

- опасность»- т. Т1 - Томск, 3-5 декабря, 2003г. - Томск: Изд. ТПУ, 2003. - с. 105-108.
4. Сарсикеев Е.Ж., Лукутин Б.В., Дементьев Ю.Н., Ляпунов Д.Ю. Имитатор механических характеристик ветротурбины. Патент на полезную модель RUS 136166 11.07.2013.
  5. Киница О. И. Автономный источник напряжения стабильной частоты для систем децентрализованного энергоснабжения: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03.- Комсомольск-на-Амуре, 2006.- 132 с.: ил.
  6. Bolgov I.S., Dementyev Yu.N., Bolgova V.A. Simulation modelling of a pulse frequency-phase discriminator/*Applied Mechanics and Materials*. 2015. Т. 792. p. 95-100.
  7. Bedri Kekezoglu, Mugdeşem Tanriöven, Ali Erduman. A New Wind Turbine Concept: Design and Implementation. *Acta Polytechnica Hungarica* Vol. 12, No. 3, 2015 DOI: 10.12700/APH.12.3.2015.3.12
  8. Abderrahmen Mechter, Karim Kemih, Malek Ghanes. Sliding Mode Control of a Wind Turbine with Exponential Reaching Law. *Acta Polytechnica Hungarica* Vol. 12, No. 3, 2015 DOI: 10.12700/APH.12.3.2015.3.10

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ПОВЫШАЮЩЕГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ НА БАЗЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

К.Н. Чичманов  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5ГМ71

Автором было проведено исследование на основе повышающего преобразователя (ППН), входящего в состав структуры инвертора для солнечных батарей как наиболее перспективного по массогабаритным показателям и КПД. Функциональная схема такой системы изображена на рис. 1 [3].

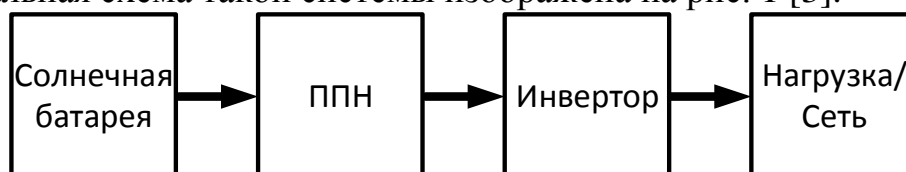


Рис. 1. Функциональная схема инвертора солнечных батарей

Для расширения диапазона работы солнечного инвертора в качестве промежуточного звена между солнечной батареей (СБ) и сетевым инвертором используется преобразователь постоянного напряжения, который так же может производить отслеживание точки максимальной мощности (maximum power point tracking – MPPT), его структурная схема приведена на рис. 2. В качестве такого преобразователя энергии могут выступать понижающий, повышающий, инвертирующий преобразователи или преобразователь, выполненный по схеме Кука. Подобные схемы обеспечивают высокий КПД за счёт снижения количества силовых элементов, при этом массогабаритные показатели фильтра мини-

мизируются высокими частотами преобразования. Одним из основных способов повышения энергетической эффективности фотоэлектрических установок является реализация режима отбора максимума мощности в соответствующей точке вольтамперной характеристики (ВАХ) солнечной батареи. На рис. 3 даны примеры ВАХ и вольтваттных характеристик (ВВХ) фотоэлектрической панели КСМ-160 [4].

