

# Новинки в семействе синхронных DC/DC-преобразователей ON Semi

Ирина РОМАДИНА  
romadina@compel.ru

**Номенклатура микросхем DC/DC-конвертеров компании постоянно обновляется, что расширяет возможность выбора для проектирования более эффективных и экономичных источников питания для различных приложений. В статье рассмотрены новинки сектора DC/DC-конвертеров понижающего типа с синхронным выпрямлением.**

## Введение

DC/DC-преобразователи понижающего типа с синхронным выпрямителем имеют больший потенциал для реализации более эффективного преобразования энергии, чем преобразователи с несинхронным выпрямителем. Реализация встроенных в микросхему силовых MOSFET-транзисторов обеспечивает получение полностью интегрированного решения с минимальным числом внешних компонентов. Работа преобразователя на высокой частоте позволяет использовать компактные дроссели и получать минимальные размеры источника питания. Однако по сравнению с преобразователями с несинхронным выпрямлением в структуре преобразователя используются более сложные схемы управления, чтобы обеспечить защиту выходных ключей в критических режимах. Последние разработки позволили решить ряд проблем, связанных с особенностями управления синхронными конвертерами понижающего типа, увеличить их надежность, уменьшить цену, упростить применение, что сделало их более доступными и привлекательными для различных сфер применения.

Типовая структурная схема понижающего преобразователя с синхронным выпрямлением приведена на рис. 1.

В схеме синхронного преобразователя по сравнению со схемой несинхронного преобразователя диод D заменен MOSFET-транзистором Q2. Силовой ключ Q1 (верхнее плечо) реализован на MOSFET-транзисторе *p*-типа, а нижний Q2, обеспечивающий функцию синхронного выпрямления, — на транзисторе *n*-типа. Падение напряжения на MOSFET-транзисторе Q2 может быть меньше падения напряжения на диоде при одинаковых токах, что позволяет уменьшить потери и увеличить КПД преобразования. В первую очередь это актуально при формировании малых выходных напряжений, например 1,2/1,5 В, поскольку падение напряжения на диоде становится сопоставимым с выходным напряжением. При использовании транзистора вместо диода можно формировать уровни выходного напряжения до 0,6 В, при этом обеспечивается высокий ток и сохраняется высокая эффективность преобразования. Таким образом, диапазон выходных напряжений для данного типа преобразователей — от 0,6–0,8 В и практически до входного напряжения питания.

В понижающих преобразователях можно использовать два режима работы — режим непрерывных и прерывистых токов. В первом ток катушки индуктивности всегда больше нуля, а во втором существует интер-

вал времени, в течение которого ток равен нулю. Режим непрерывных токов обеспечивает передачу больших токов, а прерывистый можно использовать при работе с малой нагрузкой. Как правило, понижающие преобразователи проектируются так, чтобы в номинальном диапазоне токов и напряжений нагрузки сохранялся режим непрерывных токов катушки индуктивности.

Эффективность преобразования определяется потерями энергии при переключении выходных транзисторов. Потери определяются сопротивлением ключей в открытом состоянии, а также зависят от частоты преобразования и нарастания фронтов управляющих сигналов. Эффективность синхронных преобразователей выше только при высоких значениях тока. Чем больше ток, отдаваемый в нагрузку, и меньше разница напряжений вход/выход, тем больше эффективность синхронных понижающих преобразователей напряжения.

## Микросхемы синхронных DC/DC-конвертеров понижающего типа ON Semi

Компания ON Semi в последние годы разработала серию микросхем синхронных DC/DC-конвертеров понижающего типа, отличающихся высоким уровнем эффективности. Их применяют в таких областях, как:

- ресиверы спутникового ТВ;
- питание приводов DVD/Blu-ray и HDD;
- LCD-мониторы и ТВ;
- кабельные модемы;
- графические контроллеры PCI;
- телекоммуникационное оборудование;
- устройства с батарейным питанием.

Все микросхемы имеют встроенные силовые ключи с низким сопротивлением в открытом состоянии (входного *p*-канального и выходного *n*-канального), что обеспечивает низкие потери и высокую эффективность преобразования.

