

МИКРОСХЕМЫ ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПЯЖЕНИЯ

Андрей Данилов, к.т.н., старший научный сотрудник Института проблем управления РАН им. В.А.Трапезникова

В статье приводится краткий обзор функционально законченных микросхем современных линейных стабилизаторов напряжения.

Интегральные стабилизаторы напряжения (СН) являются неотъемлемой частью радиоэлектронной и вычислительной аппаратуры. Многие разработчики легкомысленно полагают, что микросхемы стабилизаторов чрезвычайно просты в применении, и не стоит тратить время на изучение их устройства и особенностей включения в реальных схемах. И очень удивляются, когда стабилизаторы «мстят» за невнимательное, «выжигая» дорогостоящие многослойные печатные платы вместе с не дешевой комплектацией.

В настоящее время, благодаря невысоким ценам, миниатюризации корпусов и большому разнообразию ИС линейных стабилизаторов напряжения, системы питания электронных устройств в большинстве своем строятся по двухступенчатой схеме, когда первичное формирование постоянных напряжений осуществляет сетевой преобразователь, а точное поддержание напряжения питания выполняет интегральный стабилизатор, установленный в непосредственной близости от нагрузки.

Такое конструктивное решение упрощает разводку цепей питания, обеспечивает минимальные значения выходного сопротивления и шумового напряжения источника питания в широком диапазоне частот, малое время установления и высокую стабильность номинального напряжения питания, что очень важно для современных, низковольтных микропроцессоров и запоминающих устройств. Кроме того, появляется возможность реализовать необходимую развязку по питанию между критичными узлами схемы при помощи относительно маломощных линейных СН, не создающих радиопомех (и интерференции), и значительно уменьшить количество пассивных элементов в цепях питания.

Энергетическая эффективность двухступенчатой схемы питания остается на приемлемом уровне, поскольку сетевой импульсный преобразователь имеет высокий к.п.д. и способен поддерживать выходное постоянное

напряжение с точностью, достаточной для нормальной работы линейных СН с низким падением напряжения на регулирующем элементе (LDO, Low Drop Out). Технологические решения с использованием МОП-транзисторов в качестве регулирующего элемента (РЭ) позволяют обеспечить выходной ток ИС стабилизаторов до 10 А при падении напряжения в пределах 500 мВ и весьма низком токе потребления, не зависящим от тока нагрузки (в отличие от стабилизаторов с РЭ на биполярных транзисторах). Различные усовершенствования силовых МОП-транзисторов, реализованные в последние годы в рамках комбинированной технологии (BiMOS), дали возможность понизить входные и выходные напряжения стабилизаторов до 0,5...1,5 В при сохранении малого сопротивления канала.

Многие современные ИС стабилизаторов снабжены входом отключения (Enable, EN или Shutdown, SD, SHDN), выходом сигнала статуса (Power Good, PG или Power OK, POK), а также формирователем сигнала сброса (Reset, RST) микропроцессора, что дает возможность повысить экономичность и надежность систем питания и электронной аппаратуры в целом. В микросхемах СН, предназначенных для автономных устройств, реализован мониторинг входного напряжения с автоматическим отключением РЭ, что снижает вероятность наступления аварийных режимов работы аккумуляторной батареи и электронных схем.

Структурная схема типового СН последовательного типа, на базе которой реализовано подавляющее большинство ИС линейных стабилизаторов, приведена на рисунке 1. Регулирующий элемент представлен в виде реостата, подвижный контакт которого «перемещается» усилителем ошибки; ИОН — источник опорного напряжения с номиналом 1,25 В, реализованный на основе эффекта «запрещенной зоны». Резисторы R1 и R2 образуют делитель напряжения в цепи отрицательной обратной связи

(ООС). В свою очередь, сопротивление РЭ образует делитель напряжения с сопротивлением нагрузки R_H , при изменении которого усилитель ошибки стремится уравнивать напряжения на своих входах, подстраивая сопротивление РЭ. Нетрудно убедиться, что в данном случае напряжение стабилизации $U_{ВЫХ} \approx U_{ОН}(R1 + R2)/R2$.

Таким образом, СН представляет собой масштабный усилитель постоянного тока, который должен быть устойчив в широких диапазонах изменения импеданса нагрузки и температуры полупроводникового кристалла. Наиболее простым способом обеспечения устойчивости СН является параллельная частотная коррекция при помощи емкости нагрузки C_H . Минимальное значение C_H с указанием частотных свойств и эквивалентного последовательного сопротивления (ESR) конденсатора (оксидно-полупроводниковый танталовый, алюминиевый, керамический и т.п.), обычно приводится в паспортных данных на ИС. Для керамического конденсатора иногда отмечается тип диэлектрика: Z5U, Y5V, X5R или X7R; первые два типа обеспечивают более высокую удельную емкость, но большее значение ESR, вторые — повышенную стабильность при изменении приложенного напряжения и окружающей температуры, поэтому являются предпочтительными для конденсаторов, используемых в качестве C_H . Например, емкость конденсатора с диэлектриком типа Y5V и номиналом 2,2 мкФ при 25°C может снизиться до 1 мкФ в рабочем диапазоне температур, что может вызвать проблемы с устойчивостью СН.

