

Источники питания портативной аппаратуры, работающей от одного 1,5-вольтового элемента питания

Сергей Гаврилюк (Москва)

В статье рассмотрены варианты создания высокоэффективных компактных преобразователей постоянного напряжения для переносной аппаратуры, питаемой от одного элемента напряжением 1,5 В.

При построении преобразователя с питанием от одного батарейного элемента полезно представлять характеристику зависимости напряжения на клеммах элемента от времени его разряда. В зависимости от химической основы элемента питания – щелочного, никель-кадмиевого (NiCd) или никель-металлгидридного (NiMH) типа – напряжение на нём при значительном разряде может опускаться до 0,8...0,9 В. В идеале напряжение запуска и рабочее напряжение повышающего (boost) пре-

образователя должны соответствовать этому значению.

Понять важность различий между напряжением запуска и рабочим напряжением можно, обратившись к основам структуры батареи (см. рис. 1). На эквивалентной схеме замещения батареи можно выделить внутреннее последовательное сопротивление батареи R_{ser} и ёмкости катода C_c и анода C_a . В общем случае, когда батарея не подключена к нагрузке, напряжение на её выводах соответствует напряжению её внутренней ячейки, поскольку ток через внутреннее сопротивление батареи не протекает. При подключении нагрузки через ячейку начинает течь ток разряда, приводящий к появлению падения напряжения на внутреннем сопротивлении батареи, что вызывает снижение напряжения на зажимах батареи (красная линия на рис. 1). В установившемся режиме падение напряжения прямо пропорционально току нагрузки, умноженному на внутреннее сопротивление. Однако при переходных режимах в нагрузке, из-за наличия внутренней эквивалентной ёмкости между электродом, электролитом и сепаратором батареи, действительное напряжение на зажимах элемента меняется нелинейно и находится не в прямой зависимости от падения напряжения на внутреннем сопротивлении. Следствием наличия внутреннего сопротивления батареи является невозможность полного использования энергии.

С точки зрения пользователя его переносное устройство должно работать от сменного элемента питания максимально продолжительное время. Разработчик может это обеспе-

чить только при полном использовании энергии, содержащейся в гальваническом элементе. Исследования характеристик разряда 1,5-вольтовых щелочных элементов, выполненные корпорацией Texas Instruments (TI), показали, что при уменьшении напряжения на зажимах батареи до 0,9 В и ниже почти вся её энергия, пригодная к использованию, оказывается исчерпана [1]. При этом после отключения нагрузки напряжение на зажимах повышается до 1,2 В (у NiMH-батарей – до 1,15 В) несмотря на то, что энергии в батарее практически уже нет (см. рис. 1). Эти данные позволяют сформулировать два базовых требования к повышающим преобразователям, питаемым от одного 1,5-вольтового элемента: напряжение запуска такого преобразователя не должно превышать 1,1 В, а рабочее напряжение должно быть не менее 0,9 В.

В настоящей статье будут рассмотрены две основные разновидности повышающих преобразователей, используемых в переносных устройствах: преобразователи с переносом заряда (на переключаемых конденсаторах) и индуктивные повышающие преобразователи.

Повышающие преобразователи на переключаемых конденсаторах

Использование преобразователей на переключаемых конденсаторах рекомендуется в тех случаях, когда необходимо идти на компромисс между эффективностью и размерами источника питания. Высокий КПД источника будет напрямую сказываться на повышении времени работы устройства с батарейным питанием. Преобразователи на переключаемых конденсаторах имеют КПД до 90% и обычно требуют для работы всего лишь нескольких внешних конденсаторов. В них не используются дроссели, диоды или полевые тран-

