

# Импульсные стабилизаторы напряжения PI33xx и PI34xx

Дмитрий ИВАНОВ,  
к. т. н.  
di@efo.ru  
Игорь КРИВЧЕНКО,  
к. т. н.  
ik@efo.ru

В статье рассмотрены новые интегральные импульсные стабилизаторы напряжения семейства Cool-Power ZVS Buck Regulator, разработанные компанией Picor — подразделением американской корпорации Vicor, которое специализируется на проектировании интегральных микросхем для применения в системах питания электронной аппаратуры.

## Введение

В одной из прошлогодних публикаций, посвященных продукции американской корпорации Vicor, мы рассказывали о DC/DC-конвертерах семейства Cool-Power [1], разработанных компанией Picor, которая занимается проектированием интегральных микросхем и специальных полупроводниковых компонентов для систем питания электронной аппаратуры. В этой статье мы рассмотрим еще одну группу электронных компонентов, созданных компанией Picor. Речь пойдет об интегральных импульсных стабилизаторах напряжения PI33xx семейства Cool-Power ZVS Buck Regulator (рис. 1), которые включены в список ста самых востребованных продуктов электронной промышленности 2012 года по версии журнала EDN [2], а также о новейших микросхемах серии PI34xx, серийное производство которых началось в феврале 2013 года.

## Топология ZVS Buck-преобразователей

Преобразователи семейства Cool-Power ZVS Buck Regulator — это интегральные импульсные понижающие стабилизаторы напряжения с синхронным управлением силовыми ключами, неизолированным (от входных электрических цепей) вы-

ходом и внешней катушкой индуктивности. От классического синхронного Buck-преобразователя напряжения с двумя силовыми ключами, работающими в противофазе, ZVS Buck-преобразователь отличается тем, что в его структуре есть третий силовой ключ SW (рис. 2). Он замыкается в тот момент, когда ключ Q1 находится в разомкнутом состоянии, а ключ Q2 переходит из замкнутого в разомкнутое состояние. При размыкании ключа SW в резонансном контуре, частью которого является катушка индуктивности L, начинается переходный процесс, приводящий к росту напряжения в узле VS. К тому

моменту времени, когда замыкается главный силовой ключ Q1, напряжение в узле VS достигает уровня, близкого к входному напряжению  $V_{in}$ . Таким образом, падение напряжения на ключе Q1 в момент его замыкания приблизительно равно нулю, и именно этим обстоятельством объясняется название преобразователя, так как аббревиатура ZVS образована от словосочетания Zero Voltage Switching (коммутация при нулевом напряжении).

Алгоритм работы ZVS Buck-преобразователя подробно описан в статье [3], и тех читателей, которые интересуются топологией импульсных преобразователей напряжения,

