

T.J. SHIRVANYAN NAMAGARDI A.M. ZADOYAN,

**DEVELOPING THE STRUCTURE AND PREPARATION TECHNOLOGY
OF MULTI-ELECTRODE SILICON PROBE FOR THE BIOPOTENTIAL
REPRODUCTION**

At developing the structure and preparation technology of multi-electrode silicon probe for biopotential reproduction, the way a microelectrode goes through the human skin and reaches the target organ has been researched. This has successfully decreased the pain of the patient by minimizing the size of the microelectrode. The dependence of the silicon dioxide thickness on the surface of a microelectrode shown at different environments and temperatures, as well as the need to receive 19 electrons, which will be enough to get clear information ensuring the electrode layout within the limits of the size of the probe are shown.

Keywords: multi-electrode silicon probe, silicon dioxide, soft membrane, photolithography.

УДК 681.3

**Г.Г. КИРАКОСЯН, А.Г. КАМАЛЯН, В.В. МАРГАРЯН,
В.Г. ХАЧАТУРЯН**

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТРОЛЛЕРА МОЩНОСТИ
ЗАРЯДНОГО УСТРОЙСТВА В СЕТЕВОЙ PV СИСТЕМЕ**

В работе приводятся структуры схем гибридных фотоэлектрических систем. Проведено моделирование режимов работы зарядного устройства свинцово-кислотных аккумуляторов. Основное внимание уделяется стратегии, которая позволяет обеспечить высокое зарядное состояние батареи и безопасность перезарядки путем разработки специализированной локальной системы управления.

Ключевые слова: гибридная фотоэлектрическая система, управление энергией, суперконденсаторы, аккумуляторная батарея, состояние заряда батареи.

Введение. Ввиду стохастической природы выходной мощности фотоэлектрических (PV) систем проводятся многочисленные разработки соединенных с сетью PV систем, связанные с изучением колебаний частоты, мощности, напряжения в сети, а также вопросов аккумуляции энергии в системе [1].

Блоки хранения (батареи, суперконденсаторы и т.д.), как и/или другие источники энергии (ветрогенераторы, дизельные агрегаты и т.д.), могут использоваться для компенсации недостатка мощности или для хранения избыточной мощности [2]. Скоординированное использование блоков хранения должно быть спроектировано в рамках доступного возобновляемого ресурса

для удовлетворения требований к мощности. Контроль качества аккумуляции электроэнергии становится все более важным.

1. Гибридные PV системы. На рис. 1а и 1б представлены возможные решения схем гибридных фотоэлектрических систем.

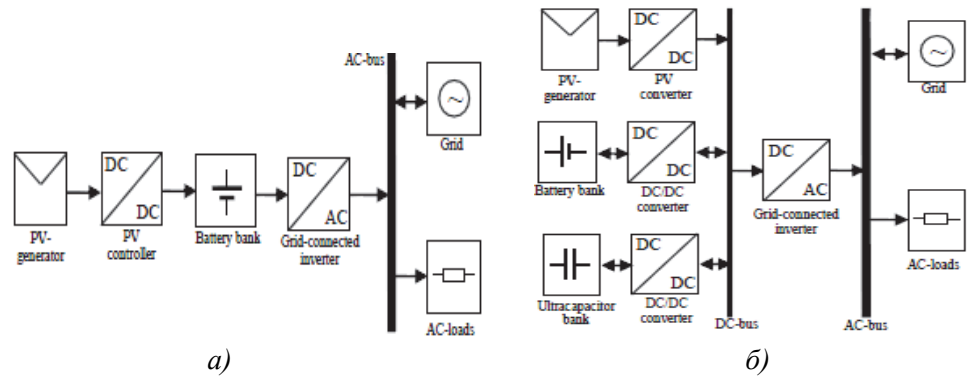


Рис. 1. Схемы гибридных PV систем: а-последовательно соединенная структура; б- параллельно соединенная структура DC

На рис. 1а представлена широко используемая структура, основанная на прямом подключении банка батарей. PV контроллер через DC/AC преобразователь подключается к шине инвертора сети PV системы с целью извлечения максимальной мощности от фотоэлектрических панелей и отправки ее в аккумуляторную батарею (АКБ).

