию в электрическую. Это солнечные элементы. Для создания солнечных электростанций солнечные элементы объединяют в батареи и крепят на основании для удобства их конечного монтажа и увеличения прочности. Такая конструкция называется солнечной панелью, или солнечным модулем. В нынешнее время производство таких солнечных панелей достигло мирового масштаба. Относительно доступные солнечные модули имеют коэффициент преобразования солнечного света в электричество 15-20 %. Максимальный же коэффициент преобразования на сегодняшний день около 43 %. Но дороговизна высокопроизводительных элементов не позволяет использовать их для создания электростанций широкого потребления, поскольку это экономически нецелесообразно.

**Анализ предыдущих исследований.** Как видим, проблема КПД солнечных элементов стоит довольно остро. Низкий коэффициент преобразования усугубляется факторами, влияющими на производительность солнечных элементов, такими как неравномерное освещение панелей, нагрев, загрязнение и затемнение отдельных участков или всего модуля, нелинейная вольтамперная характеристика (ВАХ) и необратимые потери [1]. Поэтому повышение КПД на несколько десятых процента – это уже достижение.

Проблема нелинейности ВАХ решается введением в цепь преобразования модуля отбора максимальной мощности. Для равномерного освещения панелей в течение дня применяют специальные поворотные

системы. Загрязнение поверхности солнечных элементов отрицательно сказывается на эффективности их работы, поэтому необходимо регулярно проводить мероприятия по очистке поверхности солнечных панелей. При затенении менее освещенный модуль становится паразитной нагрузкой. Для предотвращения выхода элемента из строя и исключения его влияния на систему в целом наиболее целесообразно исключить его из последовательной цепи при помощи шунтирования байпасным диодом. Эффективность также снижается при нагревании панели, поэтому солнечные модули, особенно для больших солнечных электростанций, целесообразно охлаждать.

**Цель статьи.** Рассмотрение методов для решения проблемы затенения солнечных модулей.

**Изложение основного материала.** Как правило, для получения необходимого напряжения на входе инвертора (порядка 1000 В) солнечные модули соединяют последовательно, а для увеличения суммарного тока – параллельно. Поэтому для солнечной электростанции получаем множество последовательно-параллельно соединенных солнечных панелей.

Рассмотрим последовательное соединение солнечных модулей и затенение одного из них (хотя возможно затенение и нескольких). В этом случае рабочая точка затененного модуля смещается в зону отрицательного напряжения и открывается байпасный диод, который подключается параллельно каждому модулю для предотвращения смещения рабочей точки модуля в зону потребления энергии и, как следствие, выхода из строя солнечного модуля. После открытия байпасного диода ток последовательной цепи протекает уже не через затененный модуль, а через байпасный диод. В затененном состоянии модуль также преобразовывает энергию и может отдавать ее в общую цепь, но вольтамперная характеристика солнечного модуля (рис.1) не позволяет использовать его с максимальным КПД, поскольку рабочая точка затененного элемента находится в районе нулевой мощности, вся преобразованная энергия рассеивается в модуле. Для максимального использования затененного модуля

ля необходимо накапливать производимую ним энергию и в импульсном режиме передавать ее в цепь.

