

Новое поколение интегральных микросхем National Semiconductor для импульсных источников питания

Фирма National Semiconductor (NSC) является одним из ведущих мировых производителей интегральных микросхем (ИМС) для импульсных источников питания, аналоги ИМС National Semiconductor выпускаются различными фирмами во многих странах. В нашей предыдущей статье [1] были рассмотрены интегральные импульсные стабилизаторы напряжения (ИСН) популярных серий LM32xx и LM36xx, а также высоковольтные ИСН и ШИМ-контроллеры LM5xxx. В данной статье рассматриваются интегральные импульсные стабилизаторы National Semiconductor последнего поколения, в частности, ИМС серий LM257x/557x и другие, относящиеся по классификации фирмы к категории Simple Switcher Regulators — «Простые импульсные» и использующие новые схемотехнические решения, значительно улучшающие основные параметры конечных изделий.

Геннадий ШТРАПЕНИН,
к. ф. - м. н.
gshtrapenin@electron.usurt.ru

Силовая часть большинства известных понижающих импульсных стабилизаторов напряжения обычно выполняется на основе классической функциональной схемы (рис. 1), включающей импульсный ключ, который в современных ИСН выполняется, как правило, на МОП-транзисторах, а также диод, замыкающий индуктивность внешнего LC-фильтра на общий провод в то время, когда транзистор импульсного ключа выключен (закрыт). Для управления работой ключа используются импульсы переменной длительности (широтно-импульсная модуляция — ШИМ) или частоты (частотно-импульсная модуляция — ЧИМ). Они вырабатываются схемой сравнения образцового напряжения и сигнала обратной связи (ОС) по выходному напряжению $U_{\text{вых}}$. Величина $U_{\text{вых}}$ определяется по формуле, приведенной на

рис. 1, где $U_{\text{вх}}$ — входное напряжение, D — коэффициент заполнения управляющих импульсов на затворе транзистора Q1.

Следует отметить, что в последнее время широкое распространение получили интегральные ИСН с синхронным выпрямителем, в которых вместо диода применяется МОП-транзистор, управляемый специальной схемой. Поскольку у современных МОП-транзисторов сопротивление канала составляет десятки доли ома и менее, падение напряжения на канале транзистора даже при сравнительно больших токах оказывается меньше, чем на прямо включенном диоде, вследствие чего КПД стабилизатора заметно повышается.

Улучшению параметров ИСН способствует также использование обратной связи по току дросселя (функциональная схема одно-

го из вариантов понижающего ИСН с ОС по току приведена на рис. 2).

Достоинства данной схемы — своеобразное разделение емкости и индуктивности фильтра по динамике [2], в результате чего передаточная функция системы в области рабочих частот приобретает только один полюс, и таким образом обеспечивается потенциальная устойчивость схемы к самовозбуждению, а также малое влияние сопротивления нагрузки. Ассортимент продукции National Semiconductor насчитывает более десяти ИСН и ШИМ-контроллеров с ОС по току дросселя, некоторые из них были рассмотрены автором ранее [1]. В то же время, при малом коэффициенте заполнения управляющих импульсов корректное измерение тока дросселя становится сложной задачей из-за увеличения уровня шумов, а также временных задержек в процессе обработки сигнала токовой ОС, в результате чего создание понижающих ИСН с большим перепадом входных и выходных напряжений оказывается весьма проблематичным.

Стремление расширить диапазон входных и выходных напряжений интегральных ИСН при минимизации числа внешних элементов привело разработчиков фирмы к созданию нового поколения интегральных импульсных понижающих стабилизаторов напряжения, использующих оригинальную схемотехнику Emulated Current Mode Control — ECM — «управление с обратной связью по восстановленному значению тока» [3]. Функциональная схема понижающего ИСН такого типа

