

МИКРОСХЕМЫ ИМПУЛЬСНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ И ШИМ-КОНТРОЛЛЕРОВ ФИРМЫ NATIONAL SEMICONDUCTOR

Компания National Semiconductor – один из ведущих мировых производителей микросхем стабилизаторов напряжения всех типов [1]. Микросхемы, разработанные этой компанией, в огромных объемах выпускаются фирмами многих стран. Последние разработки National Semiconductor – микро-мощные интегральные стабилизаторы напряжения (ИСН) серии LM3xxx и высоковольтные ИСН серии LM5xxx – обладают весьма высокими параметрами и перспективны для применения в устройствах питания различной радиоэлектронной аппаратуры. Заслуживают внимания также выпускаемые National Semiconductor микросхемы ШИМ-контроллеров – устройств управления импульсными стабилизаторами напряжения с внешними ключевыми транзисторами, в том числе для полумостовых и мостовых схем включения.

Улучшение параметров и массогабаритных характеристик новейших ИСН компании National Semiconductor достигается главным образом путем перехода от биполярной к БиКМОП- и КМОП-технологии и увеличением их рабочей частоты. Для повышения надежности и устойчивости работы ИСН наряду с традиционным управлением широтно-импульсным модулятором (ШИМ) с обратной связью по напряжению широко применяется дополнительная обратная связь по току дросселя (токовое управление). Кроме того, как правило, в новейших импульсных ИСН предусмотрены следующие дополнительные функции, позволяющие улучшить их параметры и обеспечить определенный режим питания:

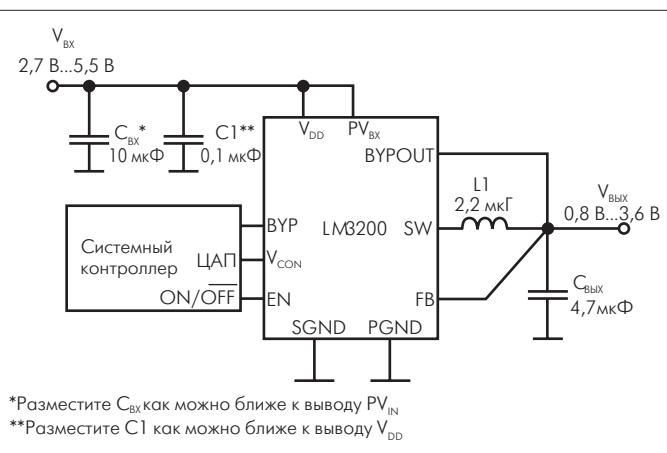
- дистанционное включение и выключение (Shutdown);
- дежурный режим (Sleep Mode);
- установка предельного тока (Adjustable Current Limit);
- задержка включения (Delay);
- плавный запуск (Soft Start);
- контроль входного напряжения (Low Battery Detector и Under Voltage Lockout);
- выдача сигнала ошибки (Error Flag), когда выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ уменьшается на заданное значение, или обратного ему сигнала, свидетельствующего о нормальном напряжении $U_{\text{вых}}$ (Power Good).

Вначале рассмотрим миниатюрные понижающие ИСН серии LM32xx, выпускаемые в корпусах microSMD и предназначенные для применения в радиочастотной аппаратуре с батарейным питани-

Г. Штрапенин
gshtrapenin@electron.usurt.ru

ем – в мобильных телефонах, устройствах беспроводной связи, карманных компьютерах и т.п. Основные параметры некоторых стабилизаторов серии представлены в таблице.

Особенность микросхем **LM3200** – управляемый режим прямого подключения (Bypass Mode) источника питания через специальный вывод микросхемы BYPOUT к мощной нагрузке, например к выходному каскаду усилителя мощности передатчика (рис.1). Выходное напряжение U_{out} регулируется управляющим сигналом, подаваемым на специальный вход V_{con} , при этом $U_{\text{out}} = 3V_{\text{con}}$. Возможно также и традиционное управление выходным напряжением за счет включения в цепь обратной связи резисторов с определенным сопротивлением. Для LM3200 предусмотрены дежурный режим работы (потребляемый ток 0,1 мкА), устанавливаемый подачей сигнала низкого уровня на вход EN, а также защита от перегрева и перегрузок по выходному току. У ИСН **LM3202** аналогичные параметры (кроме Bypass Mode) при максимальном выходном токе 650 мА. Примеры расчета параметров внешних элементов ИСН приведены на сайте компании National Semiconductor (www.national.com).



