

Модули питания LMZ120xx и LMZ142xx

Дмитрий ИВАНОВ,
к. т. н.
di@efo.ru

Статья продолжает цикл публикаций, посвященных интегральным импульсным стабилизированным модулям питания компании National Semiconductor. Рассмотрены два новых семейства микросхем: LMZ120xx и LMZ142xx.

Введение

В предыдущем выпуске журнала «Компоненты и технологии» [1] мы начали разговор о новых интегральных импульсных стабилизаторах напряжения компании National Semiconductor, которые получили название Simple Switcher Power Modules LMZ Series (модули питания серии LMZ). Был сделан краткий обзор серии LMZ, рассмотрены основные преимущества модулей питания со встроенной экранированной катушкой индуктивности, описан новый корпус TO-PMOD-7 (рис. 1). Немного более подробно были рассмотрены модули питания семейства LMZ105xx, рассчитанные на входное напряжение от 2,95 до 5,5 В и максимальный ток нагрузки до 5 А. Новая статья посвящена модулям питания с максимальным входным напряжением 20 В (LMZ120xx) и 42 В (LMZ142xx) и максимальным выходным током до 3 А.

Компания National Semiconductor выпускает интегральные импульсные стабилизаторы напряжения Simple Switcher уже более 20 лет. За эти годы на свет появились 5 поколений этих популярных микросхем [2]. Каждое последующее поколение микросхем Simple Switcher имеет ряд технических преимуществ по сравнению со своими предшественниками, но не заменяет его полностью. Представители всех пяти поколений до сих пор присутствуют в программе поставок компании National Semiconductor и занимают свою собственную нишу на рынке элек-

тронных компонентов. Новым интегральным модулям питания, которые появились на рынке под старой торговой маркой, без труда можно предсказать такую же судьбу. Они пришли не на замену ранее выпущенным микросхемам Simple Switcher, а в дополнение к ним. Модули питания предназначены для тех сегментов рынка, которым требуются источники питания, отвечающие самым высоким требованиям к таким характеристикам, как надежность, компактность, эффективность, способность работать в предельно широком температурном диапазоне и ряду других показателей, о которых пойдет речь в этой статье.

Общая характеристика семейств LMZ120xx и LMZ142xx

Семейства модулей питания LMZ120xx и LMZ142xx имеют очень много общего и в принципе отличаются друг от друга только пределами изменения входных напряжений, допустимые значения которых приведены в таблице. И те, и другие модули являются функционально законченными интегральными импульсными стабилизаторами напряжения, в которых реализована топология понижающего DC/DC импульсного преобразователя с синхронным управлением силовыми ключами [2]. В обоих семействах используется один и тот же метод стабилизации выходного напряжения — Constant On Time, в основе которого лежит постоянное (при постоянном входном напряжении) время включения «главного» силового ключа,

соединяющего катушку индуктивности с источником входного напряжения. Модули обоих семейств имеют одну и ту же схему включения (рис. 2), выпускаются в однотипных 7-выводных корпусах TO-PMOD-7 и имеют одинаковую цоколевку, благодаря чему эти модули питания обладают полной взаимозаменяемостью (при условии соблюдения требований к предельным режимам эксплуатации).

В статье [1] уже говорилось об этом, но хочется подчеркнуть еще раз, что модули питания LMZ105xx взаимозаменяемы только внутри своего семейства, поскольку они не имеют с модулями LMZ120xx и LMZ142xx ничего общего, кроме функционального назначения и корпуса. В модулях LMZ105xx используется другой метод стабилизации, основанный на широтно-импульсной модуляции разности выходного и образцового напряжений. Они работают на постоянной частоте 1 МГц, а также отличаются от LMZ120xx и LMZ142xx цоколевкой и схемой включения.

Номенклатура модулей питания LMZ120xx и LMZ142xx приведена в таблице. Каждое семейство содержит по 3 модуля, которые отличаются друг от друга только максимальным выходным током (1, 2 или 3 А), а каждая из микросхем имеет 3 варианта упаковки. По состоянию производства на 12 апреля 2010 года в тубах выпускаются пока только 2 модуля, максимальный выходной ток которых равен 3 А: LMZ12003 и LMZ14203 (таблица). Все остальные модули уже сейчас доступны для заказа в любом из трех вариантов упаковки.