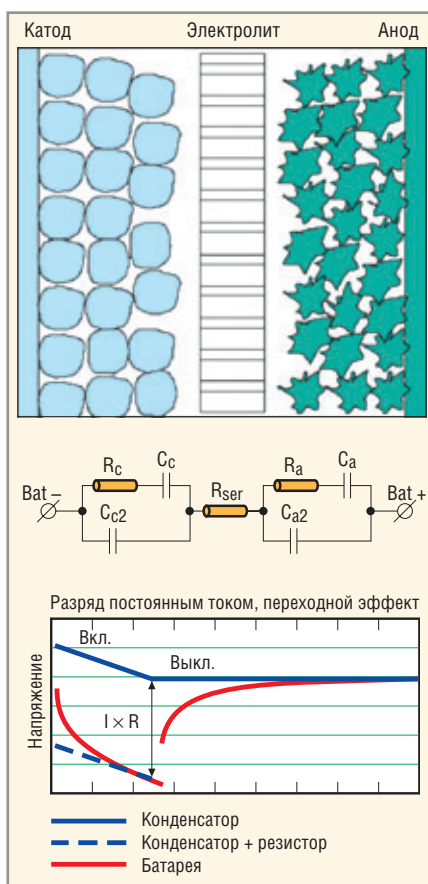


Рис. 1. Структура батареи и характеристика разряда

зисторы. Такие преобразователи выпускаются в маленьких корпусах типа SOT-23 и MSOP-8, что позволяет уменьшить размер создаваемого изделия.

Выходной ток преобразователей этого типа обычно не превышает 300 мА, а напряжение – 6 В. При необходимости получения больших выходных токов и напряжений или для достижения более высокого КПД следует использовать индуктивные переключающие преобразователи, которые в этом случае позволяют выиграть в стоимости и размерах источника.

Среди преобразователей на переключаемых конденсаторах хотелось бы выделить устройства компании TI семейства TPS603xx. Их интересной отличительной особенностью является наличие пары встроенных контуров перекачки заряда, работающих с фазовым сдвигом 180 градусов, позволяющих до минимума снизить пульсации выходного напряжения. Это помогает уменьшить стоимость схемы дополнительной фильтрации на выходе. Важно также отметить, что любой преобразователь на переключаемых конденсаторах имеет тенденцию генерировать на выходе меньшую величину высокочастотного шума, чем эквивалентный ему индуктивный преобразователь с таким же выходным током. Это может быть важно в малощумящих устройствах и схемах, чувствительных к высокочастотным излучениям.

В семейство TPS6030xx/x входят четыре преобразователя, разделяющиеся на два подсемейства: TPS6030x и TPS6031x (см. таблицу). Разница между ними заключается в наличии у приборов серии TPS6031x режима повышенной эффективности Snooze (см. рис. 2). В этом режиме происходит значительное уменьшение потребляемого устройством тока при работе на малую нагрузку. Типовой рабочий ток преобразователя при переходе в режим Snooze составляет 2 мкА, при этом выходное напряжение поддерживается на уровне $3,3 \text{ В} \pm 10\%$ или $3 \text{ В} \pm 10\%$. Этот ток ниже тока саморазряда большинства элементов питания. Ток нагрузки в режиме Snooze ограничивается величиной 2 мА. Если происходит увеличение тока выше 2 мА, выходное напряжение понижается, и устройство автоматически переходит в нормальный режим работы, обеспечивая поддер-

жание номинального выходного напряжения при более высоких токах нагрузки. В этом случае потребляемый прибором ток возрастает до 50 мкА, но при этом точность регулирования увеличивается до 4%. Микросхема переводится в режим Snooze подачей на соответствующий вход управления лог. «0».

Преобразователи серии TPS6031x выпускаются в микроминиатюрном 10-выводном корпусе MSOP, размеры которого составляют всего $3,05 \pm 4,98 \text{ мм}$. Учитывая, что для нормальной работы этих микросхем дополнительно нужно только пять небольших керамических конденсаторов ёмкостью 1 мкФ, можно утверждать, что эти приборы идеально подходят для построения микромощных малогабаритных повышающих преобразователей. Они могут обеспечить в нагрузке ток до 20 мА и напряжение 3 или 3,3 В при входном напряжении от 0,9 до 1,8 В. Обладая КПД порядка 90% в широком диапазоне выходных токов, преобразователи TPS6031x специально оптимизированы для работы от гальванических элементов с напряжением 1,2 В. Режим Snooze повышает КПД при малых нагрузках, а на дополнительном выходе OUT1 обеспечивается получение удвоенного входного напряжения и ток до 40 мА, если на OUT2 нет нагрузки. Максимальный ток на выходе OUT2 – 20 мА, а совокупный ток на обоих выходах не должен превышать 40 мА. Дополнительный вывод PG (Power Good), представляющий собой выход с открытым стоком, позволяет отслеживать состояние выхода OUT2, оказываясь в состоянии высокого уровня при достижении на выходе OUT2 98% заданного выходного напряжения. Номинальная внутренняя частота переключения прибора составляет 700 кГц. Все микросхемы семейства TPS603xx ориентированы на работу в промышленном температурном диапазоне – от -40 до 85°C .