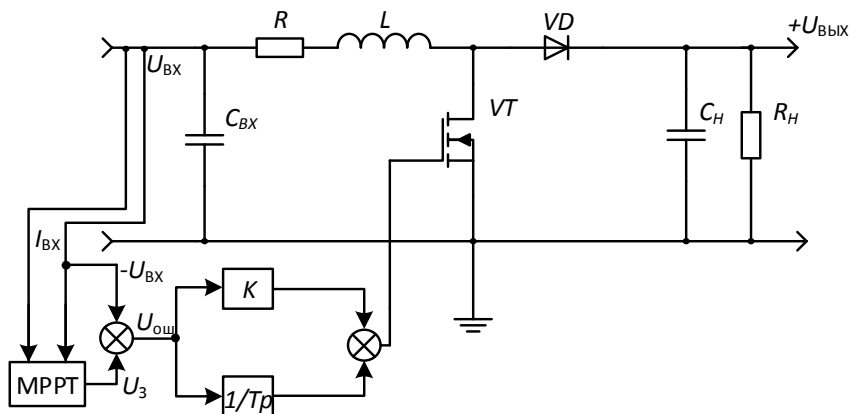


Рис. 2. Структура преобразователя энергии солнечных батарей

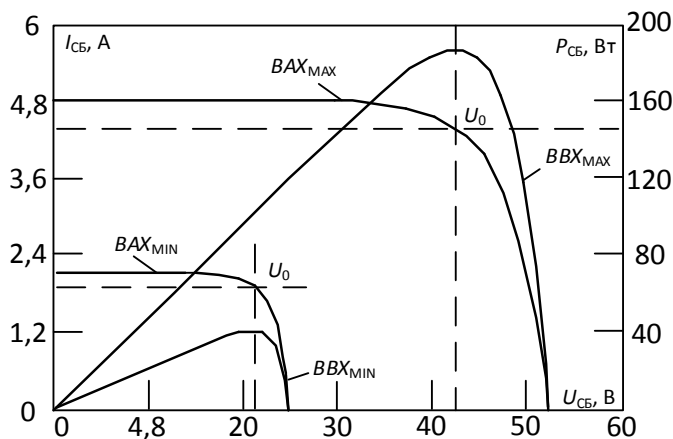


Рис. 3. ВАХ и ВВХ солнечной панели КСМ-160

Типовая схема повышающего преобразователя энергии солнечных батарей изображена на рис. 4.

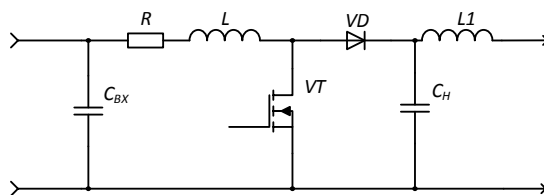
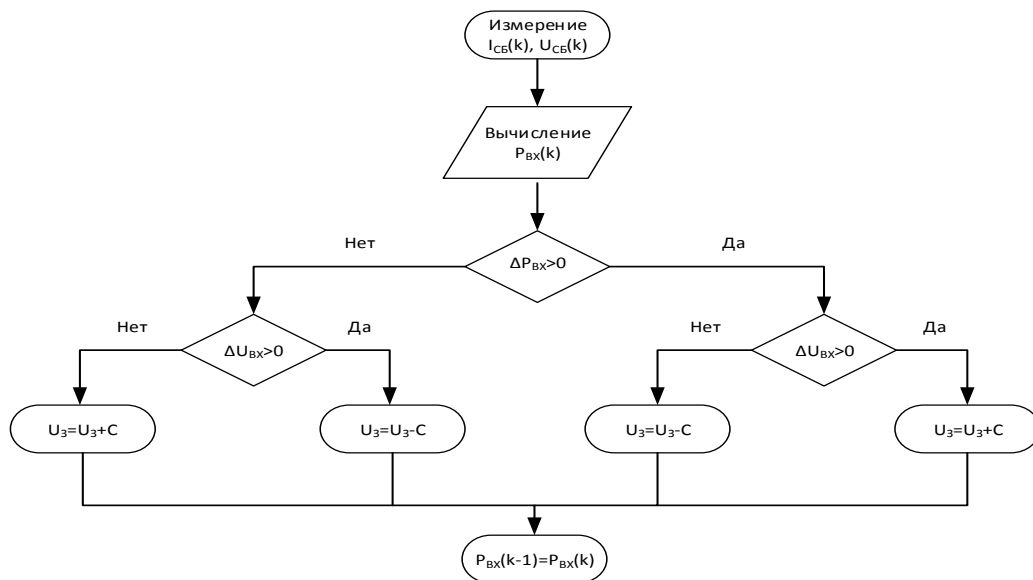