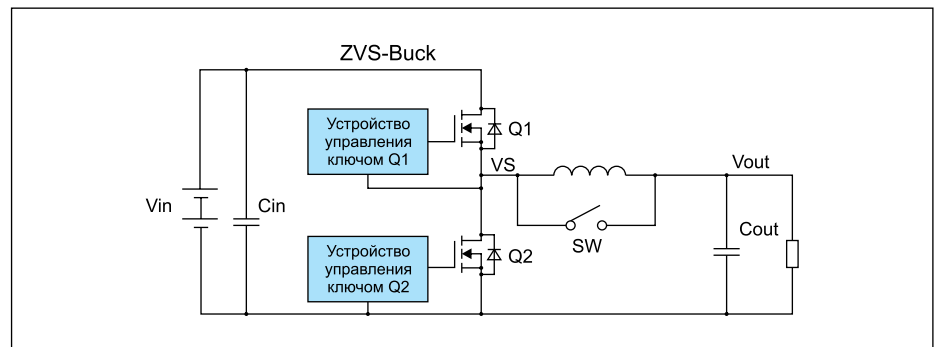


Рис. 2. Упрощенная функциональная схема ZVS Buck-преобразователя



Рис. 1. Микросхемы семейства Cool-Power ZVS Buck Regulator

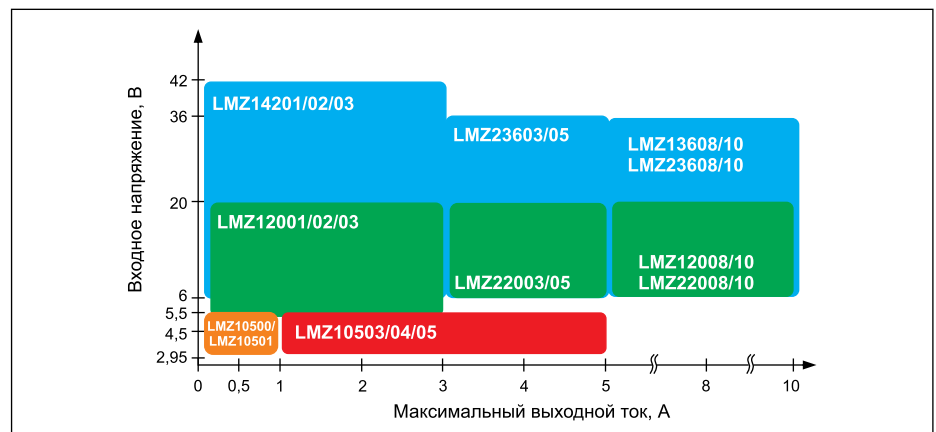


Рис. 3. Электрические параметры модулей питания семейства Simple Switcher

мы отсылаем к этому источнику информации. Здесь также можно найти временные диаграммы токов в электрических цепях ZVS Buck-преобразователя, диаграммы напряжений в его основных узлах, соответствующие диаграммы работы классического импульсного Buck-преобразователя и сравнение фундаментальных свойств двух этих структур. Наша статья адресована в первую очередь инженерам — разработчикам источников питания, применяющим в своих проектах уже готовые интегральные решения. По этой причине мы сконцентрируем внимание на преимуществах, которые получили преобразователи Picog благодаря внедрению ZVS-технологии.

В качестве объекта для сравнения с микросхемами Picog мы выбрали модули питания Simple Switcher серий LMZ23608/10, которые были разработаны компанией National Semiconductor в 2011 году, а в настоящее время поставляются компанией Texas Instruments. Для такого выбора были следующие основания. Во-первых, модули питания Simple Switcher до недавнего времени были лучшими на мировом рынке (в своем классе электронных компонентов), а по некоторым характеристикам остаются лучшими до сих пор [4]. Во-вторых, по своему функциональному назначению, принципу действия и предельным электрическим параметрам (рис. 3) эти модули находятся ближе всего к главному объекту нашего внимания.

### Общая характеристика интегральных микросхем семейства PI33xx

PI33xx — это семейство функционально законченных импульсных понижающих неизолированных стабилизаторов напряжения с входным напряжением от 8 до 36 В, выходным напряжением от 1 до 16 В, выходным током до 15 А, коэффициентом полезного действия (КПД) до 98% и миниатюрным корпусом типа LGA (рис. 1) с габаритными размерами 10×14×2,6 мм. Для того чтобы на базе такой микросхемы построить законченный источник питания, необходимо подключить к ней всего три внешних пассивных компонента — входной  $C_{in}$  и выходной  $C_{out}$  конденсаторы и катушку индуктивности L (рис. 4а). Еще один внешний конденсатор (между выводами TRK и SGND) требуется для программирования скорости нарастания выходного напряжения при включении источника питания (режим плавного пуска), а также один внешний резистор может понадобиться для регулировки выходного напряжения, если нужно получить выходное напряжение, отличающееся от одного из семи номинальных значений: 1, 1,8, 2,5, 3,3, 5, 12 или 15 В. Для увеличения выходного напряжения регулировочный резистор подключают между выводами ADJ и SGND, а для уменьше-

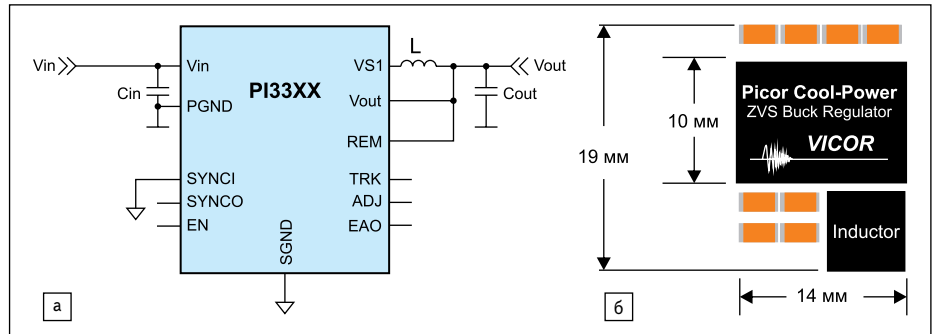


Рис. 4. Источник питания на базе микросхемы семейства PI33xx: а) принципиальная схема; б) размеры

ния — между выводами ADJ и  $V_{OUT}$  микросхемы. В результате, добавив лишь несколько внешних компонентов, на базе микросхемы семейства PI33xx можно создать источник питания с выходной мощностью до 120 Вт (15 В, 8 А), занимающий на печатной плате площадь всего 266 мм<sup>2</sup> (рис. 4б).