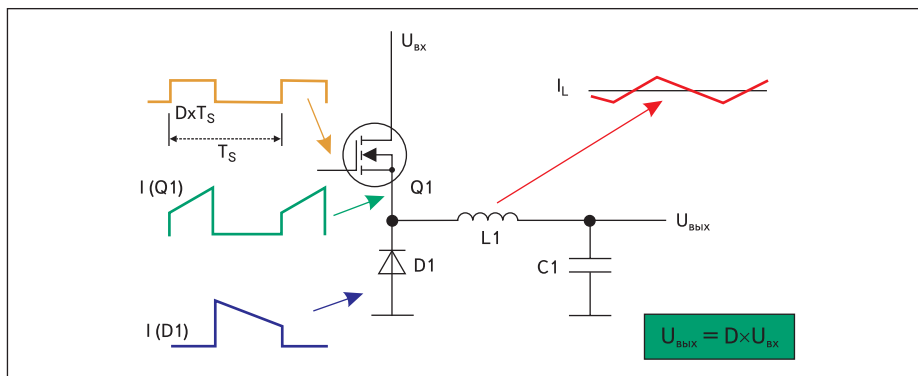


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема импульсного понижающего стабилизатора напряжения

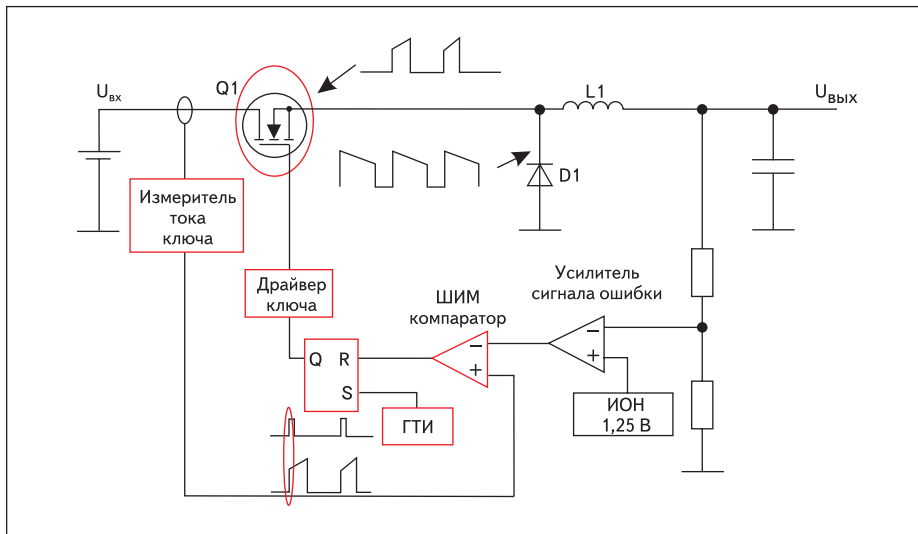


Рис. 2. Функциональная схема импульсного понижающего стабилизатора напряжения с обратной связью по току

приведена на рис. 3 и включает схему измерения тока диода, устройство выборки/хранения (УВХ), усилитель сигнала ошибки, устройство формирования пилообразного напряжения и сумматор. Сигнал управления ШИМ складывается из пилообразного напряжения, скорость нарастания которого пропорциональна разности входного и выходного напряжения стабилизатора, и постоян-

ного напряжения, формируемого на выходе УВХ и пропорционального току диода, а следовательно и дросселя, в конце цикла переключения. Благодаря использованию УВХ, значение тока дросселя измеряется с необходимой точностью практически при любой длительности управляющих импульсов, и таким образом удается совместить достоинства классической функциональной схемы с ОС

по напряжению — минимум шумов и возможность работы при малых коэффициентах заполнения управляющих импульсов и, соответственно, больших перепадах входного и выходного напряжения, с главным достоинством схемы с ОС по току — устойчивостью работы в широком диапазоне выходных токов. ИСН с архитектурой ECM сравнительно просто и надежно моделируются в онлайн-программной оболочке WEBENCH, о чем будет подробно сказано ниже.

Семейство интегральных ИСН, выполненных по архитектуре ECM, включает шесть микросхем, основные параметры которых приведены в таблице. Отметим, что первый (видимо, экспериментальный) интегральный ИСН National Semiconductor LM5005 с архитектурой ECM, выпущенный в 2005 году, был коротко рассмотрен в нашей предыдущей статье [1].

Как видно из таблицы, соответствующие ИМС серий LM25557х и LM557х отличаются величиной максимального входного напряжения и диапазоном рабочих частот. Упрощенная схема включения ИСН LM5574 приведена на рис. 4.

