Научная статья
Original article
УДК 621.316

ДИНАМИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ В СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ

DYNAMIC CONNECTION OF SOLAR CELLS IN SOLAR PANELS

Бикбулатов Радмир Ильдарович, студент 2 курс, факультет «Автоматизация технологических процессов и производств», Институт теплоэнергетики, Россия, г. Казань

Тазеев Нияз Фанисович, студент 2 курс, факультет «Автоматизация технологических процессов и производств»**,** Институт теплоэнергетики**,** Россия, г. Казань

Bikbulatov Radmir Ildarovich, 2nd year student, Faculty of Automation of Technological Processes and Productions, Institute of Thermal Power Engineering, Russia, Kazan

Tazeev Niyaz Fanisovich, 2nd year student, Faculty of Automation of Technological Processes and Productions, Institute of Thermal Power Engineering, Russia, Kazan

Аннотация: Целью данной работы является исследование принципов динамического соединения фотоэлементов в солнечных панелях. В работе показаны преимущества использования таких соединений, поскольку развитие техники требует питания устройств с разными напряжениями и токами. Замечено, что динамические соединения могут формировать произвольную топологию цепей генерирования электрической энергии путем изменения соединений из последовательных на параллельные и наоборот. Также отмечено,

что есть возможность динамического изменения параметров непосредственно при эксплуатации системы. Отмечено, что для динамической коммутации параллельных и последовательных соединений требуется три элемента электрической цепи, показана элементарная цепь динамических соединений, и круг для динамического изменения полярности выходного напряжения солнечной панели. Построена базовая схема динамической коммутации фотоэлементов в солнечной панели с использованием полевых транзисторов. Предложены пути решения проблем, связанных с параллельным соединением и паразитными элементами. Рассмотрено использование двух соединенных на встречу MOSFET-транзисторов для динамической коммутации. Отмечено, что для управления такой цепью целесообразно использовать программируемые логические контроллеры, которые могут управлять коммутацией с использованием заранее загруженной микропрограммы и являются гибкими в оперативном управлении и имеют дополнительные функции мониторинга и связи с удаленными устройствами. На примере четырех фотоэлементов показана конструкция солнечной панели с динамическими соединениями фотоэлементов и использованием транзисторов SMD и управлением с помощью контроллера. Отмечено, что в такой конструкции все элементы могут быть максимально встроенными. Отмечено, что применение динамической коммутации также является шагом к формированию переменного тока разной формы. Отмечены определенные ограничения предлагаемой системы, в частности, кратность количества фотоэлементов в панелях, и намечено ее дальнейшее развитие.

Annotation: The purpose of this work is to study the principles of dynamic connection of solar cells in solar panels. The paper shows the advantages of using such connections, since the development of technology requires powering devices with different voltages and currents. It is noted that dynamic connections can form an arbitrary topology of electric power generation circuits by changing connections from serial to parallel and vice versa. It is also noted that it is possible to dynamically change the parameters directly during the operation of the system. It is noted that three elements of an electrical circuit are required for dynamic switching of parallel and

serial connections, an elementary circuit of dynamic connections is shown, and a circle for dynamically changing the polarity of the output voltage of the solar panel. A basic scheme of dynamic switching of solar cells in a solar panel using field-effect transistors is constructed. The ways of solving problems related to parallel connection and parasitic elements are proposed. The use of two MOSFET transistors connected to a meeting for dynamic switching is considered. It is noted that to control such a circuit, it is advisable to use programmable logic controllers that can control switching using preloaded firmware and are flexible in operational management and have additional monitoring and communication functions with remote devices. Using the example of four solar cells, the design of a solar panel with dynamic connections of solar cells and the use of SMD transistors and control using a controller is shown. It is noted that in such a design, all elements can be maximally embedded. It is noted that the use of dynamic switching is also a step towards the formation of alternating current of different shapes. Certain limitations of the proposed system are noted, in particular, the multiplicity of the number of solar cells in the panels, and its further development is planned.

Ключевые слова: динамическое соединение, коммутация, солнечная панель, фотоэлемент, MOSFET-транзистор, контроллер.

Keywords: dynamic connection, switching, solar panel, solar cell, MOSFET transistor, controller.

