

Функции управления питанием для сбора энергии

В статье рассказывается об особенностях управления питанием при использовании энергособирающих устройств постоянного тока, которые более доступны в массовых количествах по сравнению с устройствами переменного тока.

Картик Кадирвел (Karthik Kadirvel)

Джон Карпентер (John Carpenter)

Брайан Люм-Ши-Чан (Brian Lum-Shue-Chan)

ti_karthikkadirvel@list.ti.com

В последние несколько лет ряд компаний прилагают существенные усилия к созданию безбатарейных систем с «вечным питанием», которые бы черпали энергию для своей работы из окружающей среды. Ключевыми интегральными компонентами для разработки таких систем являются сверхэкономичные микропроцессоры, приемопередатчики и ИС управления питанием.

На сегодня достигнут значительный прогресс в сфере микропроцессоров и приемопередатчиков с низким энергопотреблением, но ИС управления питанием, пригодные для применения в энергособирающих (energy harvesting) системах, лишь недавно стали появляться на рынке. В статье представлен краткий обзор некоторых типов энергособирающих устройств и подробно рассмотрены факторы, которые следует учитывать при выборе для них ИС управления питанием.

Энергособирающие устройства можно разделить на две широкие категории по виду вырабатываемого ими тока (постоянный или переменный). Энергособирающие устройства постоянного тока (например, солнечная панель или термоэлектрический генератор) преобразуют энергию от источников, ра-

бочий параметр которых (соответственно, интенсивность света или градиент температуры) изменяется во времени очень медленно. Выпрямлять выходное напряжение таких устройств не требуется.

К энергособирающим устройствам переменного тока относятся пьезоэлектрические элементы, которые преобразуют энергию вибрации, а также электромагнитные генераторы и антенны-выпрямители, вырабатывающие электрический ток из энергии радиочастотного электромагнитного поля. Выходное напряжение таких устройств необходимо выпрямлять, чтобы его можно было использовать для питания системы. В данной статье рассматриваются только энергособирающие устройства постоянного тока, так как они более доступны в массовых количествах по сравнению с преобразователями переменного тока.

На рис. 1 показана общая архитектура энергособирающей системы. Она состоит из энергособирающего устройства, энергетического буфера (суперконденсатора или аккумулятора), ИС управления питанием и нагрузки. Поскольку поступление энергии извне зависит от меняющихся во времени условий окружающей среды, энергия извлекается по мере доступности и накапливается в буфере.

Нагрузка системы питается от энергетического буфера. Тем самым обеспечивается работа системы даже в том случае, если энергия из окружающей среды не поступает. Сам блок управления питанием состоит из DC/DC-преобразователя, схемы оптимального сопряжения с энергособирающим преобразователем, схемы управления аккумулятором, стабилизатора выходного напряжения и схемы холодного пуска. Рассмотрим функциональные и конструктивные особенности каждого из перечисленных блоков.

Зарядное устройство

Назначение зарядного устройства — извлекать максимально возможную энергию из солнечной панели или термоэлектрического генератора и передавать ее в буфер. К основным факторам, которые

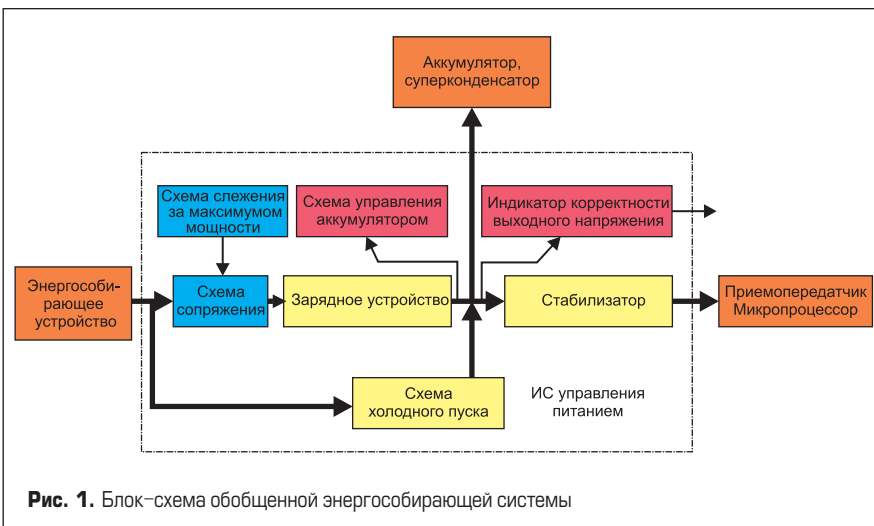


Рис. 1. Блок-схема обобщенной энергособирающей системы

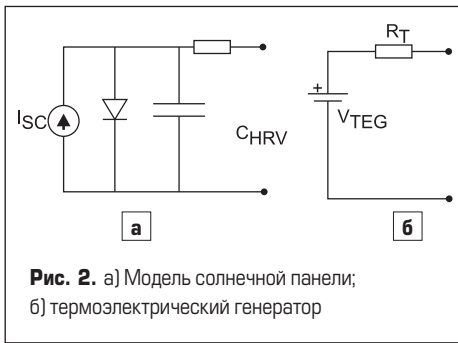


Рис. 2. а) Модель солнечной панели; б) термоэлектрический генератор

требуют рассмотрения при конструировании зарядного устройства, относятся топология, КПД, схема извлечения максимальной мощности и уровень сложности. Наиболее распространенные варианты топологии зарядного устройства — это линейные стабилизаторы с малым падением напряжения (LDO), понижающие преобразователи, повышающие преобразователи и понижающе-повышающие преобразователи.

