

Андрей Никитин (г. Минск)

КЛЮЧ ВНУТРИ: ИМПУЛЬСНЫЕ Понижающие DC/DC ОТ STMicroelectronics



Компания **STMicroelectronics** производит широкий спектр **импульсных DC/DC-преобразователей**, работающих в повышающем, понижающем и инвертирующем режимах. Одними из основных по частоте применения в современной электронике являются **импульсные понижающие стабилизаторы напряжения (ИПСН) со встроенным ключом**. В номенклатуре STM – более 70 таких изделий с самыми разнообразными характеристиками.

Работа практически любой электронной схемы требует наличия одного или нескольких источников постоянного напряжения, причем в подавляющем большинстве случаев используется стабилизированное напряжение. В стабилизированных источниках питания применяются либо линейные, либо импульсные стабилизаторы. Каждый тип преобразователей имеет свои достоинства и, соответственно, свою нишу в схемах электропитания. К несомненным достоинствам импульсных стабилизаторов относятся более высокие значения коэффициента полезного действия, возможность получения высоких значений выходного тока и высокая эффективность при большой разнице между значениями входного и выходного напряжений.

Принцип работы понижающего импульсного стабилизатора

На рисунке 1 представлена упрощенная схема силовой части ИПСН. Полевой транзистор VT осуществляет высокочастотную коммутацию тока. В импульсных стабилизаторах транзи-

стор работает в ключевом режиме, то есть может находиться в одном из двух стабильных состояний: полной проводимости и отсечки. Соответственно, работа ИПСН состоит из двух сменяющих друг друга фаз – фазы накачки энергии (когда транзистор VT открыт) и фазы разряда (когда транзистор закрыт). Работа ИПСН иллюстрируется рисунком 2.

Фаза накачки энергии продолжается на протяжении интервала времени $T_{и}$. В это время ключ замкнут и проводит ток I_{VT} . Далее ток проходит через дроссель L к нагрузке R, шунтированной выходным конденсатором C_{OUT} . В первой части фазы конденсатор отдает ток I_C в нагрузку, а во второй половине – отбирает часть тока I_L от нагрузки. Величина тока I_L непрерывно увеличивается, и происходит накопление энергии в дросселе L, а во второй части фазы – и на конденсаторе C_{OUT} . Напряжение на диоде V_D равно U_{IN} (за вычетом падения напряжения на открытом транзисторе), и диод на протяжении этой фазы закрыт – ток через него не протекает. Ток I_R , протекающий через нагрузку R, постояен (разность $I_L - I_C$), соответствен-

но, напряжение U_{OUT} на выходе также постоянно.

Фаза разряда протекает в течение времени $T_{п}$: ключ разомкнут и ток через него не протекает. Известно, что ток, протекающий через дроссель, не может измениться мгновенно. Ток I_L , постоянно уменьшаясь, протекает через нагрузку и замыкается через диод V_D . В первой части этой фазы конденсатор C_{OUT} продолжает накапливать энергию, отбирая часть тока I_L от нагрузки. Во второй половине фазы разряда конденсатор тоже начинает отдавать ток в нагрузку. На протяжении этой фазы ток I_R , протекающий через нагрузку, также постояен. Следовательно, напряжение на выходе также стабильно.

Основные параметры импульсных стабилизаторов напряжения

В первую очередь отметим, что по функциональному исполнению различают ИПСН с регулируемым и с фиксированным выходным напряжением. Типичные схемы включения обоих типов ИПСН представлены на рисунке 3. Различия между ними заключается в том, что в первом случае резисторный делитель, определяющий значение выходного напряжения, находится вне интегральной схемы, а во втором – внутри. Соответственно, в первом случае значение выходного напряжения задается пользователем, а во втором – устанавливается при изготовлении микросхемы.

К важнейшим параметрам ИПСН относят:

- Диапазон допустимых значений входного напряжения $U_{IN_MIN} \dots U_{IN_MAX}$.
- Максимальное значение выходного тока (тока в нагрузке) I_{OUT_MAX} .
- Номинальное значение выходного напряжения U_{OUT} (для ИПСН с фиксированным значением выходного напряжения) или диапазон значений выходного напряжения $U_{OUT_MIN} \dots U_{OUT_MAX}$ (для ИПСН с регулируемым значением выходного напряжения). Часто в справочных материалах указывается, что максимальное значение выходного напряжения U_{OUT_MAX} равно максимальному значению входного напряжения U_{IN_MAX} . В действительности это не совсем

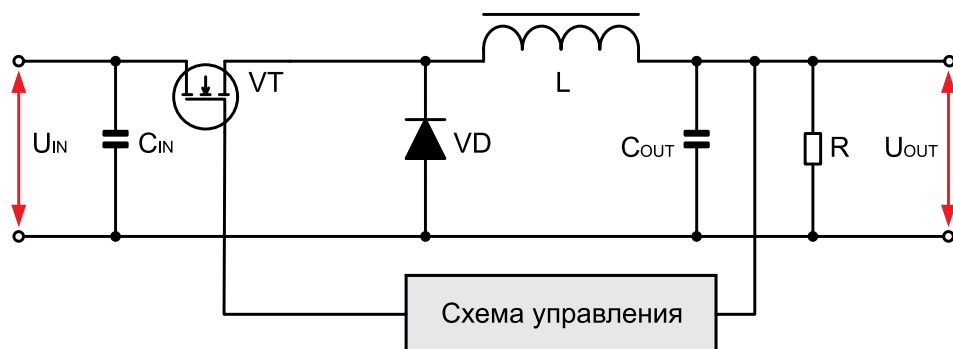


Рис. 1. Упрощенная схема силовой части ИПСН

так. В любом случае выходное напряжение меньше входного, как минимум, на величину падения напряжения на ключевом транзисторе $U_{DROП}$. При значении выходного тока, равного, например, 3 А, величина $U_{DROП}$ составит 0,1...1,0 В (в зависимости от выбранной микросхемы ИПСН). Примерное равенство U_{OUT_MAX} и U_{IN_MAX} возможно только при очень малых значениях тока нагрузки. Отметим также, что и сам процесс стабилизации выходного напряжения предполагает потерю нескольких процентов входного напряжения. Декларируемое равенство U_{OUT_MAX} и U_{IN_MAX} следует понимать только в том смысле, что других причин снижения U_{OUT_MAX} , кроме тех, что указаны выше в конкретном изделии, не существует (в частности, нет явных ограничений на максимальную величину коэффициента заполнения D). В качестве U_{OUT_MIN} обычно указывают значение напряжения обратной связи U_{FB} . В реальности U_{OUT_MIN} всегда должно быть на несколько процентов выше (из тех же соображений стабилизации).

