

# Интегральные стабилизаторы с малым падением напряжения STMicroelectronics и особенности их применения

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

Интегральные стабилизаторы напряжения (ИСН) являются неотъемлемой частью современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), характеристики которой в значительной степени определяются точностью и стабильностью питающих напряжений при минимальном энергопотреблении устройств электропитания. Несмотря на обширное внедрение в современную РЭА импульсных ИСН, обладающих высоким КПД, область применения линейных стабилизаторов с малым падением напряжения (Low Drop Out, LDO) остается весьма широкой, поскольку только линейные стабилизаторы способны обеспечить эффективное подавление пульсаций, минимальный уровень шумов и помех, а также выполнение ряда специальных функций, связанных с управлением и защитой источников питания. Фирма STMicroelectronics — один из ведущих мировых производителей ИСН всех типов, интегральные LDO-стабилизаторы STMicroelectronics получили широкое распространение благодаря высоким параметрам при оптимальном сочетании качества и цены.

Стабилизатор напряжения (СН) — это устройство, поддерживающее (с определенной точностью) неизменным напряжение на нагрузке. Обычно СН представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования, в которой выходное напряжение устанавливается равным или пропорциональным стабильному опорному напряжению, создаваемому специальным источником опорного напряжения (ИОН). Стабилизаторы такого типа, называемые компенсационными, содержат регулирующий элемент (РЭ) — биполярный или полевой транзистор, включаемый последовательно или параллельно нагрузке. Регулирующий элемент может работать в активном (непрерывном) режиме, в этом случае стабилизатор называется линейным, или с непрерывным регулированием, а также в ключевом (импульсном) режиме. Далее мы будем рассматривать линейные стабилизаторы, достоинства которых — сравнительная простота схемы, минимальное число внешних элементов и отсутствие импульсных помех, присущее ключевым стабилизаторам. На рис. 1 изображена упрощенная структурная схема линейного стабилизатора напряжения, включающая ИОН, усилитель сигнала ошибки УСО, РЭ

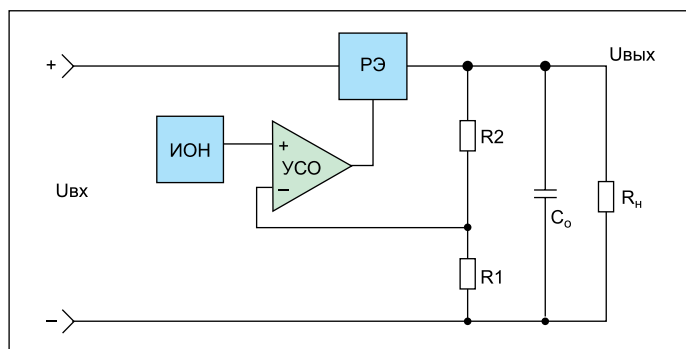


Рис. 1. Упрощенная структурная схема линейного стабилизатора напряжения

и делитель напряжения на резисторах R1 и R2. Величина выходного напряжения зависит от сопротивления резисторов делителя — в стабилизаторах с фиксированным выходным напряжением резисторы расположены в самой микросхеме, в стабилизаторах с регулируемым выходным напряжением оно устанавливается внешними резисторами. Современные линейные ИСН, как правило, содержат также схемы защиты от перегрузки по току и перегрева.

Расширяющийся спрос на малогабаритные мобильные устройства РЭА с питанием от химических источников диктует необходимость в разработке ИСН в миниатюрных корпусах с низким уровнем собственных шумов, эффективным подавлением высокочастотных пульсаций выходного напряжения и минимальным энергопотреблением. Причем линейные ИСН, выполненные на основе традиционной схемотехники РЭ — схемы Дарлингтона на биполярных  $n-p-n$ -транзисторах (рис. 2а), не позволяют создать стабилизатор с падением напряжения на регулирующем элементе менее 2,5 В [1]. А поскольку КПД линейных ИСН в предположении пренебрежимо малого тока собственного потребления равен отношению выходного и входного напряжений  $U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ , для повышения КПД, что особенно важно для аппаратуры с автономным питанием, необходимо уменьшать падение напряжения на РЭ. Для решения этой задачи были созданы специальные ИСН с малым падением напряжения (LDO, Low Dropout Output). Условно к LDO относят линейные стабилизаторы с падением напряжения менее 500 мВ.