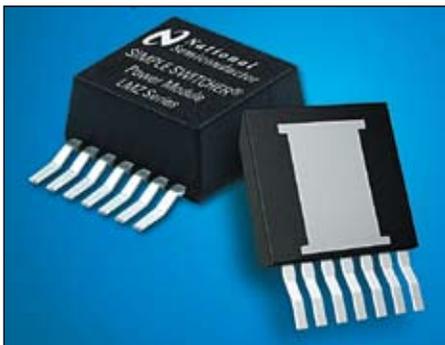


Рис. 1. Модули питания серии LMZ

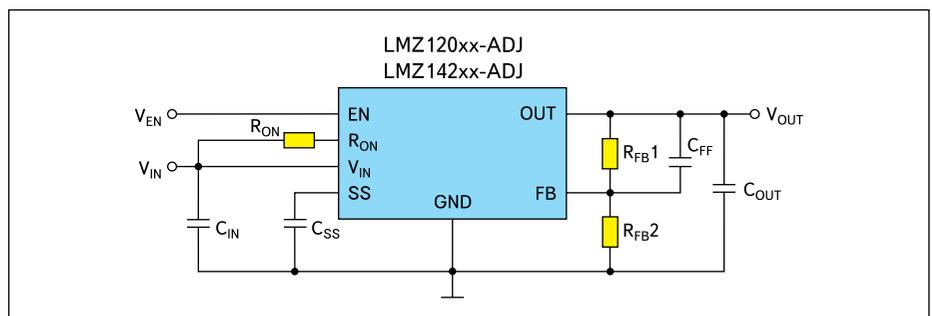


Рис. 2. Функциональная схема источника питания на базе микросхемы LMZ120xx-ADJ или LMZ142xx-ADJ

Таблица. Состав и основные электрические параметры модулей питания семейств LMZ120xx и LMZ142xx

Наименование микросхемы	Выходной ток (max), А	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Упаковка
LMZ12001TZ-ADJ	1	4,5–20	0,8–6	Лента, 250 шт.
LMZ12001TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ12001TZX-ADJ				Лента, 500 шт.
LMZ12002TZ-ADJ				Лента, 250 шт.
LMZ12002TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ12002TZX-ADJ				Лента, 500 шт.
LMZ12003TZ-ADJ	2	4,5–20	0,8–6	Лента, 250 шт.
LMZ12003TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ12003TZX-ADJ				Лента, 500 шт.
LMZ14201TZ-ADJ	1	6–42	0,8–6	Лента, 250 шт.
LMZ14201TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ14201TZX-ADJ				Лента, 500 шт.
LMZ14202TZ-ADJ				Лента, 250 шт.
LMZ14202TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ14202TZX-ADJ				Лента, 500 шт.
LMZ14203TZ-ADJ	2	6–42	0,8–6	Лента, 250 шт.
LMZ14203TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ14203TZX-ADJ				Лента, 500 шт.
LMZ14203TZ-ADJ	3	6–42	0,8–6	Лента, 250 шт.
LMZ14203TZE-ADJ				Туба, 45 шт.
LMZ14203TZX-ADJ				Лента, 500 шт.

Схема включения и режимы работы

Метод Constant On Time, который используется в модулях питания семейств LMZ120xx и LMZ142xx, основан на сравнении напряжения обратной связи, поступающего на вход FB модуля (рис. 2), с внутренним образцовым напряжением. Номинальное значение образцового напряжения равно 0,8 В. Сравнение напряжений выполняется с помощью компаратора, выход которого соединен с тактовым входом одновибратора, вырабатывающего импульс управления главным силовым ключом. Длительность управляющего импульса (On Time) пропорциональна сопротивлению резистора R_{ON} (рис. 2) и обратно пропорциональна входному напряжению V_{IN} . Сопротивление R_{ON} необходимо выбирать таким, чтобы при максимальном входном напряжении время On Time цикла было не меньше чем 150 нс.

