

# Микросхемы понижающих DC/DC-конвертеров Micrel с режимом HLL

Александр САМАРИН  
Сергей ГОРЬКОВ  
sergey.gorkov@eltech.spb.ru

Компания Micrel имеет в своем портфолио широкую номенклатуру микросхем DC/DC-конвертеров, которые обеспечивают высокую эффективность преобразования не только в режиме сильноточной нагрузки, но и при работе с низкими выходными токами. В данной статье рассмотрены характеристики семейства микросхем DC/DC-конвертеров понижающего типа, в которых реализован патентованный Micrel режим высокой эффективности преобразования при низких токах нагрузки.

Задача обеспечения высокой эффективности преобразования энергии важна не только для мобильных устройств с батарейным питанием, но и для приборов с сетевым питанием. Как правило, импульсные DC/DC-конвертеры понижающего типа (Step down, Buck Regulator) обеспечивают высокую эффективность преобразования энергии при средних и высоких уровнях тока в нагрузке (амперы, сотни мА). При снижении уровня тока в нагрузке эффективность преобразования снижается. Работа большинства современных электронных приборов характеризуется широким диапазоном изменения тока нагрузки, использованием различных режимов энергосбережения, при которых происходит отключение/включение питания различных функциональных узлов. Для снижения потребления используется уменьшение величины питающего напряжения или рабочей частоты вычислительных и управляющих модулей. Широко используется дежурный режим с сохранением питания только для части электронной схемы с минимальным потреблением на уровне нескольких десятков и сотен мкА. Для таких приборов важно обеспечить высокую эффективность во всем диапазоне изменения рабочих токов: от нескольких ампер до единиц мА и даже десятков мкА.

## Базовая архитектура DC/DC-конвертеров понижающего типа

В микросхемах импульсных понижающих стабилизаторов напряжения со встроенными транзисторными ключами используется режим синхронного выпрямления. Основным преимуществом синхронного понижающего стабилизатора по сравнению с обычным понижающим стабилизатором является то, что в нем не используются выпрямляющие диоды. Из-за меньшего прямого падения напряжения на MOSFET, чем на диоде, достигается лучшая эффективность преобразования. При использовании синхронного выпрямителя можно регулировать уровень выходного напряжения вплоть до 0,8 В. Серия конвертеров с интегрированными силовыми ключами обеспечивает выходные токи 0,4–12 А. При больших токах следует использовать микросхемы контроллеров MIC2625 с внешними силовыми ключами. На базе микросхем контроллеров MIC2625 можно проектировать эффективные конвертеры понижающего типа с выходным током до 25 А. Наличие встроенных защитных схем и компенсации, минимум внешних компонентов, компактный корпус — все это отличительные признаки понижающих стабилизаторов Micrel. Микросхемы работают

в диапазоне температур  $-40...+125^{\circ}\text{C}$ . Это позволяет использовать их в самых разных областях — в потребительских устройствах, измерительной аппаратуре, приборах промышленной автоматизации, коммуникационных устройствах и т. д.

## Режим с малой нагрузкой

Компания Micrel разработала и запатентовала технологию HLL (Hyper Light Load) для использования в семействах микросхем понижающих конвертеров. Технология обеспечивает высокую эффективность преобразования не только в режиме сильноточной нагрузки (до 12 А), но также при работе с низкими выходными токами (вплоть до единиц мА). Это достигнуто использованием режима прерывистого тока для выходных ключей конвертера, при котором производится пропуск циклов преобразования. Режим обеспечивает очень низкие пульсации напряжения и быструю реакцию при изменении тока в нагрузке при использовании выходных керамических конденсаторов небольшой емкости. При больших значениях выходного тока конвертер понижающего типа работает в режиме непрерывного тока. Для управления выходным напряжением используется ШИМ-управление выходными ключами при постоянной частоте преобразования. При уменьшении тока в нагрузке ниже порога 120–140 мА обеспечивается автоматическая смена режима работы преобразователя и переход в режим с прерывистым током (hiccup — «режим икоты»), который можно считать режимом с частотно-импульсной модуляцией (PFM). Период включения транзисторов уменьшается вплоть до 100 Гц. Транзисторные ключи включаются только для подкачки энергии в выходной конденсатор. Уровень пульсации на выходе в этом режиме возрастает (рис. 1), но остается на приемлемо низком уровне. Уровень пульсаций в режиме HLL — 14 мВ, а в режиме ШИМ — 5 мВ.

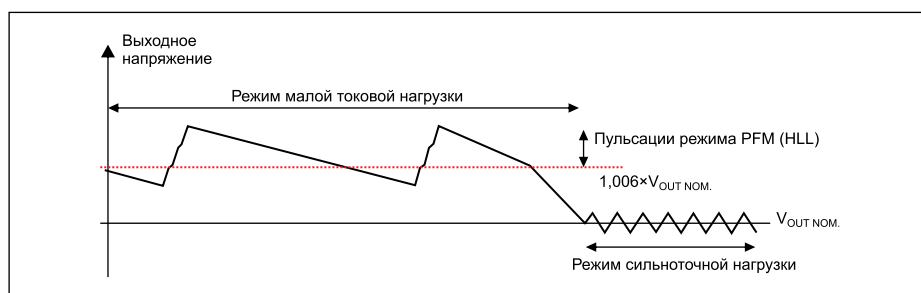


Рис. 1. Изменение пульсаций на выходе при переходе из режима HLL (PFM) в режим PWM