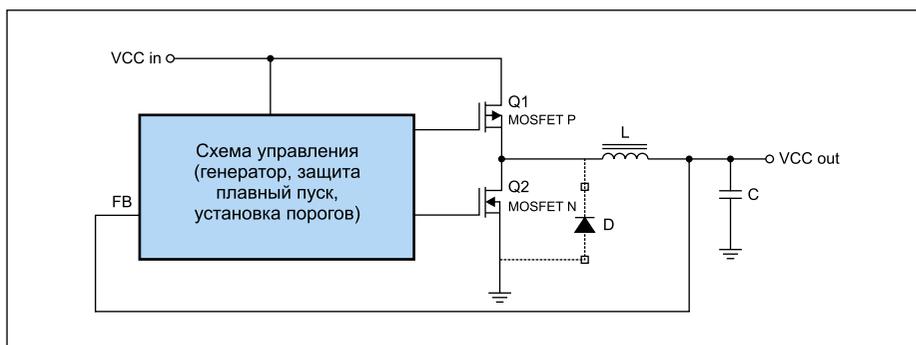


Рис. 1. Структура понижающего DC/DC-конвертера с синхронным выпрямлением

Таблица. Микросхемы синхронных конвертеров понижающего типа ON Semi

Тип	Ток, А	Выходное напряжение, В	Входное напряжение, В	Частота, МГц	Сопротивление ключей, мОм	Корпус
NCP3170	3	От 0,8	4,5–18	0,5 — NCP3170A 1 — NCP3170B	R <sub>hi</sub> = 90 R <sub>low</sub> = 25	SO8
NCP3155	3 (уровень допустимого тока можно регулировать)	От 0,8	4,7–24	0,5 — NCP3155A 1 — NCP3155B	R <sub>hi</sub> = 48 R <sub>low</sub> = 18	SO8
NCP3125	4 (уровень регулируется)	От 0,8	4,5–13,2	0,35	R <sub>hi</sub> = 60 R <sub>low</sub> = 36	SO8
NCP3126	3 (уровень регулируется)	От 0,8	4–13,2	0,35	R <sub>hi</sub> = 85 R <sub>low</sub> = 65	SO8
NCP3127	2 (уровень регулируется)	От 0,8	4–13,2	0,35	R <sub>hi</sub> = 80 R <sub>low</sub> = 80	SO8
NCP6334	До 2	От 0,6	2,3–5,5	3	R <sub>hi</sub> = 140 R <sub>low</sub> = 110	WDFN-8

**Примечание.** R<sub>hi</sub> — сопротивление верхнего транзистора в открытом состоянии, R<sub>low</sub> — сопротивление нижнего транзистора в открытом состоянии.

Основное применение конвертеров этого типа — формирование питающих напряжений в диапазоне от 1,2 до 5 В для низковольтных цепей питания аналоговых и цифровых схем при использовании базового источника питания устройства с напряжением 5 или 12 В. В номенклатуре ON Semi также недавно появились и конвертеры понижающего типа с синхронным выпрямлением, ориентированные на сектор мобильной аппаратуры с батарейным питанием (2–3 алкалиновые батареи, никель-кадмиевые аккумуляторы, литий-ионные аккумуляторы, номинальное напряжение — 3,2–4 В).

В таблице представлены основные параметры микросхем синхронных конвертеров ON Semi, разработанных в последнее время.

Микросхемы конвертеров обеспечивают режим плавного запуска (Soft Start), а также имеют встроенную защиту, предотвращающую выход из строя как самого источника питания, так и узлов нагрузки. При срабатывании узлов защиты блокируется работа выходных ключей, что предотвращает протекание повышенных токов в цепи самой микросхемы, а также во входной и выходной цепях конвертера.

Встроенные узлы защиты:

- Блокировка при понижении входного напряжения ниже порога (UVLO).
- Блокировка при понижении напряжения на выходе (OUV).
- Блокировка при повышении напряжения на выходе (OOV).
- Блокировка при повышении температуры выше предельной (TSD).

В микросхемах также можно задать регулируемый уровень ограничения выходного тока (ISET и ILIM). Схема управления транзисторами обеспечивает защитные интервалы между управляющими сигналами, чтобы исключить протекание сквозных токов.