В течение On Time цикла главный силовой ключ соединяет один из выводов встроенной катушки индуктивности с источником входного напряжения V_{IN} . По окончании On Time цикла главный ключ размыкается и остается в разомкнутом состоянии (Off Time) не менее чем на 260 нс. Одновременно с размыканием главного ключа замыкается второй (синхронный) силовой ключ, соединяющий катушку индуктивности с шиной «земля».

Когда напряжение на входе FB становится ниже, чем образцовое напряжение на выходе встроенного опорного источника, компаратор изменяет свое состояние и запускает новый On Time цикл.

Алгоритм работы синхронного силового ключа зависит от величины нагрузки, подключенной к выходу OUT.

При относительно большом выходном токе, когда за время Off Time цикла ток в катушке индуктивности не успевает снизиться

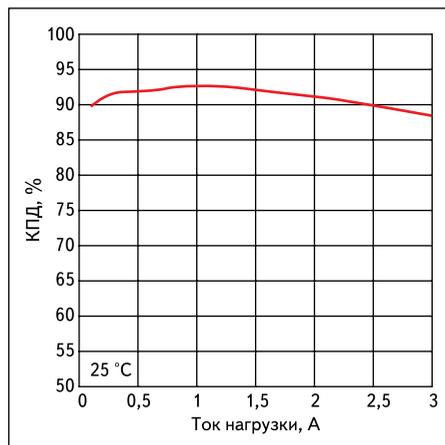


Рис. 3. Зависимость КПД модуля питания LMZ12003 от тока нагрузки при входном напряжении 12 В и выходном напряжении 5 В

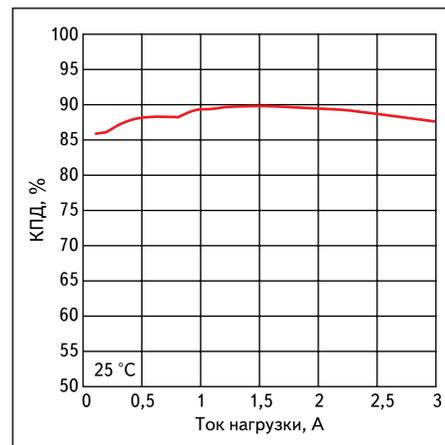


Рис. 4. Зависимость КПД модуля питания LMZ14203 от тока нагрузки при входном напряжении 24 В и выходном напряжении 5 В

до нуля, импульсный стабилизатор напряжения работает в режиме «непрерывной проводимости» — Continuous Conduction Mode (CCM). В этом режиме главный и синхронный ключи переключаются в противофазе, а частота F_{SW} коммутации ключей практически постоянна и определяется следующим приближенным выражением [2]:

$$F_{SW} \approx V_{OUT} / (1,3 \times 10^{-10} \times R_{ON}), \quad (1)$$

где V_{OUT} — выходное напряжение.

При низком токе нагрузки стабилизатор переходит в режим «дискретной проводимости» — Discontinuous Conduction Mode (DCM). Цикл коммутации начинается при нулевом токе в катушке индуктивности. За время On Time ток в катушке нарастает до своего максимального значения, а затем снижается, достигая нулевого значения раньше, чем начнется новый On Time цикл. Когда ток в катушке упадет до нуля, синхронный силовой ключ размыкается. Передача электромагнитной энергии от входа к выходу прекращается до начала очередного On Time цикла, то есть до тех пор, пока выходное напряжение не опустится ниже опорного. В течение всего времени, пока оба силовых ключа находятся в разомкнутом состоянии, в нагрузку поступает только та энергия, которая была запасена в выходном конденсаторе C_{OUT} (рис. 2). В режиме DCM частота коммутации ниже, чем в режиме CCM, и зависит от тока нагрузки.

Благодаря тому, что при переходе в режим DCM снижаются потери энергии на коммутацию и потери на активном сопротивлении катушки индуктивности, коэффициент полезного действия (КПД) модулей питания LMZ120xx и LMZ142xx сохраняет достаточно высокие значения в области малых токов нагрузки (рис. 3, 4). Таким образом, эти модули питания лишены одного из недостатков семейства LMZ105xx, у представителей которого КПД резко падает при токе нагрузки менее 250 мА [1].