**Таблица 1.** Основные параметры микросхем конвертеров и контроллеров с поддержкой режима HLL

Наименование	Диапазон входных напряжений, В	Выходной ток, А	Выходное напряжение, В	Частота преобразования, МГц	Корпус
<b>Микросхемы конвертеров с выходным током до 2 А</b>					
MIC23030	2,7–5,5	0,4	до 0,7	8	MLF-6
MIC23150		2	до 0,95	4	MLF-8
MIC23155		2	до 0,7	3	MLF-10
MIC23250		0,4/0,4 двухканальный	Фиксированное 1,2/1,8 Регулируемое до 0,8	4	MLF-12
<b>Сильноточные микросхемы конвертеров со встроенными силовыми ключами</b>					
MIC26603	4,5–28	6	0,8–5,5	0,6	MLF-28
MIC26903		9			
MIC261203		12			
<b>Контроллер сильноточных конвертеров (внешние силовые ключи)</b>					
MIC2165	4,5–28	до 25	до 0,8	0,6	MSOP-10
<b>Конвертеры со встроенным дросселем</b>					
MIC33030	2,7–5,5	0,4	до 0,7	8 (PWM)	MLF-10 2,5×2 мм
MIC33050		0,6		4 (PWM)	MLF-12 3×3 мм
MIC33153		0,4		8 (PWM)	MLF-14 3×3,5 мм

### Классификация конвертеров с режимом HLL

Микросхемы компании Micrel, в которых реализован режим HLL, можно условно разделить на четыре группы:

- микросхемы конвертеров средней мощности с выходным током до 2 А (серия MIC230xx);
- микросхемы мощных конвертеров со встроенными силовыми ключами и выходными токами до 12 А (серия MIC26xx);
- микросхемы контроллеров мощных конвертеров с внешними силовыми ключами и выходными токами до 25 А (серия MIC2165);
- микросхемы микроконвертеров со встроенным дросселем (серия MIC330xx).

В таблице 1 представлены обзорные сравнительные параметры микросхем конвертеров для четырех групп. Подробные характеристики будут рассмотрены далее.

Преобразователи на базе микросхем конвертеров Micrel обеспечивают быстрый отклик при изменении тока в нагрузке. Конвертеры обеспечивают малый уровень пульсаций и стабильность при установке керамических конденсаторов небольшой емкости. Высокая частота преобразования 3–8 МГц обеспечивает малые размеры дросселя. Низкопрофильные компактные корпуса типа MLF, а также небольшие размеры входных и выходных конденсаторов и дросселей позволяют получить малую площадь преобразователя на печатной плате.

### Микросхемы серии MIC23xxx DC/DC-конвертеров средней мощности

Микросхемы этой серии обеспечивают высокую эффективность преобразования при изменении тока в нагрузке от единиц мА до 2 А. Они выпускаются в различных модификациях, как с фиксированным выходным напряжением, так и с регулируемым (Adj).

Данные микросхемы ориентированы на применение в секторе мобильных устройств, таких как сотовые телефоны, смартфоны, медиаплееры, цифровые камеры, модули Wi-Fi, навигаторы и устройства, питаемые от USB. Диапазон входного напряжения MIC23xx — 2,7–5,5 В.

В таблице 2 приведены базовые параметры микросхем конвертеров серии MIC23xx.

Семейство представлено одноканальными и двухканальными конвертерами, отличающимися выходным током, рабочей частотой, а также наличием дополнительных функций и управляющих входов. Рассмотрим характеристики одноканального и двухканального конвертеров серии MIC23xx.

**Таблица 2.** Основные параметры микросхем конвертеров семейства MIC23xx

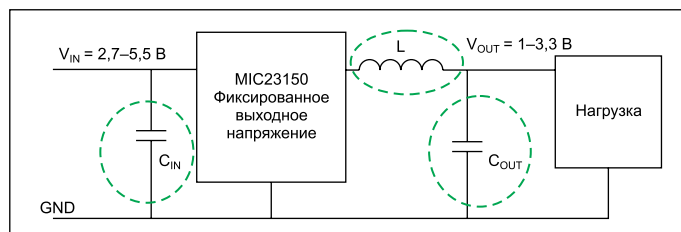
Тип	Диапазон входных напряжений, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	Частота, МГц	Тип корпуса/ Размеры, мм	Особенности	
MIC23031	2,7–5,5	1, 1,2, 1,5, 1,8, Adj	0,4	4	MLF-6/1,6×1,6		
MIC23030		1, 1,2, 1,5, 1,8, Adj	0,4	8	MLF-6/1,6×1,6		
MIC23050		1, 1,2, 1,8, 3,3	0,6	4	MLF-8/2×2		
MIC23051		1,2 (1), 1,25 (0,95), 1,4 (1,15), 1,8 (1)	0,6	4	MLF-8/2×2	Программное управление напряжением на выходе (два номинала напряжений)	
MIC23150		1, 1,2, 1,35, 1,8, 3,3	2	4	MLF-8/2×2		
MIC23153		1,8, Adj	2	4	MLF-10/2,5×2,5	Выход Power Good, режим Soft Start	
MIC23155		1,8, Adj	2	3	MLF-10/2,5×2,5	Выход Power Good, режим Soft Start, режим активной разрядки выходного конденсатора	
MIC23060		1,8/1,2	0,6+0,3 LDO	4	MLF-12/2,5×2,5	Управление последовательностью включения/выключения конвертера и LDO	
<b>Двухканальные конвертеры</b>							
MIC23250		2,7–5,5	0,9/1,1, 1/1,2, 1,2/1,6, 1,2/1,8, 1,2/2,5, 1,2/3,3, 1,575/1,8, 2,6/3,3	0,4/0,4	4	Фиксированное напряжение в корпусе MLF-10/2×2 Модификация Adj в корпусе MLF-12/2,5×2,5	Независимые входы управления включением
MIC23254		1/1,8		4	MLF-10/2×2	Независимые входы управления включением	