К выводу микросхемы 1 VCC подключен выход внутреннего стабилизатора напряжения 7 В, при входном напряжении ИСН менее 14 В для уменьшения нагрева ИМС вывод 1 можно соединить со входом стабилиза-

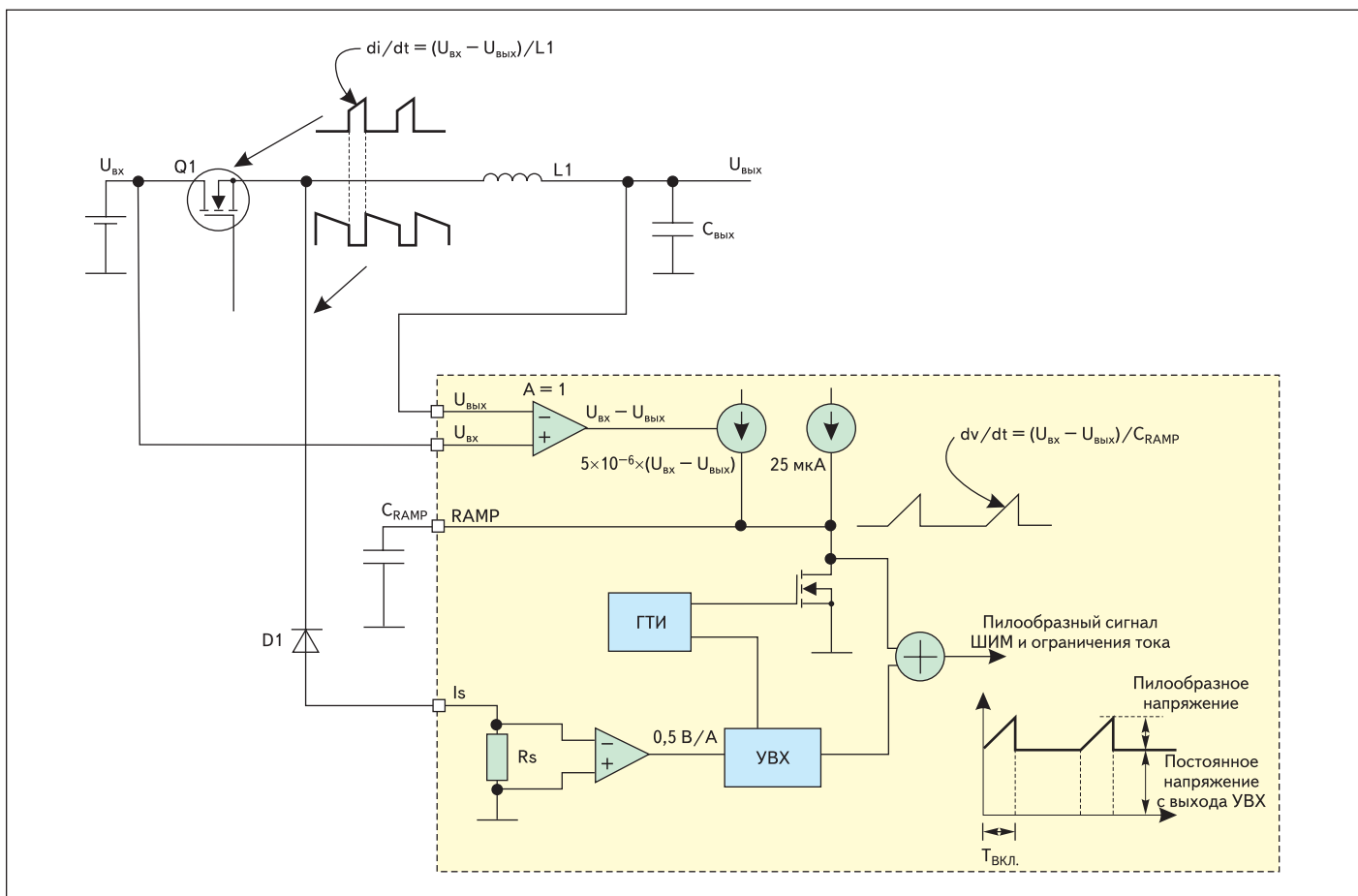


Рис. 3. Функциональная схема импульсного понижающего стабилизатора напряжения, использующего архитектуру ECM