Для облегчения изучения возможностей приборов семейства TPS6030x и ускорения разработки источников питания на их основе компания TI выпускает специальную отладочную плату TPS6030xEVM.

ИНДУКТИВНЫЕ ПОВЫШАЮЩИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Индуктивные повышающие (boost) преобразователи являются самым

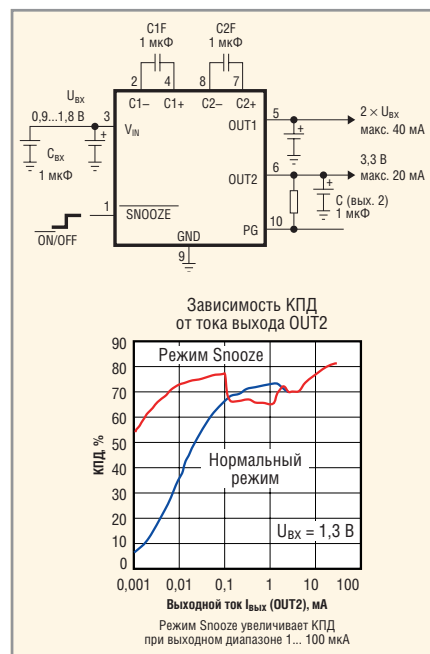


Рис. 2. Типовая схема включения преобразователя TPS60310 и его КПД в режиме Snooze

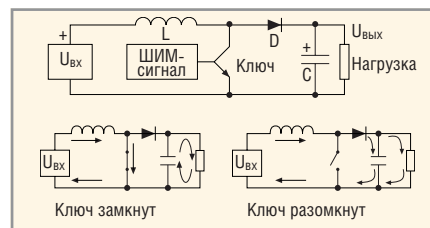


Рис. 3. Принцип работы индуктивного повышающего преобразователя

распространённым типом повышающих преобразователей постоянного тока (DC/DC). Функциональная схема работы такого преобразователя показана на рисунке 3. При замыкании ключа входное напряжение $U_{вх}$ прикладывается к катушке L, что приводит к плавному нарастанию тока через неё и накоплению в ней энергии. Затем, через промежуток времени, определяемый параметрами ШИМ-сигнала, управляющего ключом, он размыкается. После размыкания ключа уменьшение тока через катушку приводит к появлению положительного напряжения на ней, которое, суммируясь с $U_{вх}$, открывает диод D и подзаряжает конденсатор C. Варьируя скважность ШИМ-сигнала, можно изменять величину накапливаемой в катушке энергии и, следовательно, величину выходного напряжения преобразователя. Важно отметить, что выходной ток такого преобразователя и ток, протекающий через ключ, не одинаковы, и максимальный ток в нагрузке будет всегда меньше вели-

чины тока через переключающий транзистор. В качестве ключа в настоящее время обычно используется полевой МДП-транзистор, в мало-мощных преобразователях интегрированный непосредственно в кристалл.

Номенклатура индуктивных повышающих преобразователей у многих производителей представлена десят-

ками типов микросхем, различия между которыми заключаются в следующих ключевых параметрах (см. таблицу).

Диапазон входного напряжения

Как было отмечено выше, для полноценного использования энергии гальванического элемента нижняя граница диапазона входного напря-

жения повышающего преобразователя должна иметь величину не более 0,9 В. Наилучшие показатели демонстрируют изделия компании MAXIM, способные работать при напряжении от 0,7 В. Кроме того, многие из преобразователей этой фирмы также имеют наименьшее среди продукции конкурентов напряжение запуска, не превышающее 0,9 В.