Использование фотовольтаических генераторов электрической энергии как для непосредственного питания разнообразных потребителей, так и для комплексного применения требует разработки и производства таких генераторов с большим разнообразием различных номинальных параметров. Кроме применения преобразовательной техники, которая превращает устойчивое напряжение и ток в широкий спектр напряжений и токов разной формы, возможно использование последовательно параллельных соединений фотоэлементов в цепи разной топологии для получения различных номинальных параметров. Действительно, при производстве солнечных панелей возможно

разное расположение и разные соединения фотоэлементов для получения необходимых номинальных значений. Недостатком такой конструкции является статичность, нерегулируемость, то есть номинальные параметры не могут изменяться динамически при инсталляции генеральной системы или даже при ее эксплуатации.

Постановка задачи. Вместо использования фиксированных соединений в электрических цепях фотоэлементов предлагается использовать коммутируемые динамически соединения. Такие соединения могут формировать произвольную или прогнозируемую топологию цепей генерирования электрической энергии путем изменения соединений с последовательных на параллельные и наоборот [1]. То есть, номинальные параметры благодаря такой коммутации могут изменяться во времени, в зависимости от потребностей потребителей и режимов работы нагрузки.

Элементы динамических соединений.

Параллельное соединение источников электрической энергии предполагает использование двух соединений, соединяющих два одноименных полюса, а для последовательного соединения используют одно.

Для реализации динамической коммутации нужно использовать три коммутирующих элемента для соединения каждых двух генерирующих элементов (рис. 1).

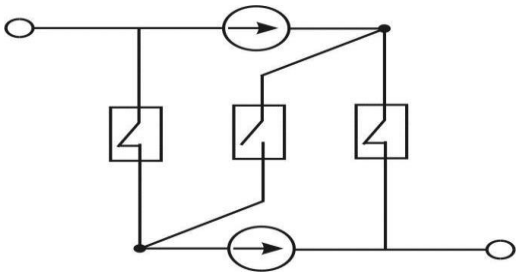


Рис. 1. Динамическая коммутация двух источников питания

Коммутирующие элементы могут выступать как электромагнитные реле, так и полупроводниковые элементы, например, полевые транзисторы.

Также для коммутации могут применяться различные сборки ключевых элементов в силовых микросхемы, комплиментарные сборки, цифровые коммутирующие устройства и драйверы.

Кроме того, для изменения полярности выходного напряжения солнечной панели на выходных клеммах можно использовать простую схему коммутации встречи (рис. 2).

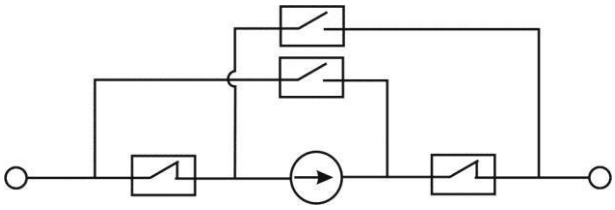


Рис. 2. Схема коммутации полярности источника питания на выходных клеммах

Базовая схема динамической коммутации фотоэлементов. Рассмотрим базовую схему динамической коммутации четырех фотоэлементов, которые можно соединить параллельно, последовательно и параллельно (рис. 3). Для коммутации используем полевые МДП-транзисторы, имеющие низкое внутреннее сопротивление.