Существует несколько вариантов выполнения РЭ ИСН с малым падением напряжения. В ранних разработках LDO ИСН в качестве регулирующего элемента использовались одиночные  $p-n-p$ -транзисторы с коллекторным выходом (рис. 2б) или составные  $p-n-p-p-n$ -транзисторы (рис. 2в). По такой схеме, в частности, выполнены весьма популярные интегральные стабилизаторы серии LD108X в корпусах TO220. Недостатком ИСН с РЭ на одиночном  $p-n-p$ -транзисторе является сравнительно большое собственное энергопотребление, связанное с низким значением коэффициента

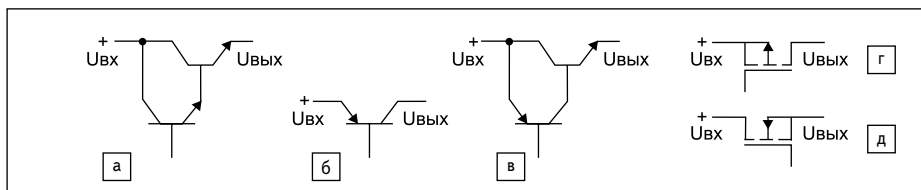


Рис. 2. Структурные схемы основных типов регулирующих элементов линейных ИСН:  
а) схема Дарлингтона на  $p-n-p$ -транзисторах; б)  $p-n-p$ -транзистор; в) составной  $p-n-p-n-p$ -транзистор;  
г)  $r$ -канальный МОП-транзистор; д)  $n$ -канальный МОП-транзистор

усиления транзистора по току, использование составных  $p-n-p-n-p$ -транзисторов устраняет этот недостаток, но увеличивает падение напряжения на РЭ до 0,9 В. Ситуация существенно улучшается, если в качестве регулирующего элемента вместо биполярных применить полевые  $r$ -канальные МОП-транзисторы с практически нулевым значением тока управления (рис. 2г). Дополнительным преимуществом полевых транзисторов, выполненных по современным технологиям, является очень малая величина сопротивления канала, что позволяет получить большее по сравнению с биполярным  $p-n-p$ -транзистором значение выходного тока при одинаковом падении напряжения на регулирующем элементе.

Важно отметить, что применение в стабилизаторах положительного напряжения регулирующих элементов на биполярных  $p-n-p$ - и  $r$ -канальных МОП-транзисторах связано с рядом проблем. Поскольку транзисторы РЭ в этих случаях работают в схемах с общим эмиттером и общим истоком соответственно, частотная характеристика стабилизатора становится двухполюсной, а само устройство приобретает потенциальную склонность к самовозбуждению, в связи с чем требуется принятие специальных мер по его предотвращению. В частности, для устойчивой работы LDO ИСН с РЭ на  $r$ -канальных МОП-транзисторах необходимо к выходу стабилизатора подключать электролитический конденсатор  $C_0$  с определенной емкостью и эквивалентным последовательным сопротивлением ESR [3]. Область устойчивой работы ИСН такого типа LD39200, подробно рассмотренного ниже, приведена на рис. 3. В зарубежной литературе подобные диаграммы называют «туннель смерти». Как видно из рисунка, стабилизатор устойчиво работает при величинах емкости выходного конденсатора от 5 до 20 мкФ с эквивалентным последовательным сопротивлением ESR от 0,5 до 3 Ом.