*Разместите $C_{\text{вх}}$ как можно ближе к выводу PV_{IN}
**Разместите $C1$ как можно ближе к выводу V_{DD}

Рис. 1. Типовая схема включения ИСН LM3200

Заслуживает внимания ИСН **LM3661**, способный работать как импульсный понижающий (PWM), так и линейный стабилизатор с малым падением напряжения (LDO) [2]. По умолчанию LM3661 включается в режиме LDO, переходя через 600 мкс в импульсный режим. Переключение режимов возможно и путем подачи управляющего сигнала на специальный вывод микросхемы PWM/LDO. Этот же вывод в режиме PWM служит входом для сигнала внешней синхронизации частоты коммутации в пределах 500–750 кГц, что во многих случаях существенно снижает помехи при питании высо-



Тип ИСН	Диапазон входных напряжений, $U_{вх}$, В		Выходной ток, $I_{вых}$, тип.	Выходное напряжение, $U_{вых}$, В, тип.	Рабочая частота, F_o , МГц, тип.	КПД, η , % макс.	Режим понижения	Режим повышения	Режим инвертирования	Режим Flyback	Примечание
	мин.	макс.									
LM3200	2,7	5,5	500	0,8–3,6	2,0	96	+	–	–	–	Дежурный режим, управление $U_{вых}$, режим прямого подключения
LM3202	2,7	5,5	650	1,3–3,16	2,0	96	+	–	–	–	Дежурный режим, управление $U_{вых}$
LM3661	2,7	5,5	450	1,35; 1,05–1,4	0,6	92	+	–	–	–	Дежурный режим, режим LDO, вход синхронизации
LM3670	2,5	5,5	350	1,5; 1,8; 1,875; 0,7–3,3	1,0	94	+	–	–	–	Дежурный режим, переключение PWM-PFM, плавный запуск
LM3671	2,8	5,5	600	1,2; 1,5; 1,6; 1,8; 1,875; 2,5; 3,3; 0,7–3,3	2,0	93	+	–	–	–	То же
LM5000	3,1	40	2000	3,5–80	0,3–1,3	–	–	+	–	+	Дежурный режим, плавный запуск, UVLO
LM5007	9,0	75	500	2,5–73	0,8	93	+	–	–	–	То же
LM5010	8,0	75	1000	2,5–70	1,0	91	+	–	+	–	То же
LM5008	9,0	95	350	2,5–75	0,6	92	+	–	–	–	То же
LM5005	7,0	75	2500	1,23–70	0,05–0,5	90	+	–	+	–	То же. Отключение. Токвое управление

кочастотной аппаратуры. Для установки выходного напряжения в пределах 1,05–1,4 В и для ограничения значения выходного тока в пределах 300–450 мА предусмотрены специальные выводы. Стабилизатор отличается высокой экономичностью – потребляемый ток в режиме LDO не превышает 29 мкА, в дежурном режиме – 0,05 мкА. Выпускается в миниатюрном корпусе microSMD.

Для портативных устройств (цифровых фотоаппаратов, MP-3 плееров, приводов малогабаритных жестких дисков, карманных компьютеров и другой аппаратуры с питанием от одного-трех Li-Ion элементов) National Semiconductor разработаны особо экономичные миниатюрные ИСН **LM3670** и **LM3671**. Выпускаются в корпусах SOT-23 и microSMD. Особенность этих ИСН – автоматическое переключение из режима широтно-импульсной модуляции (ШИМ) в режим частотно-импульсной модуляции (ЧИМ) с уменьшением тока нагрузки, что значительно повышает КПД устройства. А благодаря весьма низким значениям токов покоя (16 мкА) и дежурного режима (0,1 мкА) увеличивается срок службы батареи. Еще одно достоинство LM3670 и LM3671 – очень малые (<5 мВ по амплитуде) пульсации выходного напряжения, что особенно ценно для портативных радиочастотных устройств. При этом требуются всего три внешних элемента: малогабаритный дроссель с индуктивностью 2,2 мкГ и два керамических конденсатора (рис.2).