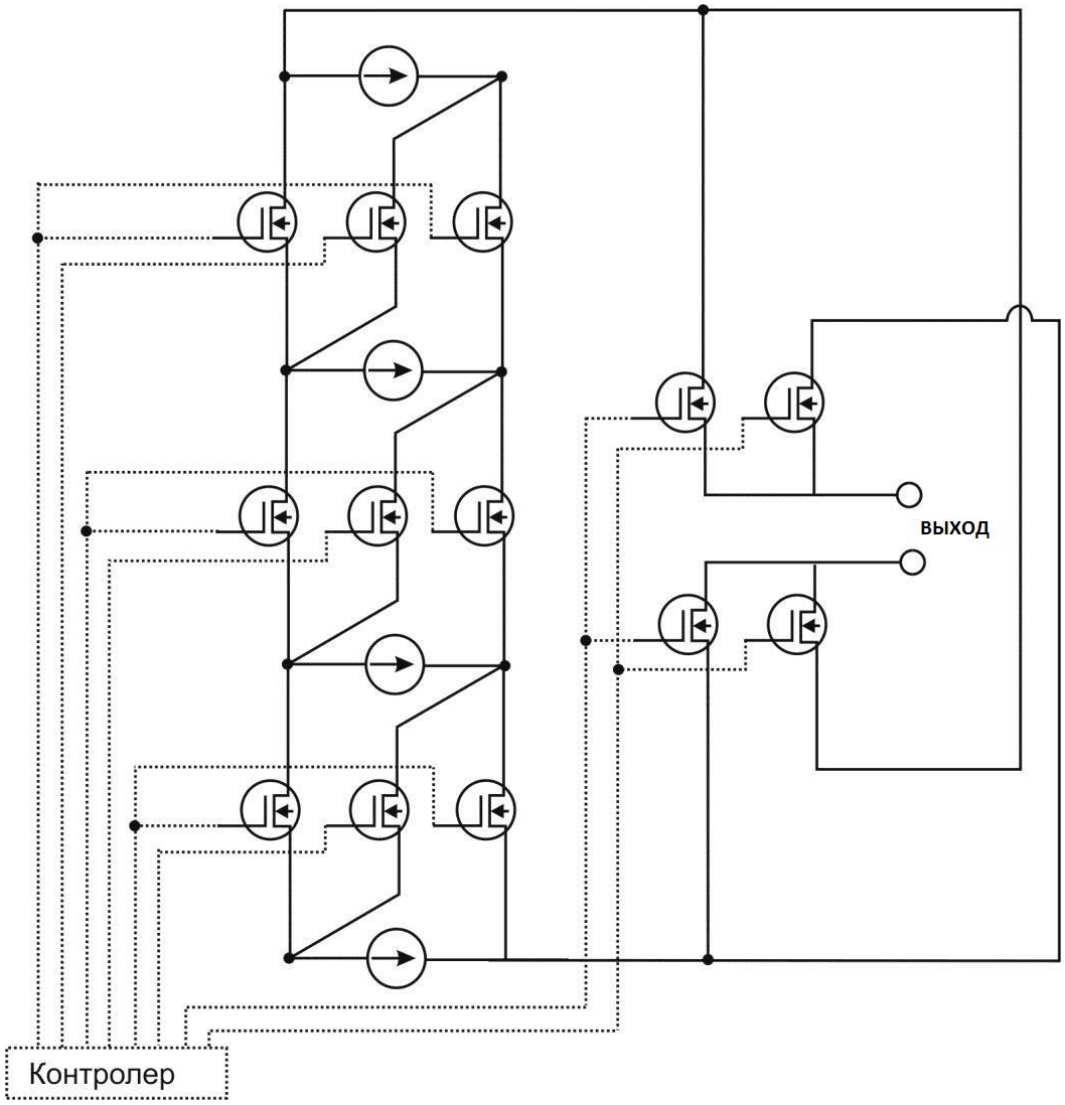


Рис. 3. Пример динамической коммутации источников питания с использованием последовательных и параллельных соединений

Но следует отметить, что параллельное соединение источников питания имеет ряд негативных аспектов. Например, в таких кругах нередко возникают уравнительные токи, которые могут отрицательно повлиять на источник питания с меньшим напряжением генерации и снижать эффективность системы в целом [2]. В основном в этом случае используют диоды, но обычные выпрямительные диоды имеют достаточно большое падение напряжения при прямом включении, около 0,6 В. В качестве альтернативы можно использовать диоды Шотки, которые при прямом смещении имеют меньшее падение напряжения, но при обратном смещении имеют недостаточно большое напряжение пробоя, которое следует учитывать. Но даже и в таком случае падение напряжения будет около

0,3–0,4 В, что для одиночного солнечного элемента тоже достаточно существенно, потому что кремниевый фотогальванический элемент генерирует 0,5 В напряжения. Следует отметить, что падение напряжения на защитном диоде может нивелироваться при фиксированном соединении нескольких фотоэлементов последовательно. Более сложным, но современным решением является использование ORing-диодов. Также как альтернатива возможно использование самовосстановительных предохранителей с положительным температурным коэффициентом вместе с диодами или оптореллами, но это не является универсальными решениями [3].