Сравнительные характеристики повышающих преобразователей

Тип	Производитель*	Входное напряжение, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, мА	КПД, %	Частота переключения, кГц	Потребляемый ток, мкА	Ток режима Shutdown, мкА	Корпус	Цена, долл.**									
Преобразователи с переносом заряда																			
TPS6030x	TI	0,9...1,8	3 или 3,3	20	90	400...900	35	1	MSOP-10	0,95									
TPS6031x								2		1,05									
Индуктивные преобразователи																			
TPS61010	TI	0,8...3,3	(1,5...3,3) ± 3%	200	92	840	50	1	10VSSOP	1,04									
TPS61011		0,8...1,5	1,5 ± 3%																
TPS61012		0,8...1,8	1,8 ± 3%																
TPS61013		0,8...2,5	2,5 ± 3%																
TPS61014		0,8...2,8	2,8 ± 3%																
TPS61015		0,8...3	3 ± 3%																
TPS61016		0,8...3,3	(1,5...3,3) ± 3%								250	85	840	50	1	10VSSOP	0,89		
TPS61100 (с LDO)			(1,5...5,5) ± 3%																
TPS61103/6/7 (с LDO)			3,3 ± 3%																
TPS61001		0,8...1,5	1,5 ± 3%	200	96	720	25	0,1	10QFN	1,4									
TPS61002		0,8...1,8	1,8 ± 3%																
TPS61003		0,8...2,5	2,5 ± 3%																
TPS61004		0,8...2,8	2,8 ± 3%																
TPS61005		0,8...3	3 ± 3%																
TPS61006		0,8...3,3	(1,5...3,3) ± 5%																
TPS61007	3,3 ± 3%																		
TPS61020	0,9...5,5	1,8...5,5	150	94	1440 (PWM/PFM)	19	2,5	LLP-14, Mini-SO-8	0,87										
TPS61024/5/7					1440 (только PWM)														
TPS61070					300...2000														
TPS61071	M	0,7...5,5	2,7...5,5	45	94	-	61	2	8µMAX	1									
LM2623 (драйвер LED)											N	0,8...14	(1,24...14) ± 5%	1000	90	300...2000	80	2,5	1,09
LM2623A (драйвер LED)														2000					
MAX1678											M	0,7...5,5	2,5...5,5	300	87	500	60	20	8DIP, 8SO
MAX1674/5				2...5,5															
MAX756				3,3; 5															
MAX757				800	96	До 400 (PWM/PFM)	70	110	3	16QSOP									
MAX1700																			
MAX1701				1500	94	1000	185	200	0,1	10µMAX, 10TDFN									
MAX1760																			
MAX1763																			
MAX1709	0,7...5	4000	87	600	440	1	16TSSOP-EP	2											
									16SO.150	3									

*Производитель: TI – Texas Instruments; N – National Semiconductor; M – MAXIM Corporation.

**При объемах закупок от 1000 шт.

Возможность регулировки выходного напряжения

Все производители предлагают преобразователи как с фиксированной величиной выходного напряжения (1,5; 1,8; 2,5; 2,8; 3; 3,3; 5 В), так и с программируемым выходным напряжением, задаваемым, как правило, внешним резистивным делителем. При этом, к примеру, TI выпускает микросхемы преимущественно либо с фиксированным (TPS61011/2/3/4/5, TPS61001/2/3/4/5), либо с программируемым выходным напряжением (TPS61010, TPS61000), а схемотехника многих изделий от MAXIM позволяет путём подключения внешних резисторов изменять предустановленное фиксированное значение напряжения на выходе.

Выходной ток

подавляющее большинство представленных на рынке повышающих преобразователей с малым входным напряжением имеют встроенный MOSFET, вследствие чего их стоимость коррелирует с величиной максимального выходного тока. Наиболее мощные, но при этом и самые дорогие преобразователи производит компания MAXIM. К примеру, микросхема MAX1709 способна отдавать ток в нагрузку до 4 А. Для упрощения схемы фильтрации шумов на выходе логика ШИМ-управления в ней работает на фиксированной частоте 600 кГц. Однако имеется возможность подачи внешней синхронизирующей частоты в диапазоне 350...1000 кГц.

Дополнительные функциональные возможности

К стандартным функциям современных преобразователей можно отнести возможность мягкого старта, наличие режима отключения (shutdown), защиту от перегрева и пр. В некоторых преобразователях для получения дополнительной стабилизации напряжения есть встроенные линейные регуляторы, как, например, 120-мА программируемый LDO-регулятор в TPS61100/3/6/7. Многие преобразователи TI имеют выход Power Good, информирующий системный контроллер о наличии на выходе питающего узла номинального напряжения. Важной функцией можно считать наличие в преобразователе схемы отключения