Рассмотрим далее высоковольтные ИСН серии LM5xxx. **LM5000** может работать как повышающий источник стабильного напряжения с максимальным выходным напряжением 80 В или как обратноходовой (Flyback) источник. Частота коммутации устанавливается подачей на специальный вывод FS управляющего напряжения: 300 или 700 кГц для модификации LM5000-3 и 600 или 1,3 МГц для LM5000-6. LM5000 содержит развитые системы защиты от перегрузки по току, перегрева и от понижения входного напряжения (Under Voltage Lockout, UVLO). Выпускаются в 16-выводных корпусах LLP и TSSOP.

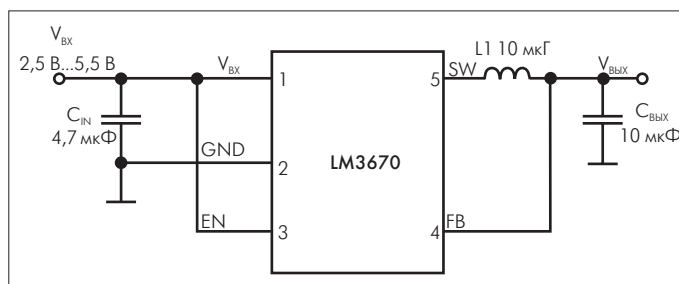


Рис.2. Вариант включения ИСН LM3670 для фиксированного выходного напряжения 1,8 В

Большой интерес для разработчиков устройств питания представляет семейство сильноточных высоковольтных понижающих стабилизаторов **LM5007/10/08**. Устройство управления этих стабилизаторов выполнено по модернизированной релейной схеме с гистерезисом и не требует сложных цепей коррекции, что позволяет обойтись минимумом внешних элементов. Время включения (активного состояния) силового ключа в зависимости от максимального значения входного напряжения задается внешним резистором, подключаемым между входом стабилизатора и выводом R_{on} . Благодаря обратно пропорциональной зависимости между входным напряжением и временем активного состояния ключа при изменении входного напряжения стабилизатора и сопротивления нагрузки частота переключения широтно-импульсного модулятора практически не изменяется.

Ключевой ИСН **LM5007** рассчитан на максимальное напряжение 75 В (в соответствии с таблицей) и ток 0,7 А. Аналогичные параметры при максимальном токе нагрузки до 1,25 А имеет и ИСН LM5010. Резистор R_{on} с сопротивлением 137 кОм задает время активного состояния 265 нс, емкость конденсатора C_6 определяет параметры плавного запуска (рис.3). Максимально допустимое входное напряжение высоковольтного ИСН **LM5008** составляет 95 В (см. таблицу). Отметим, что эти стабилизаторы могут заменять в схемах питания с большим перепадом входных и выходных напряжений достаточно сложные и неэкономичные обратноходовые преобразователи.

Как и все ИСН семейства LM5xxx, LM5007/8/10 имеют дежурный режим, регулируемую схему ограничения тока, защиту от перегре-