В случае солнечной панели топология зависит главным образом от выходного напряжения солнечной батареи. Выходное напряжение одноэлементной солнечной панели равняется обычно 0,5 В. Соответственно, для систем с одно- и двухэлементными солнечными панелями необходимо использовать топологию повышающего преобразователя, так как напряжение аккумулятора обычно выше (1,2 В для Ni-MH и 3 В для Li-ion).

При большем числе последовательно соединенных элементов можно использовать другие виды преобразователей, такие как диодный выпрямитель, понижающий стабилизатор или линейный стабилизатор с малым падением напряжения. Выходное напряжение термоэлектрического генератора находится в диапазоне 10–500 мВ, поэтому с ним в основном используется повышающий преобразователь. Теоретически можно последовательно соединить несколько термоэлектрических генераторов и получить более высокое напряжение, позволяющее применить понижающий стабилизатор или линейный стабилизатор с малым падением напряжения, но у такой цепочки генераторов будет высокое последовательное сопротивление.

Чтобы извлечь максимально возможную мощность из солнечной панели или термоэлектрического генератора, необходимо, чтобы они работали в точке максимальной мощности. Для пояснения рассмотрим модели солнечной панели и термоэлектрического генератора, приведенные на рис. 23а, б.

Солнечную панель можно смоделировать как источник тока в виде обратного смещенного диода, включенного параллельно с паразитной емкостью C_{HRV} . Выходной ток диода пропорционален интенсивности падающего на него света. Модель термоэлектрического генератора представляет собой источник напряжения, последовательно соединенный с резистором. Модели резисторов и внутреннее сопротивление термоэлектрического генератора зависят от свойств материалов, из которых он состоит, и его размеров.

Зависимость тока и мощности от напряжения для типичных образцов солнечной панели и термоэлектрического генератора показана на рис. 3 и 4 соответственно. Как можно видеть, для солнечной панели максимальная мощность достигается при напряжении, равном приблизительно 80% от напряжения холостого хода. Для термоэлектрического генератора напряжение максимальной мощности составляет 50% процентов от напряжения холостого хода.

Исходя из кривых, представленных на рис. 3, ясно, что для извлечения максимальной возможной мощности необходима схема сопряжения. Схема извлечения максимальной мощности динамически подстраивает входной импеданс DC/DC-преобразователя, обеспечивая его работу при напряжении максимальной мощности. В случае солнечной панели максимальная мощность извлекается простыми методами (стабилизация входного напряжения на заданном уровне относительно напряжения холостого хода либо стабилизация входного тока на заданном уровне относительно тока короткого замыкания) или более сложными, с использованием микропроцессора.

Среди методов получения максимальной мощности от термоэлектрического генератора можно упомянуть динамическое

изменение частоты переключения DC/DC-преобразователя и стабилизацию входного напряжения DC/DC-преобразователя на уровне 50% от напряжения холостого хода. Во всех этих преобразователях выходное напряжение задается энергетическим буфером.

Обратите внимание, что выбор топологии преобразователя представляет собой компромисс между сложностью конструкции, числом компонентов и КПД. Как правило, импульсные преобразователи обеспечивают более высокий КПД по сравнению с линейными стабилизаторами, но достигается это ценой увеличения числа компонентов, повышения сложности и увеличения занимаемой площади на печатной плате.

Схема управления аккумулятором

Для накопления энергии, нерегулярно поступающей от энергособирающего устройства, используется энергетический буфер. Система питается энергией, запасенной в нем. Такая архитектура обеспечивает непрерывную работу устройства.

Чаще всего в качестве энергетического буфера используются аккумуляторные батареи различного химического состава и суперконденсаторы. Схема управления аккумулятором выполняет две основные функции:

- контроль нахождения выходного напряжения энергетического буфера в безопасном диапазоне, заданном нижним (UnderVoltage, UV) и верхним (OverVoltage, OV) порогами;
- контроль заряда энергетического буфера и сигнализация нагрузке о наличии достаточного количества энергии для выполнения полезной работы.