В состав семейства входят четыре серии микросхем: PI33xx-00, PI33xx-01, PI33xx-20 и PI33xx-21. Микросхемы серий PI33xx-20 и PI33xx-21 отличаются наличием у них встроенного цифрового интерфейса I<sup>2</sup>C, с помощью которого можно дистанционно программировать некоторые параметры и контролировать состояние микросхемы. Но описание этих опций выходит за рамки нашей статьи. Все необходимую информацию по использованию цифрового интерфейса микросхем PI33xx-2x можно найти на сайте компании Vicor [5] в документе “PI33xx-2x I<sup>2</sup>C Digital Interface Guide”.

Серия PI33xx-00 состоит из семи микросхем со значениями номинального выходного напряжения от 1 до 15 В (табл. 1), а серия PI33xx-01 — только из четырех микросхем с номинальными выходными напряжениями от 1 до 3,3 В и максимальным выходным током 15 А. В этом заключаются первые два существенных отличия микросхем Picog Cool-Power от модулей Simple Switcher серии LMZ2, среди которых нет стабилизаторов с фиксированными выходными напряжениями (выходное напряжение задается двумя внешними резисторами), а также устройств с выходным током 15 А. Максимальная выходная мощность модулей LMZ2 равна 50 Вт [6], и по этому параметру они также уступают преобразователям Picog, которые могут конвертировать мощность до 120 Вт (PI3305-00-LGIZ).

Рабочая частота преобразователей семейства PI33xx зависит от номинального вы-

Таблица 1. Электрические параметры и эксплуатационные характеристики микросхем PI33xx-00/01 и LMZ23608/10

Параметр	Серия микросхем		
	PI33xx-00	PI33xx-01	LMZ23608/10
Разработчик	Picor		National Semiconductor
Поставщик	Vicor		Texas Instruments
Максимальное входное напряжение, В	36		
Номинальное выходное напряжение, В	1; 1,8; 2,5; 3,3; 5; 12; 15	1; 1,8; 2,5; 3,3	Программируется внешними резисторами
Пределы регулировки выходного напряжения, В	1–1,4; 1,4–2; 2–3; 1; 2,3–4,1; 3,3–6,5; 6,5–13; 10–16	1–1,4; 1,4–2; 2–3; 1; 2,3–4,1	0,8–6
Максимальный выходной ток, А	8; 10	15	8/10
Собственный ток потребления в активном режиме, мА	2,5		3
Размах напряжения пульсаций (при Vout = 5 В и максимальной нагрузке), мВ	50	—	24
Внутренняя частота коммутации, кГц	500–1500	500–650	360
Максимальный коэффициент полезного действия, %	98	94	92
Коэффициент полезного действия (при Vin = 36 В, Vout = 5 В, Iout = 10 А), %	92	—	82
Коэффициент полезного действия (при Vin = 36 В, Vout = 5 В, Iout = 5 А), %	91	—	80
Коэффициент полезного действия (при Vin = 36 В, Vout = 5 В, Iout = 1 А), %	81	—	63
Рабочий температурный диапазон (Tj), °C	–40...+125		
Вход Enable	Да		
Внешняя синхронизация	Да		
Режим Remote Sensing	Да		
Плавный пуск	Да		
Режим Current Sharing	Да		
Встроенная катушка индуктивности	Нет		Да
Тип корпуса	LGA-123		TO-PMOD-11
Габаритные размеры, мм	10×14×2,6		15×17,8×5,9

Примечание. Vin — входное напряжение; Vout — выходное напряжение; Iout — выходной ток; Tj — температура встроенных полупроводниковых компонентов.

ходного напряжения и лежит в пределах от 500 до 1500 кГц, что позволяет использовать более компактные внешние пассивные компоненты по сравнению с импульсными преобразователями, имеющими более низкую частоту коммутации. У модулей LMZ23608/10 внутренняя частота коммутации равна 360 кГц, а частота внешней синхронизации не превышает 600 кГц.