Если стабилизатор устойчив без емкостной нагрузки, либо с нагрузкой

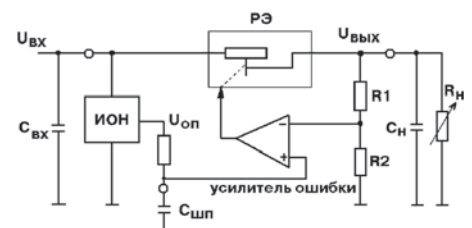


Рис. 1. Структурная схема стабилизатора напряжения последовательного типа

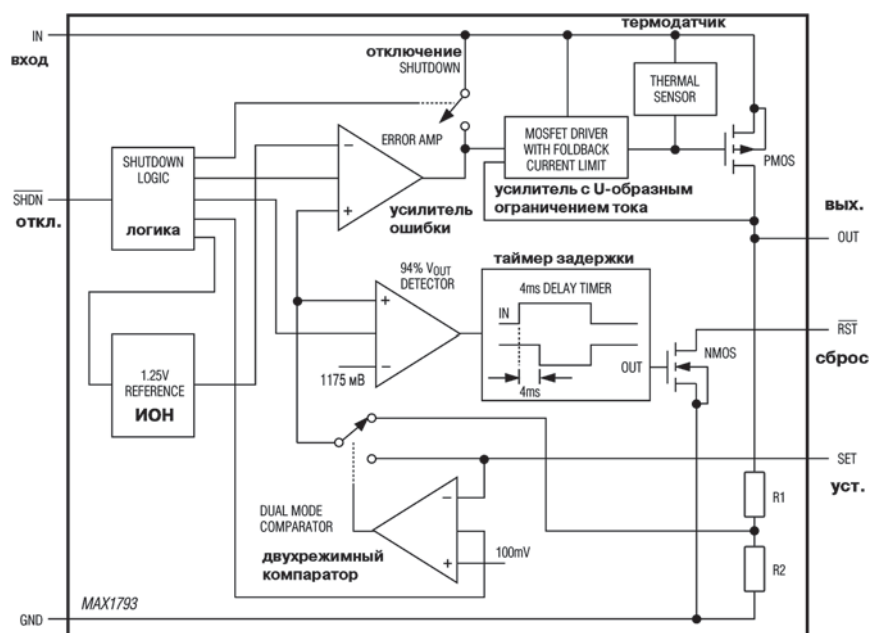


Рис. 2. Упрощенная электрическая схема современного СН

в виде конденсатора с малым значением ESR (например, керамического), то он стабильно работает с любой емкостной нагрузкой. Танталовые конденсаторы по совокупности параметров являются оптимальным выбором практически для любого интегрального СН. Иногда в технической документации на ИС оговорено минимальное значение ESR (на частоте 100 кГц) конденсатора нагрузки, и разработчик может использовать недорогой керамический конденсатор, включив последовательно с ним требуемый резистор.

Следует отметить, что номинал и тип конденсатора C_H в значительной мере определяют вид и длительность переходного процесса при скачкообразном изменении тока нагрузки, а также выходное сопротивление C_H на высоких частотах, где ООС уже не работает. Конденсатор $C_{ВХ}$ (см. рис. 1), шунтирующий вход стабилизатора по переменному току, также влияет на устойчивость C_H и обычно соответствует по типу и номиналу конденсатора нагрузки.

В схеме на рисунке 1 коэффициент стабилизации на постоянном токе (line regulation, %, %/В или мВ/В), шум и температурный дрейф

выходного напряжения определяются в основном параметрами ИОН, поскольку он питается непосредственно от входа стабилизатора. Известны схемы, где ИОН подключен к выходной шине СН, однако в них сложно реализовать эффективную защиту и мониторинг. Как следует из приведенной выше формулы, погрешность низковольтного ИОН приводит к выходу стабилизатора с повышающим коэффициентом. В паспортных данных на СН коэффициент стабилизации на переменном токе присутствует в виде подавления пульсаций источника питания (PSRR, дБ) на разных частотах.

С целью дополнительного ослабления шума и пульсаций некоторые микросхемы СН снабжены выводом (Noise Reduction, NR или Reference Bypass, RB) для подключения внешнего конденсатора $C_{ШП}$, который вместе с резистором, установленным последовательно с выходом ИОН, образует НЧ-фильтр (см. рис. 1). Если выход ИОН не доступен, усиление для шума в петле ООС на высоких частотах можно уменьшить, зашунтировав R1 (см. рис. 1) конденсатором 1...10 нФ. Такой способ шумоподавления эффективен

при реализации усилителя ошибки в виде преобразователя проводимости с емкостной нагрузкой (серия ADP33xx компании Analog Devices), в других случаях возможно самовозбуждение стабилизатора.

В перечне параметров ИС стабилизаторов указана нестабильность выходного напряжения в рабочем диапазоне изменения тока нагрузки (load regulation, % или мВ/мА), характеризующая нагрузочную способность или выходное сопротивление СН на постоянном токе до срабатывания схемы ограничения тока, т.е. в линейном режиме. При наличии выхода опорного напряжения приводится коэффициент стабилизации ИОН по входному напряжению и максимальный втекающий/вытекающий ток. В многоканальных стабилизаторах, как правило, используется общий ИОН для формирования всех выходных напряжений.

Температурный режим микросхемы СН зависит от выходного тока I_H , падения напряжения на регулирующем элементе $U_{РЭ} = U_{ВХ} - U_{ВЫХ}$, конструкции корпуса и кристалла ИС. В таблице 1 приведены значения площади контакта с печатной платой и теплового сопротивления «переход — окружающая среда» θ_{JA} (без теплоотвода и принудительного охлаждения) для некоторых корпусов, применяемых в современных ИС стабилизаторов напряжения. С использованием этих данных, зная температурный коэффициент встроенного ИОН и предварительно рассчитав максимальную рассеиваемую мощность $P_{РЭ} = U_{РЭ} \times I_H$, макс., можно оценить дополнительную погрешность напряжения стабилизации и параметры теплоотвода (при необходимости), либо выбрать корпус с меньшим тепловым сопротивлением. Во всех ИС имеется встроенная тепловая защита, ограничивающая мощность, рассеиваемую РЭ, и/или отключающая его по достижении кристаллом определенной температуры. Гистерезис схемы защиты составляет 10...30°C, порог срабатывания — 145...170°C.

На рисунке 2 приведена типовая структурная схема современного СН.