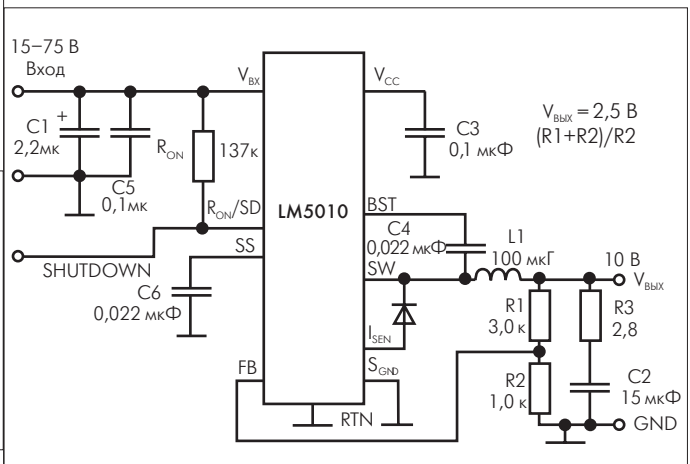


Рис.3. Вариант включения ИСН LM5010

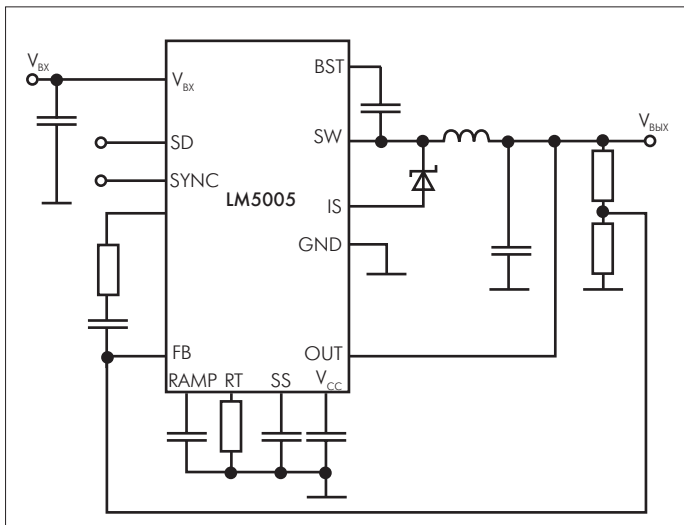


Рис.4. Упрощенная схема включения ИСН LM5005

ва и понижения входного напряжения. LM5007 и LM5008 выпускаются в восьмивыводных корпусах LLP, miniSOIC и CERDIP (только LM5007), а LM5010 – в 10-выводных LLP и 14-выводных TSSOP.

Последняя разработка National Semiconductor – понижающий ИСН **LM5005** с током нагрузки 2,5 А при максимальном входном напряжении 75 В. В устройстве применяется оригинальная схема управления ШИМ с обратной связью по нарастанию тока через индуктивность с внутренним генератором пилообразного тока. Схема обеспечивает простоту частотной компенсации, фильтрацию помех и паразитных выбросов и, как следствие, надежную работу стабилизатора при малом коэффициенте заполнения импульсов, необходимым для понижения высоких входных напряжений. Рабочая частота внутрисхемного генератора ИСН в диапазоне 50–500 кГц устанавливается резистором, подключаемым к выводу RT. Двухнаправленный вход/выход SYNC обеспечивает синхронизацию тактовой частоты генератора управляющим сигналом или взаимную синхронизацию нескольких ИСН LM5005 (рис.4). Стабилизатор содержит полный набор схем защиты, обеспечивает регулируемый режим плавного запуска, а также дистанционное выключение и дежурный режим, реализуемые путем подачи соответствующих напряжений на управляющий вход SD. Напряжение на входе SD менее 0,7 В соответствует режиму выключения, в котором стабилизатор потребляет ток 5 мкА. При напряжении на входе SD 0,7–1,225 В активизируется внутренний источник питания микросхемы, но силовой ключ находится в закрытом состоянии. Нормальное функционирование ИСН возможно, когда напряжение на входе SD превышает 1,225 В или когда этот вход остается свободным. LM5005 выпускается в 20-выводном корпусе TSSOP с дополнительными монтажными площадками для увеличения рассеиваемой мощности.

Разработчикам мощных высоковольтных импульсных стабилизаторов фирма National Semiconductor предлагает серию современных ШИМ-контроллеров LM50xx. Отметим, что в ряде случаев как по суммарной стоимости, так и по надежности и устойчивости работы источника питания предпочтительнее вместо ИСН использовать комплект из ШИМ-контроллера и дискретных МОП-транзисторов.

Рассмотрение начнем с универсального высоковольтного контроллера **LM5020** с диапазоном входных напряжений 8–100 В. Контроллер предназначен для применения в различных импульсных стабилизаторах (понижающих, повышающих, инвертирующих и обратноходовых) с внешним МОП-ключом. LM5020 выпускаются в двух вариантах, отличающихся уровнем ограничения максимального коэффициента заполнения выходных импульсов, необходимым для предотвращения насыщения импульсного трансформатора: 80% (LM5020-1) и 50% (LM5020-2). В контроллерах используется токовое управление, обеспечивающее высокий КПД и простоту частотной компенсации обратной связи. Рабочая частота устанавливается внешним резистором в пределах 50–1000 кГц. Максимальный ток драйвера затвора ключа – 1 А. Возможны программируемый плавный запуск, блокировка при понижении входного напряжения (UVLO), защита от перегрузок и перегрева. Микросхемы LM5020 выпускаются в миниатюрных 10-выводных корпусах LLP и miniSOIC.