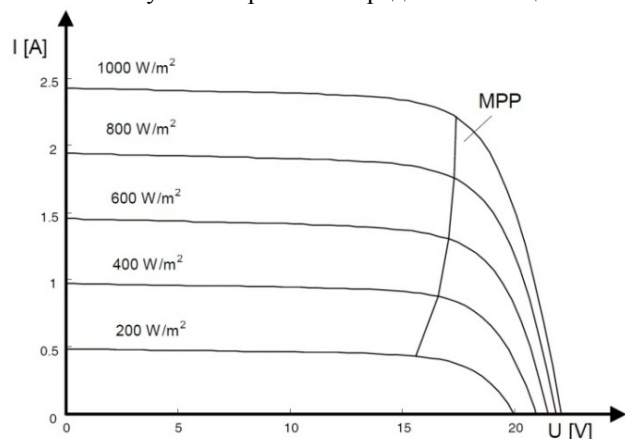


Рис.1. ВАХ солнечного элемента при различной степени освещенности

Для накопления энергии, генерируемой солнечной панелью, наиболее целесообразно использовать конденсатор. Принцип действия устройства заключается в следующем. При затенении модуля напряжение на его выходе изменяется до напряжения падения на байпасном диоде и имеет противоположный знак по отношению к напряжению в нормальном режиме работы. Передача энергии в общую цепь в этот момент не осуществляется, так как модуль работает в режиме короткого замыкания. Для исключения этого режима необходимо подключить параллельно солнечному элементу конденсатор и отключить от последовательной цепи при помощи электронного ключа (IGBT, MOSFET), как показано на рис.2. В этом случае конденсатор зарядится до напряжения холостого хода модуля и если теперь замкнуть ключ, то вся накопленная энергия будет передаваться в общую цепь до полного разряда конденсатора. Если циклически повторять операцию отпирания-запирания ключа, то мы получим полезную генерацию энергии даже затененными модулями.

Ранее описанный метод хоть и дает возможность использовать затененные элементы, но при таком алгоритме работы ключа рабочая точка солнечного модуля постоянно перемещается между точками короткого замыкания и холостого хода, что не эффективно с точки зрения максимально возможного КПД. Для увеличения КПД необходимо контролировать и регулировать положение рабочей точки солнечного модуля так, чтобы она находилась в точке максимальной мощности (ТММ). Это достигается при помощи поддержания тока такой величины, при которой мощность модуля будет максимальной. Для этого нужно обеспечить измерение напряжения и тока исследуемого модуля и, согласно полученным данным, выдавать управляющие сигналы на отпирание и запирание ключа, тем самым регулируя скважность и, соответственно, количество отдаваемой энергии. При заряде и разряде конденсатора рабочая точка будет колебаться относительно ТММ. Диапазон этих колебаний зависит от жесткости вольтамперной характеристики модуля, емкости установленного конденсатора и час-

тоты коммутации ключа. Самый простой способ уменьшения этих колебаний – это увеличение частоты коммутации ключа. Но увеличение частоты коммутации неизбежно приводит к увеличению потерь на переключение в самом ключе. Поэтому злоупотреблять этим параметром не рекомендуется.

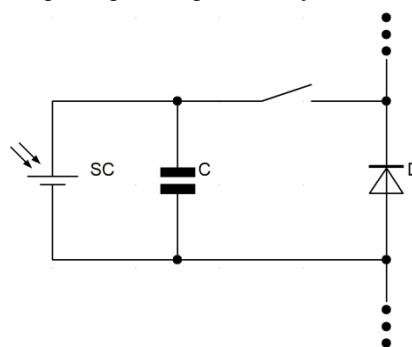


Рис.2. Схема подключения конденсатора, ключа и байпасного диода к солнечному элементу

Нужно заметить еще один плюс описанного метода. Форма вольтамперной характеристики батареи солнечных модулей такая же, как и форма ВАХ отдельного солнечного элемента. Однако при последовательно-параллельном соединении модулей существует некоторый разброс параметров между составляющими солнечной батареи. Следовательно, даже если рабочая точка солнечной батареи в целом находится в ТММ, то рабочие точки ее элементарных составляющих в большей или меньшей степени смещены относительно собственных ТММ. Из-за этого снижается общий КПД батареи. Применение рассмотренного выше устройства позволит сместить рабочую точку каждого солнечного модуля в ТММ.

**Выводы.** Применение изложенного в статье метода для каждого солнечного модуля позволяет повысить КПД солнечной батареи в целом.

#### Список использованной литературы

Глиberman А. Я. Кремниевые солнечные батареи / А.Я.Глиberman, А.К.Зайцева – М., 1961. – 72 с.

Получено 11.07.2011



Прохоров Антон Игоревич,  
ассистент каф. электропривода  
Нац. горного ун-та,  
Днепропетровск,  
пр-т Карла Маркса, 19,  
тел. 093-114-3920  
e-mail: anton.prokhorov.nbu@  
googlemail.com