Таблица. Основные параметры интегральных импульсных стабилизаторов напряжения National Semiconductor

| Тип | Диапазон входных напряжений U_{in} , В | | Выходной ток I_{out} , А | Выходное напряжение U_{out} , В | | Рабочая частота $F_{от}$, кГц | | Корпус |
|---------|--|-------|----------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------------|-------|----------------|
| | мин. | макс. | | мин. | макс. | мин. | макс. | |
| LM5574 | 6,0 | 75 | 0,5 | 1,225 | — | 50 | 500 | TSSOP-16 |
| LM25574 | 6,0 | 42 | 0,5 | 1,225 | — | 50 | 1000 | TSSOP-16 |
| LM5575 | 6,0 | 75 | 1,5 | 1,225 | — | 50 | 500 | TSSOP-16-EP |
| LM25575 | 6,0 | 42 | 1,5 | 1,225 | — | 50 | 1000 | TSSOP-16-EP |
| LM5576 | 6,0 | 75 | 3,0 | 1,225 | — | 50 | 500 | TSSOP-20-EP |
| LM25576 | 6,0 | 42 | 3,0 | 1,225 | — | 50 | 1000 | TSSOP-20-EP |
| LM2830 | 3,0 | 5,5 | 1,0 | 0,55 | 4,5 | 1600 | 3000 | LLP-6, eMSOP-8 |
| LM2831 | 3,0 | 5,5 | 1,5 | 0,55 | 4,5 | 1600 | 3000 | LLP-6, eMSOP-8 |
| LM2832 | 3,0 | 5,5 | 2,0 | 0,55 | 4,5 | 1600 | 3000 | LLP-6, eMSOP-8 |
| LM2853 | 3,0 | 5,5 | 3,0 | 0,80 | 3,3 | — | 550 | TSSOP-14 |
| LM3100 | 4,5 | 36 | 1,5 | 0,80 | — | — | 1000 | TSSOP-20 |
| LM3677 | 2,7 | 5,5 | 0,6 | 1,20 | 3,3 | 2500 | 3500 | microSMD |