### Основные характеристики конвертера MIC23150

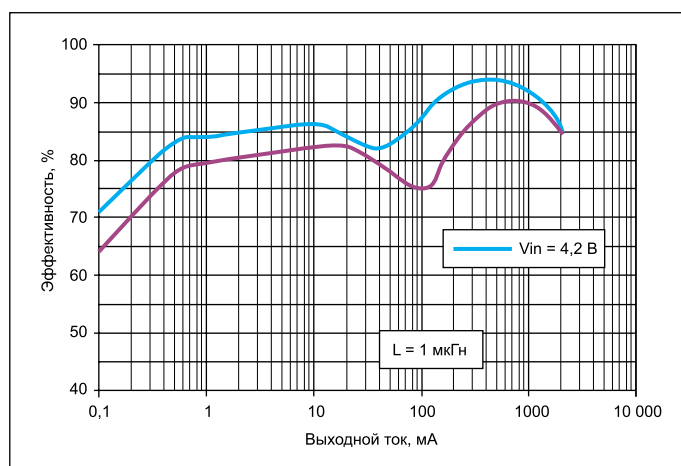
На рис. 2 показана типовая схема применения микросхемы конвертера MIC23150. Микросхема реализована в низкопрофильном корпусе TMLF-8 размером 2×2 мм. Для реализации понижающего конвертера необходимы всего три внешних компонента. Общая площадь всех компонентов 47 мм<sup>2</sup>.

Основные параметры микросхемы:

- диапазон входных напряжений 2,7–5,5 В;
- выходной ток до 2 А;
- опции с фиксированными выходными напряжениями из ряда 1, 1,2, 1,8, 3,3 В (рис. 3);



**Рис. 2.** Типовая схема применения MIC23150



**Рис. 3.** Зависимость эффективности преобразования MIC23150 во всем диапазоне изменения тока в нагрузке (от 0,1 мА до 2 А) при выходном напряжении 3,3 В

- высокая эффективность преобразования: 94% при больших токах, 87% при выходном токе 1 мА;
- ток потребления в выключенном состоянии 0,01 мкА;
- частота преобразования 4 МГц (режим полной нагрузки);
- уровень пульсаций в режиме HLL менее 20 мВ;
- уровень пульсаций в режиме PWM 5 мВ.

**Двухканальный конвертер напряжения MIC23254**

В современных мобильных устройствах, как правило, используется несколько уровней питающих напряжений. Например, для питания ядра процессора 0,8–1,8 В, а для периферийных устройств — 1,8–3,3 В. При этом важно обеспечить и правильный порядок включения/выключения этих источников, с тем чтобы сохранить высокую эффективность и надежность функционирования устройства. Схема включения двухканального конвертера MIC23254 показана на рис. 4.

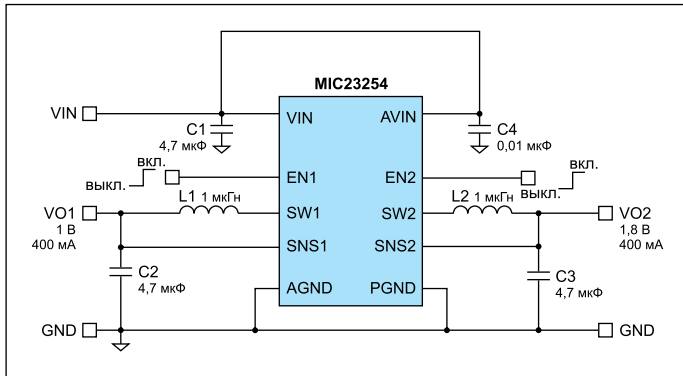


Рис. 4. Схема включения двухканального конвертера MIC23254

Основные достоинства двухканальных регуляторов: независимое управление включением/выключением каналов конвертера; наличие схем плавного запуска для каждого канала, гарантирующих отсутствие бросков тока при включении преобразователей; малая площадь, занимаемая элементами конвертера; высокая эффективность преобразования в широком диапазоне изменения тока в нагрузке.

- Диапазон входных напряжений 2,5–5,5 В;
- выходной ток по каждому каналу 400 мА;
- эффективность преобразования: до 94% при больших токах; 85% в дежурном режиме (ток 1 мА);
- собственный ток (два канала) 33 мкА;
- частота преобразования 4 МГц (ШИМ-режим);
- быстрый отклик на изменение тока в нагрузке;
- уровень пульсаций выходного сигнала 20 мВ в режиме HLL и 3 мВ в режиме ШИМ;
- ток потребления в выключенном состоянии 0,01 мкА.

**Конвертер MIC23060 с двухканальным LDO-стабилизатором**

Особенностью данной микросхемы является использование в структуре двухканального LDO (рис. 5).