- Точность установления выходного напряжения. Задается в процентах. Имеет смысл только в случае ИПСН с фиксированным значением выходного напряжения, поскольку в этом случае резисторы делителя напряжения находятся внутри микросхемы, а их точность является параметром, контролируемым при изготовлении. В случае ИПСН с регулируемым значением выходного напряжения параметр теряет смысл, поскольку точность резисторов делителя выбирается пользователем. В этом случае можно говорить только о величине колебаний выходного напряжения относительно некоторого среднего значения (точность обработки сигнала обратной связи). Напомним, что в любом случае этот параметр для импульсных стабилизаторов напряжения в 3...5 раз хуже по сравнению с линейными стабилизаторами.

- Падение напряжения на открытом транзисторе R_{DS_ON} . Как уже отмечалось, с этим параметром связано неизбежное уменьшение напряжения на выходе по отношению к входному напряжению. Но важнее другое — чем выше значение сопротивления открытого канала, тем большая часть энергии рассеивается в виде тепла. Для современных микросхем ИПСН хорошим значением являются величины до 300 мОм. Более высокие значения характерны для микросхем, разработанных не менее чем пять лет назад. Заметим также, что значение R_{DS_ON} не является константой, а зависит от величины выходного тока I_{OUT} .

- Длительность рабочего цикла T и частота коммутации F_{SW} . Длительность рабочего цикла T определяется как сумма интервалов $T_{И}$ (длительность импульса) и $T_{П}$ (длительность паузы). Соответственно, частота F_{SW} — вели-

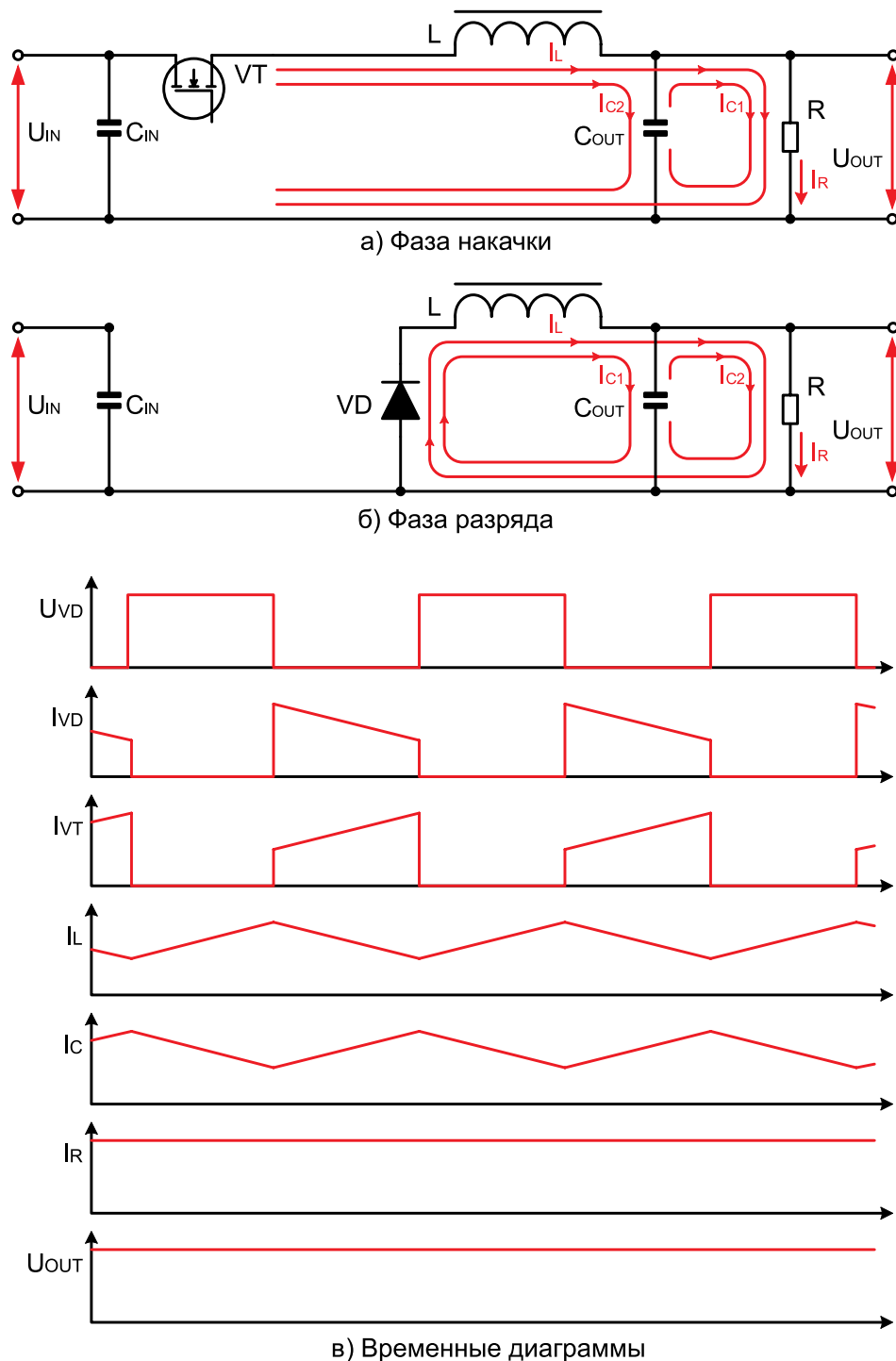


Рис. 2. Принцип работы ИПСН: а) фаза наработки; б) фаза разряда; в) временные диаграммы

чина, обратная длительности рабочего цикла. Для некоторой части ИПСН частота коммутации — величина постоянная, определяемая внутренними элементами интегральной схемы. Для другой части ИПСН частота коммутации задается внешними элементами (как правило, внешней RC-цепью), в этом случае определяется диапазон допустимых частот $F_{SW_MIN} \dots F_{SW_MAX}$. Более высокая частота коммутации позволяет применять дроссели с меньшим значением индуктивности, что положительно сказывается и на габаритах изделия, и на его цене. В большинстве ИПСН используется ШИМ-регулирование, то

есть величина T постоянна, а в процессе стабилизации регулируется величина $T_{И}$. Существенно реже используется частотно-импульсная модуляция (ЧИМ-регулирование). В этом случае величина $T_{И}$ постоянна, а стабилизация осуществляется за счет изменения длительности паузы $T_{П}$. Таким образом величины T и, соответственно, F_{SW} становятся переменными. В справочных материалах в этом случае, как правило, задается частота, соответствующая скважности, равной 2. Отметим, что следует отличать диапазон частот $F_{SW_MIN} \dots F_{SW_MAX}$ регулируемой частоты от «ворот» допуска на фиксированную частоту, поскольку

