

УДК 621.314

Маляренко Євген Анатолійович, асп., асистент кафедри промислової і біомедичної електроніки. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. тел. +38-099-322-20-36. e-mail: ievgenmaliarenko@gmail.com

ПОСЛІДОВНА ФОТОЕНЕРГЕТИЧНА СИСТЕМА НА БАЗІ УЗГОДЖУВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ГАЛЬВАНІЧНОЮ ІЗОЛЯЦІЄЮ

Розглядається послідовна фотоенергетична система на базі напівпровідникових перетворювачів при інтеграції з вуличним освітленням. Проводиться аналіз перехідних та усталених процесів системи на основі MatLab моделей.

Ключові слова: фотоенергетична система, вуличне освітлення, перехідний процес, узгоджувальний перетворювач.

Маляренко Евгений Анатольевич, асп., ассистент кафедры промышленной и биомедицинской электроники Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», м. Харьков, Украина. ул. Фрунзе, 21, м. Харьков, Украина, 61002. тел. +38-099-322-20-36. e-mail: ievgenmaliarenko@gmail.com

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ ФОТОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА БАЗЕ СОГЛАСУЮЩИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Рассматривается последовательная фотоэнергетическая система на базе полупроводниковых преобразователей при интеграции с уличным освещением. Проводится анализ переходных и установившихся процессов системы на основании MatLab моделей.

Ключевые слова: фотоэнергетическая система, уличное освещение, переходный процесс, согласующий преобразователь.

Maliarenko Ievgen, Ph.D. student, Teaching Fellow at Industrial and Biomedical Electronics Department. National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002. tel. +38-099-322-20-36. e-mail: ievgenmaliarenko@gmail.com

SERIES PHOTOVOLTAIC SYSTEM BASED ON MATCHING CONVERTERS WITH GALVANIC ISOLATION

The series photovoltaic system based on semiconductor converters for integration with street lighting are considered. The analysis of transient and steady state processes of the system based on MatLab models are performed.

Keywords: photovoltaic system, street lighting, transient process, matching converter.

Анализ состояния проблемы и постановка задачи исследования

Солнечные фотоэлектрические массивы (СФЭМ) формируются путем последовательного, параллельного и смешанного соединения солнечных панелей для достижения необходимого уровня напряжения и мощности. Основной проблемой при использовании фотоэлементов является нелинейное внутреннее сопротивление каждого фотоэлектрического модуля, которая особенно проявляет себя при неравномерном освещении или частичном затенении солнечных панелей, соединенных последовательно, что приводит к снижению эффективности, а также приводит к перегреву затененной солнечной панели [1].

С учетом анализа литературных источников и существующих распределенных фотоэнергетических систем предложена обобщенная структура фотоэнергетических систем (ПФЭС) интегрированных с уличным освещением, которая включает в себя следующие основные узлы: солнечные панели $PV1, PV2, \dots, PVn$; индивидуальные согласующие DC/DC преобразователи, обеспечивающие работу панелей в точке максимальной мощности $MPPT$ и гальваническую развязку каждой солнечной панели от линии постоянного тока и традиционной сети переменного тока; светильники уличного освещения LED ; линии постоянного тока $DC Line$; сетевой DC/AC инвертор тока, обеспечивающий связь с низковольтной сетью переменного тока (рис. 1) [2–4].