Первый канал (1,8 В) используется как пусковой источник питания нагрузки для обеспечения быстрого запуска. В начальный момент нагрузка питается от линейного стабилизатора, пока не запустится DC/DC-конвертер. После выхода в режим конвертера линейный стабилизатор автоматически отключается.

Второй канал (1,2 В) может использоваться для питания ядра процессорных микросхем в мобильных устройствах, например цифровой фотокамеры (рис. 6).

Еще одна особенность микросхемы — возможность аппаратного выбора посредством режимных входов последовательности включения и выключения конвертера и LDO-стабилизатора. Эта функция обеспечивает безопасные режимы включения/выключения питания нагрузки для предотвращения тиристорного эффекта и выхода

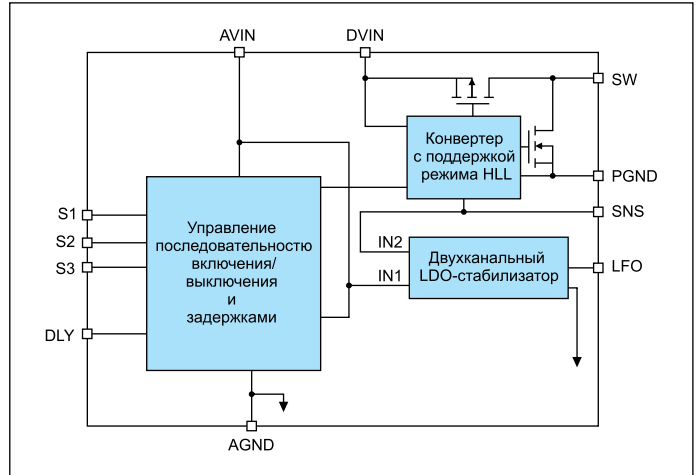


Рис. 5. Структура конвертера MIC23060

Таблица 3. Последовательность включения/выключения конвертера и второго LDO

S3	S2	S1	Описание
X	0	0	Выключены оба источника (LDO и конвертер)
0	0	1	Конвертер включается и выключается первым
0	1	0	LDO включается и выключается первым
1	0	1	Конвертер включается первым, а выключается вторым
1	1	0	LDO включается первым, а выключается вторым
X	1	1	Включены LDO и DC/DC-конвертер

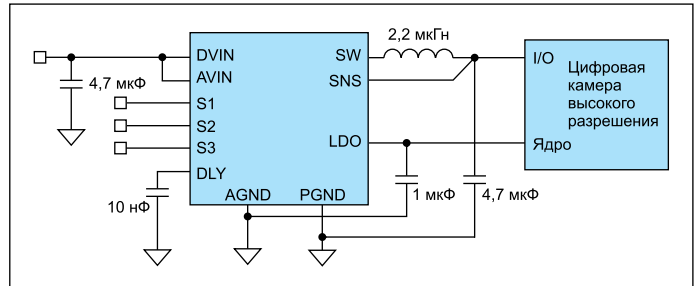


Рис. 6. Типовое использование конвертера MIC23060

из строя микросхем нагрузки. Величина задержки включения второго источника относительно фронта напряжения на выходе первого может регулироваться выбором конденсатора на входе DLY. При выключении питания выполняется обратный порядок, величина задержки та же самая, которая определяется емкостью на входе DLY.

Из таблицы 3 видно, что вход S1 управляет режимом конвертера, S2 — режимом LDO, а вход S3 определяет последовательность включения/выключения. Для предотвращения броска тока при включении в микросхеме реализована схема плавного запуска конвертера. Реально величины номинальных напряжений на выходе конвертера и выходе LDO могут быть выбраны заказчиком из диапазонов:

- для DC/DC-конвертера — 1,7–2,5 В;
- LDO — 0,8–2,5 В.

**HLL-конвертеры со встроенным дросселем**

К этому классу относятся микросхемы семейств MIC330xx (табл. 4). По сути, это гибридный модуль микроконвертера, в котором на общей подложке смонтированы кристалл микросхемы конвертера и чип дросселя. На рис. 7 показана внутренняя структура микроконвертера серии MIC330xx.

Модули серии MIC33xxx обеспечивают более высокий уровень интеграции элементов в преобразователях напряжения понижающего типа. Основные достоинства микроконвертеров этой серии —

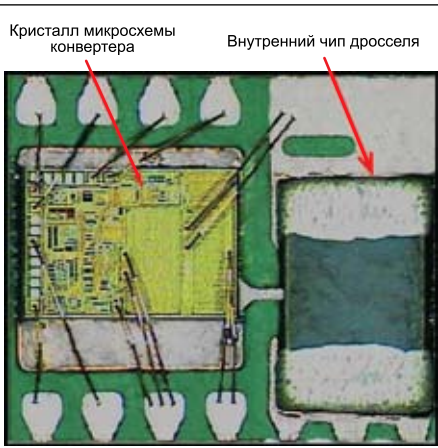


Рис. 7. Структура гибридных модулей серии MIC33xxx

меньше площадь, занимаемая элементами конвертера, проще монтаж, уменьшение уровня ЭМИ.