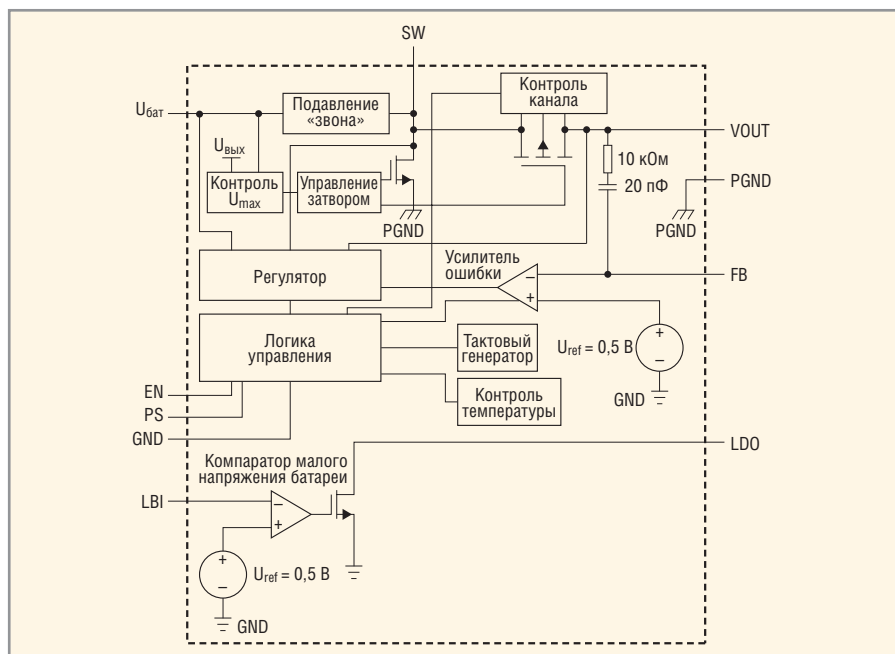


Рис. 4. Структура преобразователей семейства TPS6102x

нагрузки при переходе его в режим shutdown.

Всесторонне оценить возможности индуктивных повышающих преобразователей, способных работать от одного гальванического элемента, можно, рассмотрев особенности хорошо сбалансированного по характеристикам семейства TPS61020/4/5/7, выпускаемого Texas Instruments. Эти устройства позволяют достигнуть КПД 96% при входном напряжении 0,9 В, выходном токе 200 мА и собственном потребляемом токе 25 мкА. Такие показатели являются лучшими в индустрии. Среди основных возможностей семейства нужно выделить следующие:

- выходное напряжение остаётся регулируемым, когда входное напряжение превышает номинальное выходное напряжение;
- чрезвычайно малый потребляемый ток в режиме shutdown – на уровне 0,1 мкА;
- возможность получения фиксированного или регулируемого (резистивным делителем) выходного напряжения;
- широкий диапазон входного напряжения 0,9...6,5 В, дающий возможность питать контроллер от одного, двух или трёх щелочных, NiCd или NiMH гальванических элементов, либо от одного Li-Ion или Li-Polymer-элемента;
- режим энергосбережения, активируемый при низкой выходной мощности, что дополнительно повышает КПД;
- встроенный компаратор для отслеживания понижения напряжения питающей батареи ниже заданного уровня;
- схема преобразователя с низкими электромагнитными излучениями, что обеспечивается наличием цепи подавления «звона» дросселя;
- полное отключение нагрузки при переходе в режим shutdown;
- защита от перегрева, мягкий старт;
- маленький корпус QFN-10 PowerPAD™ размерами 3 × 3 мм, индустриальный температурный диапазон.

В основе структуры преобразователей TPS6102x лежит ШИМ-контроллер с фиксированной максимальной частотой переключения 720 кГц и синхронный выпрямитель на выходе устройства (см. рис. 4). Ток через силовой NMOS-ключ ограничивается на уровне 1,5 А.

Типовая схема включения микросхем TPS6102x показана на рисунке 5. Для нормальной работы им нужно несколько внешних конденсаторов и пара делителей на резисторах, одним из которых разработчик задаёт минимально допустимое рабочее напряжение батареи (по входу LBI, если есть необходимость в его отслеживании), а другим устанавливает необходимое выходное напряжение (вход FB).