По аналогичной LM5020 схеме построены ШИМ-контроллеры **LM5021**, применяемые в обратно- и прямоходовых ИП с питанием от сети переменного тока. Они также выпускаются в двух вариантах в зависимости от уровня ограничения максимального коэффициента заполнения выходных импульсов. В момент запуска контроллер LM5021 потребляет ток, равный всего 25 мкА, что позволяет снизить потери и использовать в обвязке микросхемы резисторы с малым сопротивлением. Повышению КПД способствует и режим пропуски выходного импульса при малых токах нагрузки. Встроенный драйвер затвора внешнего ключевого МОП-транзистора обеспечивает пиковый ток до 0,7 А. Рабочая частота в диапазоне 50–1000 кГц устанавливается резистором, подключаемым к выводу RT, который может использоваться и для синхронизации (рис.5). Время плавного запуска определяется емкостью конденсатора, подключенного к выводу SS. В дополнение к традиционным устройствам защиты от перегрузок и перегрева в LM5021 предусмотрена возможность пошагового ограничения тока и установления режима токовой защиты с автоматическим возобновлением работы после устранения перегрузки (hiccup). Выпускаются в восьмивыводных корпусах MSOP и MDIP.

Для работы в прямоходовых преобразователях с входным напряжением до 100 В и выходной мощностью 50–200 Вт National Semiconductor выпускает ШИМ-контроллеры **LM5025** с управлением по напряжению и **LM5026** с токовым управлением, в которых для повышения экономичности и надежности применяется схема

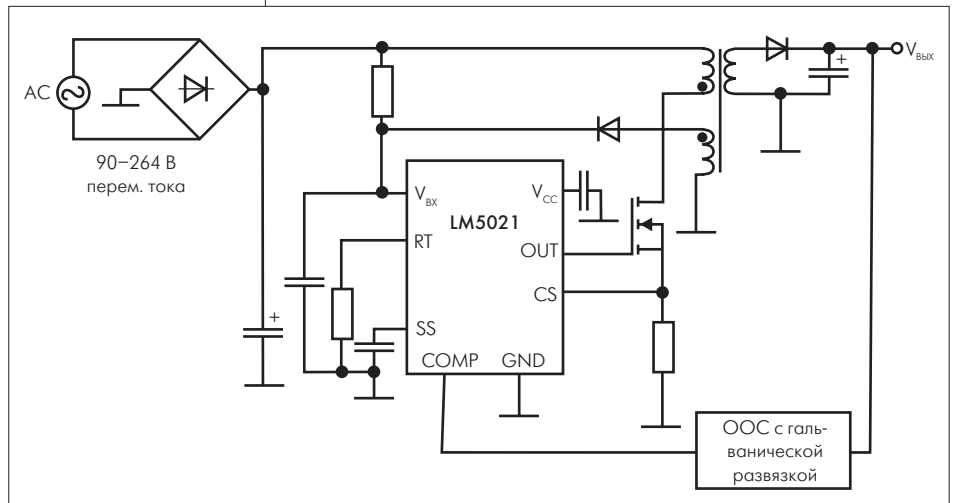


Рис.5. Упрощенная схема включения ШИМ-контроллера LM5021 в обратноходовом преобразователе сетевого источника питания



активного сброса тока первичной обмотки импульсного трансформатора с помощью специального ключа (Active Clamp/Reset), позволяющая обойтись без традиционной RDC-цепи и дополнительной обмотки трансформатора (рис.6). Особенность контроллеров – составные БикМОП-драйверы затворов основного и Clamp-ключа, что обеспечивает высокое значение тока управления для всех случаев переключения. При этом в качестве Clamp-ключа может быть использован как n-, так и p-канальный МОП-транзистор. Драйвер затвора основного ключа обеспечивает ток до 3 А с программируемой установкой времени перекрытия и запирания (Deadtime Control) для исключения сквозных токов. Встроенный генератор работает в диапазоне частот до 1 МГц с возможностью синхронизации. Предусмотрены программируемый плавный запуск и все схемы защиты. Затвор r-канального Clamp-ключа подключается к специальному выходу контроллера OUT_B. LM5025 и LM5026 выпускаются в 16-выводных корпусах TSSOP и LLP, размеры последнего – 5x5 мм.