Общее регулирование PV системы осуществляется тремя уровнями: управление коммутацией, автоматическое управление и управление мощностью. Каждый из них имеет точные задачи управления в зависимости от своего иерархического положения.

Стохастический характер выходной мощности PV панелей и потребляемой мощности приводит к быстрому зарядному/разрядному действию батарей и, соответственно, ускоренному старению батареи.

В работе [3] исследована параллельно соединенная структура, обеспечивающая более эффективное использование батарей постоянного тока (рис. 1б).

Отличие и основное преимущество данного метода в том, что аккумуляторная батарея подключается к DC-шине через DC/DC-конвертер, позволяя таким образом получить оптимизированный режим работы заряда/разряда (рис.1б) [4]. Следующее преимущество заключается в том, что добавлен банк суперконденсаторов, который также подключен к шине постоянного тока через другой DC/DC-конвертер.

Аккумуляторные батареи предназначены для использования при долгосрочной подаче энергии. Суперконденсаторы позволяют проводить быстрое

динамическое регулирование мощностей. В данной структуре массив PV панелей подключается к DC-шине через соответствующий PV-конвертер.

Согласно стратегии регулирования, управление питанием батарей рассматривается как система сглаживания. Но сглаживающий заряд/разряд недостаточен для обеспечения оптимальной работы с аккумулятором (с минимальными затратами), поскольку срок службы батареи ограничен и зависит от ряда факторов (перезарядка, уровень заряда, температура и т.д.). Другая сложность управления зарядным устройством заключается в обеспечении высокого уровня заряда батареи и защиты от перезарядки, а также в увеличении срока службы батареи.

Новизна рассматриваемого метода заключается в том, что внедряется точная стратегия управления батареями в системе управления гибридного активного PV-генератора электроэнергии.

Стратегия зарядки аккумулятора, которая широко применяется в системах PV, основана на подключении или отключении непосредственно массива солнечных панелей к аккумулятору. Контроллеры заряда предотвращают чрезмерную перезарядку батареи, прерывая или ограничивая ток массива солнечных панелей от аккумуляторной батареи, когда батарея полностью заряжена. Регулирование зарядки часто выполняется, когда достигается заданное напряжение отключения - первые 70...80% емкости аккумулятора. Для достижения полной зарядки, всей емкостью, без перезарядки применяется альтернативный метод, основанный на регуляторе включения/выключения. Однако в выключенном состоянии энергия не передается на батарею. Следовательно, доступная возобновляемая энергия плохо используется и управляется.

Другой метод предлагает алгоритм зарядки батареи, основанный на оценке состояния заряда (SOC) [5]. Точная оценка SOC остается очень сложной, и ее трудно реализовать. Поэтому предлагаются специальные алгоритмы регулирования: отслеживание точки максимальной мощности (MPPT), основанные на методе нечеткой логики. Однако эти алгоритмы регулирования не могут работать с сетевыми связями инверторов.

2. Поток энергии режима генерации и алгоритм отслеживания тока. При автоматическом управлении применяются алгоритмы управления для обеспечения основных (базовых, начальных) значений тока и напряжения. Управление мощностью предусматривает вычисление начальной мощности для каждого источника в соответствии со стратегией балансировки мощности.

Пренебрегая потерями в мощности электронных конвертеров, мощность батареи и мощность суперконденсатора, принимая их общий заряд,

отображаются непосредственно на шине постоянного тока и добавляются к мощности PV панелей. Часть этой мощности обменивается с накопителем внутри конденсатора DC-шины. Некоторая мощность теряется в дросселе, а затем оставшаяся мощность передается в сеть (рис. 2).