### Технология микроконвертеров со встроенными дросселями

В настоящее время гибридная технология со встроенными дросселями используется рядом производителей микросхем понижающих DC/DC-конвертеров (рис. 8). Эту технологию используют в своей продукции компании Linear Technology, Semtech, Micrel, Fuji Electric, Murata, Texas Instruments и др. Технология была разработана в компании Fuji Electric в начале 2000-х гг. Основная ее цель — за счет повышения уровня интеграции обеспечить малый форм-фактор, минимизировать число внешних компонентов и в итоге получить функционально законченный модуль конвертера понижающего типа. Такая концепция получила название DC/DC-микроконвертер. В его структуре используются интегрированные ключи, режим синхронного выпрямления, высокая частота преобразования и встроенный дроссель.

Синхронное выпрямление обеспечивает высокий КПД преобразования. Управляющая схема реализована на кремниевом кристалле, а дроссель — на подложке из ферромагнитного материала. Ряд производителей (Murata, Fuji, Texas Instruments) интегрируют в гибридном модуле также входные и выходные конденсаторы (рис. 9).

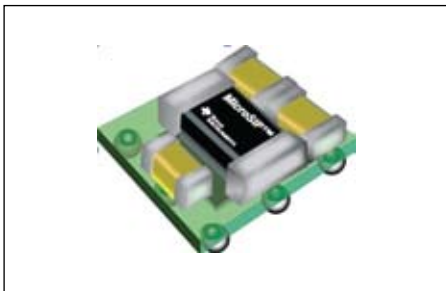


Рис. 9. DC/DC-микроконвертер по гибридной технологии SiP Texas Instruments

Таблица 4. Основные характеристики микросхем конвертеров семейства MIC3303xx со встроенным дросселем

Тип	Диапазон входных напряжений, В	Выходное напряжение, В	Выходной ток, А	Частота, МГц	Корпус/Размеры, мм	Особенности
MIC33030	2,7–5,5	1,2, 1,8, Adj	0,4	8	MLF-12/2,5×2	HLL
MIC33050		1, 1,2, 1,8, 3,3	0,6	4	MLF-12/3×3	HLL
MIC33153		1,2, Adj; 0,62–3,6 B	1,2	4	MLF-14/3×3,5	HLL
MIC3385		1,5, Adj	0,6	8	MLF-14/3×3,5	LOWQ LDO Mode

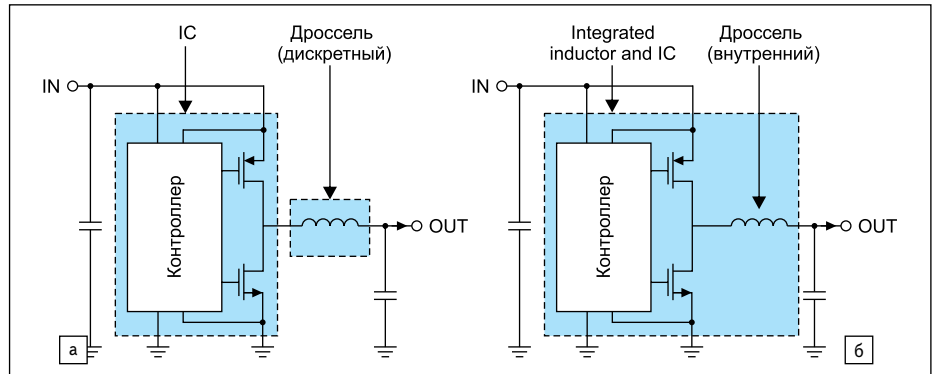


Рис. 8. Структура: а) обычный DC/DC-конвертер понижающего типа со встроенными ключами; б) DC/DC-микроконвертер со встроенным дросселем

Футпринт микроконвертера на 60% меньше по сравнению с площадью, занимаемой элементами преобразователя на дискретных компонентах, в котором дроссель является отдельным SMD-компонентом. В качестве магнитного материала используются ферриты на базе Ni-Cu-Zn шпинелей, обеспечивающие работу на высоких частотах 1–5 МГц.

### Конвертер MIC33030

На рис. 10 показана структура конвертера MIC33030 со встроенным дросселем. Микросхема выпускается в модификациях с фиксированными выходными напряжениями, а также с регулируемым выходным напряжением. Конвертер на базе этой микросхемы обеспечивает сохранение КПД

72–88% в широком диапазоне изменения тока в нагрузке. Необходимы только два внешних компонента — входной и выходной конденсаторы. Рекомендуется использовать керамические конденсаторы номинальной емкостью 4,7–10 мкФ. Сектор назначения — понижающие стабилизаторы на напряжение 1,2/1,5/1,8 В для мобильных устройств с батарейным питанием. Уровень ЭМИ ниже на 30 дБ по сравнению с аналогичными стабилизаторами на дискретных компонентах. Пороговое значение тока, при котором осуществляется автоматический переход из режима HLL в режим ШИМ-регулирования, является функцией от входного напряжения, выходного напряжения, скважности, частоты преобразования, а также индуктивности дросселя. Для микросхе-