Кроме выше указанного, вMOSFET- транзисторов есть еще значительный недостаток – это наличие паразитного диода, что делает невозможным нормальную работу вышеописанной схемы. Для преодоления такого недостатка предлагается в каждом плече параллельного соединения источников питания вместо одного полевого транзистора разместить два последовательно со встречным включением (рис. 4). Таким образом при подаче на затвор управляющего напряжения откроются оба транзистора, а при отсутствии напряжения они будут заперты включенными навстречу паразитными диодами. Кстати, как раз на паразитных диодах полевых транзисторов с изолированным затвором не возникает падения напряжения, и в некоторых источниках его так и называют – «идеальный диод» [4].

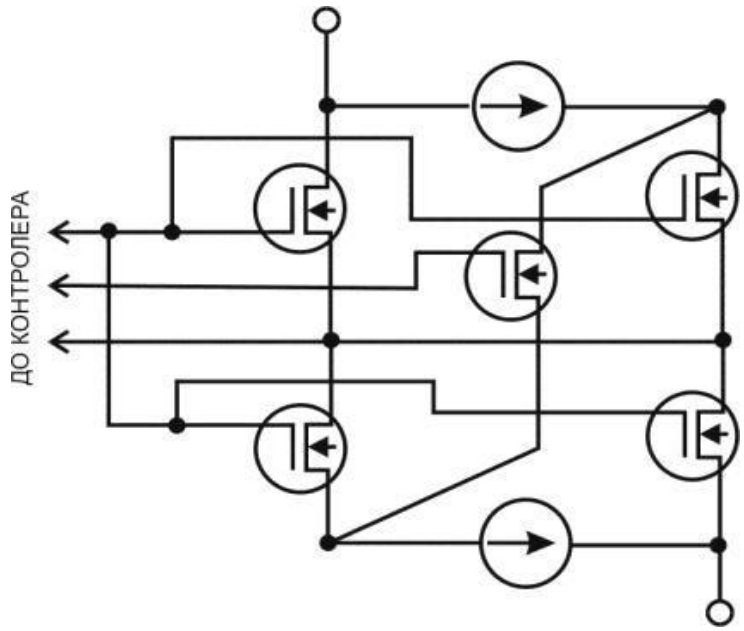


Рис. 4. Динамическая коммутация двух источников питания с помощью MOSFET-транзисторов

Также для того чтобы в результате переходных процессов в коммутирующих элементах

при пере коммутации источников питания не возникало взаимного короткого замыкания между электродами источников, целесообразно использовать дополнительные элементы, ограничивающие такие процессы. Кроме того, следует производить раздельное управление коммутацией соединений для параллельного и последовательного включения и при этом добавлять временной промежуток между командами закрытия и открытия транзисторов или реле.

Управление коммутационными элементами может производиться с помощью генераторов стандартных управляющих сигналов или с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК). ПЛК содержат микропрограмму, которая может динамично и оперативно осуществлять коммутацию соединений по установленному алгоритму и по командам извне. Именно использование программируемых контроллеров целесообразно и перспективно в таких системах, поскольку они кроме широкого спектра управляющих функций, содержат функции по мониторингу и сбору данных, такие как напряжение и ток на выходе, температура панели и т.д. [5]. А также ПЛК благодаря использованию интегрированных коммуникационных функций имеют возможность для объединения в широкие разветвленные сети генерации и потребления электроэнергии.

Схема динамической коммутации фотоэлементов в солнечной панели. Следовательно, возникает возможность реализовать солнечную панель, которая будет иметь целый спектр номинальных параметров, кроме того, эти параметры могут изменяться при генерации электрической энергии. Для такой реализации можно взять стандартный дизайн солнечной панели с вертикальным горизонтальным размещением фотоэлементов и внести изменения в соединения,

включив в них коммутирующие элементы, например, транзисторы в режиме ключа (рис. 5). Коммутация элементов может быть реализована централизованно или распределено.