Таблица 1. ИПСН с малым входным напряжением

Наименование	Выходной ток, А	Входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		КПД, %	Частота коммутации, кГц	Сопротивление открытого канала, мОм	Функции и флаги			
	I _{OUT} Макс	V _{IN}		V _{OUT}		η Макс	F _{sw} Тип	R _{DSON}	On/Off	Sync. Pin	Soft Start	Pow Good
		Мин	Макс	Мин	Макс							
L6925D	0,8	2,7	5,5	0,6	5,5	95	600	240	+	+	+	+
L6926	0,8	2,0	5,5	0,6	5,5	95	600	240	+	+	+	+
L6928	0,8	2,0	5,5	0,6	5,5	95	1450	240	+	+	+	+
PM8903A	3,0	2,8	6,0	0,6	6,0	96	1100	35	+	+	+	+
ST1S06A	1,5	2,7	6,0	0,8	5,0	92	1500	150	+	—	+	—
ST1S09	2,0	4,5	5,5	0,8	5,0	95	1500	100	*	—	+	+
ST1S12	0,7	2,5	5,5	0,6	5,0	92	1700	250	+	—	+	—
ST1S15	0,5	2,3	5,5	Фикс. 1,82 и 2,8 В		90	6000	350	+	—	+	—
ST1S30	3,0	2,7	6,0	0,8	5,0	85	1500	100	*	—	+	+
ST1S31	3,0	2,8	5,5	0,8	5,5	95	1500	60	+	—	+	—
ST1S32	4,0	2,8	5,5	0,8	5,5	95	1500	60	+	—	+	—

* – функция присутствует не для всех исполнений.

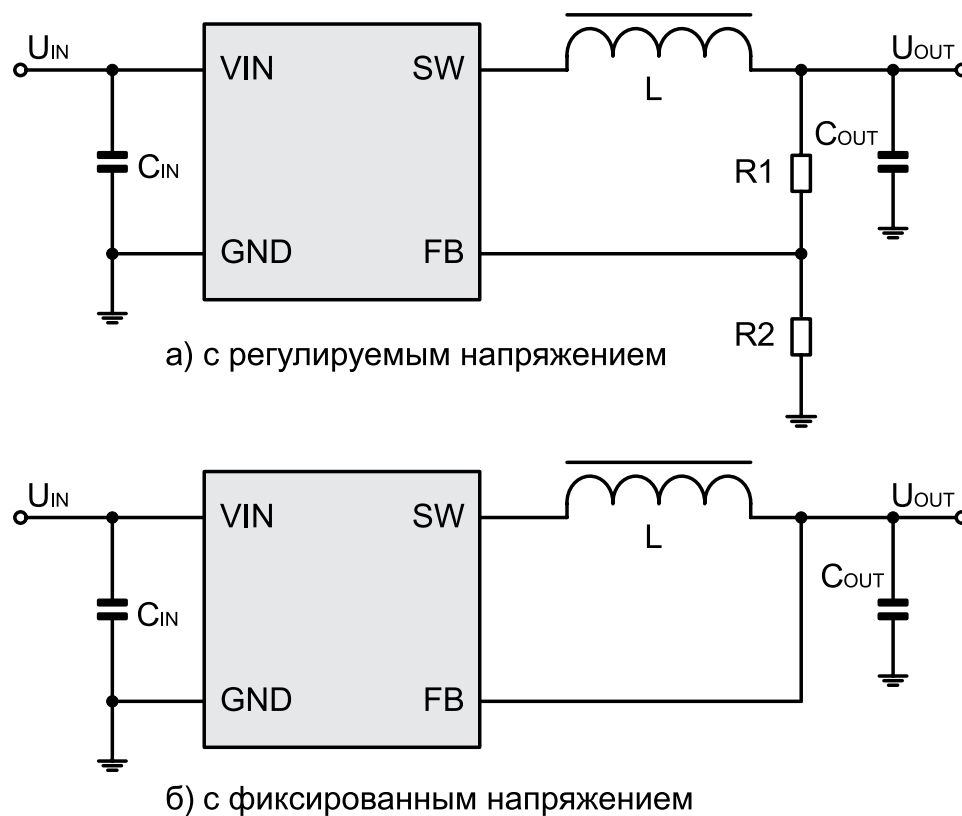


Рис. 3. Типичная схема включения ИПСН: а) с регулируемым и б) с фиксированным выходным напряжением

величина допуска часто указывается в справочных материалах производителя.

• Коэффициент заполнения D , который равен процентному отношению T_{on} к T . Часто в справочных материалах указывают «до 100%». Очевидно, что это преувеличение, поскольку если ключевой транзистор постоянно открыт, то отсутствует процесс стабилизации. В большинстве моделей, выпущенных на рынок примерно до 2005-го года, из-за ряда технологических ограничений значение этого коэффициента было ограничено сверху величиной 90%. В современ-

ных моделях ИПСН большая часть этих ограничений преодолена, но фразу «до 100%» не следует понимать дословно.

• Коэффициент полезного действия (или эффективности). Как известно, для линейных стабилизаторов (что принципиально – понижающих) это процентное отношение выходного напряжения ко входному, поскольку величины входного и выходного тока почти равны. Для импульсных стабилизаторов входной и выходной токи могут существенно отличаться, поэтому в качестве КПД берется процентное отношение выходной

мощности ко входной. Строго говоря, для одной и той же микросхемы ИПСН значение этого коэффициента может существенно отличаться в зависимости от соотношения значений входного и выходного напряжения, величины тока в нагрузке и частоты коммутации. Для большинства ИПСН максимум КПД достигается при значении тока в нагрузке порядка 20...30% от максимально допустимого значения, поэтому численное значение не очень информативно. Целесообразнее пользоваться графиками зависимости, которые приводятся в справочных материалах производителя. На рисунке 4 в качестве примера приведены графики эффективности для стабилизатора **ST1S14**. Очевидно, что использование высоковольтного стабилизатора при невысоких реальных значениях входного напряжения не является хорошим решением, поскольку значение КПД существенно падает при приближении тока в нагрузке к максимальному значению. Вторая группа графиков иллюстрирует более предпочтительный режим, поскольку значение эффективности слабо зависит от колебаний выходного тока. Критерием правильного выбора преобразователя является даже не столько численное значение КПД, сколько именно плавность графика функции от тока в нагрузке (отсутствие «завала» в области больших токов).

Приведенным перечнем весь список параметров ИПСН не исчерпывается. С менее значимыми параметрами можно ознакомиться в литературе [1].

Специальные функции импульсных стабилизаторов напряжения

В большинстве случаев ИПСН имеют ряд дополнительных функций, расширяющих возможности их практического применения. Наиболее часто встречаются следующие:

- Вход отключения нагрузки «On/Off» или «Shutdown» позволяет разомкнуть ключевой транзистор и, таким образом, отключить напряжение от нагрузки. Как правило, используется для дистанционного управления группой стабилизаторов, реализуя определенный алгоритм подачи и отключения отдельных напряжений в системе электропитания. Кроме того, может применяться как вход для аварийного выключения питания при нештатной ситуации.

- Выход нормального состояния «Power Good» – обобщающий выходной сигнал, подтверждающий, что ИПСН находится в нормальном рабочем состоянии. Активный уровень сигнала формируется после завершения переходных процессов от подачи входного напряжения и, как правило, используется или в качестве признака исправности ИПСН, или для запуска следующих ИПСН в последовательных системах электропитания. Причины, по которым этот сигнал может быть сброшен: падение входного напряжения ниже определенного уровня, выход выходного напряжения за определенные рамки, отключение нагрузки по сигналу Shutdown, превышение максимального значения тока в нагрузке (в частности, факт короткого замыкания), температурное отключение нагрузки и некоторые другие. Факторы, которые учитываются при формировании этого сигнала, зависят от конкретной модели ИПСН.