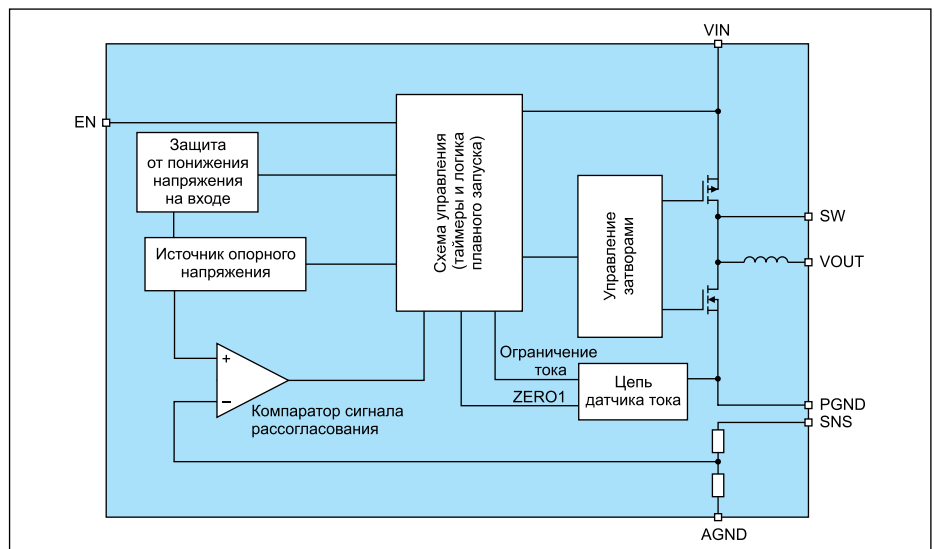


Рис. 10. Структура микросхемы MIC33030

мы MIC33030 при индуктивности дросселя 0,36 мкГ этот порог составляет приблизительно 150 мА. Собственный ток потребления микросхемы всего 21 мкА.

Области применения:

- мобильные устройства;
- портативные медиаплееры;
- портативные GPS-навигаторы;
- модули Wi-Fi/Wi-Max/Wi-Bro;
- цифровые камеры;
- модули беспроводных сетей;
- устройства, питаемые от USB-интерфейса.

**Конвертер MIC33153**

Конвертер обеспечивает большой уровень выходного тока по сравнению с MIC33030: до 1,2 А. Также микросхема имеет выходной сигнал индикатора Power Good. На рис. 11 приведена типовая схема включения MIC33153.

**Особенности конвертера MIC3385**

В микросхеме MIC3385 не используется режим HLL. Однако конвертер этого типа также обеспечивает высокий уровень эффективности преобразования энергии при малых токах в нагрузке. Для его сохранения при малых токах в нагрузке используется линейный режим стабилизации тока. Импульсный преобразователь всегда работает в PWM-режиме, обеспечивая высокую эффективность преобразования для выходных токов в нагрузке до 600 мА. В структуре микросхемы MIC3385 (рис. 12) реализован дежурный линейный стабилизатор напряжения LDO. При переходе в дежурный режим (LOQW LDO) с малым выходным током импульсный стабилизатор прекращает работать, а вместо него параллельно включается линейный стабилизатор. Такой вариант позволяет решить сразу несколько задач:

- сократить собственное потребление логики конвертера в дежурном режиме (для MIC3385 это всего 20 мкА);
- уменьшить уровень шума на выходе в дежурном режиме до уровня 75 мкВ;
- улучшить эффективность преобразования в дежурном режиме и тем самым продлить срок службы батарей в мобильном устройстве;

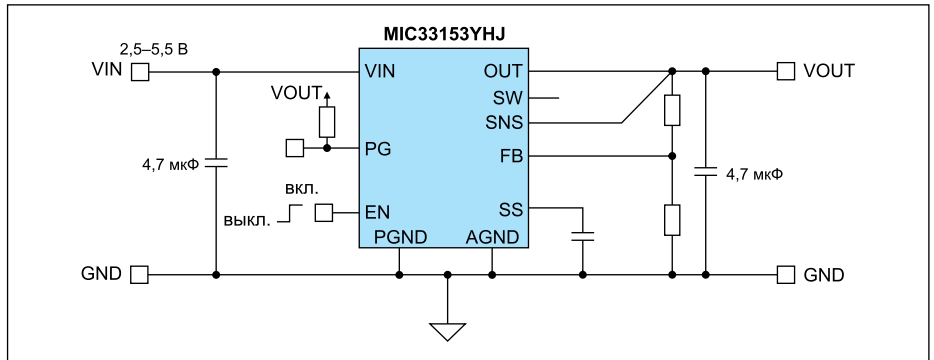


Рис. 11. Типовая схема включения микросхемы MIC33153

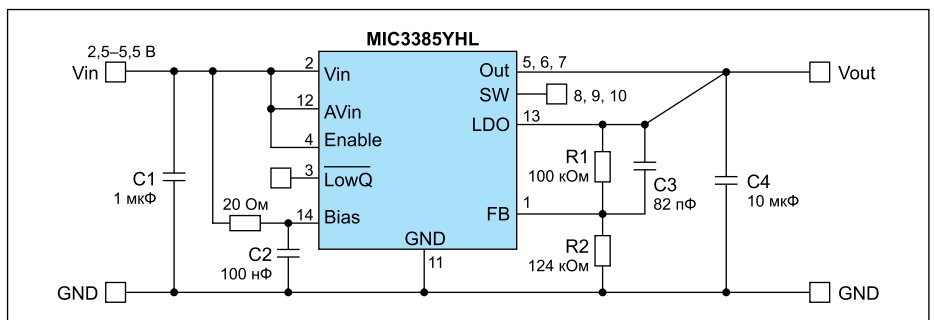


Рис. 12. Типовая схема включения MIC3385

- осуществлять управление режимом LOQW внешним микроконтроллером через режимный управляющий вход.