Рис. 4. Типовая схема повышающего преобразователя

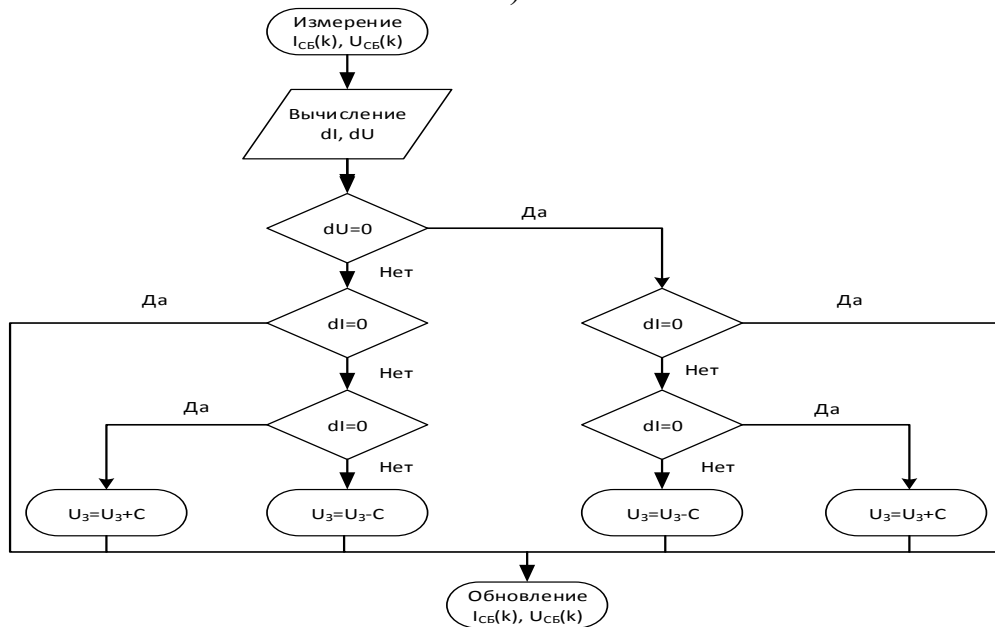
Повышающий преобразователь имеет на выходе дроссель, обеспечивающий непрерывность входного тока и стабильность рабочей точки ВАХ по току. При этом происходит увеличение напряжения на всем диапазоне регулирования, что приводит к необходимости использования байпаса для предотвращения превышения выходного напряжения. Учитывая топологию функциональной схемы конечного устройства (рис. 1), наиболее приемлемым вариантом является использование именно этого схемного решения. Из наиболее распространенных типов преобразователей самым высоким КПД обладает ППН.

Для оптимизации выходной мощности фотомодулей, как правило, используется один из известных алгоритмов. В некоторых устройствах для отслеживания точки максимальной мощности реализуют несколько алгоритмов (рис. 5), и переключения между ними осуществляются в зависимости от условий работы. Основными средствами алгоритмизации МРРТ являются: метод возмущения и наблюдения (рис. 5, а), а также методы возрастающей проводимости (рис. 5, б) и постоянного напряжения [1].

При использовании метода возмущения и наблюдения устройство на небольшую величину изменяет эквивалентное входное сопротивление преобразователя (путём варьирования скважности силового ключа или изменения задания на входные величины напряжения, тока или мощности), вследствие чего варьируется напряжение на СБ и далее производится измерение её выходных параметров. Если мощность увеличивается – контроллер продолжает изменять задающий параметр в этом же направлении, пока мощность не перестанет возрастать. Данный метод является наиболее распространённым, несмотря на то, что он приводит к колебаниям мощности.



а)



б)

Рис. 5. Блок-схемы алгоритмов отслеживания точки максимальной мощности: а) методом возмущения и наблюдения; б) методом возрастающей проводимости

Его широкое применение обусловлено простотой и может быть реализовано на основе функциональной схемы системы управления ППН, приведенной на рис. 6.

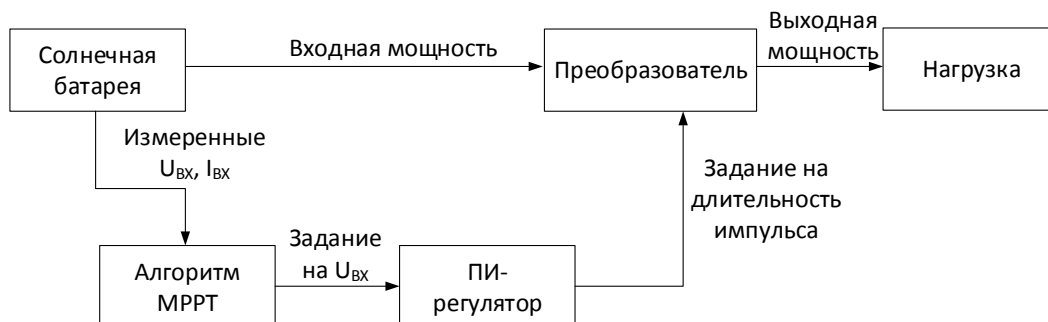


Рис. 6. Функциональная схема системы управления ППН

В методе возрастающей проводимости преобразователь фиксирует увеличение тока и напряжение СБ, чтобы предсказать эффект от изменения напряжения. Он требует увеличения вычислений микроконтроллером, но при этом отслеживает изменение окружающих условий с большей скоростью, чем предыдущий метод. Однако, этот способ так же приводит к колебаниям мощности. Рассматриваемый метод использует возрастающую проводимость  $dI/dU$  солнечной батареи для вычисления знака изменения мощности по отношению к напряжению  $dP/dU$ . При этом вычисляется точка максимальной мощности и производится сравнение возрастающей проводимости  $\Delta I/\Delta U$  с проводимостью СБ ( $I/U$ ). При выполнении условия  $\Delta I/\Delta U = I/U$ , выходное напряжение равно напряжению, соответствующему наибольшему значению мощности. Уставка ПИ-регулятора по напряжению поддерживается пока не изменится уровень освещённости, далее процесс повторяется.