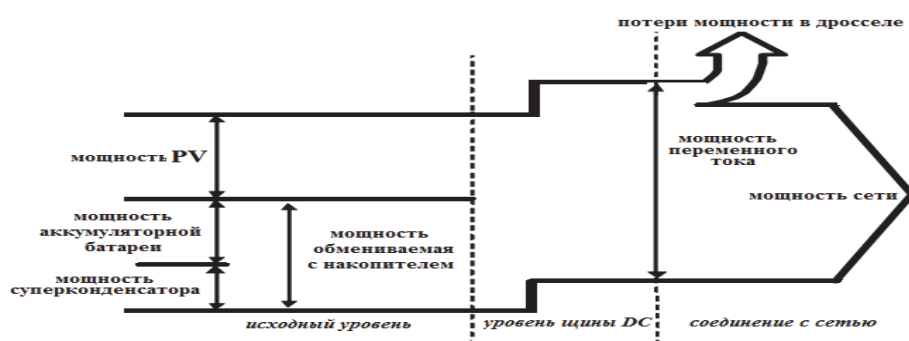


Рис. 2. Поток энергии для режима генерации батарей и суперконденсаторов

В исследуемой цепочке преобразований существуют возможности для хранения энергии или ее усиления путем управления мощностью, передаваемой батареям и суперконденсаторам. Управление потоком мощности достигается с помощью уравнений моделирования для установки мощности сети с заданной мощностью постоянного тока и расчетной доступной мощностью PV.

Аналогичным образом добавляется мощность, необходимая для регулирования шины постоянного тока, с целью получения необходимой полной мощности. Стратегия отслеживания тока, необходимого для зарядки батареи, проводится при высоких уровнях состояния заряда батареи (SOC) с коротким периодом времени.

Алгоритм отслеживания тока батареи представлен на рис. 3.

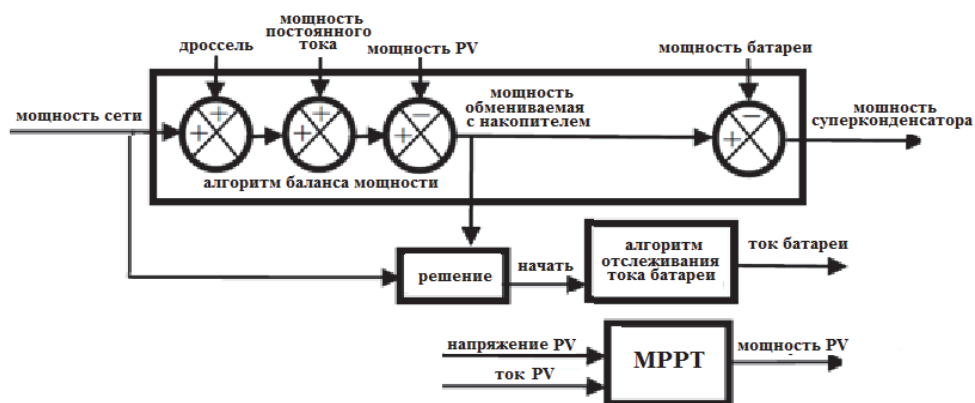


Рис. 3. Алгоритм отслеживания тока батареи

3. Моделирование режима работы аккумуляторной батареи

А. Моделирование свинцово-кислотной батареи

Наличие теоретической модели напряжения заряда имеет важное значение для понимания поведения батарей во время зарядки в реальных условиях. Другой метод заключается в использовании расширенного фильтра Калмана для наблюдения параметров батареи. Наиболее распространенными являются модели электросхем, которые основаны на элементах электрических схем, таких как конденсаторы, резисторы и источник напряжения.

Среди доступных моделей ни одна из них не считается удовлетворительной с точки зрения сложности. Сложность вызвана большим количеством параметров, которые необходимо определить. Основные результаты показывают, что для каждой батареи значения параметров различны, что является существенным недостатком при проектировании системы регулирования или общего имитационного моделирования PV. Поэтому предпочтительно иметь общую модель с постоянными параметрами и действительную для любого размера батарей.

Во избежание чрезмерной сложности предлагается модифицированная модель динамического напряжения батареи. Используется простая электрическая модель резисторного конденсатора (рис. 4), а напряжение на клеммах приводится в следующем виде:

$$\blacksquare \text{ если } u_{bat} < nV_g, \text{ то } u_{bat}(t) = n(V_{cb}(t) + V_{cp}(t)), \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dV_{cb}}{dt} = \frac{i_{bat}(t)}{C_b(t)}, \\ \frac{dV_{cp}}{dt} = -\frac{1}{R(t)C_p}V_{cp} + \frac{i_{bat}(t)}{C_p}, \end{cases} \quad (2)$$

$$SOC(t) = \frac{V_{cb}(t) - 2}{0.16} \quad (3)$$

$$\blacksquare \text{ если } u_{bat} > nV_g, \text{ то } u_{bat}(t) = n(V_{cb}(t) + R(t)i_{bat}(t)), \quad (4)$$