В конвертерах в качестве базового используется режим непрерывного регулирования тока. Эффективность преобразования зависит от тока нагрузки. Высокая эффективность достигается при работе с полной нагрузкой по току. Индикатор PG (Power Good) выходного напряжения находится в окне «Норма». Высокая частота преобразования позволяет использовать дроссель с малой индуктивностью и малыми габаритами, что обеспечивает и уменьшение габаритов всего изделия.

Уровень цен на все указанные типы микросхем примерно одинаков и составляет около \$0,3–0,4 (от 2000 штук), таким образом, эти конвертеры можно использовать в широком спектре приложений, в том числе бюджетных. Рассмотрим основные отличия новинок.

### Конвертеры NCP3125/26/27

Микросхемы этой серии имеют одинаковую структуру, цоколевку и схему включения (рис. 2) и отличаются лишь величиной допустимого рабочего тока (от 2 до 4 А). В первую очередь ограничение тока определяется значениями сопротивлений открытого канала верхнего и нижнего выходных транзисторов, которые у микросхем NCP3125/26/27 разные (таблица). Большой допустимый ток (4 А)

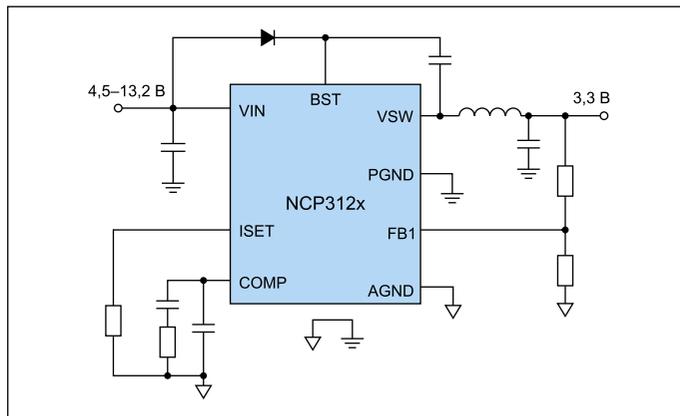


Рис. 2. Схема включения микросхем конвертеров NCP3125/26/27

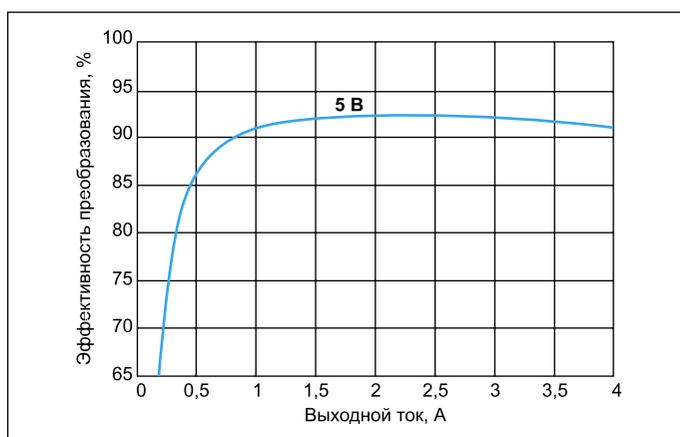


Рис. 3. Эффективность преобразования в зависимости от тока нагрузки (входное напряжение — 12 В)

обеспечивают микросхемы NCP3125, у которых самое низкое значение сопротивлений силовых транзисторов.

Частота преобразования — фиксированная: 350 кГц. Микросхемы предназначены для приложений с нагрузкой по току от 500 мА и выше. Эффективность преобразования значительно уменьшается при малых токах нагрузки (рис. 3) — ниже 500 мА.

### Конвертер NCP3155

Микросхема NCP3155 была разработана вслед за NCP3125/26/27 и полностью совместима с ними по цоколевке. Основные отличия: у NCP3155 шире диапазон входных напряжений (до 24 В), выше частота преобразования (причем есть две модификации микросхем — на 500 кГц и 1 МГц), а выходные транзисторы имеют существенно меньшие сопротивления в открытом состоянии. Увеличение частоты переключения до 500 кГц и 1 МГц позволило использовать миниатюрные фильтрующие компоненты (конденсаторы и дроссель) и уменьшить размеры платы.

