

Алексей Пантелейчук

КОНТРОЛЛЕРЫ TMS320F28XX В СИСТЕМАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ



В статье подробно рассмотрена роль инвертора в системах преобразования солнечной энергии и выполняемые им функции, а также преимущества реализации инвертора на базе микроконтроллеров TMS320F28xx компании Texas Instruments. Кроме того, показано как, добавляя один элемент к такому инвертору, можно получить решение для ветроэлектрических систем.



В любой системе преобразования альтернативной энергии инвертор является важнейшим компонентом, отвечающим за управление движением электрической энергии между модулем (фотогальваническая панель или ветровая установка), батареей, нагрузкой и электрической сетью. В фотогальванической системе инвертор преобразует ток фотоэлементов в «чистый» синусоидальный ток 50- или 60 Гц для питания устройств, а также для возврата в энергетическую систему. Кроме того, инверторы выполняют такие функции, как отключение цепи для защиты ее от скачков напряжения, зарядка батареи, запись данных об использовании и производительности устройства, отслеживание точки максимальной мощности. Инверторы различаются по номинальной мощности, топологии, наличию трансформатора и могут содержать сразу несколько управляющих микроконтроллеров.

На рисунке 1 показан инвертор в составе полной системы, в которой помимо зарядки батареи от фотогальванической панели и питания устройств переменным током через инвертор, осуществляется подача электроэнергии в энергетическую систему, а также в качестве альтернативного источника питания используется генератор переменного тока. Упрощенная система может просто осуществлять зарядку батареи для локального использования или передавать энергию в энергетическую систему.

Топология, где несколько секций фотогальванических панелей (PV) индивидуально обслуживаются инверторами, выходы которых параллельно соединены с энергетической системой, изображена на рисунке 2. В такой конфигурации средняя номинальная мощность

обычно достигает уровня 10 кВт. Также возможны следующие вариации:

- Каждая панель обслуживается небольшим интегрированным инвертором, обеспечивая сотни Вт мощности;
- Один инвертор обслуживает параллельно все секции фотогальванических панелей, обеспечивая несколько кВт мощности;
- Отдельные DC/DC-преобразователи используются в каждой секции фотогальванических элементов, выходы DC/DC-преобразователей подключаются параллельно к одному DC/AC-инвертору. Эта топология является самой эффективной, номинальная мощность достигает 100 кВт.

Основная функция инвертора заключается в преобразовании постоянных токов от фотогальванических панелей или батареи с различным уровнем

напряжений в переменный ток с определенным уровнем напряжения и частотой для питания устройств или передачи в энергетическую систему. Частота и напряжение зависит от региона, в Европе это 50 Гц и 220 В, в США — 60 Гц и 110 В. В зависимости от приложения возникают требования к фазе, таким образом, инверторы бывают одно-, двух- и трехфазные. На рисунке 3 изображена общая схема DC/AC-инвертора, в которой:

- DC/DC-преобразователь повышает или понижает уровень входного напряжения, подстраивает свой выход для получения максимальной эффективности на этапе DC/AC-преобразования;
- Конденсатор выполняет функцию буферизации напряжения;
- MOSFETы в составе моста переключаются с частотой около 20 кГц для преобразования постоянного тока в переменный;

