

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ

Прокушева В.С., студент; Хорхордин А.В., проф., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина)

Актуальность солнечной энергетики

Солнечная энергетика – одно из перспективных направлений развития возобновляемых источников энергии. Всего за 9 минут Земля получает больше энергии от Солнца, чем человечество производит за весь год. По оценкам некоторых специалистов, к 2100 году солнце станет доминирующим источником энергии на планете, а аналитики международного энергетического агентства прогнозируют, что уже к 2050 году солнечная энергетика будет обеспечивать 20-25% мировых потребностей в электроэнергии.

Разработка любой солнечной батареи связана, прежде всего, с четким представлением режимов ее работы. Чем более точно известны условия эксплуатации солнечной батареи, тем выше ее эффективность. Для решения задач с учетом ее априорной неопределенности появляется необходимость в приспособлении ее к заранее непредвиденным ситуациям.

Процесс адаптации заключается в поддержании требуемого (заданного) качества функционала преобразователя при изменении управляющего фактора U независимо от действия как внешних, так и внутренних воздействий:

$$U \in Y_i$$

где Y_i – i -е количество допустимых управлений.

Проблемы, связанные с солнечной энергетикой.

Практичность и экологически безопасный характер солнечной энергии влияет на людей по всему миру, что видно по продаже оборудования. Каждый год объем продаж фотоэлектрических панелей растет на 15%. Существует 2 основных недостатка в солнечной энергетике: количество солнечного света, и стоимость оборудования. Первый зависит от географии применения, а второй постепенно снижается с увеличением объемов производства. Уже сейчас инвестиции в солнечные элементы оправдывают себя в течении 2-3 лет.

Чтобы решить первую проблему нужно повысить эффективность работы солнечных установок, применяя различные системы автоматического управления, которые позволяют отслеживать положение солнца и тем самым повышать КПД работы подобных установок. Для повышения КПД необходимо периодически поворачивать модуль вслед за солнцем и ориентировать угол его наклона так, чтобы солнечные лучи падали на поверхность под углом 90 град.

Для обоснования целесообразности применения на солнечной поворотной установке какой-либо системы автоматического управления, приведем график зависимости процента вырабатываемой прямой мощности, теряемой вследствие рассогласования (вертикальная ось), и угла рассогласования, то есть угла между ориентацией солнечной батареи и падающими на неё солнечными лучами (рисунок 1).

Эффективная, задействованная в выработке электроэнергии часть фотоэлектрического элемента изменяется с изменением косинуса угла рассогласования панели с солнцем. Небольшие рассогласования могут быть вполне допустимыми вследствие незначительного убывания эффективности (менее 1% до 8 градусов и менее 10% до 25 градусов), однако, с дальнейшим ростом угла рассогласования (более 30 градусов), начинает теряться уже довольно значительный процент мощности. Угол рассогласования можно минимизировать, если использовать автоматическую систему наведения.

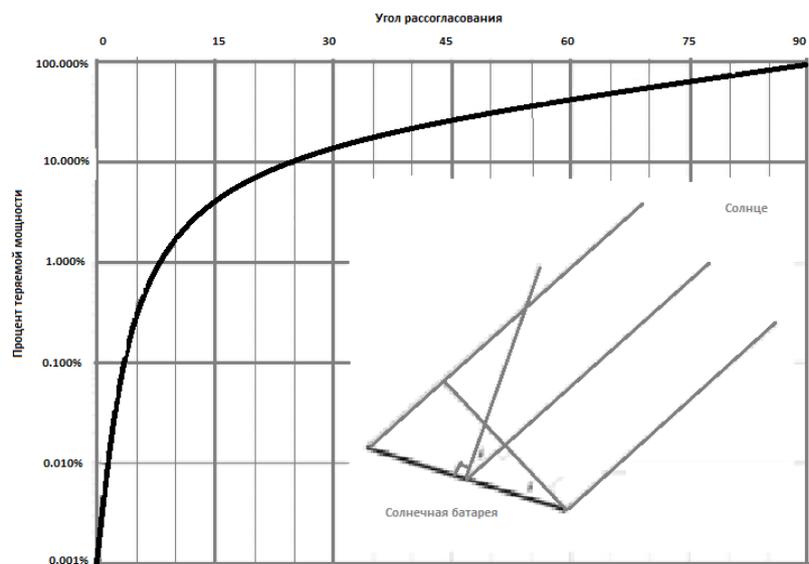


Рисунок 1 - Зависимость процента теряемой мощности от угла

Известные конструкции

Адаптивная система электропитания, выполненная по параллельно-последовательной схеме, которая содержит солнечную батарею (СБ), аккумуляторную батарею (АБ), последовательный регулятор напряжения (РН) СБ, зарядное устройство (ЗУ) и разрядное устройство (РУ) [2].