Низкое сопротивление  $R_{ds(on)}$  встроенных MOSFET-транзисторов верхнего и нижнего плеча (48 мОм верхнее и 18 мОм — нижнее) позволяет построить на базе NCP3155 высокоэффективные преобразователи питания. В микросхеме также предусмотрена установка ограничения выходного тока.

На рис. 4 показана зависимость эффективности преобразования для NCP3155B от выходного напряжения и тока в нагрузке.

Эффективность выше для более высоких выходных напряжений и высоких токов в нагрузке. Эта микросхема так же, как и микросхемы серии NCP3125/26/27, не предназначена для работы в области малой токовой нагрузки, поэтому ее не рекомендуют для приложений с широким диапазоном изменения тока в цепи нагрузки или

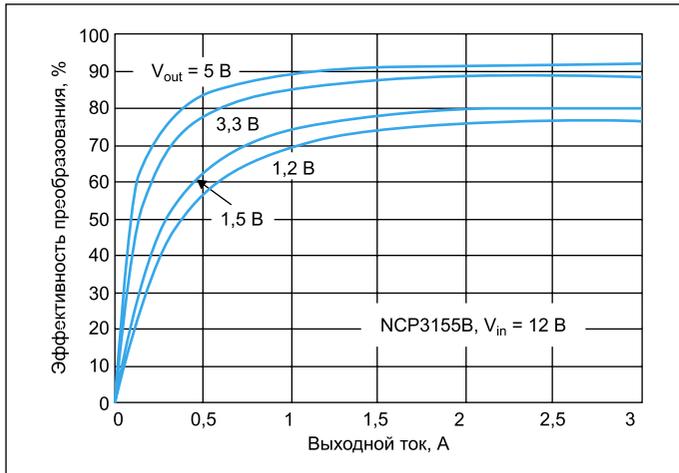


Рис. 4. Эффективность преобразования для разных выходных напряжений и токов нагрузки. Входное напряжение — 12 В

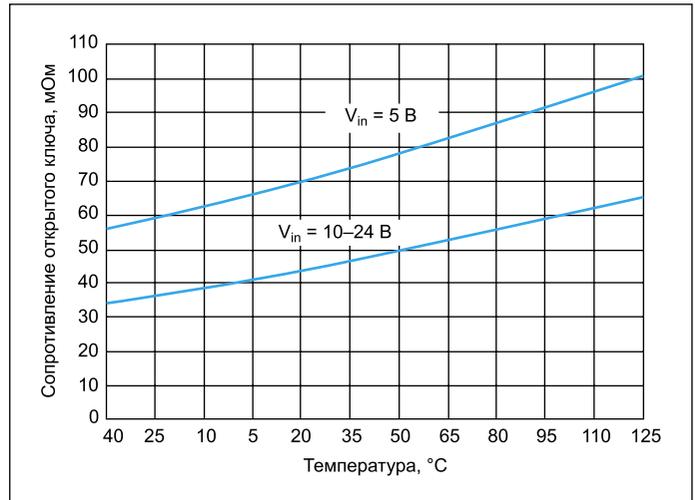


Рис. 5. Зависимость сопротивления ключей от входного напряжения

наличием дежурного режима с малым потреблением.

Сопротивление силовых транзисторов сильно зависит от величины напряжения входного источника питания. Чем больше напряжение, тем меньше эти сопротивления (рис. 5). Это следует принимать во внимание при проектировании источников питания на базе микросхем синхронных понижающих конвертеров со встроенными силовыми ключами.

Мощность рассеяния тепловой энергии на корпусе SOIC-8 определяется разностью напряжения вход/выход и сопротивлением открытых ключей (верхнего и нижнего).

КПД будет зависеть от разности напряжений вход/выход. Чем меньше эта разность, тем выше КПД. Сопротивление верхнего и нижнего ключей возрастает при увеличении температуры и уменьшении входного напряжения.

### Конвертер NCP3170

Хотя в структуру микросхемы NCP3170 входят практически такие же базовые модули (защита, управление), как у NCP3155, однако NCP3170 имеет существенное отличие: она обеспечивает высокую эффективность преобразования в широком диапазоне изменения тока в нагрузке. По цоколевке микросхема не совместима с NCP3155 (рис. 6).