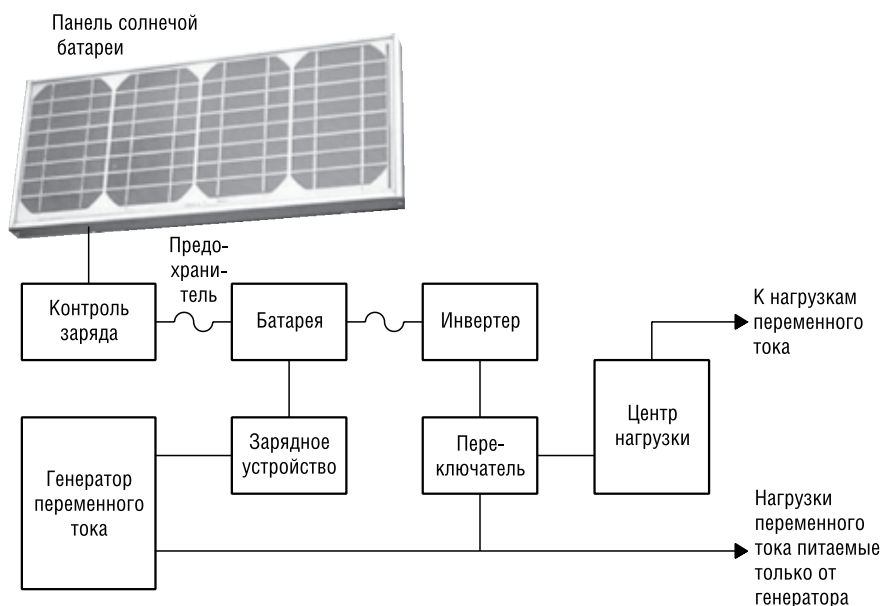


Рис. 1. Гибридная система с фотогальванической панелью и генератором

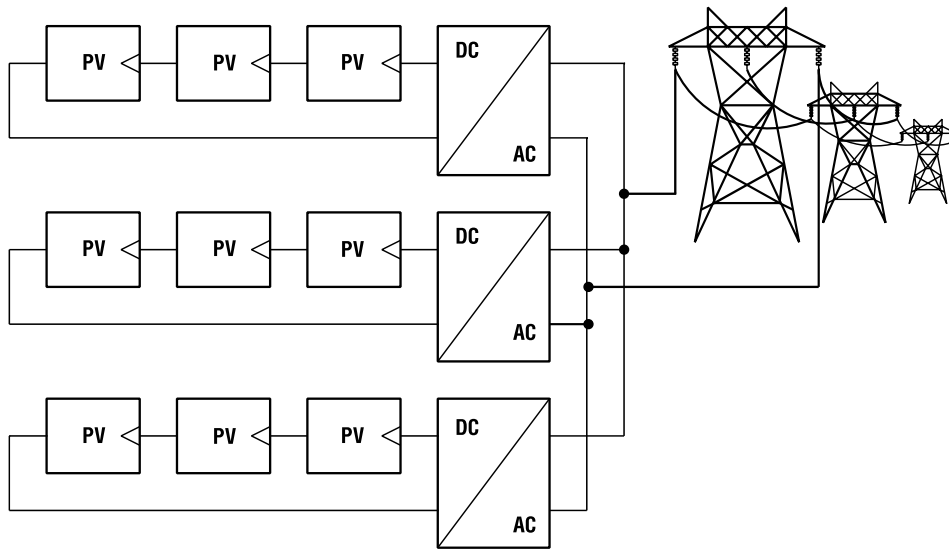


Рис. 2. Модульные инверторы обслуживают несколько секций фотогальванических панелей

- Индуктивности «сглаживают» сигнал после ключей для получения синусоиды.

В некоторых случаях уровень напряжения на входе DC/AC-преобразователя должен быть выше, чем на выходе DC/DC-преобразователя. Для этого используется трансформатор после индуктивностей (рисунок 3). Несмотря на то, что трансформатор увеличивает вес, габариты и стоимость устройства, а также уменьшает КПД в среднем на 2%, он увеличивает защиту устройства и безопасность пользователя, осуществляя гальваническую развязку между DC- и AC-частями схемы. Эту же функцию может выполнять DC/DC-

преобразователь с нулевым напряжением переключения (эквивалент трансформатора).

Эффективность DC/AC-преобразования, а также зарядки батареи зависит от входного напряжения. Но значение напряжения на выходе фотогальванических панелей постоянно изменяется вследствие таких факторов, как погодные условия, время дня и температура панелей. Состояние батареи также меняется в зависимости от того, заряжена она или разряжена. При благоприятных внешних условиях, понижая напряжение одновременно с повышением тока на входе батареи, можно ускорить процесс зарядки. Но иногда бывают си-

туации, в которых приходится жертвовать уровнем тока для повышения уровня напряжения, чтобы процесс зарядки был вообще возможен. Технология отслеживания точки максимальной мощности (англ. MPPT) применяется для отслеживания таких уровней напряжения и тока на входе батареи, при которых эффективность зарядки максимальна. Использование этой технологии увеличивает общую производительность системы более чем на 30% в зимнее время, когда дополнительная энергия особенно необходима. На рисунке 4 показано, как определение точки максимальной мощности может зависеть от различных условий.