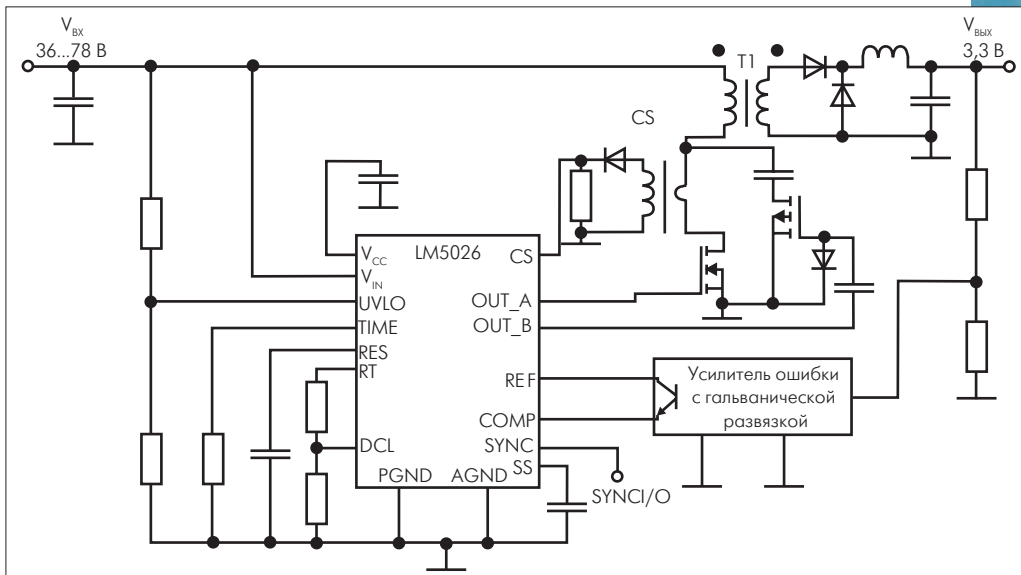


Рис.6. Упрощенная схема включения ШИМ-контроллера LM5026

до 3 А с программируемой установкой времени перекрытия и запирания (Deadtime Control) для исключения сквозных токов. Встроенный генератор работает в диапазоне частот до 1 МГц с возможностью синхронизации. Предусмотрены программируемый плавный запуск и все схемы защиты. Затвор r-канального Clamp-ключа подключается к специальному выходу контроллера OUT_B. LM5025 и LM5026 выпускаются в 16-выводных корпусах TSSOP и LLP, размеры последнего – 5x5 мм.

ШИМ-контроллеры **LM5030** (с токовым управлением) и **LM5033** (с управлением по напряжению) предназначены для построения двухтактных импульсных преобразователей с мостовым и

полумостовым включением ключевых МОП-транзисторов. Следует отметить, что LM5033 – один из первых ШИМ-контроллеров, соответствующих требованиям спецификации IBA (Intermediate Bus Architecture – архитектура с промежуточной шиной). Микросхема может управлять несколькими низковольтными шинами питания сложных систем, в которых применяются FPGA-, ASIC- и DSP-микросхемы. Архитектура IBA предусматривает два каскада силового преобразования, первый из которых, питаемый от высоковольтной сети, формирует промежуточное напряжение от 8 до 14 В, гальванически изолированное от входного напряжения. Это – напряжение

питания неизолированных преобразователей, расположенных непосредственно вблизи нагрузки. Поэтому преобразователи, как первичный, так и вторичный должны быть максимально эффективными и занимать минимальную площадь печатной платы.

Максимальная рабочая частота контроллеров, устанавливаемая одним резистором, составляет 1 МГц. Предусмотрен режим синхронизации. Драйверы затворов силовых МОП-ключей обеспечивают ток до 1,5 А (возможно использование внешних интегральных драйверов LM5100 [3]). Развитие системы Deadtime Control и токоограничения с временем реакции 100 нс и отключением на переднем фронте импульса обеспечивают защиту силовых ключей, повышают надежность контроллера и позволяют использовать силовые компоненты с меньшим запасом по предельным параметрам. Как и другие ШИМ-контроллеры серии, микросхемы LM5030 и LM5033 содержат устройства плавного запуска и все схемы защиты. Выпускаются в 10-выводных корпусах LLP размером 4x4 мм.