Порог срабатывания защиты от перегрева — 164 °C. Ток потребления в спящем режиме — 16 мкА. Как и все ранее рассмотренные микросхемы, NCP3170 можно использовать при формировании напряжений питания цифровых и аналоговых микросхем от 0,8 до 5 В при питании от источников с напряжением 5 и 12 В.

### Режим малой нагрузки

В дежурном режиме, с малым потреблением тока на уровне от 1 до 300 мА, преобразователь фактически начинает работать в несинхронном режиме с пропуском

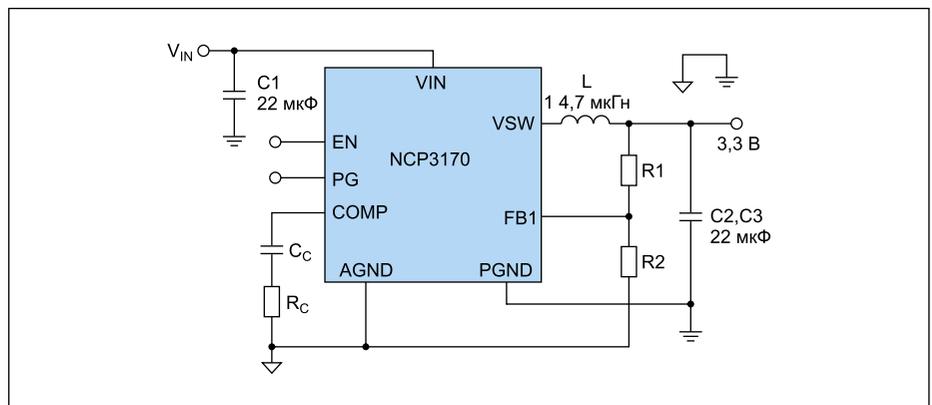


Рис. 6. Схема включения микросхемы конвертера NCP3170

импульсов (режим прерывистого тока). В этом случае происходит слежение за переходом тока в дросселе через ноль и выключение нижнего ключа. То есть цепь разряда выходной емкости нагрузки через нижний транзистор отключается в режиме с малой нагрузкой, поэтому не происходит потери мощности на нижнем ключе. При этом ток будет протекать только через встроенный, обратно смещенный диод нижнего транзи-

стора. В итоге эмулируется режим обычного понижающего конвертера, показанного на рис. 1. Но, в отличие от традиционной схемы понижающего конвертера, ток в индуктивности станет прерывистым. Обратная связь регулирования выходного напряжения при этом будет продолжать работать. В результате в точке подключения транзисторов к индуктивности будут возникать колебания тока около нулевого значения (рис. 7).