- Вывод внешней синхронизации «Sync» обеспечивает возможность синхронизации внутреннего генератора с внешним синхросигналом. Используется для организации совместной синхронизации нескольких стабилизаторов в сложных системах электропитания. Отметим, что частота внешнего синхросигнала не обязательно должна совпадать с собственной частотой FSW, однако, она должна лежать в допустимых пределах, оговоренных в материалах производителя.

- Функция плавного старта «Soft Start» обеспечивает относительно медленное нарастание выходного напряжения при подаче напряжения на вход ИПСН или при включении по заднему фронту сигнала Shutdown. Данная функция позволяет снизить броски тока в нагрузке при включении микросхемы. Параметры работы схемы плавного старта чаще всего являются фиксированными и определяются внутренними компонентами стабилизатора. В некоторых моделях ИПСН присутствует специальный вывод Soft Start. В этом случае параметры запуска определяются номиналами внешних элементов (резистор, конденсатор, RC-цепь), подключенных к данному выводу.

- Температурная защита предназначена для предотвращения выхода

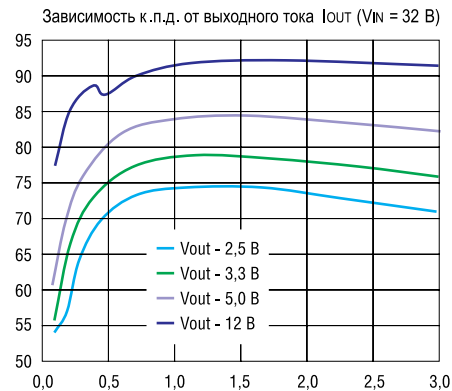
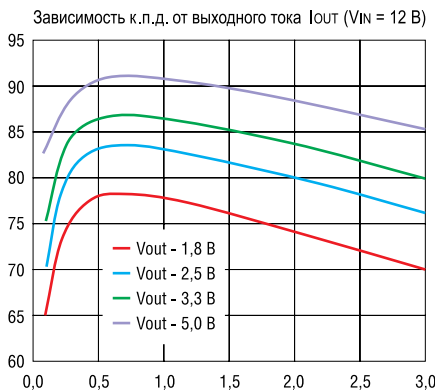


Рис. 4. Графики зависимости КПД от тока в нагрузке для ИПСН ST1S14

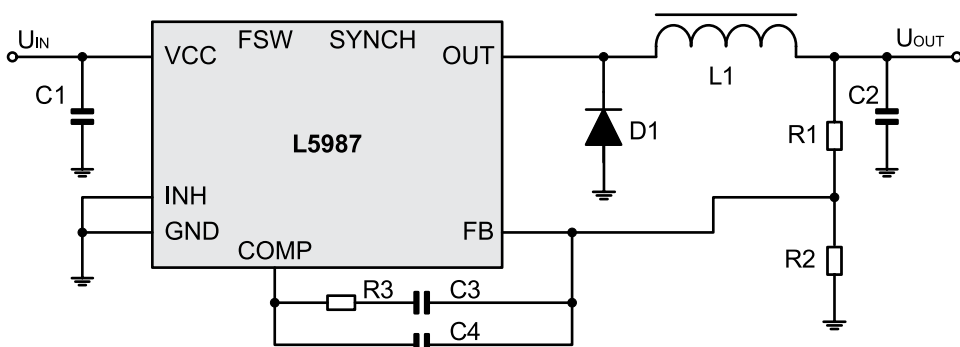


Рис. 5. Типовая схема включения микросхемы L5987

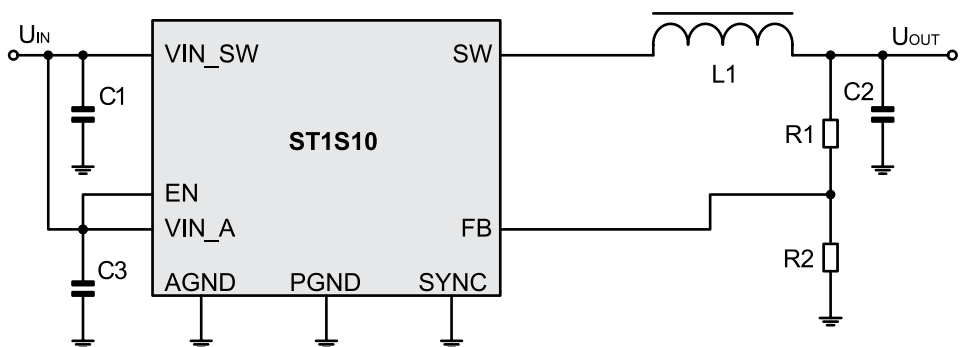


Рис. 6. Типовая схема включения микросхемы ST1S10

из строя микросхемы в случае перегрева кристалла. Повышение температуры кристалла (независимо от причины) выше определенного уровня вызывает срабатывание защитного механизма – снижение тока в нагрузке или ее полное отключение. Это предотвращает дальнейшее повышение температуры кристалла и повреждение микросхемы. Возврат схемы в режим стабилизации напряжения возможен только после остывания микросхемы. Отметим, что температурная защита реализована в подавляющем большинстве современных микросхем ИПСН, однако отдельная индикация именно этого состояния не предусмотрена. Инженеру предстоит самому догадаться, что причиной отключения нагрузки является именно срабатывание температурной защиты.

- Защита по току заключается либо в ограничении величины тока, протекающего через нагрузку, либо в отключении нагрузки. Защита срабатывает, если сопротивление нагрузки оказывается слишком малым (например, имеет место короткое замыкание), а ток превышает определенное пороговое значение, что может привести к выходу микросхемы из строя. Как и в предыдущем случае, диагностика этого состояния является заботой инженера.