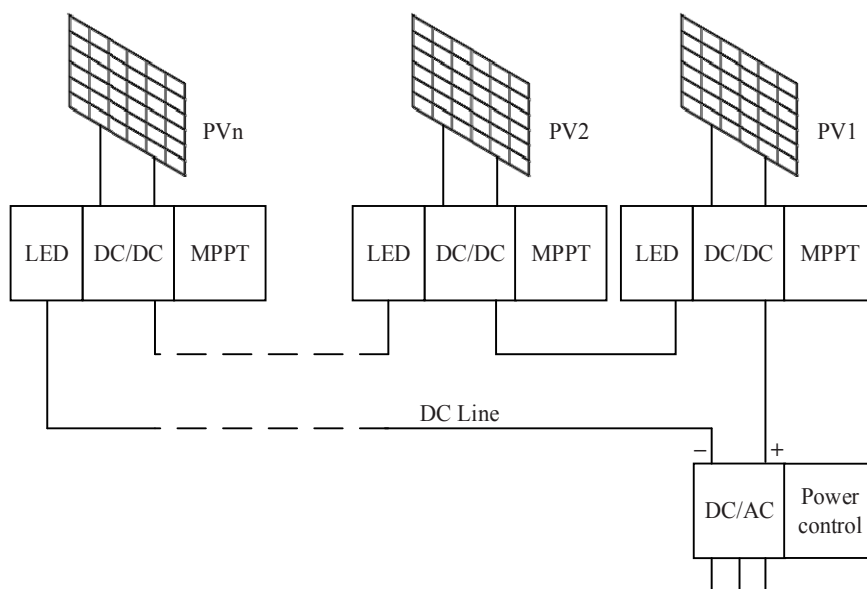


Рис. 1. Общая структура фотоэнергетической системы

При последовательной организации системы необходимо проанализировать возможные переходные процессы, возникающие в результате совместной работы согласующих преобразователей на общую нагрузку, а также изменения освещенности солнечных панелей. Также необходимо оценить условия эксплуатации солнечных панелей при последовательном подключении и изменении нагрузки единичного преобразователя.

Индивидуальные согласующие преобразователи

Индивидуальные согласующие преобразователи, устанавливаемые на каждой солнечной панели, дают возможность рассматривать данные системы как одномерные массивы из n независимых объектов. При этом единичный объект системы состоит из солнечной панели PV , согласующего преобразователя с гальванической изоляцией, светодиодного светильника $LEDn$ с шунтирующим реле S и системы управления (рис. 2).

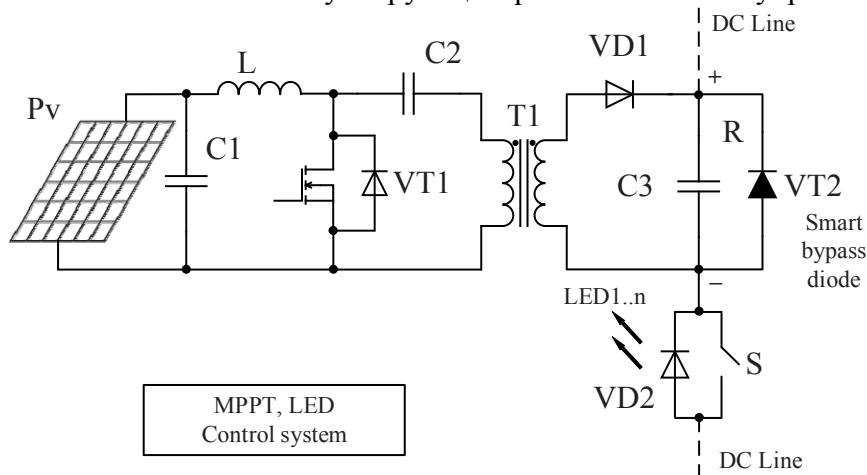


Рис. 2. Внутренняя структура единичного объекта ПФЭС

Все объекты системы подключаются последовательно друг к другу через общую линию постоянного тока, которая представляет собой источник энергии для сетевого инвертора тока в дневное время с замкнутым ключом S и нагрузку в виде светодиодного освещения в ночное время с разомкнутым ключом S , при этом ключ $VT2$ шунтирует выходную емкость согласующего преобразователя $C3$ (рис. 2).

Сетевой преобразователь представляет собой инвертор тока с ШИМ с распределенной индуктивностью в звене постоянного тока и емкостным сетевым фильтром. В качестве

полупроводниковых приборов данный преобразователь требует использования двухквadrантных ключей со знакопеременным напряжением. Инвертор тока как сетевой преобразователь обеспечивает двунаправленный поток мощности, электромагнитную совместимость с сетью, обеспечивает функцию повышения напряжения, а также возможность плавного регулирования тока.