Кроме того, при выходном токе ниже 60 мА эффективность импульсного понижающего конвертера снижается, и более рациональным может оказаться режим с питанием от встроенного LDO. При включении/отключении LDO обеспечивается отсутствие скачка напряжения на выходе.

**Сильноточные микросхемы конвертеров со встроенными силовыми ключами (серия MIC26xx)**

На базе микросхем конвертеров можно проектировать источники питания с током нагрузки до 12 А. В модулях этой серии так-

же реализован режим HLL. Микросхемы ориентированы для применения в секторе компьютерных периферийных устройств, в системах с распределенным питанием, в телекоммуникационной аппаратуре, принтерах, сканерах, видеоконтроллерах. Конвертеры этой серии работают на частоте преобразования 600 кГц.

На рис. 13 показана типовая схема реализации понижающего конвертера с выходным напряжением 1,8 В и максимальным выходным током 12 А. При выходном токе 10 мА (дежурный режим) конвертер обеспечивает эффективность преобразования на уровне 80%. На рис. 14 показана зависимость эффективности преобразования для различных выходных токов и напряжений.

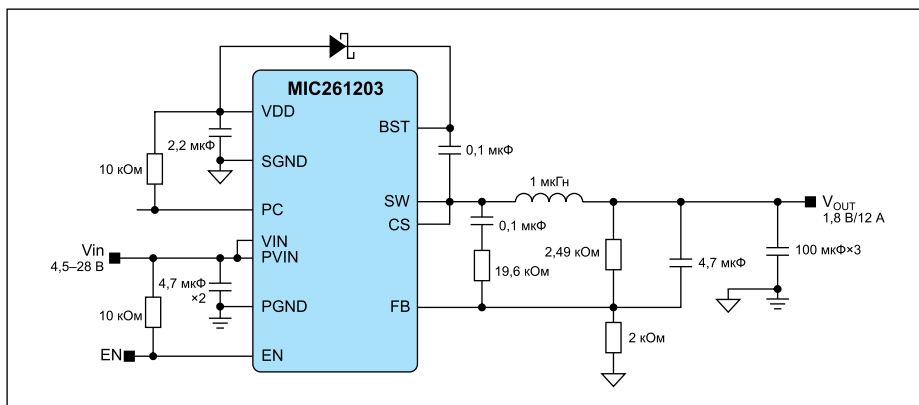


Рис. 13. Типовая схема включения MIC261203 в источнике питания 1,8 В/12 А

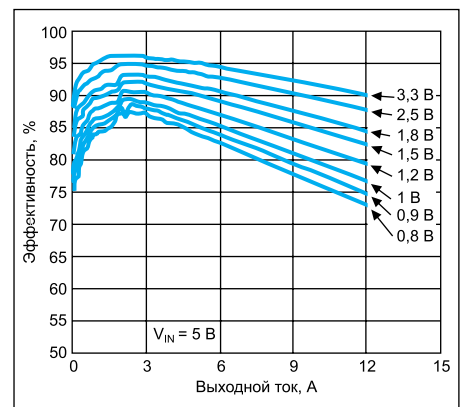


Рис. 14. Зависимость эффективности преобразования конвертера на базе MIC261203 от выходного напряжения и тока



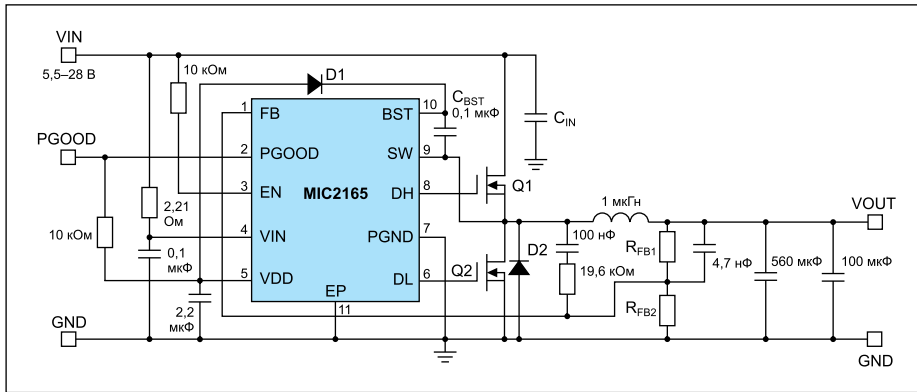


Рис. 15. Типовая схема понижающего сильноточного DC/DC-конвертера на базе контроллера MIC2165

### MIC2165 — контроллер мощных конвертеров с внешними ключами

На базе контроллера MIC2165 можно реализовать сильноточные DC/DC-конвертеры понижающего типа с выходным током до 25 А, которые обеспечивают высокую эффективность преобразования и в режиме малых токов нагрузки (рис. 15). В контроллере поддерживается режим HLL. Частота преобразования в сильноточном ШИМ-режиме — 600 кГц.

Микросхема полностью совместима по выводам с аналогичным контроллером компании Maxim MAX1954A.

На рис. 16 показан график эффективности преобразования в зависимости от величины выходного тока. При токе 10 мА сохраняется высокий уровень эффективности — около 77%.

### Симулятор MICRELSim Center

С помощью онлайн-симулятора MICRELSim Center [9] можно разработать схему и рассчитать номиналы внешних компонентов для конвертеров напряжения понижающего типа на базе микросхем, поддерживающих режим HLL. В качестве входных данных задаются диапазон входного напряжения, выходное напряжение и выходной

ток. По заданным параметрам программа генерирует принципиальную схему с указанием перечня внешних компонентов и их номинальных значений.