В последнее время в LDO-стабилизаторах стали широко использовать РЭ на  $n$ -канальных МОП-транзисторах (рис. 2д). Преимущество  $n$ -канальных транзисторов в их относительно небольших размерах, что позволяет вдвое увеличить максимально допустимый ток регулирующего элемента. Кроме того, в отличие от ИСН с РЭ на  $p-n-p$ - и  $r$ -МОП-транзисторах, LDO-стабилизаторы

на  $n$ -канальных транзисторах не требуются к параметрам выходного конденсатора и могут нормально функционировать даже при его отсутствии, за что получили название Capless. В то же время для эффективного управления  $n$ -МОП-транзистором необходимо подавать на его затвор большее по сравнению с аналогичным  $r$ -канальным транзистором напряжение смещения, что предполагает повышение напряжения питания усилителя сигнала ошибки. Последнее обычно осуществляется от отдельного мало-мощного источника или специальной внутренней схемой вольтодобавки, что, естественно, увеличивает стоимость стабилизатора.

В технических описаниях и руководствах по применению LDO ИСН приводятся следующие параметры интегральных стабилизаторов:

- минимальное и максимальное входное напряжение, при которых сохраняются точностные параметры стабилизатора — коэффициенты нестабильности по току и напряжению;
- максимальный выходной ток;
- падение напряжения — минимальная величина  $U_{вх} - U_{вых}$ , при которой еще возможен режим стабилизации, зависит от тока нагрузки;
- статический ток, или ток покоя, — определяется как разность входного и выходного тока (тока нагрузки) стабилизатора;

- коэффициент нестабильности по напряжению — характеризует изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения, измеряется в процентах;
- коэффициент нестабильности по току — характеризует изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки, измеряется в процентах.

В специальных случаях нормируется динамическая нестабильность стабилизатора, определяемая как кратковременное отклонение выходного напряжения при скачкообразном изменении входного напряжения и (или) тока нагрузки, шумовое напряжение на выходе стабилизатора и коэффициент подавления пульсаций напряжения питания PSSR (Power Supply Rejection Ratio — отношение напряжения пульсаций на входе и выходе ИСН в дБ). Поскольку LDO-стабилизаторы довольно часто применяются в качестве выходной ступени импульсных источников питания, а также для питания различных высокочастотных устройств с ФАПЧ, два последних параметра могут иметь решающее значение, так как шумы стабилизатора модулируют напряжение питания схемы ФАПЧ, за счет чего появляется фазовый шум в выходном сигнале [2].

Выпускаемые промышленностью современные LDO ИСН могут быть условно разделены на несколько групп в соответствии с их параметрами и областью применения:

- типовые с положительным и отрицательным фиксированным и регулируемым напряжением;
- экономичные (с малым статическим током);
- со сверхмалым (200 мВ и менее) падением напряжения;
- малошумящие;
- с большим коэффициентом подавления пульсаций по питанию;
- миниатюрные;
- специализированные с дополнительными сервисными устройствами.

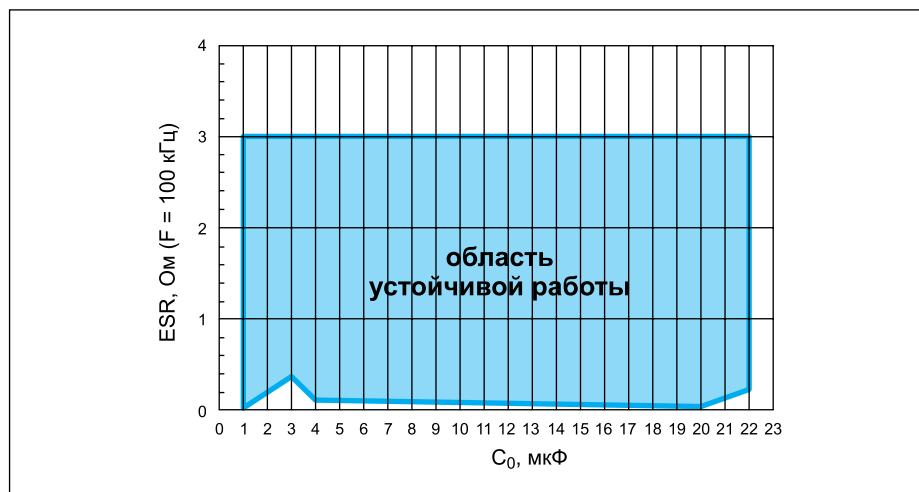


Рис. 3. Область устойчивой работы LDO ИСН LD39200 в зависимости от емкости  $C_0$  и эквивалентного последовательного сопротивления ESR выходного конденсатора