Система: солнечная панель – согласующий преобразователь

Для анализа работы согласующего преобразователя в условиях установившихся и переходных процессов: скачкообразного изменения нагрузки преобразователя и изменения уровня освещенности солнечной панели разработана модель, которая состоит из солнечной панели Pv , DC/DC SEPIC согласующего преобразователя и системы управления.

В качестве модели солнечной панели принята двух резистивная модель, состоящая из источника тока I_{ph} , пропорционального освещенности, последовательного R_{s_array} и параллельного R_{p_array} резисторов солнечной панели, а также параллельного диода $VD1$ (рис. 3), которая описывается выражением (1) [5].

$$I_{pv} = I_{pv_sc} \left(e^{\frac{V_d}{VT}} - 1 \right), \quad (1)$$

где I_{pv_sc} – ток короткого замыкания солнечной панели;

V_d – напряжение смещения диода $VD1$;

VT – коэффициент учитывающий температуру солнечной панели и количество ячеек.

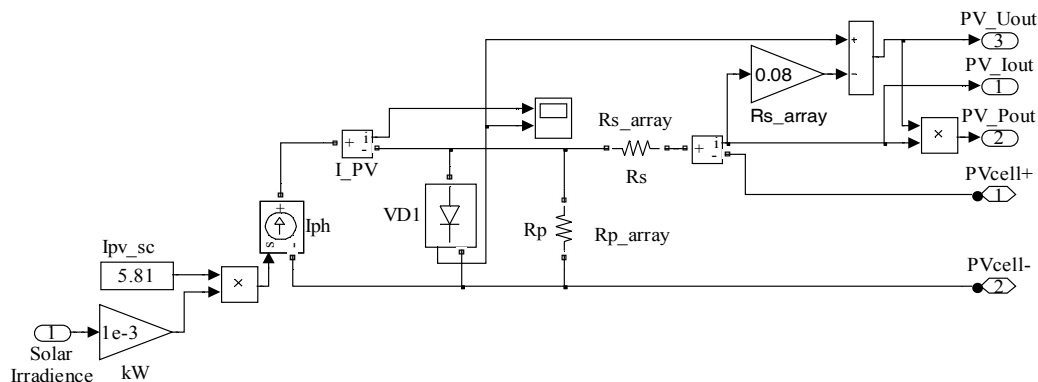


Рис. 3. Двухрезистивная модель солнечной панели

Данная модель позволяет задать тока короткого замыкания I_{pv_sc} солнечной панели и интенсивность солнечного излучения в соответствии с графиком блока *Irradiance* (рис. 5), а математическая модель параллельного диода $VD1$ обеспечивает возможность задания темнового тока I_{o_array} солнечной панели (рис. 4).

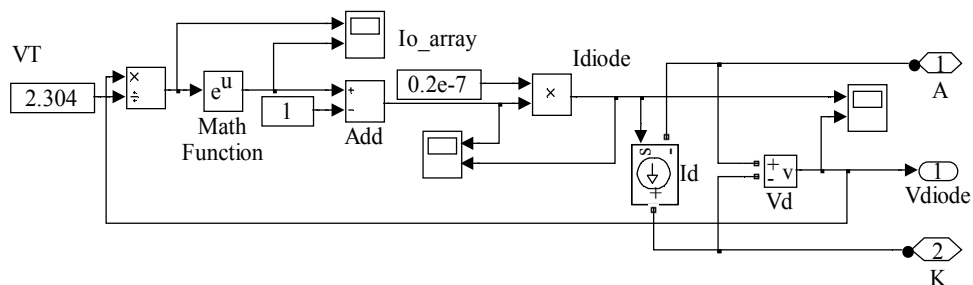


Рис. 4. Модель параллельного диода солнечной панели

Общая модель системы содержит дополнительные блоки: задания освещенности солнечной панели (*Irradiance*), систему управления (MPPT Control), блок ограничения выходного напряжения (*Limitation U_{out}*) и блок нагрузок (R_{load1} , R_{load2}) (рис. 5).