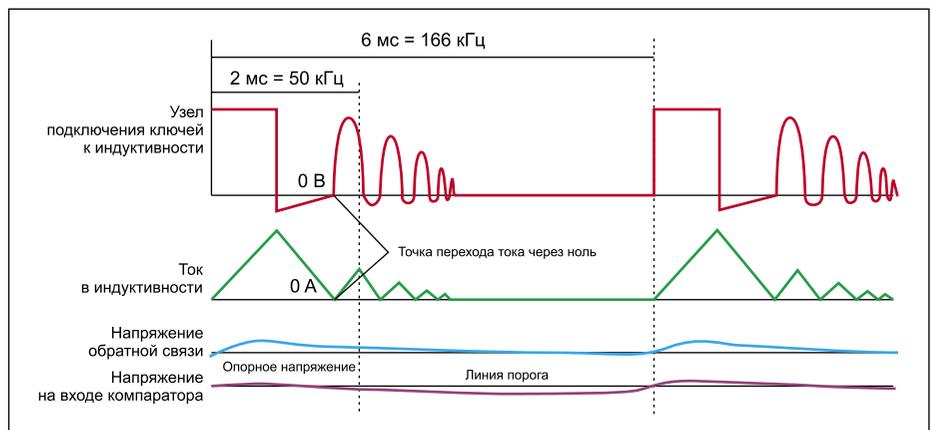
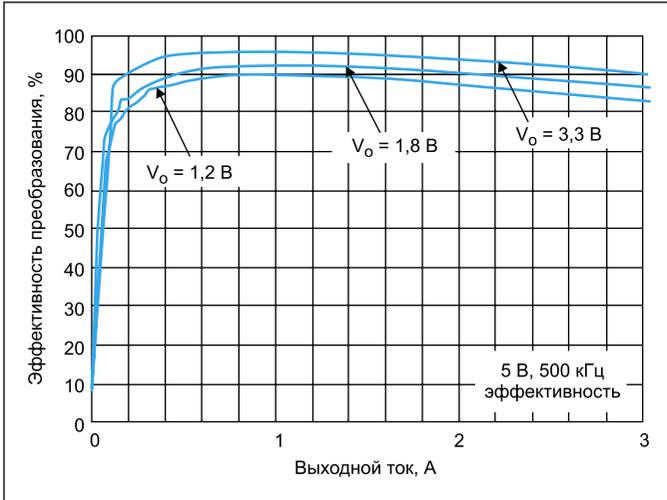
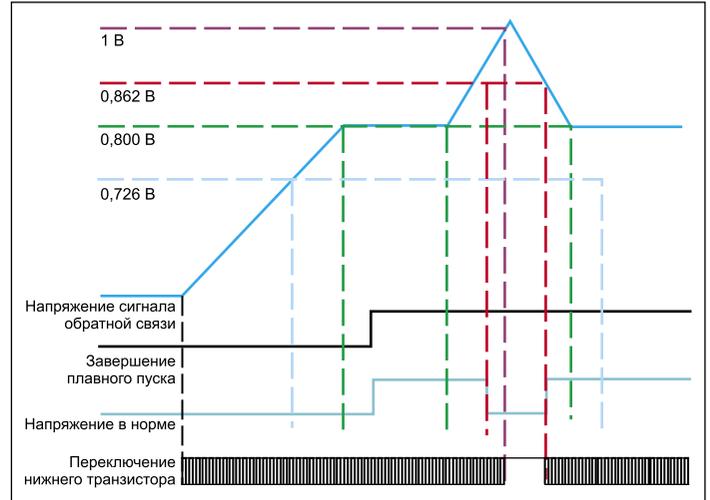


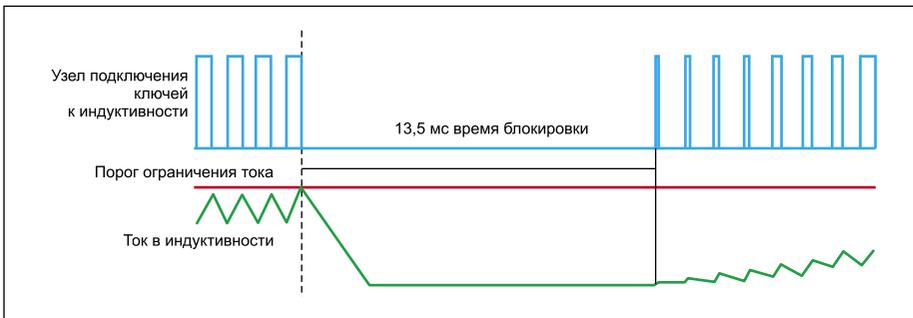
Рис. 7. Диаграммы сигналов в точке подключения ключей к дросселю в режиме малых токов в нагрузке



**Рис. 8.** Эффективность преобразователя для разных выходных напряжений и при токах нагрузки (напряжение питания — 5 В)



**Рис. 10.** Диаграммы управления и состояния сигналов при «мягком пуске», превышении и понижении напряжения на выходе



**Рис. 9.** Диаграммы блокировки сигналов управления выходными транзисторами при токовой перегрузке

жение уровня напряжения ниже порога. При нормальной работе уровень сигнала обратной связи находится в заданном интервале напряжений, а выходы компараторов имеют уровень «лог. 0».

Состояние выходов компараторов игнорируется при плавном начальном запуске преобразования. Для индикации нормального состояния выходного напряжения в структуре микросхемы реализован индикатор Power Good (напряжение в норме). В случае фиксации превышения уровня сигнала верхний ключ будет выключен, а нижний — включен до тех пор, пока уровень сигнала не опустится ниже порога. После чего опять запустится нормальный режим работы преобразователя. Понижение уровня сигнала ниже порога приведет к режиму перезапуска преобразователя (Soft Start).