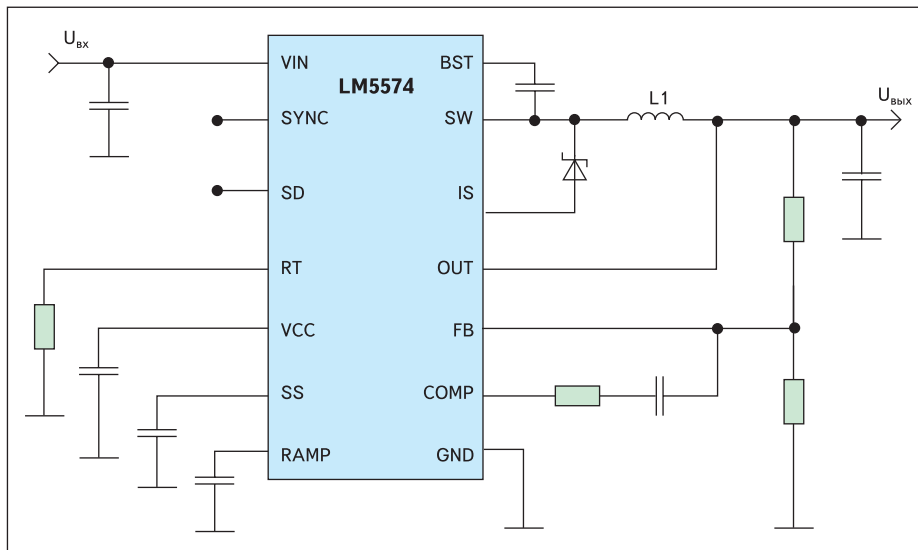


Рис. 4. Упрощенная типовая схема включения ИМС LM5574

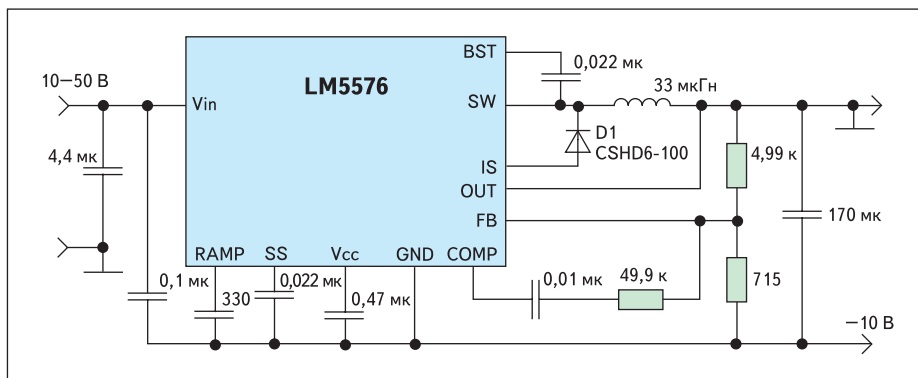


Рис. 5. Вариант схемы инвертирующего ИСН на ИМС LM5576

тора VIN (вывод 3). Вывод 2 SD (Shutdown) служит для перевода ИМС в режим пониженного энергопотребления. При напряжении на этом выводе менее 0,7 В потребляемый ток не превышает 5 мкА, если же напряжение на выводе 2 находится в пределах от 0,7 до 1,225 В, ИМС переходит в дежурный режим, в котором активизируется внутренний источник питания микросхемы, но силовой ключ находится в закрытом состоянии. Нормальное функционирование ИСН возможно, если напряжение на входе SD превышает 1,225 В, или он остается

свободным. К выводу 10 SS подключается конденсатор емкостью порядка 10 нФ, определяющий параметры «мягкого» запуска.

Вывод ИМС 4 SYNC может быть использован как выход для синхронизации частоты работы внешних устройств или как вход для синхронизации внутреннего генератора микросхемы внешним тактовым сигналом. Рабочая частота F в герцах определяется сопротивлением резистора, подключенного между выводом 7 RT и общим проводом согласно формуле:

$$RT = (1/F - 580 \times 10^{-9}) / (135 \times 10^{-12}).$$

К выводу 8 RAMP подключается конденсатор C_{RAMP} устройства формирования пилообразного напряжения, емкость которого 50–2000 пФ связана с величиной индуктивности дросселя и может быть рассчитана по приближенной формуле:

$$C_{RAMP} = L \times 5 \times 10^{-6},$$

где L — индуктивность дросселя, Гн. Величина последней определяется значениями рабочей частоты, выходного напряжения, максимальным входным напряжением и допустимой величиной пульсаций тока, обеспечивающей непрерывность тока дросселя [2]. Устойчивость работы ИСН обеспечивается цепочкой коррекции RC, подключаемой между выводами 5 COMP и 6 FB. Этот же вывод служит для подачи через делитель R1R2 части выходного напряжения с выхода стабилизатора на внутреннюю схему сравнения с пороговым напряжением 1,225 В.

Ключевой n -канальный МОП-транзистор ИМС LM5574 имеет сопротивление в открытом состоянии 750 мОм (330 и 170 мОм для LM5575 и LM5576 соответственно), все микросхемы серии имеют встроенную защиту от перегрева, короткого замыкания и перегрузок по выходу, а также превышения входного напряжения (UVLO). Микросхемы LM5575 и LM5576 выпускаются в корпусах TSSOP-EP с дополнительными монтажными площадками для увеличения рассеиваемой мощности.

В заключение отметим, что рассмотренные ИСН, как и другие понижающие импульсные стабилизаторы, можно использовать для получения отрицательных напряжений, то есть как инвертирующие. Для этого необходимо «заземлить» плюсовой выход стабилизатора, а ранее заземленные выводы внешних элементов соединить с минусовым выходом. Вариант схемы инвертирующего ИСН с выходным напряжением -10 В на ИМС LM5576 приведен на рис. 5.