Таблица. Основные параметры интегральных стабилизаторов с малым падением напряжения STMicroelectronics

Тип	Диапазон входных напряжений, В		Выходное напряжение, В	Выходной ток, мА	Падение напряжения, мВ		Ток покоя, мА	Коэффициент подавления пульсаций (PSSR), дБ	Напряжение шума, мВ	Корпус	Примечание
	min	max			тип.	max					
L4941	5,5	30	5,0; 8,5; 12	1500	400	30 000	68	—	TO220, DPAK	Защита от переплюсовки на входе	
LD1084	2,6	30	3,3; 5; 12; 1,25–27,5 пер.	5000	1300	5000	72	—	TO220	Совместим по выводам с ИСН 78XX	
LD39015	1,5	5,5	0,8; 1,2; 1,5; 1,8; 2,5; 2,8; 3,3	150	80	20	65	30	SOT, Flip-Chip	Дежурный режим	
LD39020	1,5	5,5	0,8–5 шаг 0,05	200	200	20	80	45	DFN4	Прецизионный, разрядный транзистор	
LD39130	1,4	5,5	0,8–4 шаг 0,1; пер.	300	300	1–55	70	38	DFN6, CSP4	Режим пониженного энергопотребления	
LD39200	1,3	6	0,5–5 шаг 0,1; пер.	2000	130	100	70	45	DFN, SO8P	Ультра-LDO, сигнал готовности	
LD39300	1,3	6	1,22; 1,8; 2,5; 3,3; 1,2–5 пер.	3000	200	1000	65	30	PPAK, DPAK	Дежурный режим	
LDLN015	2,1	5,5	0,8–3,3 шаг 0,1	150	90	54	92	6,3	DFN6	Прецизионный, малошумящий, высокий PSSR	
STLQ015	1,5	5,5	0,8–3,3 шаг 0,1	150	115	1	40	75	SOT666	Сверхмалый ток покоя	
LDK120	1,9	6	0,8–3,5 шаг 0,1; пер.	200	150	50	35	140	SOT23, DFN6	Экономное решение	
LDK220	2,5	13	1,2–12 шаг 0,1; пер.	200	200	55	36	150	SOT23, DFN6	То же	
ST715	2,5	24	1,2–5 шаг 0,1; пер.	85	500	3,8	45	95	SOT23, DFN8	Высоковольтный	
LDCL015	1,8	5,5	1,2–5 шаг 0,1; пер.	150	50	120	52	40	SOT23	Ультра-LDO, бесконденсаторный	

Отметим, что такие сервисные устройства, как схемы защиты от перегрузки по току и перегрева, а также отключающие нагрузку при повышении и понижении выходного напряжения стабилизатора, сейчас, по существу, являются стандартными и используются в большинстве LDO ИСН. У стабилизаторов, предназначенных для работы в устройствах с батарейным питанием, предусматривается защита по входу от переплюсовки и значительного превышения входного напряжения, могущих возникнуть при неправильном подключении элементов питания. Ряд микросхем имеют управляющий вход On/Off установки дежурного (спящего) режима Sleep Mode, в котором отключается выходное напряжение и существенно снижается статический ток. Изменение выходного напряжения на определенную величину индицирует выходной сигнал «флаг ошибки», а выход стабилизатора в режим нормальной работы — сигнал готовности Power Good. В зависимости от области применения ИСН, микросхемы выполняются в разнообразных корпусах — от сравнительно больших TO-220 и PPAK до сверхминиатюрных CSP4 размером 0,69×0,69 мм.