$$SOC(t) = 1, \quad (5)$$

$$V_{cb}(t) = 2.16V, \quad (6)$$

$$R(t) = \frac{1}{C_{10}} \left(\frac{6}{1 + i_{bat}^{0.6}(t)} + \frac{0.48}{\left(1 - \frac{(V_{cb}(t) - 2)}{0.16}\right)^{1.2}} \right), \quad (7)$$

$$C_b(t) = \frac{1.67 C_{10}}{1 + 0.67 \left(\frac{i_{bat}(t)}{I_{10}} \right)^{0.9}} \frac{1}{n 0.16}, \quad (8)$$

$$I_{10} = \frac{C_{10}}{10}, \quad (9)$$

где i_{bat} - ток батареи, A ; u_{bat} - напряжение батареи, V ; n - количество ячеек; $V_g = 2.35V$ - напряжение газообразования; V_{cp} - напряжение поляризации, V ; V_{cb} - электродвижущая сила, V ; SOC - состояние заряда батареи; R - внутренний резистор; C_p - поляризационный конденсатор, F ; C_{10} - номинальная емкость, Ah , после 10-часовой зарядки; I_{10} - зарядный ток, соответствующий C_{10} .

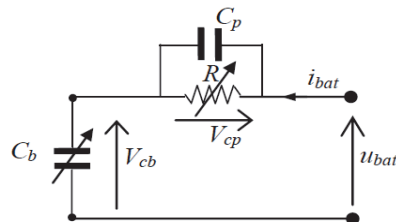


Рис. 4. Эквивалентная схема для аккумулятора

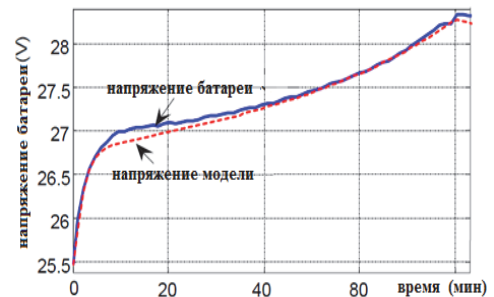


Рис. 5. Зависимость напряжения аккумулятора от времени при заряде 5 А и температуре 25°C

Проведена идентификация параметров модели для АКБ, состоящей из четырех свинцово-кислотных батарей. Для каждой батареи номинальная емкость составляет $C_{10} = 95Ah$, номинальное напряжение – 12 В, а количество ячеек - 6. В батарейном блоке (модуле) выбирается последовательное/параллельное соединение четырех батарей, чтобы получить полное напряжение 24 В с двумя наборами в параллельном и двумя - в последовательном расположении.

Испытания заряда проводились с регулируемым током DC/DC-конвертером. Во время испытания ток и температура поддерживались постоянными. Для постоянного тока батареи ($i_{bat} = 5A$) сравнение напряжения батареи и напряжения модели показано на рис. 5.

Б. Отслеживание тока аккумулятора

Алгоритм отслеживания тока батареи (рис.3) предназначен для определения тока и опорной мощности, необходимых для зарядки аккумулятора. Оценка значения тока и мощности основана на модели батареи. Можно сделать три замечания:

1) Во время зарядки аккумулятора, если ток батареи поддерживается на постоянном высоком уровне, напряжение аккумулятора увеличивается быстро, пока оно не достигнет напряжения газообразования ($V_g = 2.35V$). Когда напряжение батареи превышает это значение, экспериментальные результаты показывают, что может возникнуть избыточное давление газа в батарее. Газ может выходить через предохранительные клапаны, что сокращает срок службы батареи, и может произойти взрыв.

2) Во время зарядки аккумулятора внутренний резистор все еще зависит от SOC аккумулятора. Его значение увеличивается с высокой скоростью, когда аккумулятор SOC высок. В этом случае при постоянном токе батареи потери батареи более важны. Следовательно, эффективность батареи более низкая.

3) Если аккумулятор разряжен и с постоянным током аккумулятора $i_{b\max} = C_{10}/5$, SOC батареи может достигать всего 68%. При постоянном токе аккумулятора $i_{b\min} = C_{10}/100$, SOC батареи может достигнуть 95%, но время зарядки становится больше, чем раньше.