Были проведены имитационное моделирование и экспериментальные исследования. Получены графики выхода на рабочую точку и отыскание новых максимумов мощности при изменении величины освещённости фотомодуля.

Адаптивный алгоритм реализован следующим образом: при последовательном движении текущей рабочей точки в одну сторону увеличивается и шаг приращения задания на входное напряжения на каждой итерации; если на предыдущем шаге мощность увеличилась, а на текущем – уменьшилась, то при этом шаг приращения уменьшается.

Рассмотренные алгоритмы нацелены в первую очередь на отыскание локальных максимумов мощности СБ. Все они предполагают колебания мощности, которые могут быть снижены с помощью введения алгоритмов изменения шага, один из которых (адаптивный, возмущения и наблюдения) описан выше. Алгоритм возрастающей проводимости гораздо быстрее обрабатывает изменения освещённости, однако для корректной работы необходимо производить больше арифметических операций на каждом такте его работы. К недостаткам данного метода так же можно отнести высокую чувствительность к помехам и изменению шага.

В результате экспериментов были получены опытные вольтамперные характеристики  $U = f(I)$  и вольтваттные  $P = f(I)$  характеристики. На основе их анализа были выявлены точки экстремумов мощности для каждой зависимости.

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Для увеличения точности (до 99%) экстремального регулирования мощности наиболее приемлем алгоритм изменения шага регулируемого параметра (ток, напряжение, мощность СБ или скважность ключа) при определении максимума мощности.
- Метод возмущения и наблюдения является наилучшим, поскольку менее требователен к ресурсам микроконтроллера и, при реализации адаптивного алгоритма, обеспечивает высокий уровень точности, сочетающийся с достаточным быстродействием.

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Pradeep Kumar Yadav A., Thirumaliah S., Haritha G. Comparison of MPPT Algorithms for DC-DC converters based PV systems // Directory of open access journals. 2013. URL: <https://doaj.org/article/10517792b1d843e9b69779fb5560a214> (дата обращения: 20.08.2017).
2. Manimekalai P., Harikumar R., Raghavan S. A Hybrid Maximum Power Point Tracking with Interleaved Converter for Standalone Photovoltaic Power Generation System // International Energy Journal. – 2014. – Vol. 14. – issue 12. – pp. 143–154.
3. Сопоставительный анализ энергетической эффективности преобразования энергии солнечной батареи преобразователями постоянного напряжения // Осипов А.В., Шурыгин Ю.А., Шиняков Ю.А., Отто А.И., Черная М.М.- Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2013. – Т. 27. – № 1. – С. 14–19.
4. Характеристики фотоэлектрического модуля КСМ-160 // ОАО НПФ «Квант». 2013. URL: [www.rusnanonet.ru/download/nano/file/ksm160.pdf](http://www.rusnanonet.ru/download/nano/file/ksm160.pdf) (дата обращения 20.08.2017).

Научный руководитель: С. М. Семёнов, ст. преподаватель каф. ЭПЭО ЭНИН ТПУ.

### **МОДУЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ВЕДОМОГО ИНВЕРТОРА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

А.И. Горшенина  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭПЭО, группа 5Г4Б

На практике довольно часто возникают задачи, когда необходимо передавать избыток электрической мощности обратно в питающую сеть. Например, такая ситуация возникает в тех случаях, когда выпрямительное устройство питает якорную цепь машины постоянного тока в системе электропривода какого-либо транспортного средства или грузоподъемного механизма. При движении транспорта под уклон или грузоподъемного механизма вниз (с грузом) машина постоянного тока переходит из двигательного режима работы в генераторный за счет механической энергии, подводимой к ней от исполнительного механизма. Известно, что ведомым инвертором называется инвертор, частота, форма и величина выходного напряжения которого, определены внешней сетью [1]. Из всего многообразия применений ведомых инверторов, перспективным является использование этого силового преобразователя при создании энергосберегающих имитационных комплексов для испытаний энергопреобразующей аппара-