Таблица 1. Тепловое сопротивление «переход — окружающая среда» распространенных корпусов современных ИС стабилизаторов напряжения (по данным компании Texas Instruments)

Тип корпуса	SC70 (SOT323)	SOT23-5	MSOP-8	TSSOP-14	SOIC-8	MSOP-8 Power PAD	SOIC-8 Power PAD	SOT223	xxBGA-24	TSSOP-24 Power PAD	DDPAK	TO263	TO220
Площадь контакта с ПП, мм ²	4,94	9,0	15,18	33,96	31,0	15,18	31,0	47,55	10,24	52,14	59,72	101,58	196,54
θ_{JA} , °C/Вт, мин.	314	9	160	150	100	60	55	53	48	42	28	23	22

В таблице 2 представлены ИС стабилизаторов общего применения, выпускаемых ведущими производителями¹. Как правило, каждая серия интегральных СН содержит от 5 до 15 однотипных моделей разной мощности с одинаковым набором выходных напряжений. В этом случае приводятся параметры одного-двух приборов серии, отличающиеся по точностным параметрам и току нагрузки, либо характе-

ристики ИС, допускающей плавную установку выходного напряжения при помощи внешнего резистивного делителя (остальные приборы серии имеют предустановленное встроенным делителем напряжение стабилизации в том же диапазоне). Минимальное выходное напряжение регулируемых стабилизаторов обычно совпадает с напряжением встроенного ИОН. Некоторые ИС с фиксированным выходным напряже-

нием автоматически переключают вход ООС на внешний делитель при подключении его средней точки ко входу SET (см. рис. 2). Максимальная (полная) погрешность напряжения стабилизации указана для рабочего температурного диапазона ИС при номинальном токе нагрузки.

В большинстве ИС выход ИОН используется для подключения шумоподавляющего конденсатора; значение

Таблица 2. Основные параметры современных ИС линейных стабилизаторов напряжения

Прибор	Номинальный выходной ток, мА	Напряжение стабилизации, В	Модуль макс. погрешности напряж. стаб., %	Диапазон входного напряжения, В	Макс. $U_{PЭ}$, мВ	Тип РЭ	Коэфф. стабилизации по входному напряжению	С.к.з. напряжения шума на выходе, мкВ/ в полосе частот	Коэфф. стабилизации по току нагрузки	Ток потребления, мкА/ в режиме отключения, мкА	Выход ИОН, В	Время установления, мкс	Выход сигнала статуса	Вход отключения	Мин. C_H , мкФ/тип	Корпус
Analog Devices, Inc.																
ADP3300	50	2,7...5,0 (6 значений)	1,4	3...12	170	р-п-р	0,02 мВ/В 80 дБ/ 100 Гц	100/ 10 Гц... ...100 кГц	0,06 мВ/мА	1700/3	нет	100	есть	есть	0,47/*	SOT23-6
ADP3303A	200	2,2...10 рег.	1,4	3,2...12	400	р-п-р	0,01 мВ/В 80 дБ/ 100 Гц	100/ 10 Гц... ...100 кГц	0,005 мВ/мА	4000/5	нет	100	есть	есть	1,0/*	TSSOP-14
ADP3309	100	2,5...3,6 (7 значений)	2,2	2,8...12	250	р-п-р	0,02 мВ/В 10 Гц... ...100 кГц	100/ 10 Гц... ...100 кГц	0,06 мВ/мА	2000/3	нет	100	есть	есть	0,47/*	SOT23-5
ADP3331	200	1,5... ...11,75	1,4	2,6...12	230	р-п-р	0,06 мВ/В	95/ 10 Гц... ...100 кГц	0,04 мВ/мА	4000/ 0,01	нет	100	есть	есть	0,47/*	SOT23-6
APD3339	1500	1,8...5 (5 значений, возм. заказ)	1,9	2,8...6	480	р-п-р	0,04 мВ/В	95/ 10 Гц... ...100 кГц	0,04 мВ/мА	40000	нет	100	нет	нет	1,0/*	SOT223
ADP3342	300	1,2 (возможен заказ)	5	1,7...6	450	р-п-р	0,04 мВ/В	н.д.	0,12 мВ/мА	8500/2	нет	300	есть	есть	1,0/*	MSOP-8
ADP3367	200	5 или рег.	2	2,5... ...16,5	500	р-п-р	1 мВ/В	н.д.	0,11 мВ/мА	14000/ 0,75	нет	400	есть	есть	10/*	SO-8
Advanced Analogic Technologies Inc.																
AAT3215	150	2,5...3,6 (10 значений)	2,5	2,8...5,5	250	р-МОП	0,07%/В; 70 дБ/ 1 кГц	45/ 300 Гц... ...50 кГц	1 мВ/В	150/1	есть (22 ppm/°C)	30	нет	есть	2,2/К	SOT23-5 SC70JW-8
AAT3223	250	1,8...3,3 (5 значений)	2	2,8...5,5	240	р-МОП	0,4%/В; 50 дБ/ 100 Гц	350	1,65%	2,5/1	нет	500	есть	есть	1/К	SOT23-5 SC70JW-8
AAT3237	300	1,2...3,5 (13 значений)	2,5	2,2...5,5	600	р-МОП	0,09%/В; 5 мВ/В; 65 дБ/ 1 кГц	250/ 300 Гц... ...50 кГц	0,2 мВ/мА	70/1	нет	н.д.	есть	есть	2,2/К	SOT23-5 SC70JW-8
AAT3258 (вх./вых. сброса, встр. монитор)	300	2,8; 3,0; 3,3	2,5	2,2...5,5	600	р-МОП	0,09%/В; 67 дБ/ 1 кГц	50/ 300 Гц... ...50 кГц	0,2 мВ/мА	125/2	есть (22 ppm/°C)	15	есть	есть	2,2/К	TSOPJW-8
International Rectifier																
IRU1030	3000	1,25... ...5,5 рег.	1	2,8...7	1300	р-п-п	0,07%/В; 60 дБ/ 120 Гц	90/ 10 Гц... ...10 кГц	0,4%	10000	нет	н.д.	нет	нет	100/А	TO252 TO263 TO220
IRU1176	7500	1,25... ...5,5 рег.	1	2,8...7	1150	р-п-п	0,1 мВ/В; 60 дБ/ 120 Гц	н.д.	0,7 мкВ/мА	10000/ н.д.	нет	н.д.	нет	есть	100/А	TO263

¹ Многие компании выпускают «классические» интегральные стабилизаторы (78xx, 79xx), а также лицензионные приборы; такие ИС в данном обзоре не рассматриваются — прим. автора.