Для питания мощных низковольтных устройств удобно использовать импульсные стабилизаторы напряжения на основе ШИМ-контроллеров с внешними силовыми ключами. Одна из последних моделей такого контроллера — LM3495 — также выполнена в архитектуре ESM. LM3495 работает при входных напряжениях от 2,9 до 18 В, выходное напряжение — регулируемое от 0,6 до 5,5 В. Частота переключения устанавливается внешним резистором в диапазоне 200 кГц — 1,5 МГц. Максимальная величина выходного тока зависит от параметров ключевых транзисторов и может достигать десятков ампер. LM3495 содержит полный набор устройств защиты от перегрузок, перегрева, понижения входного напряжения, а также схему пошагового ограничения тока и режим Hiccup — программируемую токовую защиту с автомати-

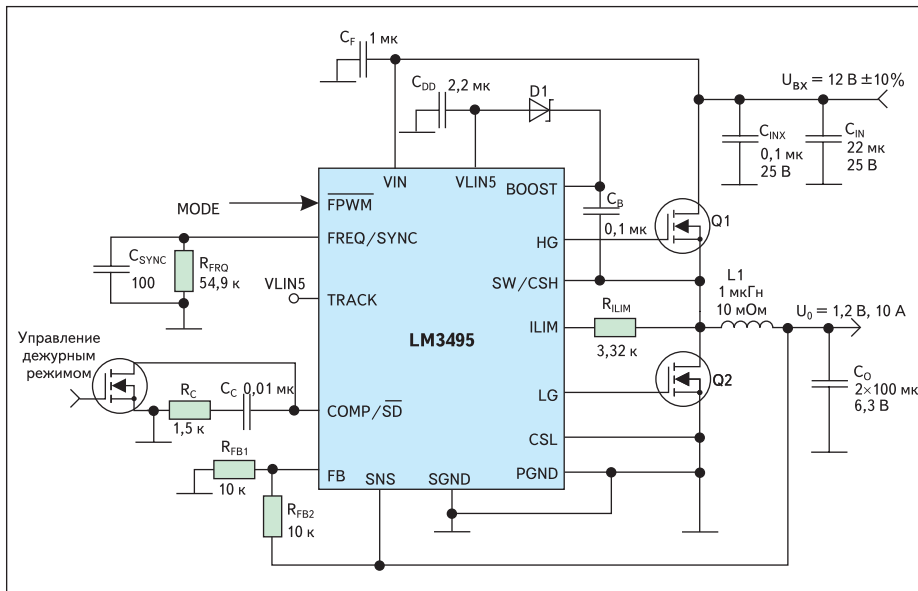


Рис. 6. Типовая схема включения ШИМ-контроллера LM3495

ческим возобновлением работы после ликвидации перегрузки. Типовая схема включения ШИМ-контроллера LM3495 приведена на рис. 6. Как видно из рис. 6, силовой ключ стабилизатора выполнен по схеме с синхронным выпрямителем на мощных *n*-канальных МОП-транзисторах. Тем не менее, для повышения КПД стабилизатора при токах менее 5 А, NSC рекомендует включить между стоком и истоком транзистора Q2 диод Шоттки с соответствующими параметрами.

Перейдем далее к рассмотрению других интересных новинок National Semiconductor в области импульсных источников питания. Семейство миниатюрных интегральных понижающих ИСН LM2830/1/2 выпускается в 6-выводных корпусах LLP и 8-выводных eMSOP. Параметры микросхем приведены в таблице. Стабилизаторы выполнены по схеме с обратной связью по току дросселя, рабочая частота фиксированная: 1,6, 0,55 и 3,0 МГц соответственно для серий X, Y и Z. В режиме Shutdown потребляемый ток не превышает 0,1 мкА. Диод Шоттки — внешний. Благодаря низкому сопротивлению канала встроенного *p*-МОП-транзистора 0,15 Ом, КПД стабилизатора достигает 93%. Имеется встроенная схема «мягкого» запуска, ограничения выходного тока, защита от перегрева и недопустимых значений входного напряжения.

Более мощный интегральный ИСН LM2853 (см. таблицу) выполнен по схеме с синхронным выпрямителем с обратной связью по напряжению в фирменной концепции Simple Switcher — с минимальным числом внешних элементов (дроссель и 1–3 конденсатора). Отличается крайне низким значением сопротивления канала встроенных комплементарных МОП-ключей (~40 мОм) и, соответственно, высоким КПД, достигающим 94%. Выходные напряжения имеют фиксированные значения, программируемые при изго-

товлении ИМС, — от 0,8 до 3,3 В с шагом 0,1 В (стандартные выходные напряжения: 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,5, 3,0 и 3,3 В).