Типичными представителями интегральных стабилизаторов с малым падением напряжения с РЭ на биполярных *p-n-p*-транзисторах являются ИСН L4931/40/41. В таблице приведены основные параметры самой мощной микросхемы данной серии L4940 с максимальным током 1,5 А, при этом величина собственного токопотребления достигает 30 мА. Для устойчивой работы стабилизатора необходим выходной электролитический конденсатор емкостью 22 мкФ.

Весьма популярные ранее LDO ИСН с РЭ на составных *p-n-p-n-p-n*-транзисторах LD1084/85/86 с максимальным током до 5 А в корпусах TO-220, а позднее и в малогабаритных DPAK, широко применяются и в со-

временной аппаратуре благодаря своей дешевизне, высокой надежности и совместимости по выводам с линейными стабилизаторами серии 78XX с РЭ по схеме Дарлингтона на биполярных *p-p-n*-транзисторах. Для стабильной работы ИСН LD1084 требуется установка выходного конденсатора емкостью 10 мкФ.

Значительно лучшими параметрами обладают LDO ИСН с РЭ на полевых транзисторах. Рассмотрим наиболее интересные микросхемы STMicroelectronics такого типа и начнем с семейства стабилизаторов LD39XXX с максимальным выходным током от 0,15 до 3 А. В таблице приведены основные параметры ряда микросхем данного семейства.

Регулирующий элемент стабилизаторов LD39XXX выполнен на *p*-канальном МОП-транзисторе, что обеспечивает минимальное значение падения напряжения ИСН LD39300 200 мВ при максимальном выходном токе 3 А и всего 40 мВ при токе 600 мА. Для устойчивой работы (отсутствия самовозбуждения) к выходу стабилизаторов необходимо подключить керамический или танталовый конденсатор определенной емкости (минимально 1–4,7 мкФ в зависимости от типа стабилизатора). Маломощные ИМС семейства LD39015 выпускаются в миниатюрных корпусах SOT и сверхминиатюрных Flip-Chip 4 1,1×1,1 мм (модификация LD39015), мощные LD39300 с фиксированными выходными напряжениями — в трехвыводном корпусе DPAK, регулируемый вариант — в 5-выводном корпусе PPAK, один из выводов которого служит для переключения стабилизатора в спящий (дежурный) режим с током потребления не более 1 мкА. ИСН серии LD39XXX имеют встроенную защиту по максимальному выходному току (для LD39300 ограничение на уровне 6 А) и работоспособны в диапазоне температур от –40 до +125 °С.

Интегральный стабилизатор LD39020 можно отнести к прецизионным, коэффици-

ент подавления пульсаций на частоте 1 кГц более 80 дБ, выходное напряжение в зависимости от типономинала может быть выбрано в диапазоне от 0,8 до 5 В с шагом 50 мВ и точностью 0,5%. Особенностью данной микросхемы является выходной разрядный МОП-транзистор, который в спящем режиме закорачивает выход стабилизатора и разряжает выходной керамический конденсатор емкостью 0,47 мкФ, необходимый для устойчивой работы.

Заслуживает внимания одна из последних разработок LDO ИСН данного семейства — LD39130 с максимальным выходным током 300 мА, ориентированный для применения в портативных устройствах с батарейным питанием. Особенность этого стабилизатора состоит в возможности автоматического переключения в режим с пониженным собственным энергопотреблением при снижении тока нагрузки меньше определенного значения, что способствует существенному уменьшению разряда батареи питания различных многофункциональных устройств, например мобильных телефонов. Данный стабилизатор снабжен встроенной функцией плавного включения Soft start за время 100 мкс, для устойчивой работы необходим входной конденсатор емкостью 1 мкФ и выходной конденсатор 1–22 мкФ с эквивалентным последовательным сопротивлением ESR от 0,5 до 4 Ом. ИСН LD39130 выпускается в сверхминиатюрных корпусах DFN6 и CSP4.