Последнее замечание, касающееся параметров и функций ИПСН. На рисунках 1 и 2 присутствует разрядный диод V_D . В довольно старых стабилизаторах этот диод реализован именно как внешний кремниевый. Недостатком такого схемотехнического решения было высокое падение напряжения

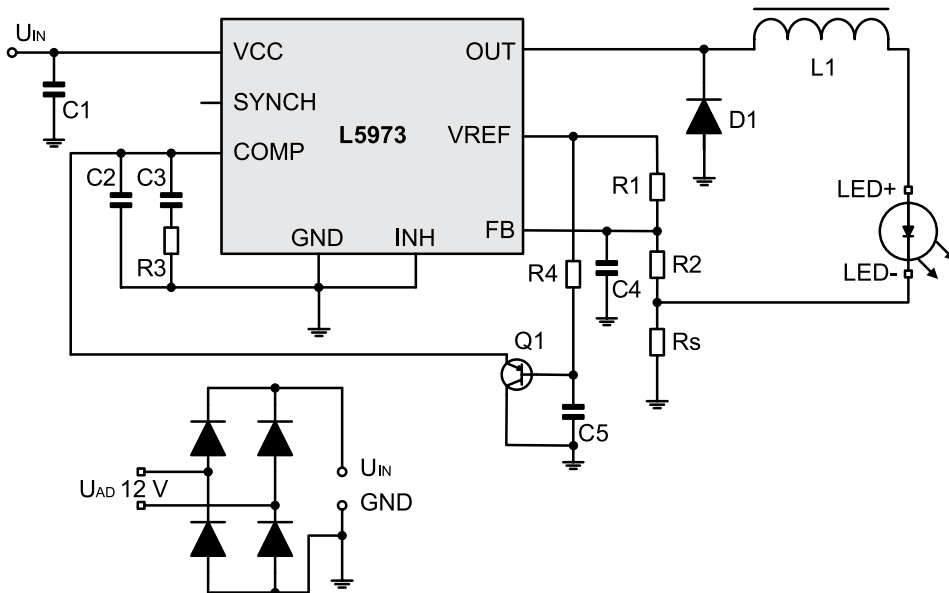


Рис. 7. Вариант использования микросхемы L5973AD в качестве основы драйвера для мощных светодиодов

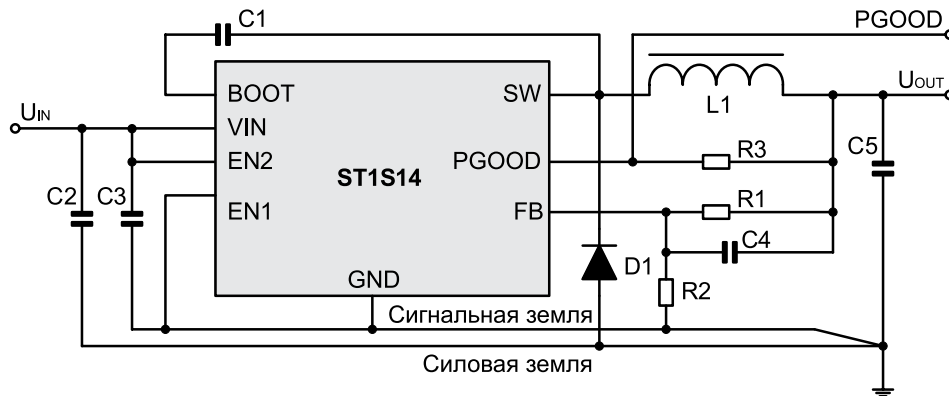


Рис. 8. Типовая схема включения микросхемы ST1S14

(примерно 0,6 В) на диоде в открытом состоянии. В более поздних схемах использовался диод Шоттки, падение напряжения на котором составляло примерно 0,3 В. В разработках последних пяти лет эти решения используются только для высоковольтных преобразователей. В большинстве современных изделий разрядный диод выполняется в виде внутреннего полевого транзистора, работающего в противофазе с ключевым транзистором. В этом случае падение напряжения определяется сопротивлением открытого канала и при небольших токах нагрузки дает дополнительный выигрыш. Стабилизаторы, использующие это схемотехническое решение, называются синхронными. Обратим внимание, что возможность работы от внешнего синхросигнала и термин «синхронный» не связаны никаким образом.

Импульсные понижающие стабилизаторы с малым входным напряжением

Учитывая тот факт, что в номенклатуре STMicroelectronics присутству-

ет примерно 70 типов ИПСН с встроенным ключевым транзистором, имеет смысл систематизировать все многообразие. Если в качестве критерия взять такой параметр, как максимальное значение входного напряжения, то можно выделить четыре группы:

1. ИПСН с малым входным напряжением (6 В и менее);
2. ИПСН с входным напряжением 10...28 В;
3. ИПСН с входным напряжением 36...38 В;
4. ИПСН с высоким входным напряжением (46 В и выше).

Параметры стабилизаторов первой группы приведены в таблице 1.

Еще в 2005 году линейка стабилизаторов этого типа была неполной. Она ограничивалась микросхемами **L692x** [2]. Эти микросхемы обладали хорошими характеристиками: высокой точностью и КПД, отсутствием ограничений на значение коэффициента заполнения, возможностью регулировки частоты при работе от внешнего синхросигнала, при-

емлемым значением $R_{DS(on)}$. Все это делает данные изделия востребованными и в настоящее время. Существенный недостаток — невысокие значения максимального выходного тока. Стабилизаторы на токи нагрузки от 1 А и выше в линейке низковольтных ИПСН компании STMicroelectronics отсутствовали. В дальнейшем этот пробел был ликвидирован: сначала появились стабилизаторы на 1,5 и 2 А (**ST1S06** и **-09**), а в последние годы — на 3 и 4 А (**ST1S30**, **-31** и **-32**). Кроме повышения выходного тока, увеличилась частота коммутации, снизилось значение сопротивления открытого канала, что положительно сказалось на потребительских свойствах конечных изделий. Отметим также появление микросхем ИПСН с фиксированным выходным напряжением (**ST1S12** и **-15**) — в линейке STMicroelectronics таких изделий не очень много. Последняя новинка — **PM8903A** со значением $R_{DS(on)}$ в 35 мОм — это один из лучших показателей в отрасли, что в сочетании с широкими функциональными возможностями обещает этому изделию хорошие перспективы.

Основная область применения изделий данного типа — мобильные устройства с батарейным питанием. Широкий диапазон входного напряжения обеспечивает устойчивую работу аппаратуры при различных уровнях заряда аккумуляторной батареи, а высокий КПД минимизирует преобразование входной энергии в тепло. Последнее обстоятельство определяет преимущества импульсных стабилизаторов по сравнению с линейными именно в этой области пользовательских приложений.

В целом, данная группа у компании STMicroelectronics развивается достаточно динамично — примерно половина всей линейки появилась на рынке в последние 3-4 года.

Импульсные понижающие стабилизаторы с входным напряжением 10...28 В

Параметры преобразователей этой группы приведены в таблице 2.

Восемь лет назад данная группа была представлена только микросхемами **ST730**, **-750** и **-763** с входным напряжением до 11 В. Диапазон от 16 до 28 В оставался не заполненным. Из всех перечисленных модификаций в настоящее время в линейке присутствует только **ST763AC**, но параметры этого ИПСН современным требованиям соответствуют слабо. Можно считать, что за это время номенклатура рассматриваемой группы обновлена полностью.