Примером комплексного однокристалльного решения источника питания с несколькими выходами является микросхема MAX1800 корпорации

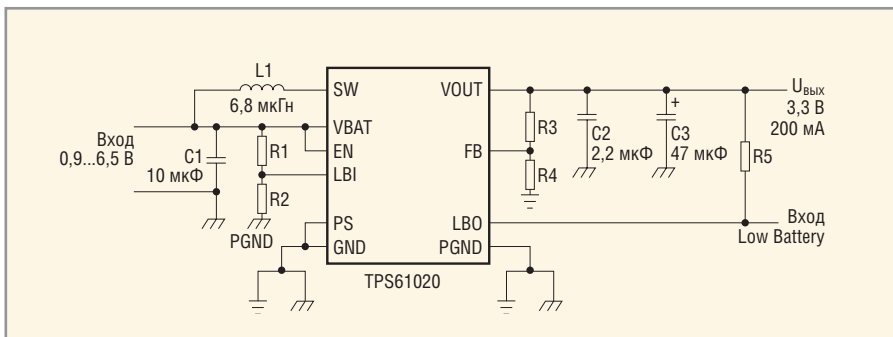


Рис. 5. Типовая схема включения TPS61020

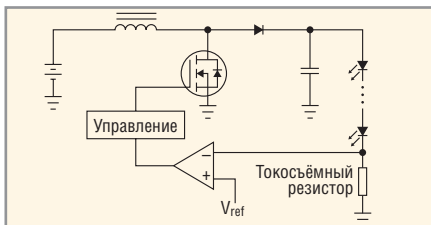


Рис. 7. Источник постоянного тока для питания светодиодов

MAXIM. Она предназначена для использования в цифровых фотоаппаратах и видеокамерах. В микросхеме встроен базовый повышающий преобразователь, три вспомогательных повышающих контроллера и неподключенный блок усиления для управления внешним P-канальным MOSFET для линейного регулятора (см. рис. 6).

При питании от источника 0,7...5,5 В прибор обеспечивает поддержание на основном выходе регулируемого напряжения 2,7...5,5 В при токе до 1,5 А. Благодаря использованию в MAX1800 интегрированного синхронного выпрямителя, компании MAXIM удалось достигнуть в этом изделии КПД до 95%. Дополнительные повышающие контроллеры, имеющиеся в MAX1800, могут быть использованы для питания ПЗС-матрицы, ЖКИ и модуля подсветки. Помимо этого, преобразователь MAX1800 имеет возможность управлять внешними вспомогательными контроллерами, например, ведомым конвертером MAX1801, который может использоваться для питания двигателя камеры (см. рис. 6). Микросхема MAX1800 выпускается в миниатюрном корпусе 32-TQFP размерами 5 × 5 мм. Оперативно оценить возможности изделия позволит отладочный модуль MAX1800EVKIT.

В последнее время актуальной проблемой стало создание источников питания для светодиодов белого свечения, широко используемых в каче-

стве подсветки в дисплеях, а также в роли самостоятельных источников света [2]. Это связано со значительной величиной падения напряжения на таких светодиодах, достигающей 4 В. С другой стороны, поскольку любой светодиод в общем смысле является токовым прибором, с точки зрения энергоэффективности выгодно обеспечивать прямое управление током, протекающим через него. Это позволяет исключить потери, возникающие на балластном резисторе при традиционном включении светодиода, реализовать ШИМ-управление яркостью, обеспечить защиту от перенапряжения на диоде и пр. Принцип такого управления показан на рисунке 7.

В настоящее время ведущие производители полупроводников предлагают различные типы повышающих преобразователей, ориентированных на работу со светодиодами. Хорошей иллюстрацией может служить продукция компании National Semiconductor. В её ассортименте представлено больше десятка драйверов светодиодов, но применительно к теме данной статьи интерес представляют два типа преобразователей: LM2623, обеспечивающий ток в нагрузке до 1 А, и его более мощная модификация LM2623A с максимальным выходным током 2 А. Оба этих преобразователя могут работать от источника 0,8...14 В.