Выходное напряжение модулей LMZ120xx и LMZ142xx регулируется с помощью двух резисторов обратной связи R_{FB1} и R_{FB2} в пределах от 0,8 до 6 В (рис. 2).

Регулировка выходного напряжения с помощью внешнего резистивного делителя напряжения является общей чертой всех модулей питания серии LMZ. Компания National Semiconductor не планирует пополнять эту серию модулями с фиксированным выходным напряжением. Минимальное выходное напряжение для всех модулей равно 0,8 В — напряжению внутреннего опорного источника, а максимальное выходное напряжение для разных семейств серии LMZ имеет разные значения: 5, 6, 18 или 24 В [1]. Модули питания LMZ120xxA и LMZ142xxA с повышенным выходным напряжением (18 и 24 В соответственно) пока не доступны для заказа. Они должны появиться на рынке электронных компонентов летом 2010 года.

Для улучшения переходной характеристики параллельно с резистором R_{FB1} подключается конденсатор C_{FB} , емкость которого подбирается экспериментально. На типовой схеме включения модуля, приведенной в технической документации производителя, емкость этого конденсатора равна 22 нФ [2].

Вход SS модуля питания (рис. 2) предназначен для программирования режима Soft Start («мягкий» старт), благодаря которому снижается бросок тока и исключается перерегулирование при включении модуля. Время «мягкого» старта, в течение которого выходное напряжение достигает своего установившегося значения, можно рассчитать по формуле:

$$T_{SS} \approx C_{SS} \times V_{REF} / I_{SS}, \quad (2)$$

где T_{SS} — время «мягкого» старта; C_{SS} — емкость конденсатора, подключенного к входу SS, Ф; $V_{REF} = 0,8$ В — напряжение внутреннего опорного источника; $I_{SS} = 8$ мкА — ток заряда конденсатора C_{SS} от внутреннего источника тока.

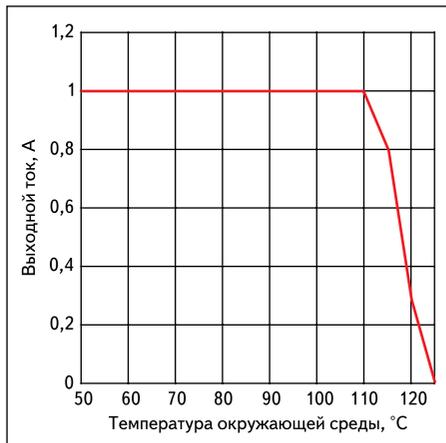


Рис. 5. Зависимость максимального выходного тока модуля питания LMZ14201 от температуры окружающей среды

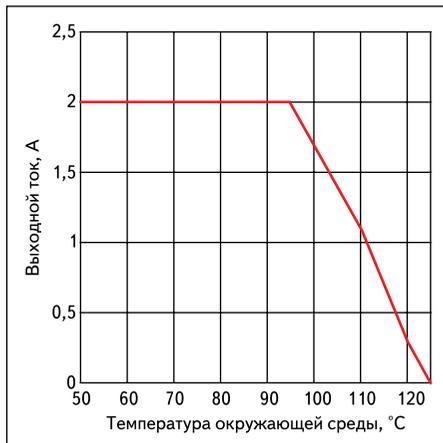


Рис. 6. Зависимость максимального выходного тока модуля питания LMZ14202 от температуры окружающей среды

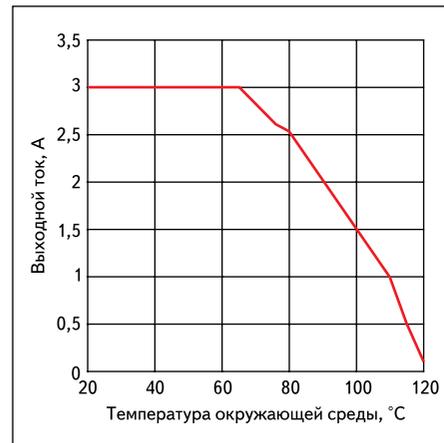


Рис. 7. Зависимость максимального выходного тока модуля питания LMZ14203 от температуры окружающей среды

Расчет по формуле (2) приводит к следующему результату: если емкость конденсатора C_{SS} равна 0,01 мкФ, время «мягкого» старта будет равно 1 мс. Для увеличения или уменьшения этого времени нужно пропорционально изменить емкость конденсатора C_{SS} .