В настоящее время база данной группы — микросхемы **L598x**. Данная линейка рассчитана на весь диапазон токов нагрузки от 0,7 до 4 А, обеспечивает полный комплект специальных функ-

Таблица 2. ИПСН со входным напряжением 10...28 В

Наименование	Выходной ток, А	Входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		КПД, %	Частота коммутации, кГц	Сопротивление открытого канала, мОм	Функции и флаги															
													I _{OUT}	V _{IN}		V _{OUT}		η	F _{sw}	R _{DSON}	On/Off	Sync. Pin	Soft Start	Pow Good
														Макс	Мин	Макс	Мин							
L5980	0,7	2,9	18,0	0,6	18,0	93	250...1000	140	+	+	+	-												
L5981	1,0	2,9	18,0	0,6	18,0	93	250...1000	140	+	+	+	-												
L5983	1,5	2,9	18,0	0,6	18,0	93	250...1000	140	+	+	+	-												
L5985	2,0	2,9	18,0	0,6	18,0	93	250...1000	140	+	+	+	-												
L5986	2,5	2,9	18,0	0,6	18,0	93	250...1000	140	+	+	+	-												
L5987	3,0	2,9	18,0	0,6	18,0	93	250...1000	140	+	+	+	-												
L5988D	4,0	2,9	18,0	0,6	18,0	95	400...1000	120	+	+	+	-												
L5989D	4,0	2,9	18,0	0,6	18,0	95	400...1000	120	+	-	+	+												
L7980	2,0	4,5	28,0	0,6	28,0	93	250...1000	160	+	+	+	-												
L7981	3,0	4,5	28,0	0,6	28,0	93	250...1000	160	+	+	+	-												
ST1CC40	2,0	3,0	18,0	0,1	18,0	н.д.	850	95	+	-	+	-												
ST1S03	1,5	2,7	16,0	0,8	12,0	79	1500	280	-	-	+	-												
ST1S10	3,0	2,7	18,0	0,8	16,0	95	900	120	+	+	+	-												
ST1S40	3,0	4,0	18,0	0,8	18,0	95	850	95	+	-	+	-												
ST1S41	4,0	4,0	18,0	0,8	18,0	95	850	95	+	-	+	-												
ST763AC	0,5	3,3	11,0	Фикс. 3,3		90	200	1000	+	-	+	-												

Таблица 3. ИПСН со входным напряжением 36...38 В

Наименование	Выходной ток, А	Входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		КПД, %	Частота коммутации, кГц	Сопротивление открытого канала, мОм	Функции и флаги															
													I _{OUT}	V _{IN}		V _{OUT}		η	F _{sw}	R _{DSON}	On/Off	Sync. Pin	Soft Start	Pow Good
														Макс	Мин	Макс	Мин							
A5970AD	1,0	4,0	36,0	1,2	36,0	90	500	250	+	+	-	-												
A5970D	1,0	4,0	36,0	1,2	36,0	92	250	250	+	+	-	-												
A5972D	1,5	4,0	36,0	1,2	36,0	90	250	250	-	-	-	-												
A5973AD	1,5	4,0	36,0	1,2	36,0	90	500	250	+	+	-	-												
A5973D	2,0	4,0	36,0	1,2	36,0	90	250	250	+	+	-	-												
A5974AD	2,0	4,0	36,0	1,2	36,0	93	500	250	+	+	-	-												
A5974D	2,5	4,0	36,0	1,2	36,0	94	250	250	+	+	-	-												
A5975AD	2,5	4,0	36,0	1,2	36,0	93	500	250	+	+	-	-												
A5975D	3,0	4,0	36,0	1,2	36,0	94	250	250	+	+	-	-												
A6902D	1,0	8,0	36,0	1,2	36,0	90	250	250	-	-	-	-												
A7985A	2,0	4,5	38,0	0,6	38,0	92	250...1000	200	+	+	+	-												
A7986A	3,0	4,5	38,0	0,6	38,0	92	250...1000	200	+	+	+	-												
B5973D	2,0	4,0	36,0	1,2	36,0	90	250	250	+	+	-	-												
L5970AD	1,0	4,4	36,0	1,2	36,0	90	500	250	+	+	-	-												
L5970D	1,0	4,4	36,0	1,2	36,0	92	250	250	+	+	+	-												
L5972D	1,5	4,4	36,0	1,2	36,0	90	250	250	-	-	-	-												
L5973AD	2,0	4,0	36,0	1,2	36,0	90	500	250	+	+	-	-												
L5973D	2,5	4,0	36,0	1,2	36,0	90	250	250	+	+	-	-												
L6902	1,0	8,0	36,0	1,2	36,0	90	250	250	-	-	-	-												
L7985	2,0	4,5	38,0	0,6	38,0	92	250...1000	200	+	+	+	-												
L7986	3,0	4,5	38,0	0,6	38,0	92	250...1000	200	+	+	+	-												
L7986TA	3,0	4,5	38,0	0,6	38,0	92	250...1000	200	+	+	+	-												

ций, частота коммутации регулируется в достаточно широких пределах, отсутствуют ограничения на значение коэффициента заполнения, значения КПД и сопротивления открытого канала отвечают современным требованиям. Суще-

ственных минусов в данной серии два. Во-первых, отсутствует встроенный разрядный диод (кроме микросхем с суффиксом D). Точность регулирования выходного напряжения достаточно высока (2%), но наличие трех и более внешних

элементов в цепи компенсации обратной связи нельзя отнести к достоинствам. Микросхемы **L7980** и **-81** отличаются от серии L598x только иным диапазоном входных напряжений, но схемотехника, а, следовательно, достоинства и не-

Таблица 4. ИПСН с входным напряжением 46 В и выше

Наименование	Выходной ток, А	Входное напряжение, В		Выходное напряжение, В		КПД, %	Частота коммутации, кГц	Сопротивление открытого канала, мОм	Функции и флаги			
	I _{OUT} Макс	V _{IN}		V _{OUT}		η	F _{SW}	R _{DS(on)}	On/Off	Sync. Pin	Soft Start	Pow Good
		Мин	Макс	Мин	Макс	Макс	Тип					
L4960	2,5	9,0	46,0	5,1	40,0	91	100	560	—	—	+	—
L4962	1,5	9,0	46,0	5,1	40,0	92	100	1000	—	+	+	—
L4963	1,5	9,0	46,0	5,1	36,0	90	60	1000	+	+	+	—
L4964	4,0	9,0	46,0	5,1	38,0	90	50	750	+	+	+	—
L4970A	10,0	15,0	50,0	5,1	40,0	92	200	110	—	+	+	—
L4971	1,5	8,0	55,0	3,3	50,0	95	100	300	+	+	+	—
L4972	2,0	15,0	50,0	5,1	40,0	90	200	125	—	+	+	—
L4973	3,5	8,0	55,0	0,5	50,0	90	300	150	+	+	+	—
L4974A	4,0	15,0	50,0	5,1	40,0	90	100	130	+	+	+	—
L4975A	5,0	15,0	50,0	5,1	40,0	92	200	110	—	+	+	—
L4976	1,0	8,0	55,0	0,5	50,0	93	100	300	—	+	+	—
L4977A	7,0	15,0	50,0	5,1	40,0	95	200	160	—	+	+	—
L4978	2,0	8,0	55,0	3,3	50,0	95	100	290	+	+	+	—
ST1S14	3,0	5,5	48,0	0,8	48,0	93	850	200	+	—	+	+

достатки аналогичны семейству L598x. В качестве примера на рисунке 5 представлена типовая схема включения трехамперной микросхемы **L5987**. Присутствует и разрядный диод D, и элементы цепи компенсации R4, C4 и C5. Входы F_{sw} и SYNCH остаются свободными, следовательно, преобразователь работает от внутреннего генератора с частотой F_{sw}, заданной по умолчанию.

