

# Современные микросхемы National Semiconductor для источников питания с понижающей топологией

Евгений БИРЮКОВ  
Дмитрий ВАСИЛЕНКО

## Введение

Использование в электронной аппаратуре интегральных микросхем позволило добиться существенного снижения массогабаритных параметров оборудования, но в то же время привело к тому, что теперь для надежной работы оборудования необходимо постоянное напряжение с минимальными шумами. Использование для стабилизации напряжения непрерывных стабилизаторов, КПД которых обычно не превышает 70%, приводит к большим потерям мощности на регулирующем элементе, что в большинстве случаев требует применения специальных мер для отвода выделяемого тепла, причем КПД уменьшается при расширении диапазона входных напряжений. Импульсный режим работы позволяет существенным образом уменьшить потери мощности в стабилизаторе и повысить его КПД, а значит, и источника в целом, до 95%, причем КПД сохраняет свое значение в широком диапазоне входного напряжения. Современные микросхемы для источников питания (ИП) имеют небольшую стоимость и содержат в себе все функции для защиты прибора от перегрузок и пониженного значения напряжения (UVLO). В данной статье предлагается рассмотреть один из типов таких микросхем: линейку новейших регуляторов напряжения National Semiconductor, на основе которых можно реализовать ИП понижающего типа.

Импульсные регуляторы напряжения являются эффективным решением (рис. 1) для получения стабилизированного выходного напряжения. В зарубежной литературе встречаются такие названия регуляторов понижающего типа, как chopper, buck converter, step-down converter. В разработках, использующих DC/DC-преобразование, применение данных компонентов намного повышает эффективность работы схемы в сравнении с альтернативными линейными регуляторами. Импульсные регуляторы с высоким коэффициентом понижения создают определенные требования к ШИМ-контроллеру. Скважность импульсов напрямую связана с отношением  $U_{out}/U_{in}$ , из чего можно сделать вывод, что при большой разности напряжений контроллеру придется оперировать очень узким спектром импульсов. Благодаря высокой частоте коммутации тока существенным образом уменьшаются габаритные размеры «обвязывающих» дросселей и конденсаторов.

В настоящее время существует несколько методов управления понижающими регуляторами: управление по току или напряжению, гистерезису и так называемый метод Constant-on time (CoT) контроля, каждый из которых обладает своими особенностями. Токковый режим управления (рис. 1) обеспечивает простую реализацию обратной связи и позволяет защитить ключевой транзистор от экстремальных режимов работы. Благодаря этой особенности данный метод управле-

ния является очень популярным среди инженеров и разработчиков электронной аппаратуры. Контроль с помощью гистерезиса (CoT-метод является его разновидностью) имеет очень быстрое время отклика, но не может работать на постоянной частоте переключения. Рассмотрим несколько из этих методов более подробно.

**Управление по току.** Как мы уже говорили, импульсный регулятор, предназначенный для понижения напряжения при минимальном коэффициенте заполнения (например,  $U_{вх} = 66 \text{ В}$ ,  $U_{вых} = 3,3 \text{ В}$ ), должен обладать повышенной помехоустойчивостью при работе с очень узкими рабочими циклами. На рис. 2 изображена упрощенная внутренняя схема реализации понижающего регулятора. Сигнал на выходе микросхемы согласуется с опорным напряжением на усилителе ошибки, после чего поступает на ШИМ-компаратор. Компаратор генерирует управляющий сигнал для ключа Q1. В качестве ключа Q1 обычно используется биполярный транзистор структуры *n-p-n*, однако в последнее время здесь все чаще используются *n*-канальные МОП-транзисторы, обладающие множеством преимуществ (высокая скорость переключения, простота управления, теплоустойчивость, отсутствие вторичного пробоя и минимальное потребление). При замыкании ключа напряжение в точке контакта диода D1 и катушки L1 равно входному напряжению,  $U = V_{in}$ , безынерционный (бестроперключающийся)

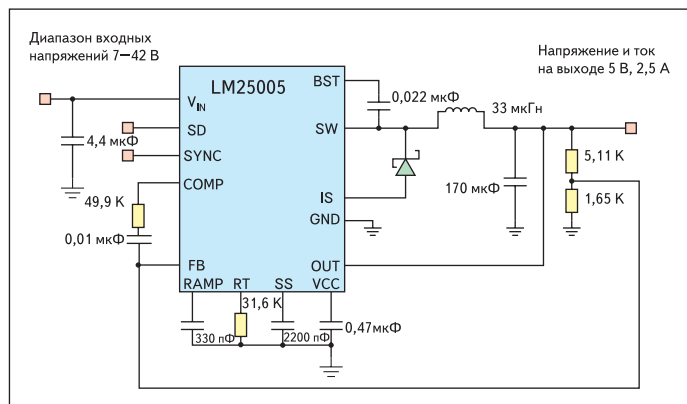


Рис. 1. Пример реализации понижающей схемы на базе микросхемы LM25005 компании National Semiconductor