Продолжение табл. 2

Прибор	Номинальный выходной ток, мА	Напряжение стабилизации, В	Модуль макс. погрешности напряж. стаб., %	Диапазон входного напряжения, В	Макс. $U_{pз}$, мВ	Тип РЭ	Коефф. стабилизации по входному напряжению	С.к.з. напряжения шума на выходе, мкВ/ в полосе частот	Коефф. стабилизации по току нагрузки	Ток потребления, мкА/ в режиме отключения, мкА	Выход ИОН, В	Время установления, мкс	Выход сигнала статуса	Вход отключения	Мин. C_H , мкФ/тип	Корпус
IRU1207	1000	1,8; 2,5; 3,3	1,3	2,3...12	650	р-п-р	0,1%/В	н.д.	0,7%	50000/1	нет	н.д.	есть	есть	2,2/Т	SOIC-8
Linear Technology Corporation																
LT1020	125	2,5...35 рег.	1	4,5...36	650	р-п-р	0,015%/В; 60 дБ/120 Гц	н.д.	0,5%	20000/40	2,5/0,5 мА/0,015%/В	н.д.	есть (встр. компаратор)	есть	10/*	PDIP-14 CERDIP-14 SO-16
LT1083	7500	рег.	1	4,5...30	1500	р-п-р	0,015%/В; 60 дБ/120 Гц	300/10 Гц...10 кГц	0,4%	10000	нет	20	нет	нет	10/Т	TO220 TO3P TO3
LT1086	1500	2,85...12 (6 значений)/рег.	1	4,5...36	1500	р-п-р	2 мВ/В; 54 дБ/120 Гц	300/10 Гц...10 кГц	0,05 мВ/мА	10000	нет	20	нет	нет	10/Т	TO220 DD3 TO-3
LT1117	800	рег.	1	1,5...10	1200	р-п-р	0,2%; 60 дБ/120 Гц	300/10 Гц...10 кГц	0,4%	5000	нет	10	нет	нет	10/Т	SOT223
LT1118	800 (втекающий и вытекающий)	2,5; 2,85; 5; 2...14 рег.	2	2...15	1000	р-п-р	1 мВ/В; 60 дБ/120 Гц	н.д.	0,03 мВ/мА	1000/10	нет	5/1%	нет	есть (время вкл. 50 мкс)	0,22/К	STt223 SO-8
LT1120A	125	3,5...35 рег.	1	4,5...36	600	р-п-р	0,02%/В; 60 дБ/120 Гц	н.д.	0,5%	40/10	2,5 В/1%/4 мА; 0,015%/В	н.д.	есть	есть	10/Т	SO-8
LT1175	500	-5/рег.	2,5	-4...20	700	п-р-п	0,015%/В 60 дБ/120 Гц	н.д.	0,35%	80/10	нет	н.д.	нет	есть	0,1/К	PDIP-8 SO-8 SOT223 TO220-5 DD-5
LT1185	3000	2,5...25 или -2,5...25 (при заземл. входе)	2,5	4,3...30	1000	п-р-п	0,01%/В; 60 дБ/2 кГц	н.д.	0,3%	3500/	нет	н.д.	нет	есть	2/Т	TO3-4 DD-5 TO220-5
LT1579 (два входа)	300	3; 3,3; 5/рег. 1,5...20	3	3,2...20	750	2 × р-п-р	0,6 мВ/В; 55 дБ/120 Гц	н.д.	0,08 мВ/мА	12000/7	нет	н.д.	есть	есть, + выбор входа	4,7/*	SO-16 SSOP-16
LT1580	7000	2,5/рег.	1	3,8...6	1350	п-р-п	0,8 мВ/В; 60 дБ/120 Гц	н.д.	7 мкВ/мА (4-пров. вкл. нагр.)	10000/н.д.	нет	н.д.	нет	есть	22/Т или 150/А	DD-7 TO220-7
LT1581	10000	2,5/рег.	1	3,8...6	700	п-р-п	0,8 мВ/В; 55 дБ/120 Гц	н.д.	0,5 мкВ/мА (4-пров. вкл. нагр.)	10000/н.д.	нет	50	нет	есть	22/Т или 150/А	TO220-7
LT1763	500	1,5...5 (6 значений)/1,22...20 рег.	2,5	1,8...20	320	н.д.	0,3 мВ/В; 50 дБ/120 Гц	30/10 Гц...100 кГц	0,03 мВ/мА	30/1	есть (вход для $C_{шп}$)	150	нет	есть	3,3/*	SO-8
LT1764A (LT1963A)	3000 (1500)	1,5; 1,8; 2,5; 3,3/1,21...20 рег.	3	2,7...20	270	н.д.	0,6 мВ/В; 55 дБ/120 Гц	40/10 Гц...100 кГц	13 мкВ/мА	1000/1	есть (вход для $C_{шп}$)	5	нет	есть	10/*	DD-5 TO220-5
LT3010	50	5/1,275...60 рег.	3	3...80	550	н.д.	0,2 мВ/В; 60 дБ/120 Гц	100/10 Гц...100 кГц	1,8 мВ/мА	30/5	нет	500	нет	есть	1/*	MSOP-8 TE
LT3023 (2 выхода)	100 × 2	1,22...20	3	2,3...20	450	н.д.	0,55 мВ/В; 55 дБ/120 Гц	30/10 Гц...100 кГц	0,25 мВ/мА	20 × 2/0,2	есть (2 входа для $C_{шп}$)	130	нет	есть (2 входа)	1/* × 2	MSOP-10 DFN-10