Наиболее общий алгоритм определения точки максимальной мощности выполняется микроконтроллером через изменение рабочего напряжения панели и оценку полученного при этом результата. Алгоритм должен предусматривать поиск точки максимальной мощности в широком диапазоне напряжений для того, чтобы избежать попадания на локальные максимумы, возникшие в результате кратковременных изменений внешней среды, например, попадание панели в тень небольшого облака. Недостаток этого алгоритма — в том, что устройство не работает постоянно с максимальной производительностью, а находится в поиске такого состояния. Альтернативой является инкрементный индукционный алгоритм, при котором вычисляется производная кривой зависимости мощности от напряжения и находятся нули полученной зависимости, которые по определению представляют собой пики кривой мощности. Затем производится настройка напряжения на определенный уровень. Несмотря на то, что в этом алгоритме нет недостатков предыдущего, все же есть риск настроиться по ошибке на локальный максимум вместо точки максимальной мощности. Наилучшие результаты получаются при комбинировании обоих алгоритмов, когда поддерживается работа устройства с уровнем напряжения, определенным по нулям производной, одновременно проверяются другие пики в широком диапазоне напряжений. Ясно, что для реализации комбинированного алгоритма требуется много вычислительных ресурсов микроконтроллера.

Теперь становится понятно, что инвертор является важнейшим компонентом в системах преобразования солнечной энергии и что он должен быть гибким для работы в различных приложениях и адаптируемым для реагирования на изменения условий работы приложения. Необходимо, чтобы управляющий процессор в составе инвертора обладал высокой производительностью в реальном времени для эффективно выполнения алгоритмов DC/DC-