Корпус и рабочий температурный диапазон

Модули LMZ120xx и LMZ142xx выпускаются в 7-выводном герметичном компактном корпусе типа TO-PMOD с габаритными размерами 10,16×13,77×4,57 мм (рис. 1). Выводы имеют длину 3,92 мм и шаг 1,27 мм. Металлическая пластина с обратной стороны корпуса служит для отвода тепла от кристалла. При установке модуля на плату эта пластина электрически соединяется с шиной «земля».

Благодаря такой конструкции корпуса, модули питания серии LMZ удобно монтировать на печатную плату. Монтаж и демонтаж модуля можно легко выполнить даже ручным способом.

Корпус TO-PMOD имеет отличные тепловые характеристики, что позволяет модулям питания серии LMZ работать в широком температурном диапазоне без применения дополнительного радиатора или принудительного охлаждения. Тепловое сопротивление между кристаллом и корпусом равно 1,9 °C/Вт. Тепловое сопротивление между кристаллом и окружающей средой при монтаже на четырехслойную печатную плату равно 19,3 °C/Вт, а при монтаже на двухслойную печатную плату — 21,5 °C/Вт.

Еще одним достоинством корпуса TO-PMOD является внутренний защитный экран, благодаря которому снижается уровень электромагнитных помех, создаваемых при работе импульсного преобразователя напряжения.

Рабочий температурный диапазон кристалла — от -40 до +125 °C, и при нормальной работе температура кристалла не должна выходить за указанные пределы. Для защиты

кристалла от перегрева в аварийных ситуациях существует режим Thermal Shutdown, в который микросхема автоматически переходит при температуре кристалла +165 °C. В этом режиме «главный» ключ закрывается и остается все время в закрытом состоянии, выходное напряжение падает, а конденсатор C_{SS} разряжается с помощью внутреннего источника тока. Ток разряда равен 200 мкА.

При снижении температуры на 15 °C, то есть до +150 °C, модуль переходит в режим Soft Start, выходное напряжение плавно возрастает до стационарного уровня, и нормальная работа возобновляется.

Рабочий температурный диапазон модуля питания зависит от максимальной выходной мощности модуля и режима его эксплуатации. На рис. 5–7 приведены графики, иллюстрирующие снижение максимально допустимого тока нагрузки с ростом температуры окружающей среды для трех модулей семейства LMZ142xx при одинаковых режимах работы модулей по напряжению, а именно: при входном напряжении 24 В и выходном напряжении 5 В [2].

Графики показывают, что при выходной мощности 5 Вт модули могут работать при температуре окружающей среды до +110 °C (рис. 5–7). С ростом выходной мощности верхняя граница рабочего температурного диапазона понижается. При выходной мощности 10 Вт максимальная рабочая температура находится около +90 °C (рис. 6, 7), а при выходной мощности 15 Вт снижается приблизительно до +65 °C (рис. 7).

Переходная характеристика

Еще одним ценным потребительским качеством модулей питания серии LMZ является их быстрый отклик на скачкообразное изменение тока нагрузки.

В качестве примера рассмотрим переходную характеристику модуля питания LMZ14203 (рис. 8). При изменении тока нагрузки этого модуля с 0,6 до 3 А в течение 20 мкс макси-

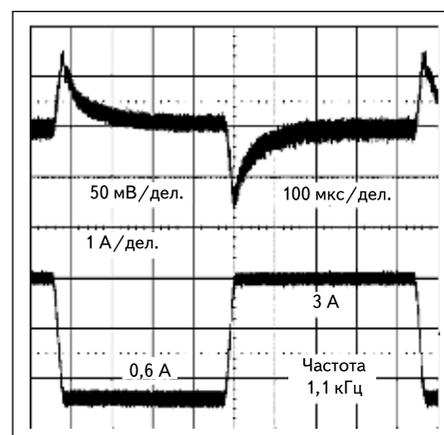


Рис. 8. Переходная характеристика модуля питания LMZ14203

мальное изменение выходного напряжения не превышает 80 мВ, а время переходного процесса равно приблизительно 250 мкс.