Еще один представитель семейства LD39XXX ИСН, LD39200, относится к категории ультра-LDO, типовое значение падения напряжения на стабилизаторе при токе 2 А не превышает 130 мВ. Основное назначение данного стабилизатора — электропитание низковольтных (от 0,5 В) устройств средней мощности с высокими требованиями к стабильности и пульсациям напряжения питания. В дополнение к обычным схемам защиты от перегрева и перегрузки по току в LD39200 имеется защита от обратного тока от выхода к входу Reverse Current Protection, а также специальный вывод Power Good (PG) от открытым стоком для индикации выходного напряжения. При  $U_{\text{вых}} > 0,92U_{\text{ном}}$  PG устанавливается в высокоимпедансное состояние, а при  $U_{\text{вых}} < 0,8U_{\text{ном}}$  — в низкоимпедансное. При малом напряжении питания и большом потребляемом токе существенное влияние на точность установки выходного напряжения может оказать сопротивление проводов, идущих от стабилизатора к нагрузке. Для исключения такого влияния в ИСН LD39200 с фиксированными выходными напряжениями имеется специальный вход сигнала обратной связи Sense, на который можно подать сигнал с нагрузки специальным (не силовым) проводом, как показано на рис. 4. Рекомендуемая емкость входного и выходного конденсатора — 10 мкФ, область стабильной работы в зависимости от емкости выходного конденсатора и его ESR приведена на рис. 3.

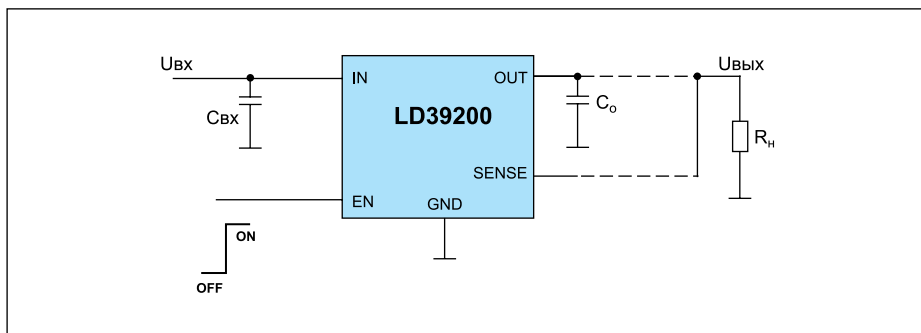


Рис. 4. Типовая схема включения LDO ИСН LD39200 с точной установкой выходного напряжения