На рис. 10 приведены диаграммы управления и состояния сигналов при «мягком пуске», превышении и понижении напряжения на выходе.

На рис. 11 показаны зоны различных режимов работы преобразователя при изменении входных и выходных напряжений.

Преобразователь сохраняет высокую эффективность в широком диапазоне изменения тока в нагрузке: от 150 мА до 3 А (рис. 8).

Сквозность управляющих сигналов может изменяться в диапазоне от 8 до 92%, что обеспечивает регулировку выходного напряжения в широких пределах.

**Защита от перегрева кристалла**

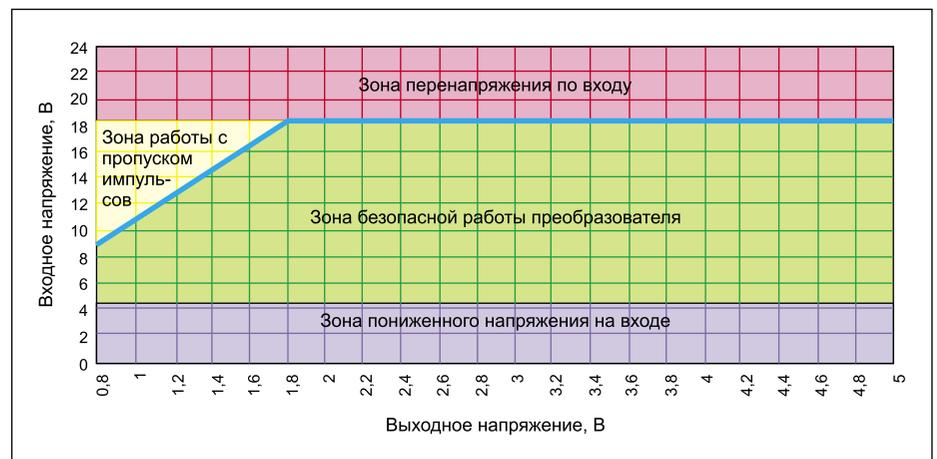
При достижении температуры кристалла значения 150 °С срабатывает защитный компаратор. Выходной сигнал компаратора блокирует поступление управляющих импульсов на транзисторные выходные ключи. Разрешение импульсов произойдет только при остывании кристалла до 120 °С. После этого преобразователь запустится в режиме плавного старта.

**Защита от превышения тока**

При достижении порога защиты по току на время 13,5 мкс будут заблокированы импульсы управления, открывающие верхний и нижние транзисторные ключи. За время этой задержки ток в индуктивности должен упасть. После паузы 13,5 мкс преобразователь переходит в режим плавного старта. Если же и в этом случае будет фиксироваться перегрузка по току, то весь цикл защиты будет повторяться до тех пор, пока не исчезнет перегрузка на выходе.

**Защита от перенапряжения и понижения напряжения на выходе и сигнал Power Good**

После завершения фазы плавного пуска выходное напряжение преобразователя будет контролироваться посредством мониторинга сигнала обратной связи на выводе FB. Окно допустимых напряжений задано двумя порогами. Один компаратор при этом следит за уровнем превышения напряжения в узле обратной связи, другой — фиксирует сни-



**Рис. 11.** Зоны рабочих режимов при изменении входных и выходных напряжений понижающего преобразователя

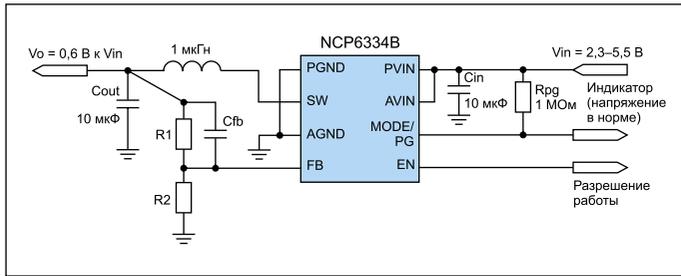


Рис. 12. Схема включения микросхемы NCP6334B

## Конвертер NCP6334B/C для сектора мобильной аппаратуры

Этот конвертер ориентирован на сектор аппаратуры с батарейным питанием. Основные требования данного сектора — малые габариты устройства и высокая эффективность преобразования в широком диапазоне выходных токов. В приборах с батарейным питанием используются режимы с управлением энергосбережением. При этом в зависимости от режима работы могут включаться и выключаться отдельные функциональные модули. Ток в нагрузке может изменяться от единиц ампер до единиц мА.

