

Интегральные стабилизаторы с малым падением напряжения фирмы National Semiconductor

Интегральные стабилизаторы напряжения (ИСН) являются неотъемлемой частью современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), характеристики которой в значительной степени определяются качеством — точностью и стабильностью питающих напряжений. Компания National Semiconductor является одним из ведущих мировых производителей интегральных стабилизаторов напряжения всех типов, а микросхемы, разработанные National Semiconductor, в огромных количествах выпускаются и другими фирмами во многих странах.

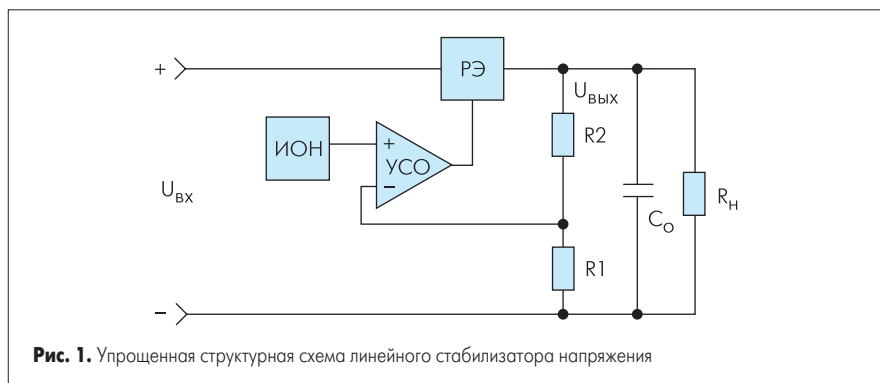
Геннадий Штрапенин

gshtrapenin@electron.usart.ru

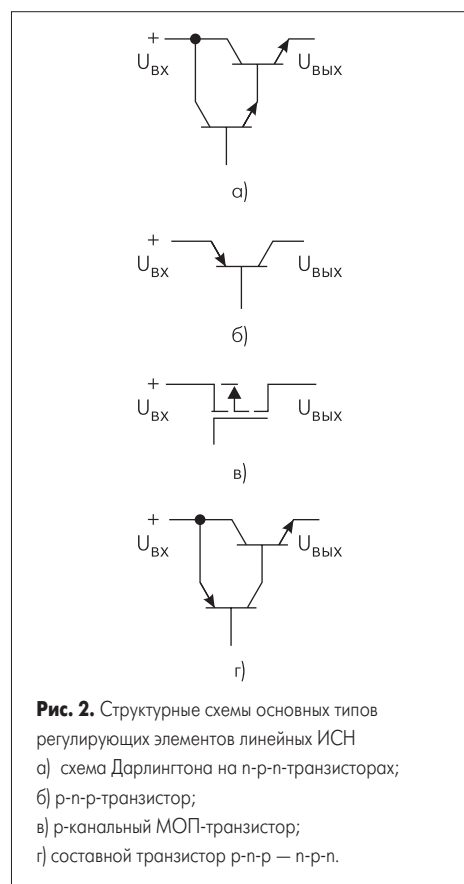
Стабилизатор напряжения (СН) — это устройство, поддерживающее (с определенной точностью) неизменным напряжение на нагрузке. Обычно СН представляет собой замкнутую систему автоматического регулирования напряжения, в которой выходное напряжение устанавливается равным или пропорциональным стабильному опорному 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 ключевым (импульсным) режиме (в этом случае стабилизатор называется ключевым или импульсным). В настоящее время в составе РЭА в основном применяются линейные и импульсные СН, выполненные на специализированных интегральных микросхемах, которые можно разделить на несколько групп по разным категориям. В частности, существуют ИСН

на фиксированные и регулируемые выходные напряжения, ИСН, содержащие все активные элементы стабилизатора и требующие использования внешнего регулирующего транзистора и др. 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 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, а в стабилизаторах с регулируемым выходным напряжением оно устанавливается внешними резисторами.