Быстрая переходная характеристика модулей питания серии LMZ позволяет рекомендовать эти модули для построения источников питания микросхем FPGA и ASIC, ток потребления которых в различных режимах работы может непредсказуемо изменяться в широких пределах.

Эксплуатационные характеристики и электромагнитная совместимость

Модули питания LMZ120xx и LMZ142xx имеют не только высокий КПД, максимальное значение которого достигает 92% (рис. 3). По своим метрологическим характеристикам эти модули также занимают лидирующее положение в своем классе электронных компонентов.

Максимальная приведенная погрешность внутреннего источника образцового напряжения модулей LMZ120xx и LMZ142xx не превышает ±2,5% при номинальном выходном токе и изменении температуры

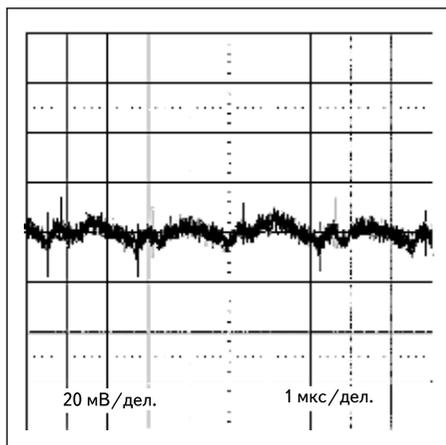


Рис. 9. Пульсации напряжения на выходе модуля питания LMZ14203 при входном напряжении 24 В, выходном напряжении 3,3 В и токе нагрузки 3 А

кристалла в полном рабочем диапазоне — от -40 до $+125$ °С. Типовое напряжение пульсаций на выходе равно 8 мВ (в размахе, рис. 9). Типовой коэффициент стабилизации напряжения $\Delta V_{OUT}/\Delta V_{IN}$ равен 0,01%. Типовая крутизна нагрузочной характеристики $\Delta V_{OUT}/\Delta I_{OUT}$ равна 1,5 мВ/А.

Кроме того, все модули питания серии LMZ сертифицированы на электромагнитную совместимость по стандарту EN55022 (class B). Низкий уровень излучаемых электромагнитных помех достигается благодаря оптимальной компоновке импульсного стабилизатора напряжения в едином малогабаритном корпусе и экранированию катушки индуктивности [2].

Состояние производства и новые семейства модулей

В настоящее время все приведенные в таблице модули питания серийно выпускаются и доступны для заказа в лентах по 250 или 500 штук. В тубах по 45 штук можно заказать только два типа модулей: LMZ12003TZE-ADJ и LMZ14203TZE-ADJ. Все остальные модули также будут поставляться в тубах в самое ближайшее время.

До конца лета 2010 года в серии LMZ должны появиться 4 новых семейства микросхем: LMZ120xxA и LMZ142xxA с максимальными выходными напряжениями 18 и 24 В соответственно, а также LMZ120xxM и LMZ142xxM с рабочим температурным диапазоном окружающей среды от -55 °С.

Демонстрационные и отладочные платы

В помощь разработчикам источников питания компания National Semiconductor выпускает две демонстрационные платы (Demo Boards), а также 6 оценочных плат (Evaluation Boards) для всех рассмотренных выше модулей питания.