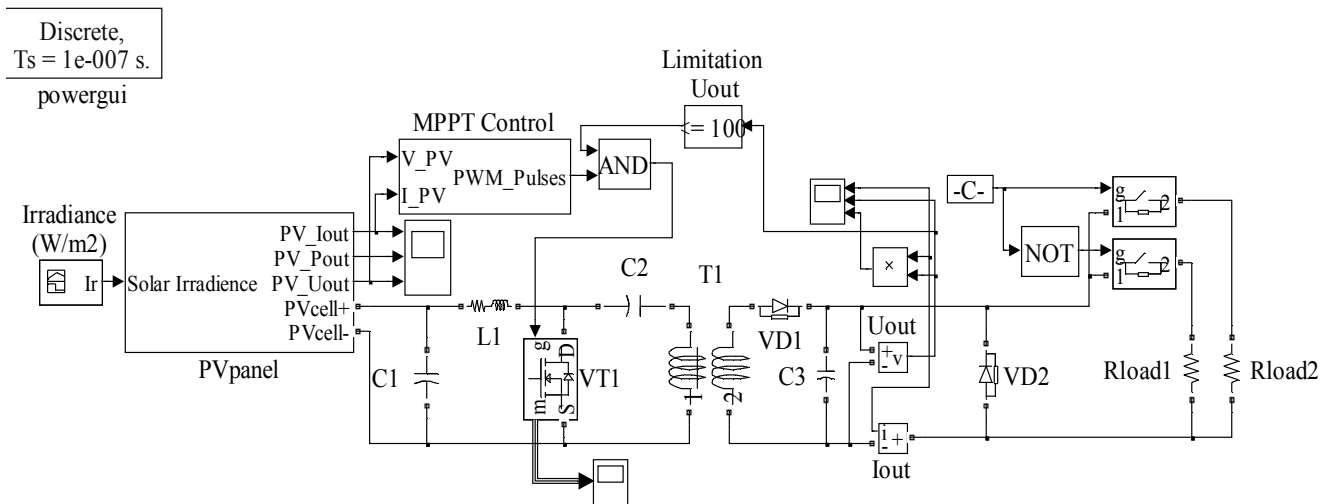


Рис. 5. Общая модель системы: солнечная панель – согласующий преобразователь

Система управления согласующим преобразователем реализует инкрементальный MPPT алгоритм, а регулятор построен на базе дискретного интегратора, что обеспечивает максимальное отклонение от точки максимальной мощности пропорциональное шагу интегрирования регулятора [6].

Результаты моделирования и дальнейшее направление исследований

1. В результате моделирования получено семейство вольтамперных характеристик солнечной панели CANADIAN SOLAR INC. CS5A-205M при различных уровнях освещенности, которые подтверждают адекватность модели солнечной панели на основании соответствия основных технических параметров солнечной панели результатам моделирования (рис. 6).