Единственный (из приведенных в табл. 1) электрический параметр, по которому преобразователи PI33xx формально проигрывают модулям LMZ2, — это максимальный размах пульсаций выходного напряжения. У модулей LMZ2 приведенное в технической документации значение размаха напряжения пульсаций приблизительно в два раза ниже, чем у микросхем PI33xx, но к оценке этого параметра следует подходить с большой осторожностью, так как разные производители нормируют пульсации напряжения при различных параметрах выходного фильтра. В техническом описании модулей LMZ23610 приводится информация о размахе напряжения пульсаций для случая, когда выходной фильтр состоит из двух полимерных конденсаторов емкостью 330 мкФ и двух керамических конденсаторов емкостью 47 мкФ и 47 нФ соответственно. В документации компании PicoG приведена осциллограмма выходного напряжения микросхемы PI3302 при подключении к выходу микросхемы четырех параллельно соединенных керамических конденсаторов, емкость каждого из которых равна 47 мкФ.

### Интегральные стабилизаторы напряжения семейства PI34xx

Новейшие микросхемы семейства PI34xx по своим параметрам очень похожи на интегральные стабилизаторы напряжения серии PI3301-xx, но отличаются от них более узким диапазоном входного напряжения и более высокой эффективностью преобразования (табл. 2). Кроме того, в семействе PI34xx есть микросхема с номинальным выходным напряжением +5 В.

Рабочий диапазон входного напряжения от 8 до 18 В очень удобен для применения микросхем семейства PI34 в распределенных системах электропитания с архитектурой IBA (Intermediate Bus Architecture) и напряжением 12 В на промежуточной шине, по которой электрическая энергия передается к удаленным нагрузкам. В такой архитектуре (рис. 5) промежуточный шинный преобразователь (Intermediate Bus Converter, IBC) служит только для гальванической развязки промежуточной шины от входного источника электропитания, а также для преобразования уровня входного напряжения [7]. Стабилизацию выходных напряжений на нагрузках  $R_L$  выполняют неизолированные DC/DC-преобразователи класса PoL (non-isolated Point of Load, niPOL).

Таблица 2. Электрические параметры микросхем семейства PI34xx

Артикул производителя	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В		Максимальный выходной ток, А	Максимальный КПД, %
		Номинальное значение	Пределы регулировки		
PI3420-00-LGIZ	8–18	1	1–1,4	15	90
PI3421-00-LGIZ		1,8	1,4–2	15	93
PI3422-00-LGIZ		2,5	2–3,1	15	94
PI3423-00-LGIZ		3,3	2,3–4,1	15	95
PI3424-00-LGIZ		5	3,3–6,5	15	97