Управление сравнительно высоковольтным понижающим ИСН LM3100 выполнено по модернизированной релейной схеме с гистерезисом, которая не требует сложных цепей коррекции и позволяет обойтись минимумом внешних элементов согласно концепции NSC Simple Switcher. Резистором, подключаемым между входом стабилизатора и выводом RON, задается время включения (активного состояния) силового ключа в зависимости от максимальной величины входного напряжения. В процессе работы стабилизатора при изменении входного напряжения и сопротивления нагрузки благодаря обратно пропорциональной зависимости между входным напряжением и временем активного состояния ключа частота переключения широтно-импульсного модулятора остается практически постоянной. Ключевые *n*-МОП-транзисторы ИМС рассчитаны на максимальное напряжение 40 В, выходное напряжение задается внешним резистивным делителем. Как и большинство других рассмо-

тренных ИМС, LM3100 содержит встроенную схему «мягкого» запуска, ограничения выходного тока, защиты от перегрева и недопустимого превышения и понижения входного напряжения.

Для работы в портативных устройствах, таких как цифровые фотоаппараты, MP3-плееры, карманные компьютеры и другой аппаратуре с питанием от 1–3 элементов Li-Ion, предназначен особо экономичный миниатюрный понижающий ИСН LM3677 в корпусе microSMD — модернизированный вариант выпускаемых ранее LM3670 и LM3671. Особенностью данных ИСН является их автоматическое переключение из режима широтно-импульсной модуляции (ШИМ — PWM) в режим частотно-импульсной модуляции (ЧИМ — PFM) при уменьшении тока нагрузки, что значительно повышает КПД стабилизатора, а весьма низкие величины токов покоя (16 мкА) и дежурного режима (0,01 мкА) увеличивают срок службы батареи. LM3677 создает очень малые (менее 5 мВ по амплитуде) пульсации выходного напряжения, что особенно ценно для портативных радиочастотных устройств, и требует всего трех внешних элементов: малогабаритного дросселя и двух керамических конденсаторов, благодаря чему всю схему стабилизатора удастся разместить на печатной плате площадью менее 20 мм². Типовая схема включения ИСН LM3677 приведена на рис. 7. Стандартные значения выходных напряжений: 1,3; 1,5; 1,8 и 2,5 В. Имеется встроенная защита от перегрева и перегрузки по выходному току.

В заключение статьи рассмотрим одну из новинок National Semiconductor — ИМС LM3880, строго говоря, не относящуюся к импульсным источникам питания, но имеющую прямое отношение к устройствам питания различной аппаратуры и, в частности, микроконтроллеров. Известны ситуации, когда требуется включать несколько различных источников питания (ИП) в определенной последовательности с некоторой задержкой, а выключать их в обратном или каком-либо другом порядке. Данная проблема легко решается с использованием ИМС LM3880, названной Power Sequencer. LM3880 имеет один

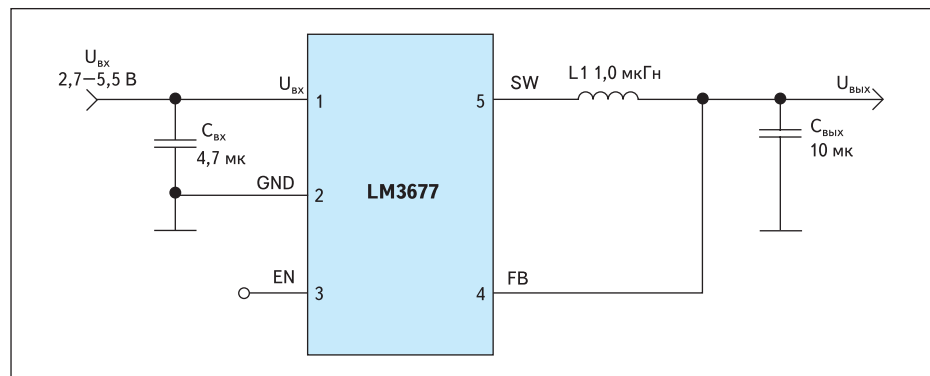


Рис. 7. Типовая схема включения ИМС LM3677

логический вход и три выхода с открытым истоком. При подаче единичного уровня на вход на выходах с задержкой 10, 30, 60 или 120 мс, задаваемой конкретным типом ИМС, появляются единичные уровни (флаги) для включения требуемых ИП. Соответственно, при появлении нулевого уровня на входе происходит выключение ИП с такой же задержкой в определенном порядке, согласно типонминалу ИМС (6 вариантов). Возможно программирование временных интервалов и порядка включения и выключения по индивидуальному заказу. Типовая схема включения ИМС LM3880 приведена на рис. 8. Микросхема выполнена в шестивыводном миниатюрном корпусе SOT23, диапазон напряжения питания и, соответственно, логических уровней — от 2,7 до 5,5 В, потребляемый ток покоя не превышает 25 мкА.