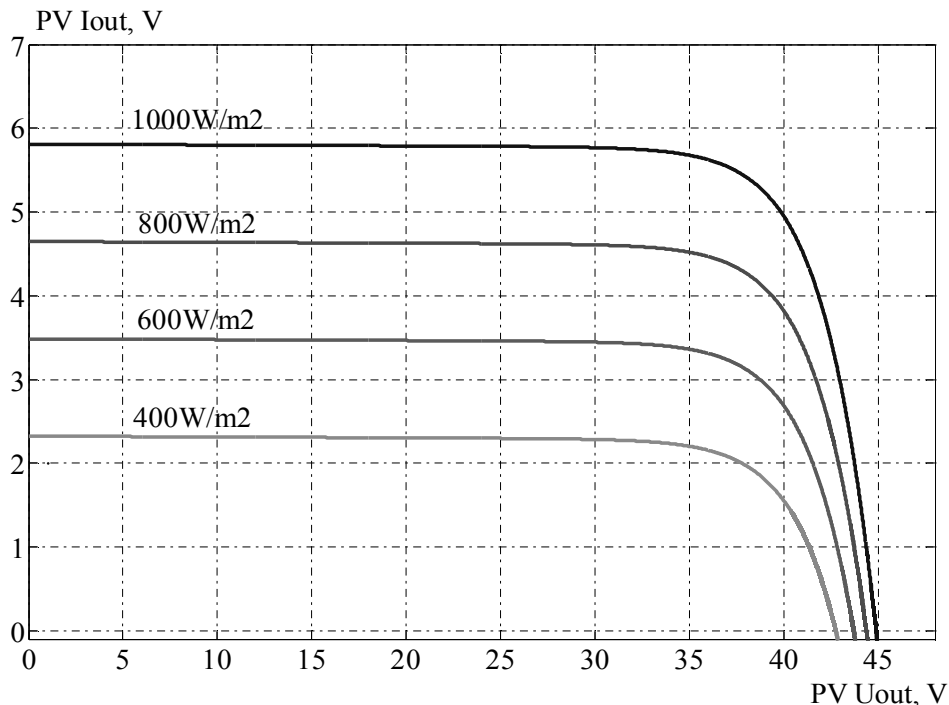


Рис. 6. ВАХ солнечной панели CANADIAN SOLAR INC. CS5A-205M

2. Получены нагрузочные и мощностные характеристики DC/DC SEPIC согласующего преобразователя с системой управления обеспечивающей работу в точке максимальной мощности, которые показали пропорциональное соотношение мощности

нагрузки и уровня солнечного излучения независимо от положения рабочей точки на нагрузочной характеристике (рис. 7, 8).