Глобальная «мобилизация» (от слова «мобильный») современной радиоэлектронной аппаратуры и, соответственно, проблема обеспечения ее экономичного электропитания от химических источников тока требует от разработчиков создания малогабаритных стабилизаторов напряжения различных типов с минимальными потерями. Область применения подобных устройств крайне широка — это мобильные средства связи, переносные компьютеры, устройства питания микроконтроллеров, автономные видеокамеры слежения и т. п. Следует отметить, что фирма National Semiconductor была пионером в выпуске микросхем линейных ИСН, создав широко известные в свое время трехвыводные ИСН LM109, LM123 и LM340xx [1], на основе которых позже были созданы ставшие по существу классическими микросхемы серии 78xx. Недостатком этих и других аналогичных ИСН является сравнительно большое (минимум 2,5 В) падение



напряжения на регулирующем элементе, связанное с тем, что он, как правило, выполняется на биполярных транзисторах, включенных по схеме Дарлингтона (многокаскадный эмиттерный повторитель — рис. 2а). 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 регулирующем элементе. Для решения этой задачи были созданы специальные ИСН с малым падением напряжения (Low Dropout Output — LDO). Условно к LDO относят линейные стабилизаторы с падением напряжения менее 500 мВ.



Главное отличие LDO от традиционных устройств состоит в построении регулирующего элемента — для уменьшения падения напряжения РЭ выполняют на р-п-р-транзисторе с коллекторным выходом (рис. 2б), а в последнее время — на р-канальных МОП-транзисторах (рис. 2в). Разработанная фирмой National Semiconductor технология VIP (Vertically Integrated p-n-p Transistors) [2] позволяет получить интегральные р-п-р-транзисторы с очень высокими параметрами и соответственно высококачественные ИСН на их основе. LDO на МОП-транзисторах отличаются минимальным падением напряжения и очень низким собственным энергопотреблением, необходимым для устройств с батарейным питанием. Недостатком стабилизаторов с регулирующими элементами на биполярных р-п-р и р-канальных МОП-транзисторах является их потенциальная склонность к самовозбуждению, что требует

Таблица 1. Основные параметры LDO National Semiconductor

Тип	Диапазон температур	Диапазон входных напряжений U_{in} , В		Выходной ток I_{out} , мА (макс)	Падение напряжения U_{drop} , В (тип)	Ток покоя I_{quies} , мА (тип)	Выходное напряжение U_{out} , В (тип)	Примечание
		мин	макс					
LM1084	X	2,6	18, 27, 25	5000	1,3	5	12, 3,3, 5; 1,25–27,5 пер.	Защита от перегрева и перегрузок
LM1085	X	2,6	18, 27, 25	3000	1,3	5	12, 3,3, 5; 1,25–27,5 пер.	То же
LM1086	X	2,6	30, 27, 25	1500	1,3	5	2,5, 2,85, 3,3, 3,45, 5; 1,25–27,5 пер.	То же
LM2931	I	—	26	100	0,3	0,4	5; 3–24 пер.	Дежурный режим, защита по входу
LM2937	X	—	26	500	0,5	2	2,5, 3,3, 5, 8, 10, 12, 15	Защита по входу
LM2940	M	—	26	1000	0,5	10	5, 8, 9, 10, 12, 15	То же
LP2950	X	—	30	100	0,38	0,075	3, 3,3, 5	Прецизионный 0,05%
LP2951	X	–0,3	30	100	0,38	0,075	1,24–29 пер.	Дежурный режим, флаг ошибки
LP2966	X	2,7	7	150	0,135	0,42	1,8, 2,2, 2,8, 3, 3,3, 3,6, 5	То же, двоянный
LP2980–85	X	2,1	16	100	0,2	0,065	2,5 – 5 (16 значений), 1,23–25 пер.	Дежурный режим
LP2986	X	2,1	16	200	0,18	0,10	1,23–16 пер.	Дежурный режим, флаг ошибки
LP2988	X	2,1–3,98	16	200	0,18	0,10	2,8, 3, 3,2, 3,3, 3,8, 5	То же, малощумящий
LM2990	X	–26	0,3	1500	0,6	1	–15, –12, –5	Для отрицательных напряжений
LM2991	X	–26	0,3	1000	0,6	1	–25–2 пер.	То же
LM3940	X	—	7,5	1000	0,5	10	3,3	Преобразователь 5 В в 3,3 В
LM3961/4	X	2,5	7	800	0,24	—	1,8, 2,5, 3,3, 5; 1,2–5,1 пер.	Дежурный режим, флаг ошибки/Sense
LM3962/5	X	2,5	7	1500	0,38	—	То же	То же
LM3963/6	X	2,5	7	3000	0,8	—	То же	То же
LP3984	X	2,5	6	150	0,06	0,08	1,5, 1,8, 2, 3,1	Дежурный режим, 60дБ PSRR

принятия специальных мер по его предотвращению. В частности, для устойчивой работы таких LDO необходимо к выходу стабилизатора подключать электролитический конденсатор C_o с определенной емкостью и эквивалентным последовательным сопротивлением ESR — Equivalent Serial Resistance. Анализ работы LDO с различными РЭ приведен в статье [3].