Микросхема **ST1S10** по своим эксплуатационным параметрам близка к L5987. В ней сохранено большинство положительных качеств серии L598x, а именно: высокое значение КПД, малое значение сопротивления открытого канала, высокая (2%) точность регулирования. Собственная частота коммутации фиксирована, но при работе от внешнего синхросигнала может изменяться в значительном диапазоне частот (400...1200 кГц), что, как минимум, не хуже, чем в L5987. Характерные для L598x недостатки устранены: внешний разрядный диод отсутствует, и его функции выполняет встроенный полевой транзистор с малым значением R_{DS(on)}; цепь коррекции обратной связи не требует внешних элементов. Типовая схема включения ИПСН ST1S10 представлена на рисунке 6. Очевидно, что число внешних элементов практически сведено к минимуму. Единственный минус, по сравнению с L5987, — коэффициент заполнения ограничен максимальным значением 90%, что привело к снижению значения V_{OUT MAX} до 16 В.

Преобразователь **ST1S10** является весьма популярной микросхемой для значительного круга разработчиков и широко востребованной позицией на российском рынке. Популярность микросхемы положительно сказывается на ее цене и доступности в любых раз-

ных количествах. С момента появления ST1S10 на рынке накоплен значительный опыт ее применения в различных приложениях. В материале производителя [3] приводится пример построения ИПСН с частотой коммутации 900 кГц и выходным током до 3 А. Документ включает в себя пошаговую методику расчета внешних элементов, в зависимости от особенностей применения (в частности, от предполагаемого значения коэффициента заполнения D), содержит рекомендации по оптимальному выбору типа конденсаторов (керамика, тантал, алюминий), учету температурного диапазона работы схемы, содержит пример хорошей разводки печатной платы. Микросхема применяется в качестве светодиодных драйверов. В [4] приводится пример построения драйвера с током на 1 А для светодиодной цепочки. Помимо традиционной методики расчета номиналов внешних элементов (входного и выходного конденсаторов, дросселя), приводится способ расчета токозадающего резистора. Отличительной особенностью предлагаемой схемы является более сложная схемотехника цепи коррекции FB, использующая операционный усилитель и несколько дополнительных элементов. Как и большинство материалов с рекомендациями от компании STMicroelectronics, данный документ содержит указания по разводке и перечень необходимых элементов.

Еще более новые изделия — ST1S40 и -41 — являются дальнейшим развитием этой линии. Во-первых, помимо трехамперной микросхемы **ST1S40**, предложена модификация **ST1S41** с максимальным током нагрузки в 4 А. По сравнению с ST1S10, еще больше снижено значение R_{DS(on)} (до 95 мОм) и, кроме того, сняты ограничения на

значение коэффициента заполнения D. В отличие от предыдущих изделий, частота коммутации фиксирована и синхронизация от внешнего синхросигнала не предусмотрена. Типовая схема включения ST1S40 и -41 аналогична ST1S10, количество и назначение внешних элементов полностью совпадает.

Иной диапазон (по сравнению с низковольтными ИПСН) входных напряжений рассматриваемой группы стабилизаторов рассчитан на иную сферу применения данных микросхем. Производитель определяет следующие основные направления: бытовые электронные приборы (видеотехника, DVD-проигрыватели, жидкокристаллические мониторы), автомобильная электроника, системы электропитания для FPGA и микропроцессорных устройств. Из всей номенклатуры ИПСН компании STMicroelectronics рассмотренная группа является наиболее динамичной.

Импульсные понижающие стабилизаторы со входным напряжением 36...38 В

Параметры преобразователей этой группы приведены в таблице 3.

Выделение импульсных стабилизаторов с входным напряжением 36...38 В в отдельную группу сделано по следующим причинам. Во-первых, это наиболее обширная группа во всей номенклатуре ИПСН компании STMicroelectronics. Во-вторых, данный диапазон входных напряжений предназначен для работы во вполне определенных нишах приложений пользователя:

- Автомобильная электроника грузовых автомобилей, автобусов, трамваев, троллейбусов, то есть, транспортных средств с аккумуляторами напряжением 24 В.

• Электроника, питаемая от «военной» бортовой сети 27 В.

• Промышленная электроника, питаемая от сетей постоянного тока напряжением 24 и 36 В.

С точки зрения хронологии появления на рынке микросхема **L5973AD** была «первой ласточкой» в обширной номенклатуре изделий этой и предыдущей групп. Данная микросхема за почти десять лет присутствия на рынке показала себя с наилучшей стороны и в настоящее время является широко востребованным изделием, закупаемым многими клиентами в значительных объемах. Микросхема нашла применение в ряде серийно выпускаемых GSM-устройств. С развитием светодиодных источников света L5973AD находит применение в качестве драйвера мощных светодиодов. Так в [5] приводятся варианты принципиальных схем драйверов светодиодов мощностью 3 и 5 Вт, для шин питания 12 В постоянного тока или 6...24 В переменного тока. Вариант такой схемы приведен на рисунке 7. В нижней части рисунка — дополнение по работе от цепи переменного тока.

Данная микросхема может быть использована не только в традиционном применении, как основа для понижающих преобразователей, но и в иных вариантах подключения [6]: как позитивный повышающий-понижающий преобразователь, преобразователь на два выхода с дополнительной обмоткой дросселя. Приводится пример применения двух микросхем L5973AD с общей линией синхронизации. Материалы компании [5-6] содержат все данные для расчета номиналов внешних элементов, типы рекомендуемых элементов и примеры разводки печатных плат и другую полезную для разработчика информацию.

Семейство L597x стало основой для модификаций **L598x**, **A597x**, **L798x**, которые отличаются некоторыми количественными или функциональными параметрами, но с точки зрения схе-

технических решений представляют собой одно большое семейство с общими достоинствами и недостатками. Эти достоинства и недостатки рассмотрены в предыдущем разделе применительно к **L598Z**, поэтому отметим только, что все микросхемы этой группы требуют наличия внешнего разрядного диода, и всем микросхемам этой группы в цепи компенсации обратной связи необходимо, как минимум, три внешних элемента.

Исходя из хронологии развития предыдущей группы, в ближайшем будущем в линейке компании могут появиться некие аналоги ST1S10 и ST1S40 для данного диапазона входных напряжений, но в настоящее время подобные микросхемы отсутствуют.

Импульсные понижающие стабилизаторы со входным напряжением 46 В и выше

Параметры преобразователей данной группы приведены в таблице 4.