Прибор	Номинальный выход- ной ток, мА	Напряжение стабили- зации, В	Модуль макс. погреш- ности напряж. стаб., %	Диапазон входного напряжения, В	Макс. U _{рз} , мВ	Тип РЭ	Коефф. стабилизации по входному напря- жению	С.к.з. напряжения шума на выходе, мкВ/ в полосе частот	Коефф. стабилизации по току нагрузки	Ток потребления, мА/ в режиме отключения, мкА	Выход ИОН, В	Время установления, мкс	Выход сигнала статуса	Вход отключения	Мин. C _н , мкФ/тип	Корпус
LT3027 (LT3028) (2 входа, 2 выхода)	100 + + 100 (500)	1,22... ...20	3	2,3...20	450 (470)	н.д.	0,55 мВ/В; 55 дБ/ 120 Гц	30/ 10 Гц... ...100 кГц	0,25 мВ/мА	25 × 2/ 0,2	есть (2 входа для C _{шп})	130	нет	есть (2 входа)	1/* × 2	MSOP-10 DFN-10 (DFN-16 TSSOP- 16)
LTC1844	150	1,5; 1,8; 2,5; 2,8; 3,3/1,25 ...6 рег.	1,75	1,6...6,5	200	р- МОП	16 мВ/В; 50 дБ/ 120 Гц	90/ 10 Гц... ...100 кГц	1,3 мВ/мА	80/1	есть (2 входа для C _{шп})	200	нет	есть	1/К	SOT23-5
LTC3025	300	0,4...3,6 рег.	2	0,9...5,5	100	н.д.	0,02 мВ/В 63 дБ/ 100 Гц	80/ 10 Гц... ...100 кГц	7 мкВ/мА	90/5	нет	100	нет	есть	1/К	DFN-6
Maxim Integrated Products																
MAX1589	500	0,75...3 (6 зна- чений)	1,5	1,62... ...3,6	350	р- МОП	0,15%/В; 70 дБ/ 120 Гц	86/ 10 Гц... ...100 кГц	0,5%	140/1	нет	20	есть (за- держка 100 мс)	есть	4,7/К	TDFN-6 SOT23-6
MAX1598	200	2,5...5 (с шагом 0,1 В)	2	2,5...6,5	236	р- МОП	0,15%/В; 70 дБ/ 120 Гц	40/ 10 Гц... ...100 кГц	0,04%/мА	100/	есть, 1,25 В (вход для C _{шп})	300	нет	есть	2,2/К	SOT23-5
MAX1616	30	1,24... ...28	2	4...28	350	р- п-р	н.д.	н.д.	н.д.	15/3	нет	1000	нет	есть	4,7/К	SOT23-5
MAX1735	200	-2,5; 3; 5/ -1,25... ...5,5 рег.	2	-2,5... ...6,5	240	п- МОП	0,15%/В; 60 дБ/ 100 Гц	160/ 10 Гц... ...1 МГц	0,04%/мА	85/ 0,001	нет	100	нет	есть	1/К	SOT23-5
MAX1793	1000	1,25...5 (6 зна- чений или рег.)	3	2,5...5,5	450	р- МОП	0,15%/В	115/ 10 Гц... ...1 МГц	0,7%	200/ 0,1	нет	20	есть	есть	6,8/К	TSSOP- 16
MAX1963	300	0,75...3 (рег. и пре- дуст.)	2,5	1,62... ...3,6	200	р- МОП	0,15%/В; 70 дБ/ 100 Гц	86/ 10 Гц... ...100 кГц	0,3%	140/1	нет	90	есть (за- держка 2,2 мс)	есть	4,7/К	SOT23-6 TDFN-6
MAX5023	150	3,3; 5	4	6,5...65	1500	р- п-р	1 мВ/В; 54 дБ/ 100 Гц	н.д.	1 мВ/мА	2000/ 16	нет	400	есть (сто- рож. таймер 1,6 с)	есть (с защел- кой)	15/—	SO8-EP
MAX6329	150	1,8; 2,5; 3,3/рег.	3	2,5...5,5	750	р- МОП	н.д.	н.д.	н.д.	25/1	нет	500	есть (сброс 200 мс)	есть	1/К	SOT23-6
MAX6469- MAX6484	300	1,5...3,3 (шаг 0,1)	2,7	2,5...5,5	250	р- МОП	0,09%/В	75...150/ 10 Гц... ...100 кГц	0,2%	136/1	нет	20	есть (сброс 2,5 мс... ...2,4 с)	есть	3,3/Т	TDFN-8 SOT23-6 USCP
MAX8510- MAX8512	120	1,5...4,5 (10 зна- чений)/ рег. (MAX 8512)	3	2...6	250	р- МОП	0,001%/В; 72... ...78 дБ/ 1 кГц	11...230/ 100 Гц... ...100 кГц	0,36%	40/1	нет	300	нет	есть	1/К	SC70-5
MAX8517 (MAX8527)	1000 (2000)	0,5...3,3 рег.	1,4	1,42... ...3,6	200	р- МОП	0,15%/В	н.д.	0,1% (0,16%)	600/ 25 (800/ 50)	нет	40	есть	есть	4,7/К (10/К)	μMAX-10 (TSSOP- 14)
MAX8556	4000	0,5...3,3 рег.	1	1,42... ...3,6	200	р- МОП	0,15%/В 75 дБ/ 1 кГц	н.д.	0,4%	2000/ 150	нет	100	есть	есть	16/Т	QFN-16
MAX8880	200	1,25...5 рег.	3	2,5...12	200	р- МОП	0,05%/В 65 дБ/ 100 Гц	300/ 10 Гц... ...100 кГц	0,015%/мА	10/3	нет	800	есть	есть	4,7/К	SOT23-6 TDFN-6