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

- минимальное и максимальное входное напряжение (InputMin Voltage & InputMax Voltage), при которых сохраняются точностные параметры стабилизатора Line Regulation и Load Regulation;
- максимальный выходной ток (Output Current);
- падение напряжения (Dropout Voltage) — минимальная величина $U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}}$, при которой еще возможен режим стабилизации, зависит от тока нагрузки;
- статический ток или ток покоя (Quiescent Current) — определяется как разность входного и выходного тока (тока нагрузки) стабилизатора;
- коэффициент неустойчивости по напряжению (Line Regulation) — характеризует изменение выходного напряжения при изменении входного напряжения, измеряется в процентах;
- коэффициент неустойчивости по току (Load Regulation) — характеризует изменение выходного напряжения при изменении тока нагрузки, измеряется в процентах.

Кроме того, в специальных случаях нормируется динамическая неустойчивость стабилизатора, определяемая как кратковременное отклонение выходного напряжения при

скачкообразном изменении входного напряжения и (или) тока нагрузки, шумовое напряжение на выходе стабилизатора, коэффициент подавления пульсаций PSSR (Power Supply Rejection Ratio — отношение напряжения пульсаций на входе и выходе в дБ) и другие параметры.

Выпускаемые промышленностью современные LDO 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 (Ultra LDO — 200 мВ и менее) падением напряжения;
- прецизионные (особо точные);
- быстродействующие (с быстрым откликом);
- многоканальные (сдвоенные и т. д.);
- специализированные с дополнительными сервисными устройствами.

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. У стабилизаторов, предназначенных для работы в устройствах с батарейным питанием, делается защита по входу от переплюсовки и значительного превышения входного напряжения, могущих возникнуть при неправильном подключении элементов питания. Ряд микросхем имеют управляющий вход On/Off Pin (Shutdown) установки дежурного режима (Sleep Mode), в котором отключается выходное напряжение и существенно снижается

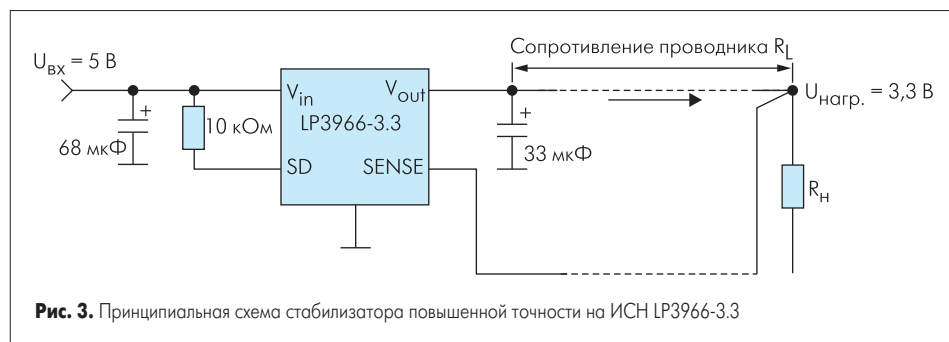


Рис. 3. Принципиальная схема стабилизатора повышенной точности на ИСН LP3966-3.3

статический ток. Изменение выходного напряжения на определенную величину индицирует выходной сигнал «Флаг ошибки» (Error Flag). Для питания микропроцессорных систем выпускаются специальные LDO, обеспечивающие заданный алгоритм управления выходным напряжением, например задержку включения на определенное время, функцию сброса, дистанционное управление и другие. В зависимости от области применения микросхемы выполняются в разнообразных корпусах — от сравнительно больших TO-220 до сверхминиатюрных CSP размером $0,83 \times 1,34$ мм с шариковыми выводами.

Перейдем теперь к рассмотрению доступных LDO ИСН National Semiconductor (см. таблицу).

Микросхемы серии **LM1084-86** относятся к так называемым стабилизаторам Quasi-LDO, у которых регулирующий элемент выполнен по схеме составного транзистора p-n-p — p-n-p (рис. 2з). Минимальное падение напряжения на регулирующем элементе в этом случае состоит из напряжения насыщения p-n-p-транзистора и напряжения «база — эмиттер» p-n-p-транзистора и составляет около 1 В (реально 1,3 В при максимальном токе 5, 3 и 1,5 А). Микросхемы обладают великолепными параметрами стабилизации Line Regulation — 0,015% и Load Regulation — 0,1%, характерными для прецизионных стабилизаторов, и могут быть использованы как замена обычных ИСН на выходе импульсных источников питания и в других устройствах. Выпускаются в корпусах TO-220 и TO-263.