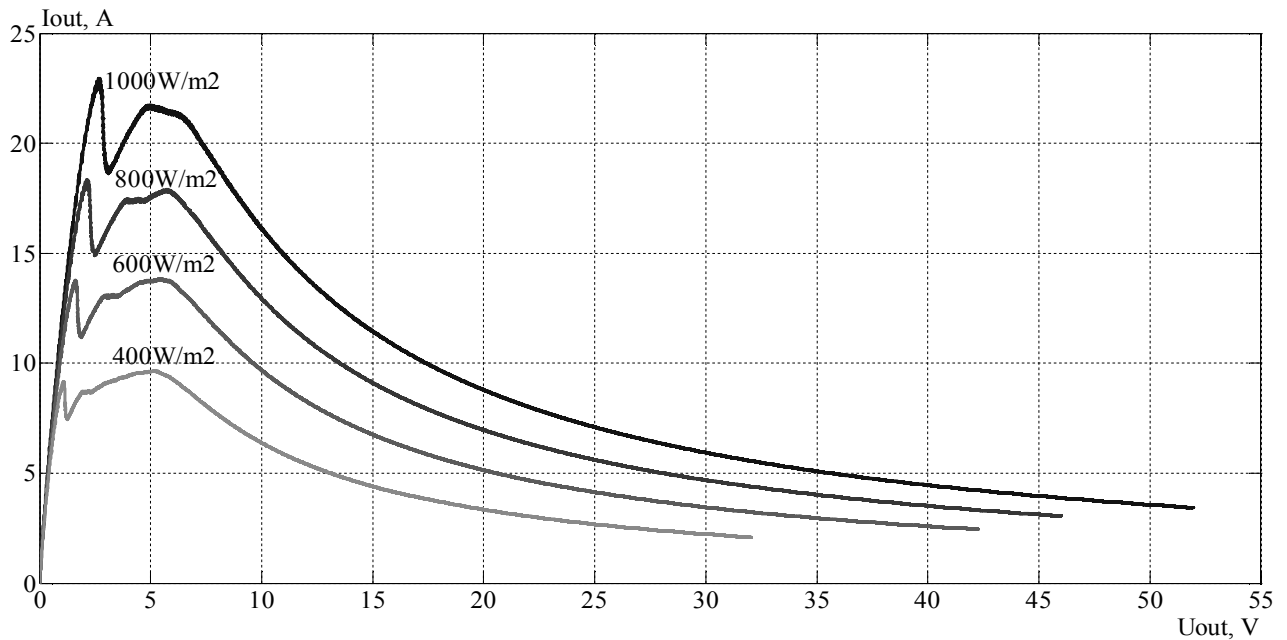


Рис. 7. Нагрузочные характеристики согласующего преобразователя

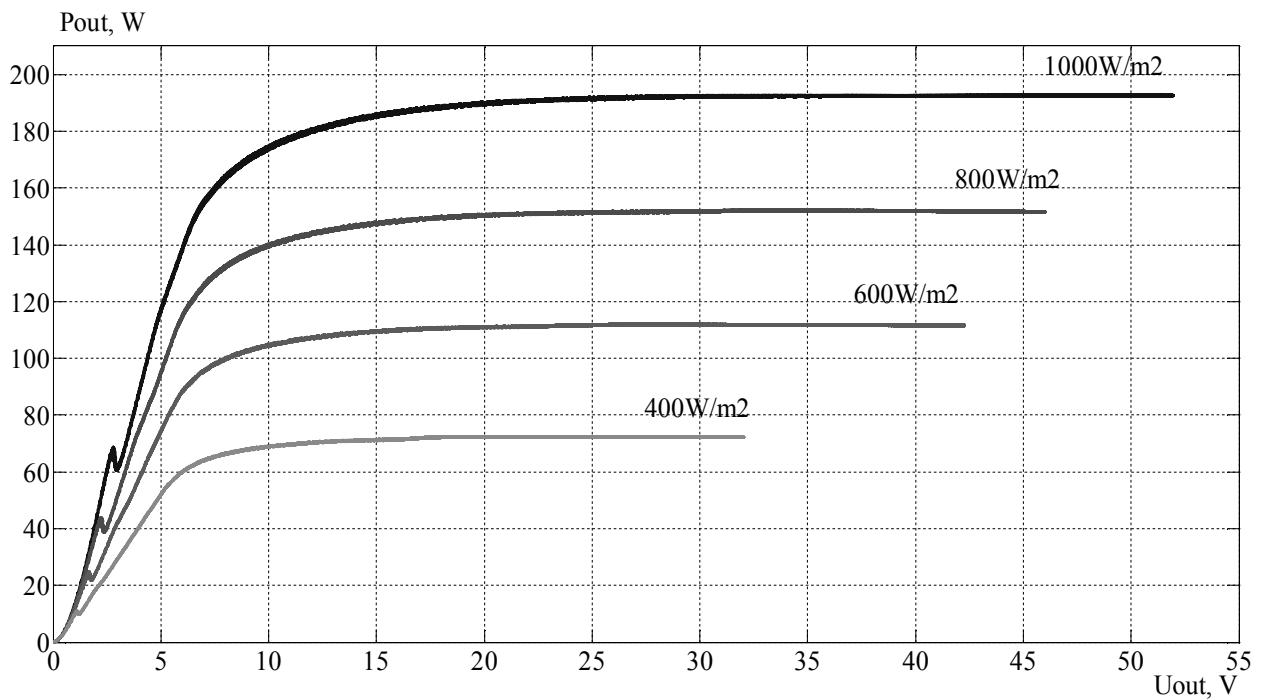


Рис. 8. Мощностные характеристики согласующего преобразователя

3. Анализ переходных процессов при скачкообразном изменении нагрузки показал целесообразность применения согласующего преобразователя (рис. 9).

Так как обеспечивается работа солнечной панели в точке максимальной мощности, при этом рабочая точка солнечной панели практически не подвергается изменению во время переходного процесса.