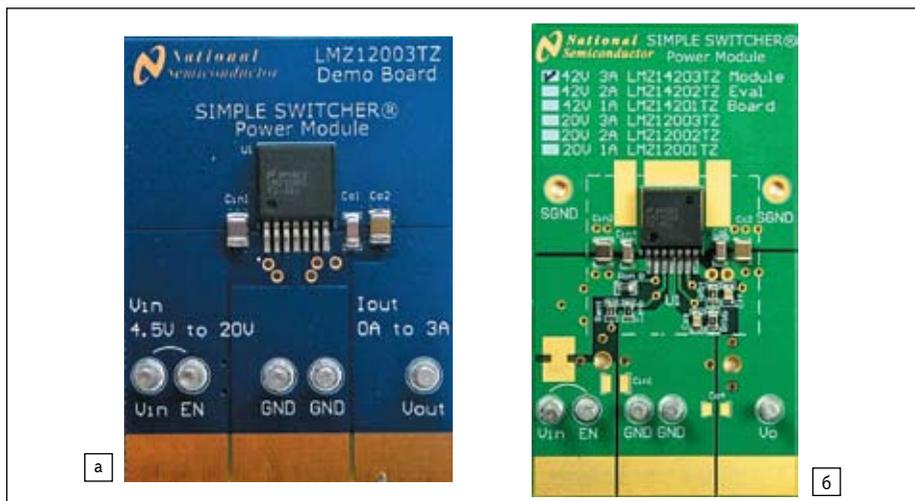


Рис. 10. а) Демонстрационная плата LMZ12003DEMO; б) оценочная плата LMZ14203EVAL

Демонстрационные платы (рис. 10а) — это рекламные продукты, призванные показать разработчикам электронной аппаратуры отличные эксплуатационные характеристики модулей питания компании National Semiconductor и, в первую очередь, компактность и высокий КПД. На двухслойных печатных платах с размерами 4,3×5,8 см смонтированы источники питания с выходными напряжениями 1,8 В (плата LMZ12003DEMO) и 3,3 В (плата LMZ14203DEMO) и максимальным выходным током 3 А. Входные напряжения могут изменяться в пределах от 4,5 до 20 и от 6 до 42 В соответственно. Выходные напряжения могут подстраиваться пользователем путем замены одного или двух резисторов, расположенных на обратной стороне платы. Обе демонстрационные платы имеют рабочий температурный диапазон от -40 до $+78$ °С при входном напряжении 12 В и токе нагрузки 3 А.

В отличие от демонстрационных плат, оценочная плата (рис. 10б) является четырехслойной и имеет размеры 4,33×7,7 см. Для удобства демонтажа все пассивные компоненты расположены на верхней стороне платы. Кроме того, на оценочной плате есть дополнительные металлизированные отверстия, позволяющие разработчику легко монтировать на плату пассивные компоненты с гибкими выводами, а входной и выходной фильтры содержат по два параллельно соединенных конденсатора — керамический и алюминиевый.

Оценочные платы имеют рабочий температурный диапазон $-40...+80$ °С (при входном напряжении 12 В и токе нагрузки 3 А). Кроме того, все оценочные платы прошли аттестацию на электромагнитную совместимость. Для демонстрационных плат такая аттестация не проводилась.

С помощью оценочных плат компании National Semiconductor и системы проектирования WEBENCH Power Designer [3] разработка высококачественного источника питания может быть выполнена в предельно короткий срок.

Заключение

Итак, рассмотрены еще два семейства модулей питания серии LMZ. По нашему мнению, эти модули являются лучшими интегральными модулями питания на рынке электронных компонентов по целому ряду характеристик, наиболее важными из которых являются надежность, электромагнитная совместимость, высокий КПД и большой рабочий температурный диапазон. Кроме того, эти модули питания компактны, удобны для монтажа и предельно просты в использовании. Они могут быть рекомендованы для построения источников питания электронной аппаратуры, применяемой в промышленности, медицине, авиации, военной технике, телекоммуникации и других областях, которые предъявляют к источникам питания самые высокие требования.

Модули питания компании National Semiconductor имеют низкий уровень пульсаций выходного напряжения, благодаря чему могут найти применение в тех электронных устройствах, в которых прежде использовались только линейные стабилизаторы напряжения. Например, их можно рекомендовать для питания аналоговых интегральных схем.

В последующих публикациях на страницах журнала «Компоненты и технологии» мы продолжим знакомство с новейшими семействами микросхем серии LMZ.

Литература

1. Иванов Д. Модули питания Simple Switcher // Компоненты и технологии. 2010. № 5.
2. Иванов Д. LM2267x — Simple Switcher в пятом поколении // Компоненты и технологии. 2009. № 1.
3. Справочно-информационный портал компании National Semiconductor. Продукция Simple Switcher Power Modules — http://www.national.com/analog/power/simple_switcher_power_modules