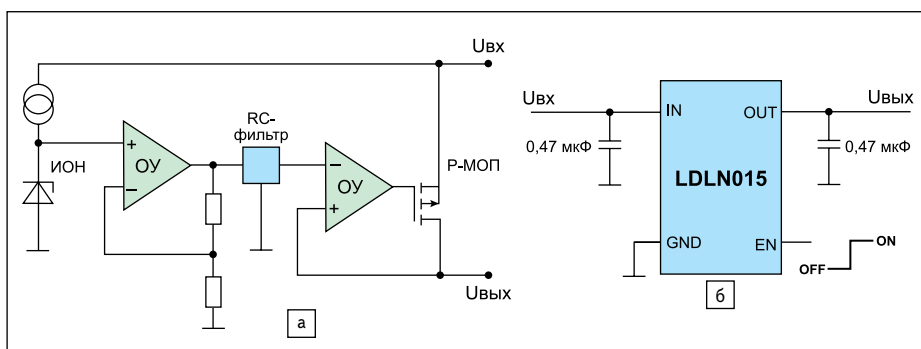


Рис. 5. Схемы включения LDO ИСН LDLN015: а) функциональная; б) типовая

Рекордными значениями коэффициента подавления пульсаций 92 дБ и уровня шумов 6,3 мкВ отличается LDO ИСН LDLN015 — один из лучших в классе аналогичных устройств, позиционируемый для электропитания радиочастотных модулей, аналого-цифровых преобразователей и другой РЭА, требовательной к качеству питающих напряжений. Достижение столь высоких параметров стало возможным благодаря встроенному в микросхему фильтру опорного напряжения без использования внешних конденсаторов. Изменение выходного напряжения во всем диапазоне входных напряжений и тока нагрузки не превышает 0,5 и 0,1% соответственно, устройство стабильно функционирует при подключении к входу и выходу керамических конденсаторов емкостью 0,47 мкФ. Функциональная и типовая схемы включения ИСН LDLN015 приведены на рис. 5. Для перевода стабилизатора в рабочий режим необходимо подать на вход EN напряжение более 0,9 В, в спящем режиме ( $U_{EN} < 0,4$  В) потребляемый ток составляет менее 1 мкА.

В удаленных устройствах с батарейным питанием и в других ситуациях, требующих особой минимизации энергопотребления, оптимально применение стабилизаторов напряжения с очень малым током покоя. В качестве примера можно привести ИСН STLQ015. Потребляемый микросхемой ток во всем диапазоне выходных токов не превышает 1,4 мкА, в дежурном режиме 1 нА. Естественно, динамические параметры данного стабилизатора в части подавления пульсаций не отличаются высокими значениями,

но при питании от источников постоянного тока это не столь важно.

В недорогих устройствах широкого применения целесообразно использовать ИСН LDK120/130 с максимальным током 200 и 300 мА соответственно, а также LDK220 — 200 мА с максимальным входным напряжением 13,2 В. Данные стабилизаторы представляют собой экономные решения, обладающие, тем не менее, сочетанием сравнительно высоких параметров, включая схемы защиты, дежурный режим с током потребления 1 мкА и разрядный транзистор на выходе. Выпускаются в малогабаритных корпусах SOT23 и DFN6 1,2×1,3 мм.

В определенных ситуациях для питания РЭА со сравнительно небольшим током потребления целесообразно использовать линейные стабилизаторы вместо импульсных

и при большом перепаде входного и выходного напряжения. Подобным требованиям отвечает ИСН ST715 с максимальным входным напряжением 24 В. Стабилизатор построен по классической трехвыводной схеме с РЭ на *p*-канальном МОП-транзисторе и стабилен при установке на выход керамического конденсатора емкостью 0,47 мкФ.

В заключение рассмотрим интегральный стабилизатор LDCL015 с регулирующим элементом на *n*-канальном МОП-транзисторе, отличающийся крайне малой величиной падения напряжения на РЭ 50 мВ при токе 100 мА и способностью устойчиво функционировать без входного и выходного конденсаторов. Для повышения напряжения питания выходного каскада усилителя сигнала ошибки, необходимого для работы с РЭ на *n*-канальном МОП-транзисторе, используется внутренняя схема вольтдобавки также без внешнего конденсатора. Недостатком ИСН LDCL015 по сравнению с рассмотренными выше стабилизаторами с РЭ на *p*-канальном МОП-транзисторе является сравнительно большой ток покоя, необходимый для питания схемы вольтдобавки. В то же время очевидно, что возможность нормальной работы миниатюрных ИСН без внешних элементов значительно уменьшает площадь, занимаемую схемой электропитания, что весьма важно для портативной радиоаппаратуры.

Широкая номенклатура и невысокая стоимость интегральных стабилизаторов напряжения STMicroelectronics [4] делает их весьма привлекательными для широкого круга разработчиков РЭА.

## Литература

1. Денг К. Линейные стабилизаторы с малым падением напряжения // Электронные компоненты. 2005. № 9.
2. Морита Г. Источники шума в стабилизаторах с малым падением напряжения // Электронные компоненты. 2011. № 11, 12.
3. Зимник М. Линейные регуляторы напряжения для высокоэффективных приложений // Компоненты и технологии. 2009. № 7.
4. [www.st.com](http://www.st.com)