Чтобы обеспечить высокую SOC батареи, более короткое время зарядки, защиту от перегрузки и высокую эффективность, важно уменьшить потери батареи и сохранить напряжение батареи ниже значения напряжения газирования.

Таким образом, сущность заключается в загрузке батареи с максимальным током вначале и затем ее уменьшении в соответствии с предлагаемым алгоритмом отслеживания тока батареи.

4. Результаты имитационного моделирования. Существует несколько различных методов (этапов или шагов) в алгоритме заряда аккумуляторных батарей.

Чтобы проверить предложенную схему управления, имитационное моделирование стратегии управления свинцово-кислотным зарядным устройством сначала выполняется с использованием программного обеспечения Matlab-Simulink. Начальное напряжение батареи составляет 25 В.

Для разных начальных токов батареи $i_{b\max}$ (10А и 20А) на рис. 6 и 7 показана рассчитанная величина тока батареи с использованием предложенного метода.

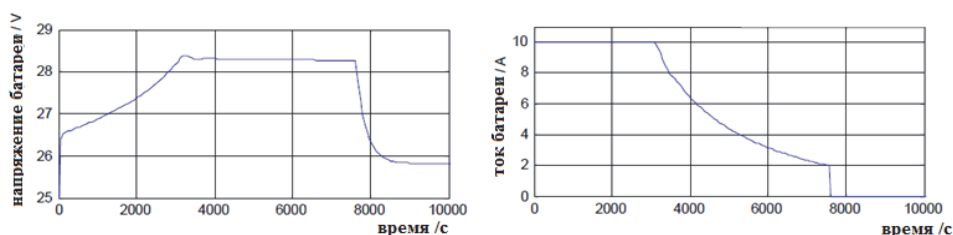


Рис. 6. Процесс зарядки аккумулятора с начальным током батареи $i_{b\max} = 10A$

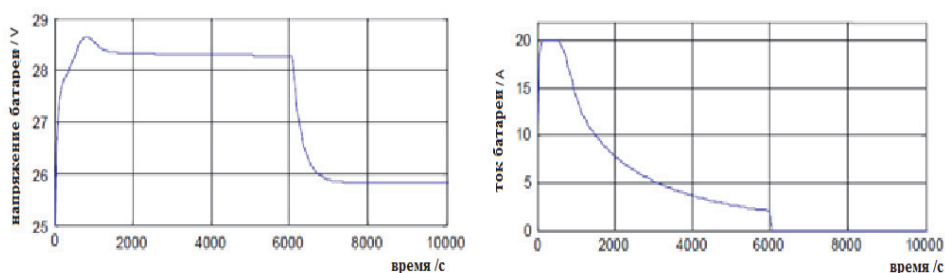


Рис. 7. Процесс зарядки аккумулятора с начальным током батареи $i_{b\max} = 20A$

Полученное напряжение батареи не превышает напряжение газирования и предел перезарядки. Для обоих тестов напряжение батареи достигает значения напряжения, соответствующего самому высокому уровню состояния заряда (SOC) батареи.

Предлагаемый метод позволяет заряжать аккумулятор в два этапа: фаза "Bulk" сопровождается фазой "Absorption". Фаза "Bulk" - самая важная и главная в алгоритме заряда. На этом этапе, на АКБ подаётся ток такой силы, сколько позволяет зарядное устройство или может принять АКБ, но не превышающий 10% от номинальной ёмкости АКБ, до тех пор, пока напряжение батареи не достигнет заданного максимального уровня. Во время фазы "Bulk" напряжение аккумулятора увеличивается по мере увеличения SOC. В этом случае расчетный опорный ток зависит от начального тока батареи $i_{b\max}$. Обычно

фазу "Bulk" называют "режимом зарядки постоянным током": ток зарядного устройства является постоянным, а напряжение аккумулятора постепенно увеличивается. В большинстве случаев по окончании данного этапа АКБ заряжается примерно до 80%. Этого достаточно, чтобы можно было пользоваться АКБ.