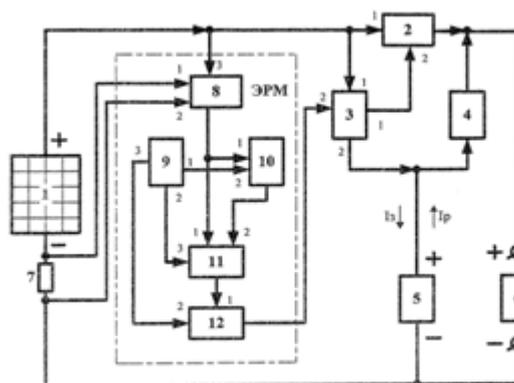


Рисунок 2 - Функциональная адаптивная система электропитания

В такой системе при избытке солнечной энергии напряжение на нагрузке стабилизирует последовательный РН, а избыток энергии направляется зарядным устройством на хранение в аккумуляторную батарею. В случае, если мощности СБ недостаточно для питания нагрузки, то в работу включается разрядное устройство, которое восполняет недостаток мощности и стабилизирует напряжение на нагрузке при несколько меньшем значении выходного напряжения. При этом ЗУ закрывается, а РН полностью открывается.

Недостатками такой системы, во-первых, является то, что она не обеспечивает регулирование напряжения СБ в оптимальной рабочей точке ее вольтамперной характеристики (ВАХ), положение которой существенно зависит от условий и времени эксплуатации (ресурса, температуры, освещенности), то есть не обеспечивается отбор максимума мощности от СБ при изменении параметров ее ВАХ и, во-вторых, то, что она не содержит контур автоматического регулирования положения панелей солнечной батареи относительно Солнца.

Принципы адаптации

Адаптация систем управления имеет иерархическую структуру:

1. уровень: параметрическая адаптация.

Связана с коррекцией и подстройкой параметров с модели. Исходной информацией для параметрической адаптации является рассогласование откликов объекта и модели. В случае цели управления с помощью параметрической адаптации прибегают к структурной адаптации.

2. уровень: структурная адаптация .

Связана с изменением самой структуры модели. Может выполняться в автоматическом режиме. Структурная адаптация может быть реализована путем перехода от одной альтернативной модели к другой. После переходов к другой альтернативной модели требуется идентификация параметров.

3. уровень: адаптация объекта.

К этому виду адаптации прибегают, если даже структурная адаптация не позволяет реализовать некоторые цели. Эта адаптация связана с пересмотром границ объекта. Расширение границ объекта повышает управляемость, но требует дополнительных ресурсов для реализации управления.

4. уровень: адаптация целей управления.

К адаптации целей управления прибегают, если предыдущие уровни не помогают. На этом уровне определяют новое множество целей, которое получают в результате адаптации самого субъекта, т.е. субъект изменяет свои потребности таким образом, чтобы они реализовались в результате достижения объектом нового множества целей.

Функциональная схема

Предлагаемая система электропитания проявляет себя как адаптивная система с изменяющейся внутренней структурой в зависимости от текущего состояния источников электроэнергии и нагрузки 6. РН 2 попеременно переходит из режима регулирования выходного напряжения (напряжения нагрузки 6 при $P_{СБ} > P_{Н}$) в режим регулирования входного напряжения (напряжения СБ при $P_{Н} > P_{СБ}$) и обратно.