Стабилизатор **LM2931** отличается очень малым статическим током 0,4 мА и предназначен для работы в аппаратуре с батарейным питанием. Он имеет развитые схемы защиты по входу от переплюсовки и превышения входного напряжения, а также от перегрузок по выходу, перегрева и даже неправильного (зеркального) монтажа. Регулируемый вариант снабжен входом On/Off, управляемым TTL-уровнем. Выпускается в корпусах TO-220, TO-92, TO-63, SO-8 и в 6-выводном microSMD.

Аналогичные параметры при максимальном токе 500 мА имеет стабилизатор **LM2937**. Следует отметить, что для устойчивой работы микросхемы требуется подключение к ее выходу электролитического конденсатора емкостью 10 мкФ с ESR менее 3 Ом. Устройство выпускается в корпусах SOT-223, TO-220 и TO-263. Более современный вариант — **LM2989** — с улучшенными параметрами, дежурным режимом и флагом ошибки.

Прецизионные (Line Regulation — 0,05% и Load Regulation — 0,5%) микромощные ста-

билизаторы серии LP2950-51 с очень малым током покоя и падением напряжения идеально подходят для питания автономной аппаратуры. Выпускаются в корпусе TO-92 и др.

Сдвоенный Ultra LDO (падение напряжения 0,13 В) миниатюрный ИСН **LP2966** в корпусе MSOP-8 имеет независимое управление каждым стабилизатором и выдает флаг ошибки при превышении допуска выходного напряжения на 10%. Устойчиво работает при подключении к выходу керамического конденсатора емкостью 1 мкФ. Выпускается также аналогичный ИСН **LP2967** с пониженным уровнем шумов. Область применения этих микросхем крайне широка — переносные компьютеры, мобильные телефоны, приемники GPS и другая аппаратура с автономным питанием.

Серия микросхем **LP2980-86** — это усовершенствованные варианты **LP2950-51**. Используют интегральные p-n-p-транзисторы, выполненные по фирменной технологии VIP. Отличаются повышенным быстродействием и рекомендованы для питания портативной цифровой аппаратуры. Выпускаются в корпусах SOT-23 и микро SMD.

Серия LDO повышенной точности **LP2987-88** обеспечивает программируемую задержку включения выходного напряжения от 0 до 200 мс путем установки храниющего конденсатора емкостью от 0 до 0,4 мкФ. Нестабильность по напряжению не превышает 0,5% (тип А) и 1% (стандартный тип). Обеспечивается дежурный режим, при котором потребляемый ток снижается до 2 мкА, а при изменении выходного напряжения на $\pm 5\%$ устанавливается флаг ошибки. **LP2988** при тех же параметрах имеет пониженный уровень шумов. Эти стабилизаторы предназначены для использования в устройствах питания мобильных телефонов, ноутбуков, фото- и видеокамер. Выпускаются в корпусах для поверхностного монтажа SO-8 и мини SO-8.

National Semiconductor производит LDO отрицательного напряжения на фиксирован-

ные значения **LM2990** и регулируемый **LM2991**. Последний имеет дежурный режим. Обеспечивается защита от перегрузок по выходному току и перегрева. Микросхемы выпускаются в корпусах TO-220 и TO-263.

ИСН **LM3940** специально предназначен для преобразования напряжения 5 В в 3,3 В и может найти применение в портативных компьютерах и других цифровых устройствах. Для устойчивой работы стабилизатора требуется подключение к выходу высококачественного (лучше танталового) электролитического конденсатора емкостью 33 мкФ и ESR в пределах от 0,1 Ом до 3 Ом. Выпускается в корпусах TO-220 и TO-263.

Серия быстродействующих Ultra LDO **LP3961-66** повышенной точности выполнена на МОП-транзисторах, что позволило получить ничтожно малое значение тока покоя, не зависящее от выходного тока. Для повышения точности стабилизации микросхемы **LP3964-66** имеют специальный вход Sense, на который подается напряжение обратной связи с выхода стабилизатора. Схема подключения микросхемы для этого случая приведена на рис. 3.

Нетрудно видеть, что при таком включении сопротивление магистрали R_L не влияет на величину напряжения на нагрузке U_H . В противном случае это влияние может быть весьма существенным, например, при $R_L = 100$ Ом при токе 3 А напряжение на нагрузке снижается с 3,3 до 3,0 В, то есть на 10%. Если вывод Sense по прямому назначению не используется, его необходимо соединить с выходом стабилизатора через резистор сопротивлением 10 кОм. Отметим, что в ИСН **LP3961-63** вместо вывода Sense присутствует вывод /Error, а в регулируемых стабилизаторах — вывод Adj для подключения резисторов установки выходного напряжения. Типовая схема подключения микросхемы для этого случая приведена на рис. 4.

Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ может изменяться от 1,215 В до 5,1 В в зависимости от сопротивления резистора R2, который рассчитывается по формуле $R2 = R1(U_{\text{вых}}/1,216 - 1)$, резистор R1 всегда берется сопротивлением 10 кОм, а емкость конденсатора C_F , устраняющего самовозбуждение, может быть от 68 до 100 пФ.

Если дежурный режим не используется, вход Shutdown (/SD) должен быть соединен со входом стабилизатора непосредственно или через резистор сопротивлением несколько килоом. Для перевода микросхемы в дежурный режим на вывод /SD следует подать нулевой потенциал, для чего удобно исполь-

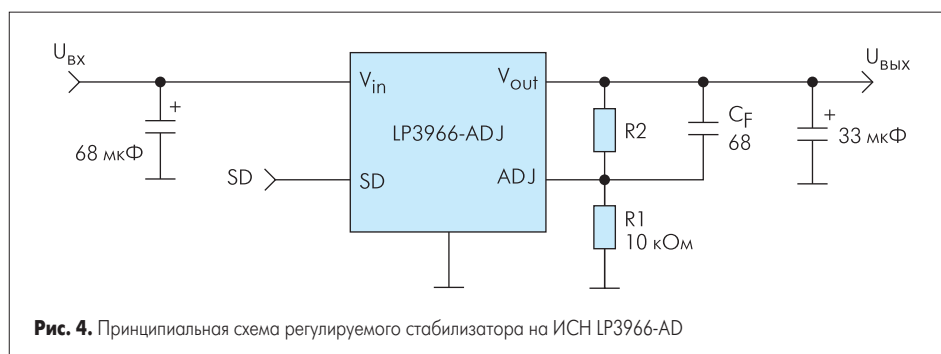


Рис. 4. Принципиальная схема регулируемого стабилизатора на ИСН LP3966-ADJ

зовать КМОП-компаратор. Устойчивая работа ИСН обеспечивается при определенных величинах емкости и ESR входного и выходного конденсаторов, которые должны быть смонтированы в непосредственной близости от микросхемы. **LP3961-66** выпускаются в корпусах TO-220, TO-263 и SOT-223.

Серия микро мощных малошумящих ИСН Ultra LDO **LP3981-88** на МОП-транзисторах предназначена для использования в источниках питания различных портативных устройств, чувствительных к шумам — мобильных телефонов, высокочастотных усилителей и т. п. В частности, микросхема **LP3984** в корпусе microSMD-4 является одним из самых миниатюрных ИСН такого типа и при этом обеспечивает выходной ток 150 мА и очень высокий коэффициент подавления пульсаций PSRR 60 дБ на частоте 1 кГц. Устой-

чиво работает при подключении к выходу танталового конденсатора емкостью 1 мкФ. Аналогичные параметры имеют ИСН **LP3985** в корпусе CSP размером 0,83×1,34 мм высотой 0,85 мм с шариковыми выводами на нижнем основании и его сдвоенный вариант **LP3986** в корпусе microSMD-8. Ток покоя ИСН **LP3983** при выходном токе 5 мА составляет всего лишь 1 мкА, что позволяет значительно продлить время работы устройства при батарейном питании. Данный стабилизатор отличается также малым временем включения — время перехода из дежурного в рабочий режим у него составляет 170 мкс. Выпускается в корпусе microSMD.

В 2004 году фирма National Semiconductor начинает выпуск LDO серии **LP399x**, являющихся улучшенным вариантом серии **LP398x**. В них значительно снижены статиче-

ский ток и уровень шумов, улучшено до 70 дБ подавление пульсаций, время включения составляет 10 мкс. Стабилизаторы позиционируются для устройств питания мобильной телефонии, Bluetooth, цифровых видеокамер и другой аппаратуры.

Более подробную техническую информацию можно найти на сайте компании www.national.com.

Литература

1. Linear/Mixed-Signal Designer's Guide Summer 2002. National Semiconductor. 2002.
2. The Art of Analog 2003. Linear Applications Seminar. National Semiconductor. 2003.
3. В. Григорьев. Стабилизаторы с малым падением напряжения — проблемы выбора // Электронные компоненты. 2001. №№ 3, 4, 6.