Фаза "Absorption" (поглощение) - основная. На этом этапе поведение напряжения и тока зарядки меняется на противоположное по сравнению с тем, которое было на предыдущем этапе. Теперь напряжение поддерживается постоянным, а ток постепенно уменьшается. Фаза зарядки "Absorption" является эффективной только в том случае, если она длится достаточно долго, не менее 4-х часов, до тех пор, что кажется, батарея практически не потребляет ток. Обычно этот этап называют "режимом зарядки постоянным напряжением". Полная зарядка обычно наступает, когда зарядный ток падает до 2% от номинальной ёмкости АКБ.

Во время фазы "Absorption" рассчитанный ток батареи должен быть ограничен, чтобы зарядное напряжение поддерживалось на относительно высоком уровне, чтобы закончить зарядку батареи в подходящее время.

Выводы

Предложен конкретный алгоритм режима работы заряда свинцово-кислотных батарей. С использованием предложенного метода батареи могут заряжаться до высокого уровня заряда SOC батареи и с защитой от перезарядки. Определяются конкретные режимы работы заряда батареи с целью дальнейшего использования при разработке соответствующего контроллера. При изучении потока режима генерации подробно рассмотрен процесс режима заряда, что позволяет представить алгоритм отслеживания тока заряда батареи. Проведено имитационное моделирование с использованием программного обеспечения MATLAB-SIMULINK.

Работа проведена в рамках гранта Национального фонда науки и образования Армении (НФНОА), базирующегося в Нью-Йорке, США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Yu H., Pan J., Xiang A.** A multi-function grid-connected PV system with reactive power compensation for the grid// Solar Energy.- 2005. - V. 79, N. 1. – P. 101-106.
2. **Delille G., Francois B.** A review of some technical and economic features of energy storage technologies for distribution system integration// Ecological engineering and environment protection. – 2009.- V. 1.- P. 40-48.
3. **Lu D., Fakhm H., Zhou T., Francois B.** Application of Petri Nets for the energy management of a photovoltaic based power station including storage units// Renewable energy, Elsevier. – 2010. – V. 35, N. 6. - P. 1117-1124.

4. Analysis and design of a photovoltaic system DC connected to the utility with a power factor corrector / **Y.K. Lo, H.J. Chiu, T.P. Lee, et al** // IEEE Trans. On Ind. Electron. - 2009. – V. 56, N. 11. – P. 4354-4362.
5. **Wang J., Cao B., Chen Q.** Combined state of charge estimator for electric vehicle battery pack// Control Engineering Practice. – 2007. – V. 15. – P. 1569-1576.

**Գ.Հ. ԿԻՐԱԿՈՍՅԱՆ, Ա.Գ. ՔԱՄԱԼՅԱՆ, Վ.Վ. ՄԱՐԳԱՐՅԱՆ,
Վ.Գ. ԽԱՉԱՏՈՒՐՅԱՆ**

**ԼԻՑՔԱՎՈՐՄԱՆ ՍԱՐՔԻ ՀՉՈՐՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱՀՍԿՄԱՆ ԱԼԳՈՐԻԹՄԻ
ՄՇԱԿՈՒՄԸ PV ՑԱՆՑԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ**

Ներկայացված են հիբրիդային ֆոտոէլեկտրական համակարգերի սխեմաների կառուցվածքները: Կատարված է կապարաթթվային կուտակիչների լիցքավորման սարքի աշխատանքի ռեժիմների մոդելավորում: Հիմնական ուշադրությունը հատկացվում է ռազմավարությանը, որը թույլ է տալիս ապահովել մարտկոցի բարձր լիցքավորման վիճակը և վերալիցքավորման ապահովությունը՝ կառավարման համակարգի տեղային մասնագիտացված մշակման ճանապարհով:

Առանցքային բառեր. հիբրիդային ֆոտոէլեկտրական համակարգ, էներգիայի կառավարում, գերկոնդենսատորներ, մարտկոց, լիցքավորման վիճակ:

**G.H. KIRAKOSYAN, A.G. QAMALYAN, V.V. MARGARYAN,
V.G. KHACHATURYAN**

**DEVELOPING A CONTROLLER ALGORITHM FOR THE CHARGER IN
THE GRID-CONNECTED PV SYSTEM**

The structures of the schemes for hybrid PV systems are presented in this article. The modes of operation for a lead-acid battery charger are carried out. A special attention is paid to the strategy, allowing providing the high battery state of charge and the overcharge security by designing a specialized local control system.

Keywords: hybrid PV system, energy management, supercapacitor, battery, state of charge.