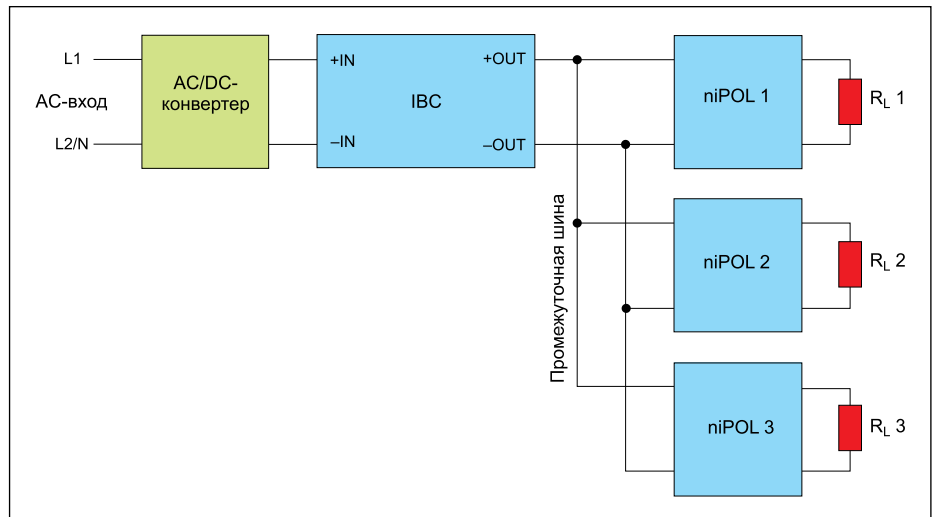


Рис. 5. Распределенная система электропитания с архитектурой IBA

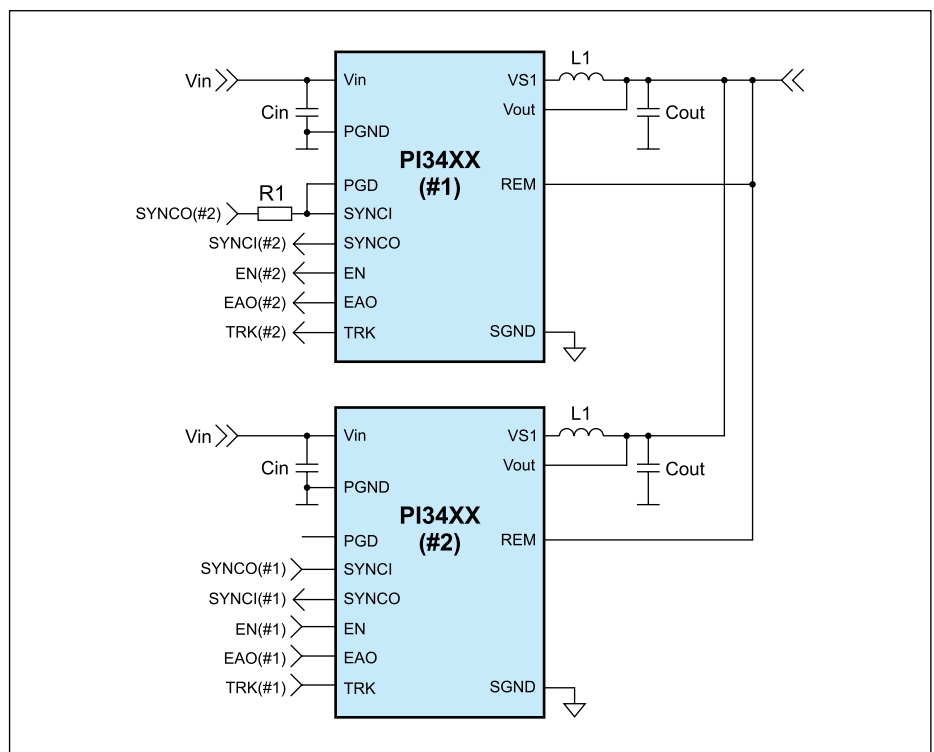


Рис. 6. Схема подключения двух стабилизаторов напряжения PI33xx или PI34xx к общей нагрузке

### Режим Current Sharing

Микросхемы семейств PI33xx и PI34xx могут параллельно работать на общую нагрузку в режиме Current Sharing, что позволяет получить суммарный выходной ток более

15 А. Для организации такого режима работы не требуется каких-либо дополнительных внешних компонентов, кроме одного резистора. Нужно лишь соединить между собой управляющие выходы микросхем, как показано на схеме, изображенной на рис. 6.