При распределенной коммутации целесообразно использовать SMD-элементы, расположенные в солнечной панели непосредственно возле каждого из фотоэлементов или вмонтированные в фотоэлементы. Все элементы в такой конструкции могут быть максимально встроенными [6]. Для управления коммутирующими элементами прокладываются дополнительные линии (на рис. 5 обозначены пунктиром), которые подключаются к устройству управления – контроллеру.

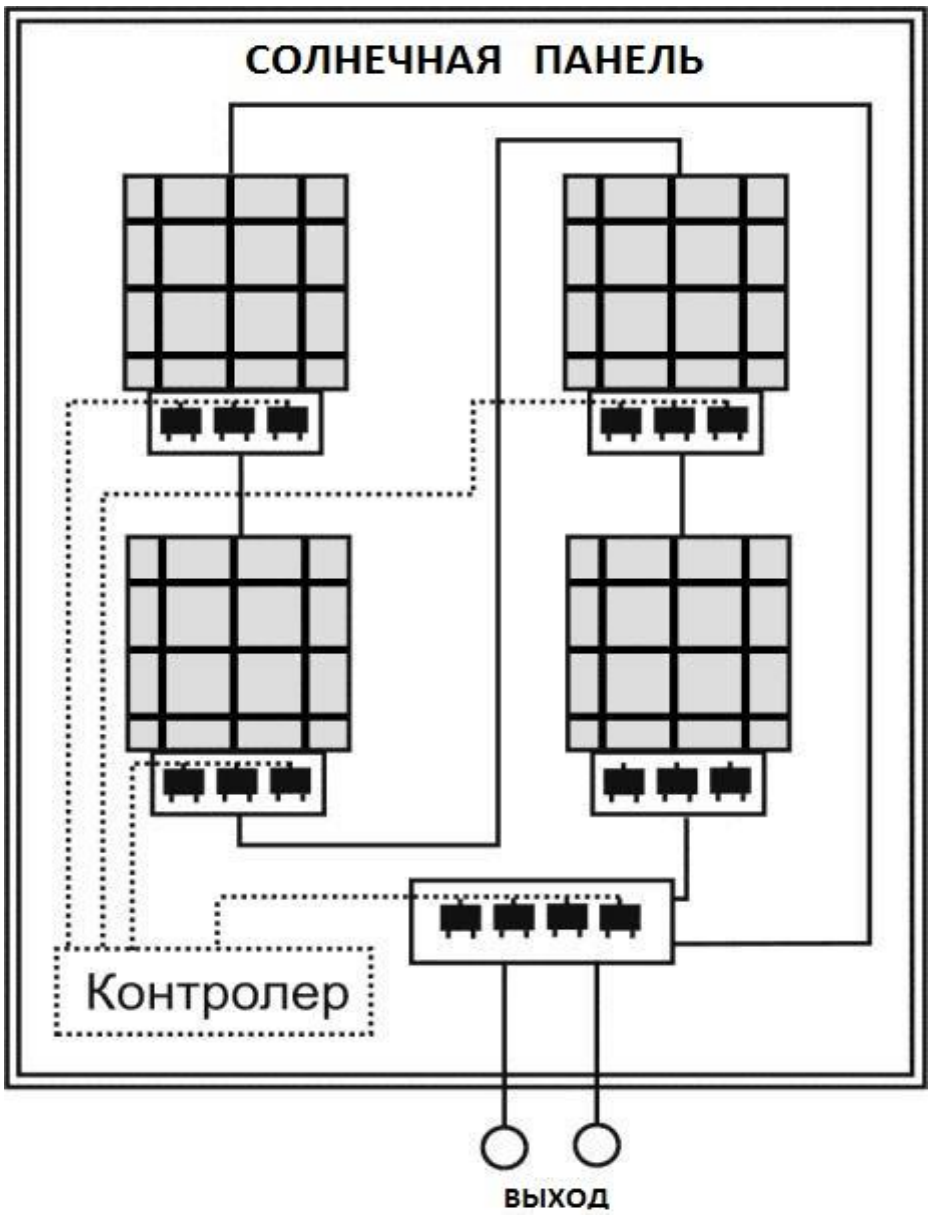


Рис. 5. Конструкция солнечной панели с распределенной динамической коммутацией фотоэлементов с помощью SMD-транзисторов и контроллера

Разумеется, для построения таких электрических систем целесообразно выполнить моделирование и оптимизационные расчеты.