В простейшем случае контроль заряда может осуществляться путем измерения напряжения на буфере. Более сложный метод предполагает измерение напряжения на аккумуляторной батарее с одновременным измерением поступающего и вытекающего из нее тока. Если для определения остатка заряда в буфере используется простой вольтметрический метод, можно реализовать индикацию корректности выходного напряжения (Power Good) исходя

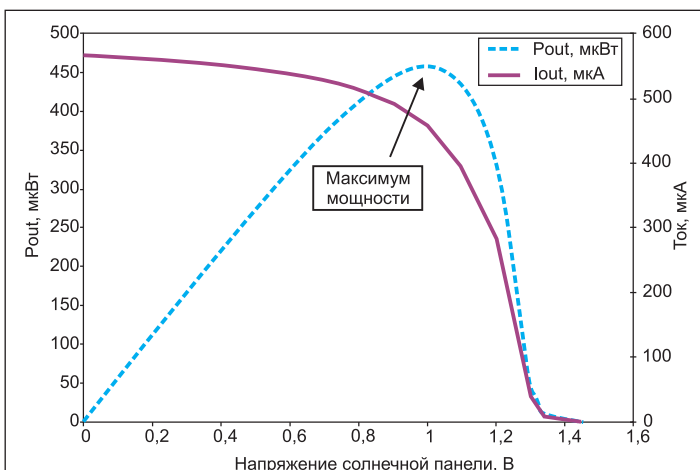


Рис. 3. Зависимость тока и мощности от напряжения для солнечной панели

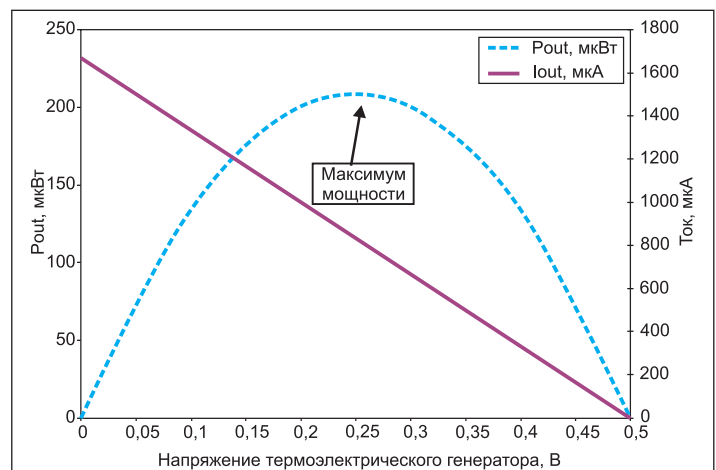


Рис. 4. Зависимость тока и мощности от напряжения для термоэлектрического генератора

из некоторого заданного пользователем промежуточного уровня напряжения.

Конструктивные соображения, относящиеся к схеме управления аккумулятором, зависят от типа используемого энергетического буфера. Для аккумуляторных батарей верхний и нижний пороги определяются химическим составом гальванических элементов. В случае суперконденсаторов верхний и нижний пороги определяются наименьшим из предельно допустимых напряжений ИС и конденсатора. Задав оптимальные рабочие параметры энергетического буфера, можно добиться максимального срока службы всей системы.

Еще один конструктивный параметр — это ток, потребляемый схемой управления аккумулятором в режиме покоя. В состав этой схемы входят такие элементы, как источники опорного напряжения, компараторы и цифровая логика. Потребляемый ими ток необходимо свести к минимуму, так как он расходует заряд аккумулятора, который мог бы быть использован для питания внешней нагрузки.

Схема холодного пуска

Схема холодного пуска — это необязательный блок, который может присутствовать

в ИС управления питанием энергособирающей системы. Его назначение — обеспечить пуск системы в случаях, когда запасенной в буфере энергии недостаточно.

Конструкция схемы холодного пуска зависит от применения. При использовании солнечных панелей можно приводить в действие ключи временного низкоэффективного импульсного преобразователя генератором, питающимся от входа, а не от аккумулятора [1]. После того как в буфере накопится достаточно энергии, можно переключиться на высокоэффективный импульсный преобразователь.

Для термоэлектрических генераторов схему холодного пуска можно реализовать с использованием генератора с трансформаторной связью или механического движения системы [2, 3]. Конструктивными параметрами этого блока являются минимальное пусковое напряжение, пусковая мощность, пиковый пусковой ток и время пуска.

Стабилизатор призван обеспечивать стабилизацию выходного напряжения аккумулятора. Топология этого блока зависит от типа аккумулятора, требований к нагрузке и тока покоя.

Выводы

Мы рассмотрели основные соображения, которые следует учитывать при проектировании или выборе ИС управления питанием для энергособирающих систем постоянного тока, в том числе конструктивные соображения по каждому из функциональных блоков такой ИС. ИС управления питанием энергособирающей системы может объединять в себе все эти функциональные блоки или некоторые из них. Выбор ИС зависит от энергособирающего устройства, энергетического буфера и нагрузки системы.

Литература

1. Low input voltage step-up converter in 6 pin SC-70 package (TPS61220). DataSheet (SLVS776). Texas Instruments. 2009.
2. Ramadass Y., Chandrakasan A. A battery-less thermoelectric energy harvesting interface circuit with 35 mV startup voltage // IEEE Journal of Solid State Circuits. 2011.
3. Damaschke J. Design of a low input voltage converter for thermoelectric generators // IEEE Journal of Industrial Applications. V. 3. № 55. 1997.