Сдвоенные ШИМ-контроллеры с токовым управлением **LM5032** и **LM5034** предназначены для построения различных прямоходовых однофазных и двухфазных импульсных источников питания с внешними МОП-ключами. В LM5034 используется схема Active Clamp/Reset. Отметим, что благодаря минимальному времени реакции на изменение тока нагрузки и низкие пульсации выходного напряжения применение двухфазных источников питания весьма перспективно для аппаратуры связи. Контроллеры LM5032 и LM5034 рассчитаны на входное напряжение 12–100 В, их максимальная рабочая частота, устанавливаемая внешним резистором, – 2 МГц. Каждый из двух контроллеров имеет свою схему плавного запуска. Драйверы силовых ключей выполнены на базе составных транзисторов, аналогичных транзисторам, применяемым в контроллерах LM5025/26, и обеспечивают ток до 2,5 А. В качестве Clamp ключей для LM5034 используются р-канальные МОП-транзисторы с возможностью установки времени их перекрытия и запираания. Обе микросхемы имеют развитые системы защиты, включая программируемые схемы ограничения коэффициента заполнения выходных импульсов, UVLO и hiccup. LM5032 и LM5034 выпускаются соответственно в 16- и 20-выводных корпусах TSSOP.

В заключение рассмотрим двухкаскадный интегрированный ШИМ-контроллер **LM5041**, состоящий из контроллера предварительного импульсного стабилизатора и схемы управления двухтактным преобразователем, что позволяет использовать его в источниках питания мощностью до 500 Вт. Максимальное значение рабочей частоты составляет 1 МГц. Предварительный импульсный стабилизатор построен по схеме, аналогичной другим ШИМ-контроллерам серии, и может работать как с токовым управлением, так и с управлением по напряжению. Драйверы двухтактного преобразователя рассчитаны на ток до 1,5 А и прямое подключение к ним затво-

ров транзисторов силовых ключей. Для подключения ключевых транзисторов к первому каскаду регулятора (если в этом есть необходимость) требуются специальные микросхемы синхронных импульсных драйверов LM5101 или LM5102 [3]. LM5041 содержит все элементы управления и защиты контроллера и внешних ключей, включая программируемые схемы UVLO и hiccup. Выпускается в 16-выводных корпусах TSSOP и LLP размером 5x5 мм.

Для сокращения сроков выбора и тестирования интегральных стабилизаторов напряжения и ШИМ-контроллеров National Semiconductor создала и разместила на своем сайте удобную программную оболочку WEBENCH. Она содержит мощную систему поиска, позволяющую быстро и точно находить нужный компонент среди массы других изделий. В результате выявляются наиболее подходящие для решения данной конкретной задачи приборы и схемные построения. Используя WEBENCH, разработчику электронных устройств больше не нужно выполнять трудоёмкие расчеты схем и их дорогостоящее физическое макетирование. Технология обеспечивает мгновенный доступ к последним SPICE-моделям, параметрам и иной информации о компонентах фирмы, а также позволяет пользователю одновременно проводить сравнение характеристик нескольких устройств. Различные инструменты WEBENCH интегрированы друг с другом, что создает дополнительные удобства для пользователя. Пользование программной оболочкой WEBENCH On-line бесплатно. Компания National Semiconductor гарантирует поставку любых поддерживаемых средствами WEBENCH продуктов в пределах 24 часов.

Широкая номенклатура, относительно невысокая стоимость и возможность онлайн-выбора интегральных импульсных стабилизаторов напряжения и ШИМ-контроллеров фирмы National Semiconductor делает их весьма привлекательными для широкого круга российских разработчиков РЭА. Более подробную техническую информацию можно найти на сайте ЗАО "Промэлектроника" – официального дилера (Value Adder Dealer) фирмы National Semiconductor на территории России – по адресу <http://www.promelec.ru/lines/nsc.html>

ЛИТЕРАТУРА

1. Штрапенин Г. Интегральные импульсные стабилизаторы напряжения фирмы National Semiconductor. – Компоненты и технологии, 2005, №1, с.50–53.
2. Штрапенин Г. Интегральные стабилизаторы с малым падением напряжения фирмы National Semiconductor. – Компоненты и технологии, 2004, №7, с.58–61.
3. National Analog Products Databook. 2004 Edition.