Из всей номенклатуры ИПСН компании STMicroelectronics это наиболее «консервативная» группа изделий — все микросхемы L496x и L497x появились на рынке примерно в 2000 году. Соответственно, к настоящему времени они имеют славную десятилетнюю историю. Такие характерные особенности как внешний диод и внешние элементы компенсации присутствуют и в этих микросхемах, поскольку это было нормальным явлением для изделий того времени. Кроме того, присутствуют ограничения на верхнее значение коэффициента заполнения, поэтому разность между значениями V_{IN_MAX} и V_{OUT_MAX} составляет 5...10 В. Частота коммутации невелика, в результате имеем высокую индуктивность дросселя и соответственные габариты.

Несколько лет назад на рынке представлена первая в данной группе микросхема нового поколения — **ST1S14**. В ней, соответственно, сняты ограничения на величину коэффициента заполнения, и значение максимального

выходного напряжения приближено к значению входного. Частота коммутации равна 850 кГц, что снимает «неудобные» требования к дросселю. Типовая схема включения ST1S14 представлена на рисунке 8.

В то же время разрядный диод остался внешним элементом. Присутствует бустерный конденсатор. Цепь компенсации обратной связи в справочных материалах объявлена как встроенная, но в ней все же остался один внешний конденсатор. При разводке требуется разделить «силовой» и «сигнальный» общие провода, причем входные конденсаторы должны присутствовать по одному на каждую «землю». То есть налицо фронт работ по дальнейшему совершенствованию линейки высоковольтных ИПСН. Но если посмотреть на преобразователь, предлагаемый компанией STMicroelectronics в качестве демонстрационной платы для микросхемы ST1S14 (фотография представлена на рисунке 9), то мы убедимся, что ее габариты определяются главным образом размерами выходного конденсатора (справа), дросселя (рядом) и разрядного диода D1.

Габариты бустерного конденсатора (C6) и конденсатора в цепи компенсации (C4) большого значения не имеют.

Завершая обсуждение группы высоковольтных стабилизаторов, можно предположить, что совершенствование этой группы ИПСН не ограничится только микросхемой ST1S14, а в ближайшем будущем на рынок будут представлены решения, свободные от «габаритных» внешних элементов.

Замечания при выборе внешних элементов

При сравнении линейных и импульсных стабилизаторов напряжения помимо прочих параметров рассматривают сложность проектирования. Для линейных ее оценивают как «низкую», а для импульсных — как «среднюю или высокую». Причина проста — в импульсных преобразователях неудачный выбор внешних элементов (главным образом, конденсаторов и дросселя) и неудачная разводка платы может свести на нет все достоинства микросхемы стабилизатора. Вопросы разводки явно выходят за рамки данной статьи, но на выбор элементов следует обратить внимание.

Часто не учитывается, что емкость — это не единственный параметр конденсатора. Он обладает, кроме того, таким параметром, как «эквивалентное последовательное сопротивление» — ESR.

Значение ESR для выходного конденсатора является наиболее существенным фактором, влияющим на уровень пульсаций выходного напряжения: чем выше ESR, тем выше уровень пульсаций. При протекании тока через конден-



Рис. 9. Демонстрационная плата STEVAL-ISA104V1 на базе микросхемы ST1S14

сатор на паразитном сопротивлении ESR выделяется тепло. Эта потраченная впустую мощность снижает значение КПД. Значение ESR влияет на устойчивость контура обратной связи — оно не должно быть слишком большим или слишком малым. Удержание ESR в пределах устойчивого диапазона является нетривиальной задачей, особенно, если преобразователь должен работать в широком диапазоне рабочих температур (на минусовых температурах значение ESR увеличивается на десятичный порядок). Для входных конденсаторов существенным является значение «эквивалентной последовательной индуктивности» — ESL. Чем выше ESL, тем выше «звон» и пульсации на входе преобразователя.

Внешние резисторы в цепи делителя. Одной из характеристик реального резистора является его точность. Если в делителе установлены пятипроцентные резисторы, не следует рассчитывать на точность выходного напряжения в пару процентов. Тип сердечника, используемого в дросселе, влияет не только на стоимость и габариты конечного изделия, но и на уровень излучаемых помех. Не вдаваясь в тонкости сравнительного анализа брусковых и тороидальных типов сердечников, отметим, что попытки сэкономить на цене дросселя могут оказаться неудачными.

Вывод: если разработчик не уверен в своих знаниях, то имеет смысл дове-


рнуться тому перечню элементов, которые рекомендует производитель в документе на демонстрационную плату («Bill of Materials»). В нем редко уточняются типы резисторов, но наименования дросселя и ответственных конденсаторов указаны полностью. Возможно, это будет не самым дешевым решением, но — допустимым.

Заключение

Анализ динамики изменения номенклатуры ИПЧН компании STMicroelectronics позволяет сделать вывод, что число новинок, ежегодно предлагаемых на рынок, составляет 8...10% от общего числа типов микросхем ИПЧН в линейке. С одной стороны, это говорит о достаточно продолжительном сроке работы микросхем: если решение удачное и хорошо зарекомендовало себя — никто не смотрит на год выпуска. С другой стороны, процесс обновления номенклатуры идет непрерывно и пустые ниши оперативно заполняются. В данной статье большее внимание было уделено тем изделиям последних лет, которые соответствуют современным требованиям и имеют все основания в ближайшее время перейти из категории «перспективных новинок» в категорию «хиты продаж». В целом же о преимуществах изделий STMicroelectronics говорят приемлемые цены, высокая надежность и уро-

вень технической поддержки, то есть те факторы, которые сделали бренд «STMicroelectronics» популярным среди широкого круга разработчиков электронной техники.

Литература

1. Семенов Б.Ю. Силовая электроника: от простого к сложному. — М.: СОЛОН-Пресс, 2005.
2. Power management: linear and switching regulators and voltage references. Selection guide. December 2005. // Материал компании STMicroelectronics.
3. AN2620. 3 A high-frequency synchronous 900 kHz step-down converter based on the ST1S10. // Материал компании STMicroelectronics.
4. AN2754. Buck high-brightness LED driver based on the ST1S10 step-down DC-DC converter voltage regulator. // Материал компании STMicroelectronics.
5. AN2259. High intensity LED driver using the L5970D/L5973D. // Материал компании STMicroelectronics.
6. AN1518. Designing with the 2.5 A DC-DC converter L5973D. // Материал компании STMicroelectronics. 

Получение технической информации,
заказ образцов, поставка —
e-mail: analog.vesti@compel.ru



L5973D013TR

Эффективный понижающий DC/DC

ПРОВЕРЕНО НА ПРАКТИКЕ!
Отлично зарекомендовал себя
в GSM-приложениях

- Внутренний ключ 2,5 А
- Рабочее напряжение: 4...36 В
- Выходное напряжение: 1,235...35 В
- Малое падение напряжения (100% duty cycle)
- Оптимальная частота преобразования 250 кГц
- Комплексная защита (ток, температура, линия ОС)
- Облегченный тепловой режим



Поддержка разработчиков:
E-mail: st@compel.ru
www.compel.ru/projects-support

Компэл
www.compel.ru