Продолжение табл. 2

Прибор	Номинальный выходной ток, мА	Напряжение стабилизации, В	Модуль макс. погрешности напряж. стаб., %	Диапазон входного напряжения, В	Макс. U _{рз} , мВ	Тип РЭ	Коэфф. стабилизации по входному напряжению	С.к.з. напряжения шума на выходе, мкВ/ в полосе частот	Коэфф. стабилизации по току нагрузки	Ток потребления, мкА/ в режиме отключения, мкА	Выход ИОН, В	Время установления, мкс	Выход сигнала статуса	Вход отключения	Мин. C _н , мкФ/тип	Корпус
MAX8883 (1 вход, 2 выхода)	160 + + 160	2,5; 2,85; 3; 3,3	3	2,5...6,5	144	р- МОП	0,2%/В; 60 дБ/ 100 Гц	320/ 10 Гц... ...100 кГц	н.д.	165/1	нет	5	нет	есть (2 входа)	2,2/К	SOT23-6
Micrel, Inc.																
MIC221x (2 выхода)	150 + + 300	1,5...3,6 (шаг 0,1)/ рег.	2	2,25... ...5,5	420	р- п-р	0,6%; 40... ...70 дБ/ 1 кГц	40/ 10 Гц... ...100 кГц	1%	80/2	есть (40 ppm/°C)	6...30	есть (сброс, рег. за- держка)	есть (общий или раз- дельные)	1/К	MLF-10 MLF-16 (рег.)
MIC29xxx	1500; 3000; 5000; 7500	3,3; 5; 12/ 1,24... ...25 рег.	2	2,3...26	600	р- п-р	0,5%	400/ 10 Гц... ...100 кГц	1% 0,01 В/А	75000/ 30	нет (100 ppm/ °C)	1400	есть	есть	22/А	TO220 TO220-5 (рег.) TO263 TO263-5 (рег.) TO247 TO-247-5 (рег.)
MIC2950 MIC2951	150	3,3; 4,8; 5/ 1,24... ...29 рег.	1	2...30	600	р- п-р	0,4%	430/ 10 Гц... ...100 кГц	1%	10000/ 20	нет	3000	есть	есть	1,5/Т	TO-92 SOIC-8 PDIP-8
MIC37102 (MIC39102)	1000	1,24... ...5,5 рег.	2	2,25...6 (2,25... ...16)	500 (630)	р- п-р	0,5%	н.д.	1%	25000/ н.д.	нет	30... ...300	нет	есть	10/К (10/Т)	SOIC-8 S-PAK-5 (SOP-8)
MIC37252 (MIC37502)	2500 (5000)	1,24... ...5,5 рег.	3	3...6 (2,3...6)	1000 (500)	р- п-р	0,5%	н.д.	1%	60000/ 1	нет	250 (500)	нет	есть	47/К (100/К)	TO263-5 S-PAK-5
MIC49150 (MIC49300)	1500 (3000)	0,9... ...5 рег.	2	1,4...6,5	1300	п- р-п	0,1%	н.д.	1,5%	30000	нет	3 (20)	нет	нет (вход смеще- ния)	1/К	MSOP-8 S-PAK-5
MIC5202 (2 входа, 2 выхода)	100 + + 100	3; 3,3; 4,85; 5	2	2,5...26 (имп. до 60)	350	р- п-р	0,4%; 75 дБ	100	0,3%	1500/ 0,01	нет	4000	нет	есть (2 входа)	1/К+1/ К	SO-8
MIC5233 (MIC5239)	100 (500)	1,8; 2,5; 3; 3,3; 5/рег.	2	2,3... ...36 (30)	450	р- п-р	0,5%	160/ 10 Гц... ...100 кГц	1%	2000/1 (15000/ 1)	нет	н.д.	нет (есть)	есть	2,2/К (3,3/К)	SOT23-5 (SOIC-8)
MIC5248 (MIC5249)	150 (300)	1,2 (1,8... ...3, шаг 0,1)	4	2,7...6	600	К- МОП	0,3%; 60 дБ/ 120 Гц	н.д.	5% (3%)	200/1	есть (вход для C _{шп})	н.д.	есть (рег. за- держка)	есть	1/К (2,2/К)	SOT23-5 (MSOP-8)
MIC5270 (MIC5271)	100	-3; -4,1; -5/рег.	3	-2...16	900	п- р-п	0,2%; 50 дБ, 100 Гц	н.д.	2%	3000	нет	н.д.	нет	нет (есть, 2-по- рого- вый)	1/К	SOT23-5
MIC5319	500	2,8/рег.	2	2,5...5,5	400	р- МОП	0,3%; 70 дБ/ 1 кГц (C _{шп} = =0,1 мкФ)	60/ 10 Гц... ...100 кГц	0,5%	150/ 0,5	есть (вход для C _{шп})	100	нет	есть	2,2/К	SOT23-5 MLF-6
National Semiconductor Corporation																
LM1084	5000	3,3; 5; 12/ 1,2... ...28 рег.	1,5	2,7...29	1500	п- р-п	0,2%/В; 54 дБ/ 120 Гц	500/ 10 Гц... ...10 кГц	0,4%	10000	нет	50	нет	нет	10/Т	TO220 TO263
LM1117	800	1,8; 2,5; 2,85; 3,3; 5/рег.	1,5	3,2...15	1400	п- р-п	0,2%/В; 60 дБ/ 120 Гц	500/ 10 Гц... ...10 кГц	0,4%	10000	нет	20	нет	нет	10/Т	SOT223 LLP-8 TO263 TO220 TO252
LM117, LM317, LM317A	1500	рег. 1,2...37	2 (1 для LM 317A)	3...39	н.д.	п- р-п	0,07%/В; 65 дБ/ 120 Гц	500/ 10 Гц... ...10 кГц	1,5%	10000	нет	5	нет	нет	1/Т	TO3, TO39 TO220 TO263 SOT223 LCC TO252