Функциональная схема предлагаемой системы электропитания приведена на рисунке 2, на которой обозначено: 1 - солнечная батарея (СБ); 2 - регулятор напряжения (РН); 3 - зарядное устройство (ЗУ); 4 - разрядное устройство (РУ); 5 - аккумуляторная батарея (АБ); 6 - нагрузка; 7 - резистор, выполняющий роль датчика тока СБ; 8 - датчик мощности (ДМ); 9 - синхронизирующий генератор (СГ); 10 - устройство выборки и хранения информации (УВХР1); 11 - устройство сравнения (УС); 12 - корректирующее устройство (КУ); 13 - устройство контроля степени заряженности АБ (УКЗБ); 14, 15 и 16 - электронные ключи (ЭК); 17 - блок управления системой электропитания (БУ); 18 и 19 - шаговые электродвигатели (ШЭД) соответственно приводов горизонтального и вертикального поворота СБ; 20 и 21 - блоки питания и управления (БПУ) соответственно приводов горизонтального и вертикального поворотов (ПП и ПВП) СБ. Устройства 8-16 образуют экстремальный регулятор мощности (ЭРМ) СБ шагового типа. Устройства, блоки и элементы, обозначенные на рисунке 3 цифрами с 1 по 12, идентичны устройствам, блокам и элементам функциональной схемы, приведенной на рисунке 2.

СБ располагается на механической системе, обеспечивающей возможность поддерживать ее устойчивое положение в пространстве, в том числе и перпендикулярное положение СБ по направлению на Солнце.

Система электропитания работает следующим образом.

Последовательность работы ППП и ПВП, а также канала регулирования максимума мощности по ВАХ СБ 1 определяет и задает БУ системой электропитания 17, который в любой момент времени разрешает открытое состояние только одному из ЭК 14, 15 или 16 (через управляющие выходы БУ 1, 2 и 3). Управляющий сигнал на изменение положения или режима работы системы электропитания от СГ 9 проходит только на одно исполнительное устройство (КУ 12, БПУ 20 приводом горизонтального поворота СБ 1 или БПУ 21 приводом вертикального поворота СБ 1).

В случае если открыт ЭК 14 и закрыты ЭК 15 и 16, то ПГП и ПВП не работают и СБ 1 остается неподвижной. Система электропитания в этом случае находится в режиме регулирования максимума мощности по ВАХ СБ 1. Она реализует экстремальное регулирование мощности СБ 1 в одном из двух режимов - ЗУ 3 или РУ 4 (в зависимости от соотношения мощности, которую может отдать СБ 1, и требуемой мощности для питания нагрузки 6) [4].

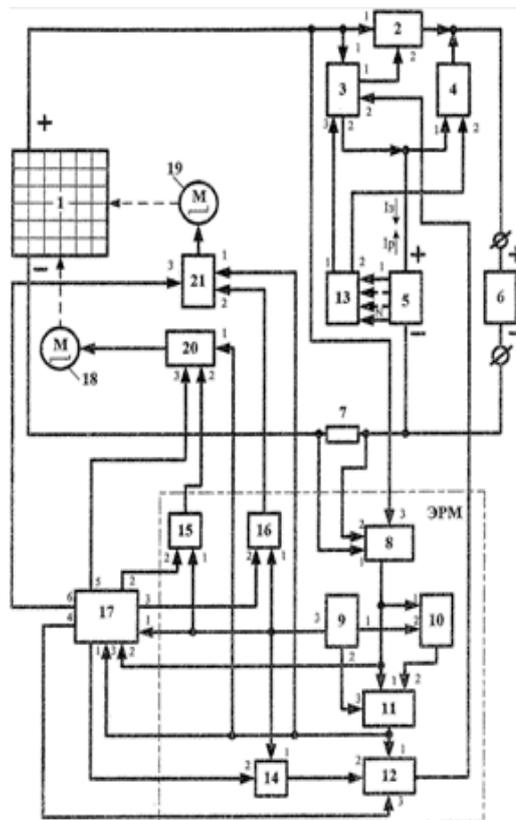


Рисунок 3 – Функциональная схема устройства

В первом режиме входящий в состав ЭРМ ДМ 8, обрабатывая информацию о напряжении и токе СБ 1 в рабочей точке ВАХ, формирует на своем выходе напряжение, пропорциональное текущему значению мощности, вырабатываемой СБ 1. По сигналу от СГ 9 (с выхода 1) это значение мощности запоминается в УВХИ 10, после чего по следующему сигналу СГ 9, поступающему с выхода 3 на управляющий вход 1 ЭК 14 и далее на вход 2 КУ, рабочая точка на ВАХ СБ 1 смещается вследствие воздействия на усилитель ошибки широтно-импульсного модулятора (ШИМ) ЗУ 3, осуществляемого КУ 12 (сигнал поступает с выхода КУ 12 на вход 2 ЗУ 3). Затем по сигналу с выхода 2 СГ 9 УС 11 сравнивает вновь измеренное текущее значение мощности СБ 1 с предыдущим значением. Выходной сигнал УС 11 воздействует на КУ 12, определяя направление последующего смещения рабочей точки на ВАХ СБ 1. При уменьшении мощности, генерируемой СБ 1, КУ 12 изменяет направление поиска экстремума на противоположное. Одновременно в УВХИ 10 по сигналу с выхода 1 СГ 9 запоминается новое текущее значение мощности СБ 1. В дальнейшем процесс повторяется. Таким образом осуществляется работа системы электропитания в режиме максимальной мощности СБ 1 (при этом осуществляются непрерывные поисковые колебания напряжения СБ вокруг оптимальной рабочей точки ВАХ. В режиме заряда АБ 5 смещение рабочей точки на ВАХ СБ происходит из-за изменения длительности открытого состояния силовых ключей ЗУ 3.