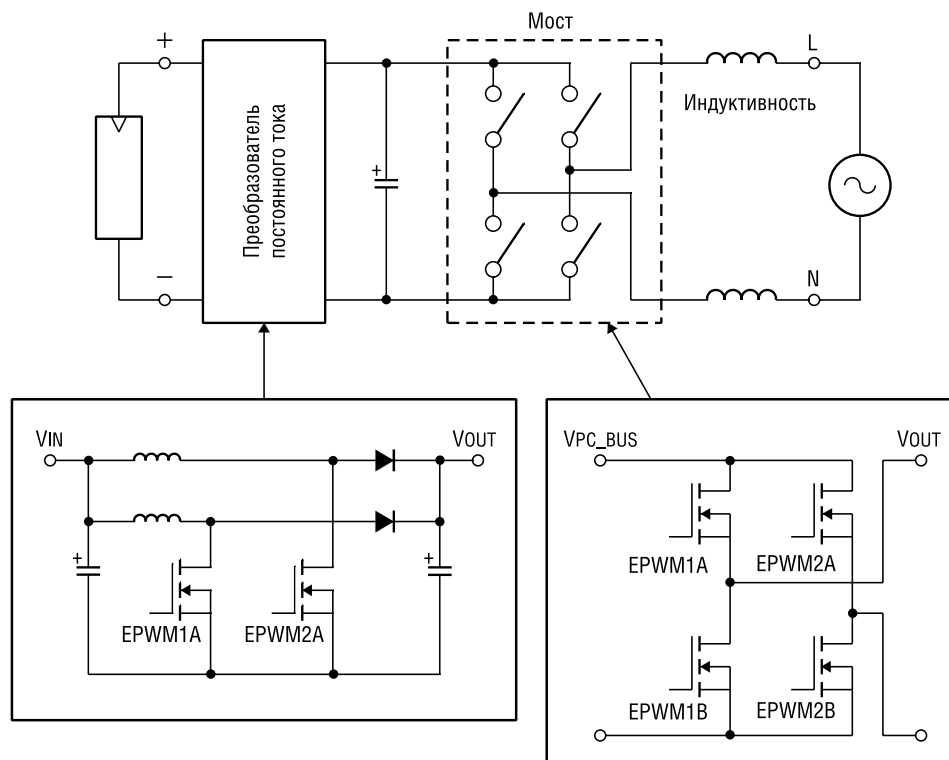


Рис. 3. Схема бестрансформаторного DC/AC-преобразователя

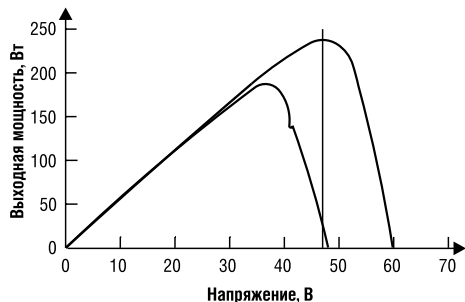


Рис. 4. Определение точки максимальной мощности при различных условиях

преобразования, защиты схемы, определения точки максимальной мощности и зарядки батареи.

Микроконтроллеры **TMS320** с высокопроизводительным ядром цифрового сигнального процессора и богатым набором периферийных устройств великолепно подходят для задач управления DC/AC-преобразованием в реальном времени, вычисления точки максимальной точности и обеспечения функций защиты инвертеров в системах преобразования солнечной энергии. DSP-ядро очень быстро выполняет математические вычисления для реализации алгоритмов управления в реальном времени. Встроенные периферийные устройства, такие как аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и широтно-импульсный модулятор (ШИМ) дают возможность напрямую отслеживать состояние и управлять MOSFETами. Коммуникационные порты микроконтроллера упрощают разработку устройств, работающих в сети с измерителями и другими инверторами.

Микроконтроллеры семейства **TMS320F28x** представляет собой 32-битные устройства, работающие на частотах до 150 МГц с производительностью до 150 MIPS. На рисунке 5 в качестве примера изображена архитектура микроконтроллера F2808. При использовании в инверторе такой микроконтроллер может управлять сразу несколькими преобразователями, а также выполнять функции отслеживания точки максимальной мощности, мониторинга зарядки батареи, защиты от скачков напряжения, регистрации данных и коммуникации с внешними устройствами.

Микроконтроллеры **TMS320F28x** имеют до 16 каналов быстрого 12-битного АЦП. Эти каналы АЦП используются для оценки уровня напряжения и тока при построении правильной синусоидальной формы сигнала. Также, оценивая уровень тока, АЦП выполняет функции безопасности.

Двенадцать индивидуально управляемых каналов ШИМ (EPWM) вырабатывают импульсные сигналы с заданной длительностью импульса, необходимые для высокоскоростного переключения ключей конвертора и схемы зарядки батареи. Каждый канал ШИМ имеет свой