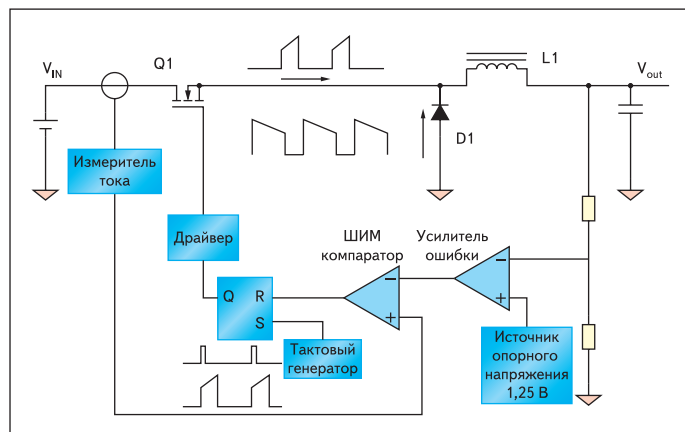


Рис. 2. Понижающий регулятор LM25005, использующий токковый режим управления

диод D1 закрыт, и внешнее напряжение, приложенное к катушке  $L$ , равно  $V_{in} - V_{out}$ . Поэтому от источника  $V_{in}$  через Q1 и  $L$  течет линейно возрастающий ток.

Переходные процессы создают значительные трудности применения токового управления в устройствах с большими коэффициентами преобразования, так как они требуют очень малого времени нахождения ключа в состоянии проводимости.

Фаза накачки энергии протекает в то время, когда транзистор Q1 открыт, ток протекает к индуктивности  $L$ , шунтированной конденсатором. При открытом ключе происходит накопление энергии как в индуктивности, так и в выходном конденсаторе. Значение тока через индуктивность  $I_L$  увеличивается. После того как ключевой транзистор переходит в состояние отсечки, наступает фаза передачи энергии в нагрузку. При закрытом ключе емкость разряжается, передавая всю энергию в питаемое устройство. Следует отметить, что параметры дросселя и выходного конденсатора, образующего LC-фильтр, следует подбирать путем точного расчета для получения малошумящего источника питания. Методики расчетов фильтров представлены на страницах сайтов производителей, посвященных соответствующим продуктам.

**СоТ-метод управления.** На сегодняшний день способ управления напряжением, основанный на методе СоТ, является одним из самых распространенных. В схемах с большой разницей входного и выходного напряжения реализация метода СоТ позволяет разработчикам добиваться превосходной эффективности источника питания. В микросхемах, использующих данную технику управления, рабочий режим ключевого элемента определяется из сравнения выходного напряжения с опорным значением. Возможность запрограммировать на очень короткие промежутки времени таймера включения-выключения, задающего время работы транзистора в состоянии проводимости, позволяет получить и поддерживать на выходе стабилизированное напряжение вне зависимости от его входного значения. Преимуществом данной схемы является отсутствие необходимости использовать дополнительные компоненты для реализации внешней петли обратной связи, что уменьшает конечную стоимость и массогабаритные характеристики устройства.

На рис. 3 приведена внутренняя структура микросхемы LM25010 компании National Semiconductor, использующей СоТ-регулирование. Таймер контролирует время работы ключа в режиме проводимости, задаваемое посредством резистора Ron, который находится в цепи между входным нерегулируемым напряжением и контроллером.

Время включения ( $T_{on}$ ) обратно пропорционально значению входного напряжения. Приведем значение коэффициента заполне-