Микросхема NCP6334B/C выполнена в миниатюрном корпусе WDFN-8 с размерами  $2 \times 2 \times 0,75$  мм (рис. 12).

Частота преобразователя — 3 МГц, это обеспечивает использование индуктивностей и конденсаторов меньшего номинала и габаритов, что особенно актуально для мобильных устройств.

Преобразователь в зависимости от тока в нагрузке работает в режиме с широтно-импульсной (PWM) или в режиме с частотно-импульсной модуляцией (PFM), что и обеспечивает оптимизацию режима преобразования и поддержание высокой эффективности в широком диапазоне изменения выходного тока (рис. 13).

Типичные источники питания в мобильных устройствах: литий-ионная аккумуляторная батарея (3,6 В), батарея питания на основе трех сухих элементов питания (Alkaline) или трех аккумуляторных элементов NiCd/NiMH ( $1,6 \times 3 = 4,8$  В). Микросхемы NCP6334 могут быть как с регулируемым, так и с фиксируемым выходным напряжением в диапазоне от 0,6 до 3,3 В (по заказу).

### Выводы

В последнее время синхронные преобразователи стали весьма популярны. Как правило, высокая эффективность этих преобразователей достигается при больших коэффициентах заполнения и при

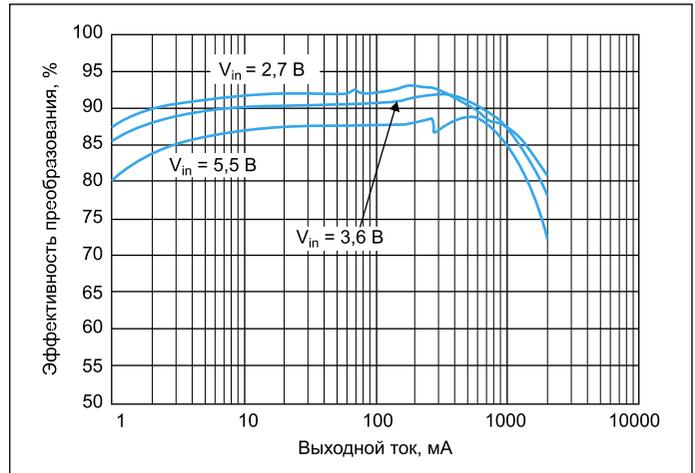


Рис. 13. Эффективность преобразования конвертеров на базе NCP6334 в зависимости от входного напряжения и тока в нагрузке

больших токовых нагрузках. При выборе микросхемы преобразователя следует обращать внимание на сопротивление выходных ключей в открытом состоянии, рабочую частоту преобразования, а также на возможность работы в режиме в заданном диапазоне изменения тока в нагрузке. Используя такие микросхемы, разработчик сможет сделать правильный выбор, в зависимости от стоящей перед ним задачи. Новые разработки ON Semi в секторе синхронных понижающих преобразователей помогут при создании эффективных источников питания для разнообразных приложений.

### Литература

1. NCP3170 Synchronous PWM Switching Converter. Datasheet On Semi. 2011.
2. NCP3155A, NCP3155B3A Synchronous Buck Regulator.
3. NCP31254A Synchronous PWM Switching Converter. April 2011.
4. NCP31263A Synchronous PWM Switching Converter. April 2011.
5. NCP31272A Synchronous PWM Switching Converter.
6. Design Note — DN05006/D High Efficiency 4A Regulator.
7. Design Note — DN05009/D High Efficiency 3A Buck Regulator w/Light Load Efficiency.
8. Образцов А., Образцов С. Схемотехника DC/DC-преобразователей // Современная электроника. 2005. № 3.
9. Новаковски Р., Нинг Танг. Эффективность понижающих преобразователей с синхронным и несинхронным выпрямителями // High-performance analog products. Analog Applications Journal. First Quarter, 2009. [www.ti.com](http://www.ti.com)