Во втором режиме, когда СБ не может обеспечить требуемую мощность в нагрузке 6, ЗУ 3 закрывается и в работу включается РУ 4, которое стабилизирует напряжение на нагрузке 6. Напряжение на СБ 1 несколько понижается. Регулирование напряжения СБ 1

начинает обеспечивать РН 2 (в заданном ЭРМ поддиапазоне). В этом режиме рабочая точка на ВАХ СБ 1 смещается вследствие воздействия на усилитель ошибки ШИМ РН 2, осуществляемого КУ 12 через ШИМ ЗУ 3 [4]. Во втором режиме система электропитания работает аналогично описанной выше работе в первом режиме регулирования максимума мощности СБ 1 ЗУ 3. Также осуществляются непрерывные поисковые колебания напряжения СБ 1 вокруг оптимальной точки ВАХ. Весь ток, генерируемый СБ 1, РН 2 направляется в нагрузку 6.

Система электропитания проявляет себя как адаптивная система с изменяющейся внутренней структурой в зависимости от текущего состояния источников электроэнергии и нагрузки 6. РН 2 попеременно переходит из режима регулирования выходного напряжения (напряжения нагрузки 6 при $P_{СБ} > P_{н}$) в режим регулирования входного напряжения (напряжения СБ при $P_{н} > P_{СБ}$) и обратно.

В дальнейшем, по истечении заданного времени, БУ 17 снова останавливает работу канала регулирования экстремума мощности по ВАХ СБ и разрешает работу канала поиска Солнца по горизонтали. Цикл работы системы автоматического регулирования повторяется.

УКЗБ 13 введено с целью защиты от аварийных ситуаций АБ 5 и достижения длительных сроков функционирования системы электропитания. Оно осуществляет контроль степени заряженности АБ 5 по заданным параметрам для конкретного типа используемой АБ (например, по емкости, напряжению, давлению и температуре внутри АБ 5).

В случае отсутствия сигнала на выходе ДМ 8, например в ночное время, БУ 17 устанавливает систему электропитания в заданный режим работы и запрограммированное положение панелей СБ 1 путем воздействия на КУ 12 и БПУ ПГП и ПВП 20 и 21 (с выходов 4, 5 и 6 БУ 17).

Вывод:

Адаптивная электрическая система электропитания обеспечивает максимально возможную энергетическую эффективность - получение максимально возможного количества электроэнергии с конкретной площади СБ. Расширение области применения достигается единой системой автоматического регулирования, обеспечивающей как регулирование напряжения СБ в оптимальной рабочей точке ВАХ, так и непрерывной ориентацией СБ на Солнце. Автоматическое регулирование осуществляется по измеряемому параметру - мощности, генерируемой СБ.

Перечень ссылок

1 Яковлев В.Б. Адаптивные системы автоматического управления Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. — 204 стр.

2. Системы электропитания космических аппаратов. / Б.П.Соустин, В.И.Иванчура, А.И.Чернышев, Ш.Н.Исляев. - Новосибирск: Наука, 1994. - 318 с. [С.11, рис.1.3].

3. Пат. РФ № 2286517, F24J 2/24. Солнечная фотоэлектрическая установка. /Ж.И.Алферов, В.М.Андреев, В.Н.Зазимко, В.Р.Ларионов, В.Д.Румянцев, А.Е.Чалов. Опубл. 27.10.2006. Бюл. № 30.

4. Шиняков Ю.А. Экстремальное регулирование мощности солнечных батарей автоматических космических аппаратов. / Ю.А.Шиняков // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева. - 2007. - Вып.1 (12). - С.123-128 [с.124, рис.1] - прототип.