Проектирование и оптимизацию параметров импульсных стабилизаторов напряжения на ИМС National Semiconductor удобно проводить с использованием специального бесплатного программного обеспечения, доступного на сайте фирмы www.national.com. Для микросхем ранних выпусков имеются автономно функционирующие в среде Windows программы серии Switchers Made Simple, позволяющие в соответствии с заданными параметрами стабилизатора провести оптимальный выбор микросхемы, расчет внешних элементов, моделирование работы устройства, а также получить компоновку и рисунок печатной платы. Более совершенной является онлайн-среды проектирования различных электронных устройств WEBENCH, также бесплатно доступная на сайте фирмы и отслеживающая самые последние разработки NSC. В дополнение к возможностям программ Switchers Made Simple в WEBENCH создается виртуальный макет проекта и проводится моделирование различных процессов, в том числе и тепловых, для чего используется специальный модуль WEBTERM, позволяющий получить температурную карту работы устройства и, при необходимости, рассчитать параметры его охлаждения. Для импульсных стабилизаторов на ИМС серий LM257х/557х предусмотрена возможность их оптимизации по различным

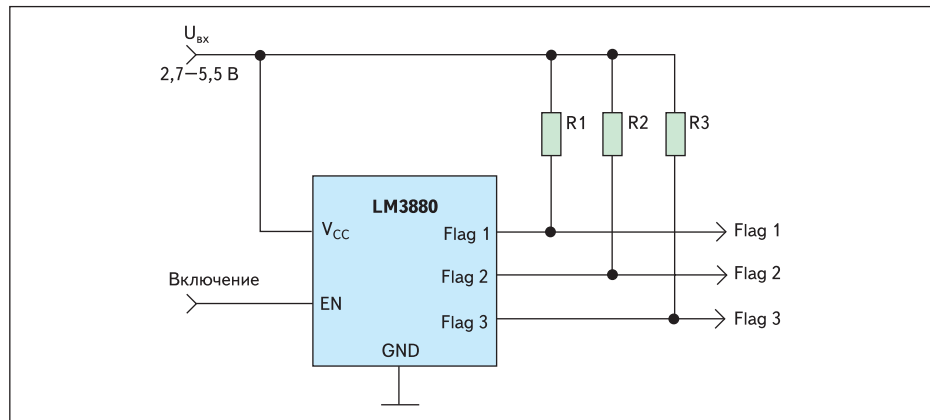


Рис. 8. Типовая схема включения ИМС LM3880



Рис. 9. Окно программы WEBENCH при проектировании импульсного стабилизатора на ИМС LM5576

параметрам и, в частности, по КПД. Вид окна программы WEBENCH для оптимизации КПД импульсного стабилизатора на ИМС LM5576 приведен на рис. 9.

Широкая номенклатура, относительно невысокая стоимость и возможность онлайн-выбора и проектирования схем с интегральными импульсными стабилизатора-

ми напряжения и другими ИМС National Semiconductor делает их весьма привлекательными для широкого круга российских разработчиков РЭА. Рассмотренные ИМС, а также другие компоненты производства компании National Semiconductor можно приобрести в ЗАО «ПРОМЭЛЕКТРОНИКА» www.promelec.ru.

Более подробную техническую информацию можно найти на сайтах www.national.com и www.nscrus.ru.

Литература

1. Штрапенин Г. Современные интегральные импульсные стабилизаторы напряжения и ШИМ-контроллеры фирмы National Semiconductor // Компоненты и технологии. 2005. № 9.
2. Волович Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств. М.: Додэка-XXI. 2005.
3. Sclocchi M., Berns W. Emulated peak current mode simple switcher to fully enjoy the beauty of PWM current mode operation. National Semiconductor. 2006.