Прибор	Номинальный выходной ток, мА	Напряжение стабилизации, В	Модуль макс. погрешности напряж. стаб., %	Диапазон входного напряжения, В	Макс. U _{рз} , мВ	Тип РЭ	Коэфф. стабилизации по входному напряжению	С.к.з. напряжения шума на выходе, мкВ/ в полосе частот	Коэфф. стабилизации по току нагрузки	Ток потребления, мкА/ в режиме отключения, мкА	Выход ИОН, В	Время установления, мкс	Выход сигнала статуса	Вход отключения	Мин. C _н , мкФ/тип	Корпус
LM138, LM338	5000 (12000/ 0,5 мс)	рег. 1,2...32	2	3...35	н.д.	п- р-п	0,06%/В; 60 дБ/ 120 Гц	500/ 10 Гц... ...10 кГц	0,6% (1% для LM338)	5000	нет	5	нет	нет	1/Т	ТО3 ТО220
LM2941	1000	рег. 5...20	2	6...26 (60/ 100 мс)	1000	р- п-р	10 мВ/В; 0,04%/В/ 120 Гц	500/ 10 Гц... ...10 кГц	7 мВ/мА	60000/ 300	нет	30	нет	есть	22/Т	LLP-8 ТО263-5 ТО220-5 CERDIP- 16 SOIC-16
LM2991	1000	рег. -3...24	2	-4...26	1000	п- р-п	0,04%/В; 50 дБ/ 1 кГц	450/ 10 Гц... ...100 кГц	0,4%	5000/ 250	нет	н.д.	нет	есть	10/Т	ТО263-5 ТО220-5 CERDIP- 16 SOIC-16
LM333(ком- племен- тарный к LM350)	3000	-1,2... ...32 рег.	2	-4...35	н.д.	п- р-п	0,07%/В; 60 дБ/ 120 Гц	500/ 10 Гц... ...10 кГц	1,5%	10000	нет	н.д.	нет	нет	1/Т	ТО-3 ТО220
LMS1585A (аналог LT1585A)	5000	1,5; 3,3/ рег.	2	2,75...7	1300	п- р-п	0,2%/В; 60 дБ/ 120 Гц	150/ 10 Гц... ...10 кГц	0,5%	13000	нет	н.д.	нет	нет	10/Т	ТО220 ТО263
LP2960	500	3,3;5/ рег. 1,23... ...29	2	2,2...30	800	р- п-р	0,8%	300/ 10 Гц... ...100 кГц	0,4%	40000/ 400	нет	3000	есть	есть	22/Т	SO-16
LP2980-ADJ	50	рег. 1,23... ...15	1	2,5...16	225	р- п-р	1 мВ/В; 68 дБ/ 1 кГц	160/ 300 Гц... ...60 кГц	н.д.	1200/1	нет	5	нет	есть	2,2/Т	SOT23
LP3961 (К- МОП серия LP396х)	800	1,8; 2,5; 3,3; 5	3	2,5...7	350	р- МОП	0,06%; 40 дБ/ 120 Гц	150/ 10 Гц... ...100 кГц	0,08%	15000/ 75	нет	н.д.	есть	есть	33/Т	SOT223-5 ТО263-5 ТО220-5
LP3982 (К-МОП, аналог MAX8860)	300	1,8; 2,5; 2,77; 2,82; 3; 3,3/1,25... ...6 рег.	3	2,5...6	220	р- МОП	0,1%/В; 58 дБ/ 120 Гц	37/ 10 Гц... ...100 кГц	0,6%	270/1	нет	120	есть	есть	2,2/К	MSOP-8 LLP-8
LP8340 (К-МОП)	1000	1,8; 2,5; 3,3; 5/рег.	2	2,7...10	1300	р- МОП	2 мВ/В; 48 дБ/ 120 Гц	250/ 10 Гц... ...10 кГц	2%	150	нет	200	нет	нет	1/К	LLP-6 DPAK-3
Semtech Corporation																
SC1537 (2 входа, авт. выбор)	700	3,3	3	4,75... ...5,5	н.д.	п- р-п	0,8%	н.д.	1,2%	16000	нет	2	есть	нет	10/ А + 0,1/ К	SO-8
SC1545-1.8 (2 входа)	500	1,8	3	5 и 12 (±6%)	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	12000/ 5000	нет	10	есть (2 выхода)	есть	100/А	SO-8
SC4205	1000	1,8; 2,5/ 1,2... ...4,8 рег.	2	2,2...5,5	500	п- МОП	0,3%	н.д.	0,5%	1750/ 35	нет	н.д.	нет	есть	2,2 А + 0,1/ К	SOIC-8 EDP
SC4215A	2000	0,5...3,3	3	1,4...5,5	600	р- МОП	1,5%	н.д.	1,5%	3000/ 50	нет	н.д.	нет	есть	10/А + + 0,1/К	SOIC-8 EDP
SC8863	100	2,5; 2,8; 3; 3,3/ 1,25... ...5,5 рег.	3,5	2,5...6	240	р- МОП	4 мВ/В; 55 дБ/ 1 кГц	90/ 10 Гц... ...99 кГц	0,3 мВ/мА	200/2	нет	н.д.	нет	есть	1/К	SOT23-5 TSOT23-5
Texas Instruments Incorporated																
REG101 (REG104)	100 (1000)	2,5; 2,8; 2,85; 3; 3,3; 5/ 2,5... ...5,5 рег.	2,7 (3,5)	2,8...10	130 (580)	п- МОП	65 дБ/ 120 Гц	115/ 10 Гц... ...100 кГц	н.д.	500/ 0,2 (1700/ 0,5)	есть, вход С _{шп} (толь- ко для ИС с фикс. вых. напр.)	5	нет	есть	*/*	SOT23-5 SO-8 (SOT223-5 DDPAK-5)