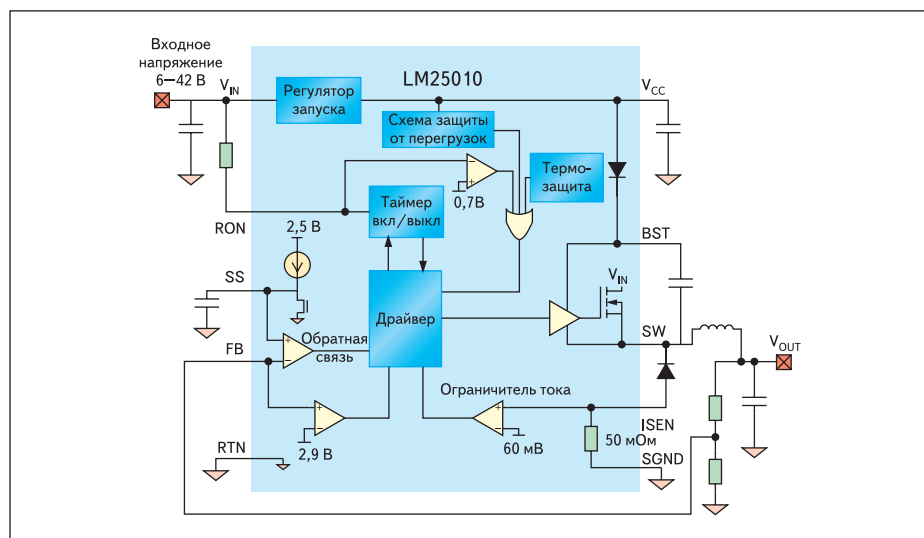


Рис. 3. Архитектура и схема включения микросхемы LM25010

ния  $D$  с учетом известной частоты переключения транзистора:

$$D = V_{out}/V_{in},$$

где  $V_{out}$  — выходное напряжение, В;  $V_{in}$  — входное напряжение, В.

С другой стороны, известно, что коэффициент  $D$  определяется следующим образом:

$$D = T_{on}/(T_{on} + T_{off}) = T_{on} \times F_s,$$

где  $T_{on}$  — время нахождения ключа в проводящем состоянии, с;  $T_{off}$  — время нахождения ключа в состоянии отсечки, с;  $F_s$  — частота коммутации Гц.

В итоге мы получаем следующее соотношение:

$$F_s = V_{out}/K,$$

где  $K$  — константа.

Из данного соотношения можно сделать вывод, что для питания устройства определенным напряжением  $V_{out}$  нам необходимо задать требуемую частоту переключения  $F_s$ , которая не будет значительно изменяться при изменении входного напряжения. С практической точки зрения работа источника питания теперь может быть оптимизирована простым изменением частоты до тех пор, пока не будет получен оптимальный результат. Это часто желательно потому, что на начальной стадии невозможно учесть такие переменные и неизвестные величины, как добротность дросселя, индуктивность и эффективное последовательное сопротивление конденсатора фильтра, а также технические характеристики других внешних элементов. Иными словами, разработчики получают возможность более точно настроить источник питания на заключительной стадии разработки.

При реализации метода СоТ возникает сложность, связанная с ограничением тока.

Время нахождения транзистора в состоянии проводимости «диктуется» схемой ограничителя тока, при уменьшении напряжения на выходе время ключа в состоянии отсечки уменьшается для повышения выходного напряжения. Частота коммутации начинает увеличиваться, что может вызвать дополнительное рассеивание энергии в месте монтажа микросхемы. Некоторые понижающие регуляторы ограничивают минимальное время режима отсечки, для того чтобы повышение частоты не привело к режиму перегрузки. Это ограничение может не позволить использование импульсных регуляторов на нагрузке, представленной в технической документации.

На рис. 3 проиллюстрировано решение данной проблемы на базе микросхемы LM25010 компании National Semiconductor. Ток, протекающий через безынерционный диод, идет через контролирующий резистор, соединенный параллельно с компаратором. При превышении выходным током определенного значения компаратор подает сигнал на драйвер, регулирующий работу ключа, и транзистор переходит в состояние отсечки. Время режима отсечки транзистора автоматически возрастает до значения, необходимого для нормального режима работы, препятствуя возникновению перегрузки.

### Особенности регуляторов LM25010 и LM25005 и методы по борьбе с пульсациями напряжения

Относительно недавно многие инженеры заявляли, что судьба импульсных источников питания (ИИП) в электронных устройствах неясна и туманна. Этот пессимистичный прогноз основывался на том факте, что ИИП являются сильными источниками шума. Возражениями пророкам гибели ИИП могут служить следующие доводы.