После быстрой регистрации на сайте достаточно выбрать наименование микросхемы понижающего конвертера (например, MIC23155) и задать требуемые параметры (рис. 17, 18).

MICRELSim Center также позволяет провести анализ:

- по переменному току;
- переходных процессов;

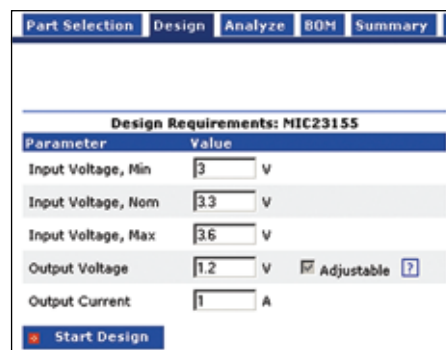


Рис. 17. Окно выбора начальных параметров конвертера в MICRELSim Center

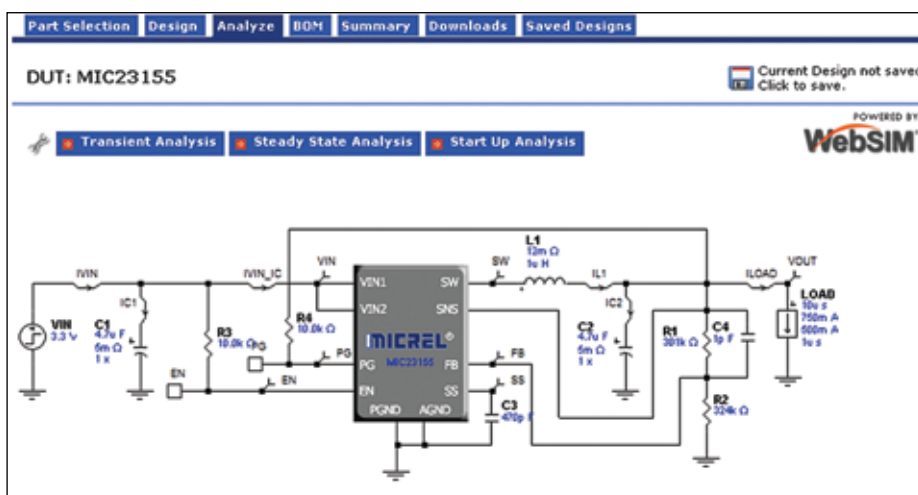


Рис. 18. Окно представления готового дизайна конвертера с режимными кнопками для исследований

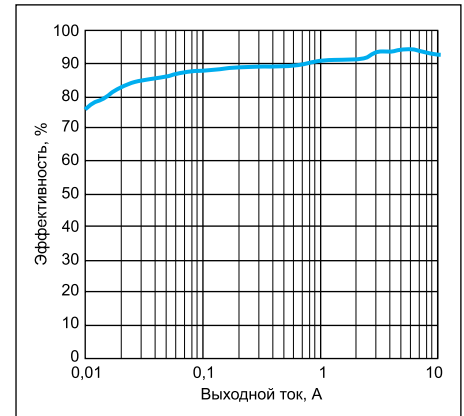


Рис. 16. Эффективность преобразования конвертера на базе MIC2165 во всем диапазоне выходных токов

- в установившемся состоянии;
- плавного включения.

### Отладочные платы

Для облегчения разработки и тестирования конвертеров понижающего типа компания Micrel предлагает широкий ассортимент отладочных плат. Для микросхем с различными опциями выходного напряжения можно выбрать соответствующую модификацию отладочной платы на нужное выходное напряжение (таблица 5).

Таблица 5. Модификации отладочных плат для микросхемы MIC23030

Наименование отладочной платы	Модификация выходного напряжения
MIC23030-AYMT EV	Регулируемое выходное напряжение
MIC23030-CYMT EV	Фиксированное 1 В
MIC23030-4YMT EV	Фиксированное 1,2 В
MIC23030-FYMT EV	Фиксированное 1,5 В
MIC23030-GYMT EV	Фиксированное 1,8 В

### Литература

1. Самарин А., Лебедев А. Серия SuperSwitcher II сильноточных DC/DC-преобразователей Micrel // Компоненты и технологии. 2012. № 11.
2. Datasheet MIC33050 4MHz Internal Inductor PWM Buck Regulator with HyperLight Load. 2012.
3. HyperLightLoad Converter ICs. Материалы презентации Micrel.
4. Datasheet MIC23150 4MHz 2A PWM Buck Regulator with HyperLight Load. 2012.
5. Datasheet MIC2165 Adaptive On-Time DC-DC Controller Featuring HyperLight Load. 2012.
6. Datasheet MIC26903 28V, 9A HyperLight Load Synchronous DC-DC Buck Regulator. 2011.
7. Zenchi Hayashi, Yasushi Katayama, Masaharu Edo. Micro DC-DC Converter Chip Size Module. Fuji Electric Co. 2003.
8. Tsutomu Mikura, Koichi Nakahara, Kota Ikeda, Ken Furukuwa, Katsuhiko Onitsuka. New Substrate for Micro DC-DC Converter. Ceramic Packages R&D Division. Kyocera Corporation. 2005.
9. [www.micrel.com](http://www.micrel.com)