Микросхема LM2623 представляет собой высокоэффективный повышающий преобразователь, позволяющий разработчику изменять в широких пределах выходное напряжение (1,24...14 В), рабочую частоту (300...2000 кГц) и коэффициент заполнения (от 17 до 90%). Она производится в миниатюрном корпусе Mini-SO-8 и имеет высоту 1,09 мм. В устройстве встроены MOSFET с сопротивлением канала 0,17 Ом, систе-

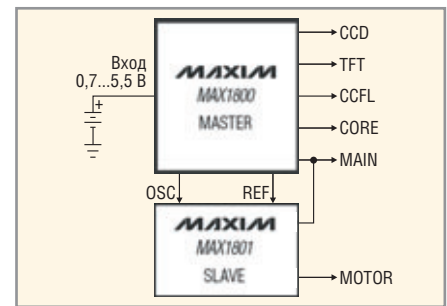


Рис. 6. Многоканальный преобразователь MAX1800

ма ограничения максимального тока и защита от перегрева. Напряжение запуска не превышает 1,1 В.

Области применения описанных преобразователей охватывают весьма широкий спектр портативных устройств с батарейным питанием:

- портативные измерительные приборы;
- электронные игрушки;
- устройства домашней автоматизации;
- медицинские приборы (например, слуховые аппараты);
- пейджеры;
- драйверы «белых» светодиодов и модулей подсветки ЖКИ;
- программаторы флэш-памяти;
- аудиоплееры на основе флэш-карт памяти;
- портативные считыватели смарт-карт.

Подводя итог краткого обзора ассортимента современных повышающих преобразователей, можно прийти к выводу о всё большей ориентированности изделий на узкие сферы применения. В условиях огромной конкуренции производители полупроводников стараются предложить специальное решение для каждой разновидности электронных устройств, что, с одной стороны, приводит к улучшению потребительских свойств создаваемой электронной аппаратуры, а с другой – осложняет разработчику задачу выбора оптимальной элементной базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Loo S.K., Keller K. Application Report «Single-cell Battery Discharge Characteristics Using the TPS61070 Boost Converter». SLVA194-AUGUST 2004. TI.
2. Jensen C. Inductive Based Switching Regulator Circuits Provide High Efficiency White LED Drives AN-1250. September 2002. National Semiconductor.



Снижение габаритов и потерь энергии



Высокоэффективные магнитодиэлектрические сердечники Micrometals для силовой электроники и ВЧ-техники

Применение сердечников MICROMETALS позволяет:

- Снизить стоимость индуктивных компонентов в 3...5 раз
- Снизить потери на 30...50% по сравнению с ферритами
- Оптимально распределить потери между сердечником и обмоткой
- Повысить надёжность аппаратуры
- Оптимизировать конструкцию и уменьшить габариты индуктивных компонентов

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДОСТОИНСТВА

- Большая номенклатура типоразмеров – от 3,4 мм до 165 мм
- Токоизолирующее полимерное покрытие до 3 слоёв
- Торoidalные, Ш- и U-образные, трубчатые, низкопрофильные сердечники, стержни, шайбы, бусины и др.
- Силовые магнитопроводы до 5 МГц
- ВЧ-сердечники для частот от 0,01 до 500 МГц
- Рабочая температура до 2000°C
- Высокая стабильность параметров

СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ

состоят из 4 модулей для расчёта индуктивностей:

- Фильтров постоянного тока, включая дифференциальные фильтры
- Индукторов с фиксированной зависимостью изменения индуктивности от величины тока намагничивания
- Катушек с управляемой индуктивностью 10 : 1 или 20 : 1 с использованием композиционных сердечников из феррита и магнитодиэлектрика
- Катушек индуктивности для АККМ, повышающих и понижающих DC/DC - преобразователей



CERTIFICATE OF REGISTRATION PRINCIPAL REGISTER

The Mark shown in this certificate has been registered in the United States Patent and Trademark Office to the named registrant.

The records of the United States Patent and Trademark Office show that an application for registration of the Mark shown in this Certificate was filed in the Office; that the application was examined and determined to be in compliance with the requirements of the law and with the regulations prescribed by the Director of the United States Patent and Trademark Office; and that the Applicant is entitled to registration of the Mark under the Trademark Act of 1946, as Amended.

A copy of the Mark and pertinent data from the application are part of this certificate.

This registration shall remain in force for TEN (10) years, unless terminated earlier as provided by law, and subject to compliance with the provisions of Section 8 of the Trademark Act of 1946, as Amended.



Director of the United States Patent and Trademark Office

Micrometals наносит на свои изделия запатентованную цветовую маркировку в качестве защиты от подделок. Оригинальная продукция Micrometals в компании ПРОСОФТ