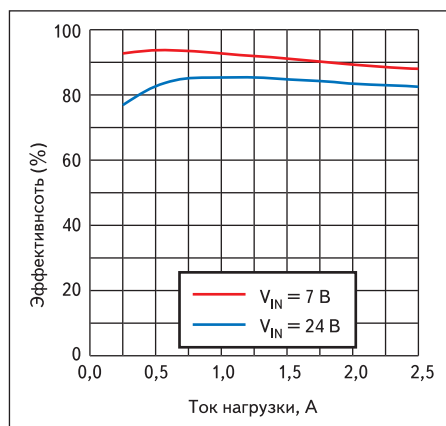


Рис. 4. КПД LM25005 в зависимости от напряжения и тока нагрузки

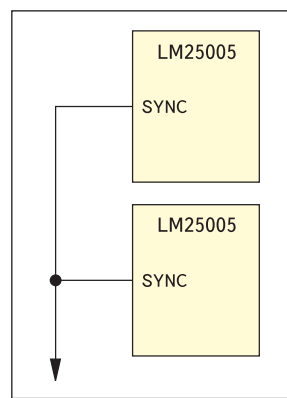


Рис. 5. Синхронизация нескольких микросхем от одного источника

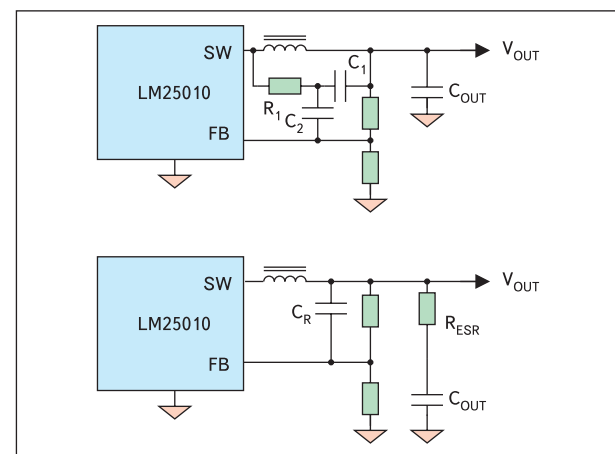


Рис. 6. Уменьшение выходных шумов ИИП

- Шум, создаваемый ИИП, всегда должен сравниваться с шумом аналогичного по мощности линейного источника питания, а не с идеальным, нешумящим источником. При таком сравнении получается, что ИИП часто имеют фактически меньшую шумовую составляющую.
- Нагрузка в виде цифровых схем нередко создает больше шума, чем сами ИИП.
- Многие системы используют КМОП или другую логику, имеющую высокую помехоустойчивость.
- Можно выбрать частоту переключений так, чтобы остающийся после фильтрации шум оказывал минимальное влияние на конкретное подключаемое устройство.
- Некоторые ИИП обеспечивают большее ослабление переходных процессов, чем линейные стабилизаторы.
- В связи с появлением новых интегральных схем, диодов с малым временем обратного восстановления, высококачественных конденсаторов и других компонентов, работа импульсных стабилизаторов улучшилась. Это дает большую свободу выбора инженерам при создании ИИП с малым уровнем шума.

На рис. 4 приведены графики, иллюстрирующие КПД источника питания на базе отладочной платы с микросхемой LM25005.

Частоту коммутации для LM25005 можно задавать с помощью единственного внешнего резистора, либо использовать генератор, который необходимо подключить к выводу микросхемы SYNC. На рис. 5 приведен пример организации синхронизации микросхем LM25005 (аналогичная цепь возможна на базе LM5005) от одного источника. Таким образом, возможно соединение в один узел до 5 микросхем.

На рис. 6 приведены варианты выходного каскада ИП на базе микросхемы LM25010 National Semiconductor для осуществления подавления выходных пульсаций напряжения.

В состав микросхем LM25010 и LM25005 входит N-канальный ключ с сопротивлением в открытом состоянии 160 мОм, схема мягкого запуска и термозащиты. Регуляторы предлагаются в различном корпусном исполнении (LLP, TSSOP-14, TSSOP-20), особо следует обратить внимание на корпус LLP-10, имеющий небольшие габариты (16 мм<sup>2</sup>) и рабочий температурный диапазон от -40 до +125 °С.

## Выводы

Исторически сложилось, что компания National Semiconductor является одним из мировых лидеров в области производства микросхем для источников питания. Ею накоп-

лен огромный опыт, который, в свою очередь, реализуется в архитектуре и функциональности микросхем с целью повышения эффективности источников питания. Применение микросхем National Semiconductor позволяет разработчикам спроектировать недорогой и надежный источник питания с учетом современных требований по массогабаритным характеристикам. ■

## Литература

1. [www.national.com/appinfo/power/files/national\\_power\\_designer111.pdf](http://www.national.com/appinfo/power/files/national_power_designer111.pdf)
2. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. М.: «Солон-Р». 2005.
3. Источники питания. Инверторы, конвертеры, линейные и импульсные стабилизаторы Ирвинг М. Готтлиб. М.: Постмаркет. 2002.
4. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства / Авторы: В. И. Бойко. СПб.: БХВ-Петербург. 2004.
5. [www.national.com/appinfo/power/designerhm.html](http://www.national.com/appinfo/power/designerhm.html)
6. [www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=LM25005](http://www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=LM25005)
7. [www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=LM25010](http://www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=LM25010)
8. [www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=lm5005](http://www.national.com/search/search.cgi/main?keywords=lm5005)