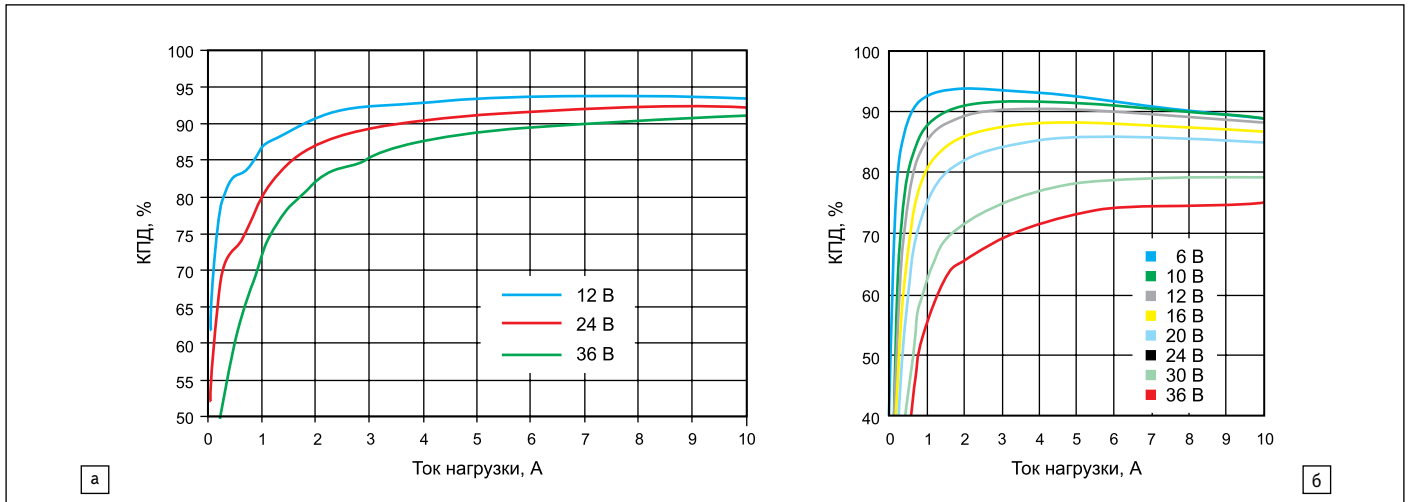


Рис. 7. Зависимость КПД источника питания от тока нагрузки (при выходном напряжении 3,3 В и температуре окружающей среды +25 °С) для двух вариантов реализации проекта: а) на микросхеме PI3301-00-LGIZ [5]; б) на микросхеме LMZ23610TZ [6]

**Всего два процента до идеала**

Одной из важнейших технических характеристик любого преобразователя электрической энергии является его эффективность, и именно по этому показателю интегральные импульсные стабилизаторы напряжения PI33xx и PI34xx являются лидерами на мировом рынке в своем классе электронных компонентов. Максимальный КПД этих преобразователей достигает 98% [5], причем высокое значение КПД сохраняется при низких токах нагрузки.

На рис. 7 приведены семейства графиков зависимости КПД от тока нагрузки для микросхем PI3301-00-LGIZ (Vicor/Picor) и LMZ23610TZ (Texas Instruments/National Semiconductor). На базе любой из этих микросхем можно построить импульсный источник питания с номинальным входным напряжением 36 В и выходным напряжением 3,3 В, но эффективность преобразования у первого варианта (рис. 7а) будет значительно выше, чем у второго (рис. 7б). Например, при номинальном выходном токе (10 А) КПД первого источника питания равен 91%, а второго — лишь 75%, при снижении тока нагрузки до 1 А КПД первого источника падает до 72%, а второго — до 55%.

**Оценочная плата**

Проектирование источника питания на базе микросхемы семейства PI33 мы рекомендуем начинать с изучения оценочных плат PI33XX-XX-EVAL1 (рис. 8), описание которых можно найти на сайте компании Vicor [5]. Такие платы существуют для всех микросхем семейства PI33, а заказать нужную плату можно у официальных дистрибьюторов Vicor.

Внимательное изучение описания оценочной платы позволит свести к минимуму вероятность ошибок при проектировании, так



Рис. 8. Оценочная плата PI33XX-XX-EVAL1

как оно содержит полный перечень внешних пассивных компонентов, необходимых для «обвязки» микросхемы, и топологию четырехслойной печатной платы для монтажа микросхемы. Кроме того, оценочная плата избавит разработчика источника питания от необходимости изготовления собственного макетного образца и даст возможность сразу же приступить к натурным испытаниям. Последнее обстоятельство играет важную роль еще и потому, что монтаж микросхемы в корпусе LGA-123 требует применения промышленной технологии пайки. Такую микросхему невозможно припаять на плату вручную в лабораторных условиях.

**Заключение**

Все упомянутые в статье микросхемы запущены в серийное производство и доступны для заказа через официальных дистрибьюторов компании Vicor.

В будущих выпусках журнала «Компоненты и технологии» мы расскажем о новых компонентах Vicor, предназначенных для

построения источника электропитания — самого ответственного узла любого электронного устройства.

**Литература**

1. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. DC/DC-конвертеры семейства Cool-Power // Компоненты и технологии. 2012. № 8.
2. EDN Hot 100 Products of 2012: <http://www.edn.com/electronics-products/other/4401457/EDN-Hot-100-products-of-2012>
3. Swartz C. R. High Performance ZVS Buck Regulator Removes Barriers To Increased Power Throughput In Wide Input Range Point-Of-Load Applications: [http://www.vicorpower.com/webdav/site/com.vicor/www/shared/documents/whitepapers/Picor/wp\\_HighPerformanceZVS.pdf](http://www.vicorpower.com/webdav/site/com.vicor/www/shared/documents/whitepapers/Picor/wp_HighPerformanceZVS.pdf)
4. Иванов Д. Модули питания Simple Switcher серии LMZ2 // Компоненты и технологии. 2011. № 7.
5. [www.vicorpower.com](http://www.vicorpower.com)
6. [www.ti.com](http://www.ti.com)
7. Белотуров В., Иванов Д., Кривченко И. Распределенные системы электропитания на базе модулей IBC компании Vicor // Компоненты и технологии. 2012. № 8.