Защита программного кода

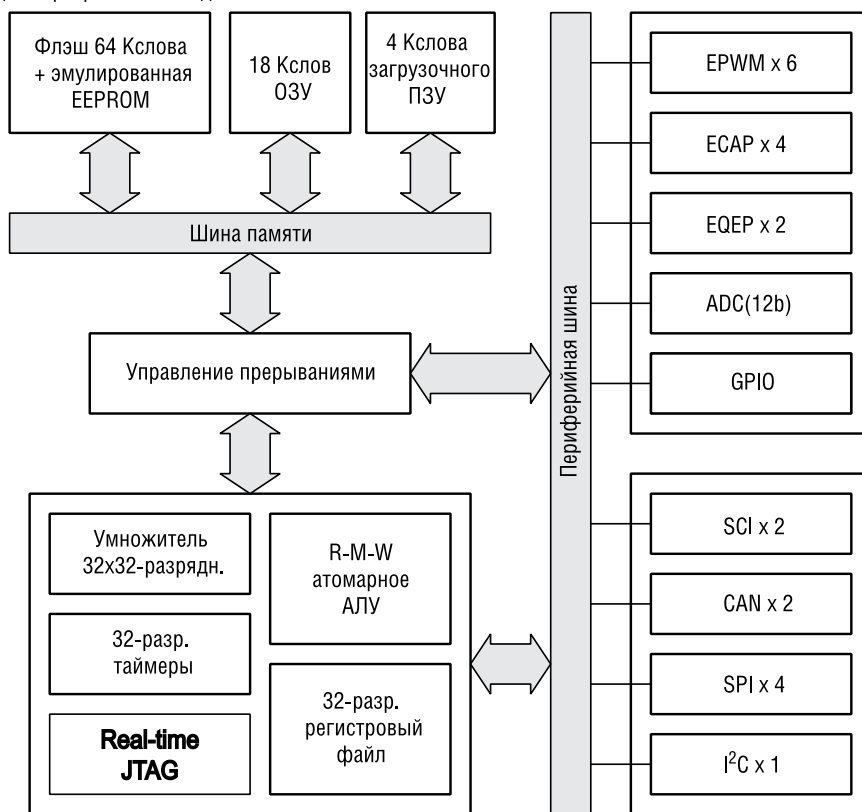


Рис. 5. Блок-схема архитектуры микроконтроллера TMS320F2808



Рис. 6. Вид платы из набора TMDSENTRYKIT

собственный таймер и регистр фазы, позволяющий вводить фазовую задержку. Все каналы ШИМ могут быть синхронизированы для управления несколькими каскадами на одной частоте. Благодаря наличию множества таймеров появляется возможность генерировать множество частот, быстрая обработка прерываний — это ключ к быстрой реакции на события. Коммуникационные порты различных стандартов, включая CAN, обеспечивают интерфейс с другими компонентами системы.

Для приложений преобразования мощности в системах альтерна-

тивных источников питания компания Texas Instruments предлагает отладочный комплект **TMDSENTRYKIT** (рисунки 6, 7) на базе микроконтроллеров TMS320F28xx. Отладочный набор состоит из материнской платы, к которой подключается любая плата типа controlCARD. С помощью этого набора можно реализовывать все основные функции систем преобразования солнечной энергии. К числу этих функций относятся DC/DC-преобразование, трех- или однофазное инвертирование, синхронизация выхода инвертера с силовой линией переменного тока, понижающее DC/