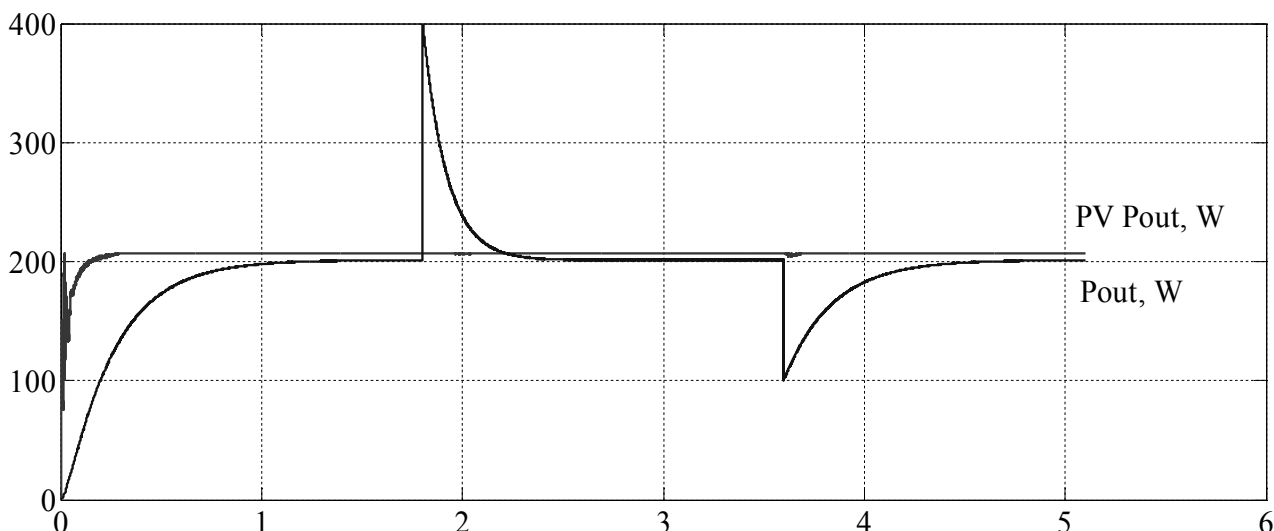


Рис. 9. Мощностные характеристики согласующего преобразователя и солнечной панели при ступенчатом изменении нагрузки

Выводы

1. Индивидуальный согласующий *SEPIC* преобразователь обеспечивает эксплуатацию солнечных панелей в точке максимальной мощности при переменном освещении солнечных панелей, а также возможность последовательного соединения солнечных панелей в условиях неравномерного освещения.

2. Согласующие преобразователи предотвращают скачки тока и напряжения на солнечных панелях при ступенчатом изменении нагрузки.

Список использованной литературы

1. Sokol E. I., Ivakhno V. V., Maliarenko E. A., The use of series connection of distributed energy sources in smart grid, *Compatibility and Power Electronics (CPE)*, 2013 8th International Conference on , vol., no., P. 349–352, 5 – 7 June 2013 doi: 10.1109/CPE.2013.6601182.
2. Sokol E. I., Goncharov Y. P., Eresko A. V., Zamaruev V. V., Krivosheev S. Y., Ivakhno V. V., Piina O. V., Malyarenko E. A., Styslo B. A., Upyrenko K. G., “Electronic Systems With Series Organization For Connection the Distributed Generators of Renewable Energy to Low Voltage Industrial Network”, *IEEE XXXIII International Scientific Conference «ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY» (ELNANO) conference proceedings*, April 16-19, 2013, Kyiv, Ukraine, P. 335–338, 16–19 April 2013.
3. W. Kramer, S. Chakraborty, B. Kroposki, H. Thomas. *Advancer Power Electronic Interfaces for Distributed Energy Systems*. Technical Report NREL/TP–581–42672, March 2008
4. R. Faranda, S. Leva "Energy comparison of MPPT techniques for PV System" *WSEAS TRANSACTIONS on POWER SYSTEMS* Issue 6, Volume 3, P. 446 –455, June 2008.
5. Villalva, M. G., Gazoli, J. R., Filho, E. R. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays, *Power Electronics, IEEE Transactions on* (Volume: 24, Issue: 5), 2009. – P. 1198–1208.
6. Mäki, A. Valkealahti, S. Power Losses in Long String and Parallel-Connected Short Strings of Series-Connected Silicon-Based Photovoltaic Modules Due to Partial Shading Conditions, *Energy Conversion, IEEE Transactions on* (Volume:24 , Issue: 5), 2012. – P. 173–183.

Поступила в редакцию 20.07 2014 г.