Вывод.

Таким образом, при использовании динамических соединений мы можем получить источник электрической энергии с широким спектром номинальных напряжений и токов. Отметим, что использование динамической коммутации дает преимущества не только при установке конкретных систем, но при управлении устройствами и системами в процессе непосредственного использования. Например, напряжение нагрузки при потреблении может отличаться от напряжения заряда аккумулятора. Соответственно и с током также есть возможность увеличения тока генерации с одновременным снижением напряжения. Применение динамической коммутации также является шагом к формированию переменного тока разной формы.

Ограничением данной схемы (рис.5) является то, что выходное напряжение и ток будут кратны U·2x и I·2x соответственно, где U и I – выходные параметры фотоэлемента или выходные параметры фиксировано соединенных нескольких фотоэлементов. Дальнейшее развитие подхода, описанного в работе, и развитие таких схем коммутации соединений заключается в построении более универсальных схем взаимного преобразования из последовательного в параллельное соединение с возможным использованием множественной коммутации.

Литература

1. Моделирование солнечных батарей космических аппаратов в программной среде SimInTech / А.М. Поляков, А.Р. Корсаков, Р.В. Козлов, А.С. Тетерин // Наукоёмкие технологии. 2017. Т. 18. № 12. С. 81-84.

2. Тай Д.В. Моделирование и прогнозирование мощности солнечных батарей в среде MatLab // Информационно-измерительная техника и технологии: труды VI науч.-практ. конф., 2015. С. 29-34.
3. Базилевский А.Б., Лукьяненко М.В. Моделирование вольт-амперных характеристик солнечных батарей // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. 2005. № 4. С. 63-66.
4. Тищенко А.К., Васильев Е.М., Тищенко А.О. Многоальтернативное управление критическими режимами системы электроснабжения космической станции // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2015. Т. 11. № 2. С. 101-106.
5. Данилов А.Д., Тищенко А.О. Исследование энергосберегающих систем электроснабжения космических аппаратов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2014. Т. 10. № 5-1. С. 82-84.
6. Системы электроснабжения космических аппаратов / Л.Р. Варенбуд, Ф.Г. Власов, А.М. Знов, Г.Д. Лившин, А.К. Тищенко // Энергия - XXI век. 2011. № 2-3 (80- 81). С. 29-47.

Literature

1. Modeling of solar batteries of spacecraft in the SimInTech software environment / A.M. Polyakov, A.R. Korsakov, R.V. Kozlov, A.S. Teterin // High-tech technologies. 2017. Vol. 18. No. 12. pp. 81-84.
2. Tai D.V. Modeling and forecasting the power of solar panels in the MatLab environment // Information and measuring equipment and technologies: proceedings of the VI Scientific and Practical Conference, 2015. pp. 29-34.
3. Bazilevsky A.B., Lukyanenko M.V. Modeling of volt-ampere characteristics of solar panels // Bulletin of the Siberian State Aerospace University named after academician M.F. Reshetnev. 2005. No. 4. pp. 63-66.
4. Tishchenko A.K., Vasiliev E.M., Tishchenko A.O. Multi-alternative control of critical modes of the power supply system of the space station // Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2015. Vol. 11. No. 2. pp. 101-106.

5. Danilov A.D., Tishchenko A.O. Research of energy-saving power supply systems of spacecraft // Bulletin of the Voronezh State Technical University. 2014. Vol. 10. No. 5-1. pp. 82-84.
6. Power supply systems of spacecraft / L.R. Varenbud, F.G. Vlasov, A.M. Znov, G.D. Livshin, A.K. Tishchenko // Energy - XXI century. 2011. № 2-3 (80- 81). Pp. 29-47.

© Бикбулатов Р.И., Тазеев Н.Ф. 2022 Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022

Для цитирования: Бикбулатов Р.И., Тазеев Н.Ф. ДИНАМИЧЕСКОЕ СОЕДИНЕНИЕ ФОТОЭЛЕМЕНТОВ В СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ// Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «StudNet» №4/2022.