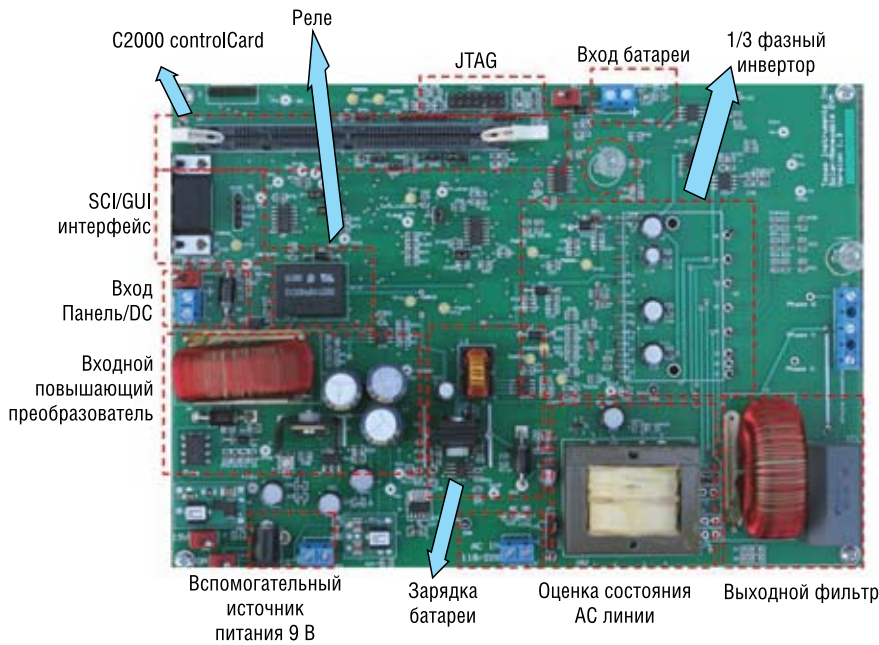


Рис. 7. Ключевые компоненты платы из комплекта TMDSENRGYKIT

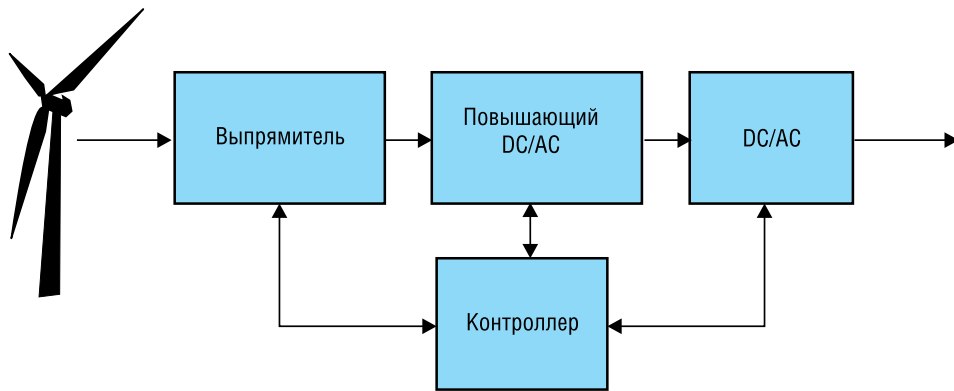


Рис. 8. Основные элементы ветроэлектрической системы

DC-преобразование для зарядки батареи. На плате реализована аппаратная часть, необходимая для измерения напряжения и тока, таким образом, пользователь может создавать и тестировать новые топологии, методы и т.д.

Отличительные характеристики набора TMDSENRGYKIT:

- Съемная плата controlCARD с микроконтроллером TMS320F2808;

– 15...20 В DC на входе, 30 В AC на выходе;

- Трехфазный или однофазный;
- Однофазный повышающий DC/DC-преобразователь на входе;
- Понижающий DC/DC-преобразователь для зарядки батареи;
- Аппаратное реле для переключения между панелью/источником постоянного тока и батареей;

Микроконтроллеры TMS320 от Texas Instruments с высокопроизводительным ядром цифрового сигнального процессора и богатым набором периферийных устройств великолепно подходят для задач управления DC/AC-преобразованием в реальном времени, вычисления точки максимальной точности и обеспечения функций защиты инверторов в системах преобразования солнечной энергии.

- Совместимость с остальными платами C2000 controlCARD;
- 45-ваттный DC/AC-инвертор:

- Синхронизация выхода инвертора с силовой линией переменного тока (110 или 220 В);

- Измерение напряжения и тока осуществляется с помощью АЦП;
- Замкнутая петля цифрового управления с обратной связью с использованием ШИМ и АЦП микроконтроллера F28x.
- Разъем UART-интерфейса для связи с хостом;
- Доступность множества контрольных точек для просмотра важных сигналов;
- В комплекте — Code Composer Studio v.3.3 с ограничением по объему кода 32 КБ;
- Примеры реализации программного кода приложения;
- Пакет документации содержит схемы плат, спецификации, Гербер-файлы и др.
- Для работы необходим отдельный JTAG-эмулятор.

Единственное отличие инвертора системы преобразования ветровой энергии от фотогальванической системы заключается в наличии выпрямителя (рисунок 8). Выпрямитель необходим, поскольку ветровая станция генерирует переменный ток. Выпрямленный ток затем претерпевает те же самые преобразования, что и в системе преобразования солнечной энергии. Это означает, что отладочный комплект TMDSENRGYKIT успешно применяется при разработке ветроэлектрических станций.

Таким образом, в фотогальванических и ветроэлектрических системах инвертор является важнейшим компонентом. Инверторы могут поддерживать несколько диапазонов напряжений и топологий для различных приложений. Они также могут содержать трансформатор, однако это не является обязательным. Помимо преобразования постоянного тока в переменный инверторы выполняют такие функции, как максимизация мощности, зарядка батареи, защита цепи. Для всех этих функций необходимо интеллектуальное управление в реальном или квазиреальном времени. Микроконтроллеры TMS320C2000 компании Texas Instruments обеспечивают высокую вычислительную производительность и программную гибкость, необходимую для функций цифровой обработки в реальном времени в инверторах систем преобразования альтернативной энергии. Благодаря высокой интегрированности микроконтроллеров производители инверторов могут создавать более эффективные устройства, удовлетворяющие растущим требованиям рынка альтернативных источников питания. За счет наличия высококлассных отладочных средств, в число которых входит набор TMDSENRGYKIT, разработка устройства производится очень быстро и эффективно. **5**

Получение технической информации, заказ образцов, поставка – e-mail: mcu.vesti@compel.ru