Окончание табл. 2

Прибор	Номинальный выход- ной ток, мА	Напряжение стабили- зации, В	Модуль макс. погреш- ности напряж. стаб., %	Диапазон входного напряжения, В	Макс. U_{P3} , мВ	Тип РЭ	Коэф. стабилизации по входному напря- жению	С.к.з. напряжения шума на выходе, мкВ/ в полосе частот	Коэф. стабилизации по току нагрузки	Ток потребления, мкА/ в режиме отключения, мкА	Выход ИОН, В	Время установления, мс	Выход сигнала статуса	Вход отключения	Мин. C_H , мкФ/тип	Корпус
REG1117A	1000	1,8; 2,5; 2,85; 3,3; 5/ 1,25... ...13,5 рег.	2	1,5...15	1550	п- р-п	0,4%; 62 дБ/ 120 Гц	150/ 10 Гц... ...10 кГц	0,4%	5000	нет	30	нет	нет	10/Т	SOT223 DDPAK-3
TPPM0110 (2 выхода)	1500 + + 300	3,3 и 1,8	3 и 2	4,7...5,3	1000 и 2500	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1000	нет	10	нет	нет	100/ А + 0,1/ К (оба)	DWP-20 PowerPAD
TPS51100	3000	0,9...3,6 рег.	± 40 мВ	4,75... ...5,25 (маск. 6)	н.д.	п- МОП	н.д.	н.д.	н.д.	2000/1	есть, 0,9... ...1,8 В ± 20 мВ/ 10 мА	10	нет	есть (2 входа)	20/К	MSOP-10 PowerPAD
TPS71501	50	1,2...15 рег.	4	3...24	750	р- МОП	2,7 мВ/В; 60 дБ/ 100 кГц	575/ 200 Гц... ...100 кГц	0,5 мВ/мА	5,8	нет	750	нет	нет	0,47/*	SC70-5 SOT323
TPS71H01	500	1,2... ...9,75 рег.	3	2,5...10	1700	р- МОП	3,3 мВ/В; 44 дБ/ 120 Гц	89/ 10 Гц... ...100 кГц	0,11 мВ/мА	460/2	нет (75 ppm/°C)	140	есть	есть	10/А	TSSOP-20 PowerPAD
TPS72301	200	-1,2... ...10 рег. (внеш. делит.)	3	-2,7... ...11	500	п- МОП	0,04%/В; 65 дБ/ 1 кГц	н.д.	0,4%	500/2	нет	1000	нет	есть	2,2/К	SOT23-5
TPS73601	400	1,2...5,5 рег.	1	1,7...6	200	п- МОП	0,01%/В; 58 дБ/ 100 Гц	150/ 10 Гц... ...100 кГц	0,8%	1000/1	нет	600	нет	есть	*/*	SOT23-5 SOT223-5
TPS75501, TPS75601	5000	1,22...5 рег.	4	2,8...5,5	500	р- МОП	0,1%/В; 60 дБ/ 100 Гц	35/ 200 Гц... ...50 кГц (ИС с фикс. вых. напр.)	0,35%	200/1	нет	40	есть для TPS755xx с фикс. вых. напр.	есть	47/А	TO220-5 TO-263
TPS75901	7500	1,22...5 рег.	4	2,8...5,5	750	р- МОП	0,1%/В; 58 дБ/ 100 Гц	35/ 200 Гц... ...50 кГц (ИС с фикс. вых. напр.)	0,35%	200/1	нет	40	есть для TPS759xx с фикс. вых. напр.	есть	47/А	TO220-5 TO-263
TPS76201	100	0,7...5,5 рег.	3	2,7...10	1000	р- МОП	0,1%/В; 60 дБ/ 1 кГц	60/ 300 Гц... ...50 кГц	0,12 мВ/мА	30/2	нет	10	нет	есть	4,7/Т	SOT23-5
TPS786xx (бипо- лярный/ К-МОП)	1500	1,8; 2,5; 2,8; 3; 3,3/ 1,2... ...5 рег. (TPS 78601)	2	2,7...5,5	580	р- МОП	0,12%/В; 32 дБ/ 100 кГц	51/ 100 Гц... ...100 кГц при $C_{шп} =$ $= 4,7$ нФ	0,005 мВ/мА	385/1	есть (для подкл. $C_{шп}$), кроме TPS78601	50... ...110	нет	есть	1/К	SOT223-6 DDPAK-5
TPS79301 (бипо- лярный/ К-МОП)	200	1,22... ...5,3 рег.	2	2,7...5,5	200	р- МОП	0,12%/В; 43 дБ/ 100 кГц	36/ 100 Гц... ...100 кГц при $C_{шп} =$ $= 4,7$ нФ	0,025 мВ/мА	220/1	есть (для подкл. $C_{шп}$)	50...	нет	есть	2,2/К	SOT23-6

Примечания.

К — керамический конденсатор;

Т — танталовый оксидно-полупроводниковый конденсатор;

А — алюминиевый электролитический конденсатор;

(*) — конденсатор любого типа/номинала;

н.д. — нет данных.

PSRR приведено при его наличии, а напряжение шума — при отсутствии. Подавляющее число приборов имеют встроенную защиту от переплюсовки входного напряжения и электростатического разряда. Стабилизаторы, размещенные в многовыводных корпусах, могут быть снабжены измерительными входами (SENSE), позволяющими подключить нагрузку по 4-проводной схеме и тем самым повысить точность поддержания напряжения питания в определенной точке платы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование комбинированных (BiMOS, BiCMOS) и К-МОП технологий в производстве ИС линейных стабилизаторов напряжения позволяет снизить мощность, рассеиваемую стабилизатором и расширить его функциональные возможности. В перс-

пективе, установка цифруправляемых потенциометров и простейших аналого-цифровых преобразователей соответственно в цепи ООС и защиты СН обеспечит дистанционную регулировку выходного напряжения и порогов срабатывания схем мониторинга токов и напряжений. Интеграция элементов дискретного управления параметрами, энергонезависимой памяти и двунаправленных последовательных интерфейсов в стабилизаторы напряжения значительно расширит их функциональные возможности и позволит реализовать легко перенастраиваемые, «интеллектуальные» системы питания для мобильных и стационарных устройств. Такие тенденции уже просматриваются в специализированных ИС многоканальных стабилизаторов и контроллеров питания. Следовательно, появится

возможность переориентации аналоговых ИС от ограниченного круга специализированных приложений на широкий спектр систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bruce Hunter and Patrick Rowland, *Digital Designer's Guide to Linear Voltage Regulators and Thermal Management*. Texas Instruments, Application Report SLVA118, April 2003.
2. Texas Instruments *Power Management Selection Guide 4Q 2004*.
3. www.analog.com
4. www.analogictech.com
5. www.irf.com
6. www.linear.com
7. www.maxim-ic.com
8. www.micrel.com
9. www.national.com
10. www.semtech.com
11. www.ti.com