

ШУМЫ В ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРАХ, ИХ ИСТОЧНИКИ И МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ



Каждому разработчику электроники знакома цепочка «применение в разработке современных прецизионных микросхем — повышение требований к параметрам питающего напряжения». Отсюда — устойчивый спрос на микросхемы линейных стабилизаторов, являющиеся промежуточным звеном между сетевым источником питания и нагрузкой. Отсюда же — повышенные требования к напряжению на их выходе.

- *Что влияет на шум на выходе линейного стабилизатора?*
- *Как оценить подавление пульсаций сетевого источника питания?*
- *Какие технические решения применить для снижения уровня шумов?*

Ответ на поставленные вопросы — в предлагаемой вниманию читателей статье, открывающей серию материалов, посвященных шумам источников питания и их подавлению.

Наблюдается устойчивая тенденция снижения напряжения питания современных СБИС: 3,3; 1,8; 1,2; 0,8 В. В связи с этим ужесточаются требования к стабильности напряжения питания и, в частности, к уровню шумов, присутствующих на линии питания нагрузки.

Обобщенная структурная схема питания электронного устройства приведена на рис. 1. Сетевой источник питания (AC/DC преобразователь) обеспечивает напряжение основной шины питания.

Непосредственно рядом с нагрузкой, как правило, применяются линейные стабилизаторы (LDO) для получения необходимых номиналов напряжения.

И сетевой источник питания, и линейный стабилизатор являются источниками шумов. Однако эти шумы имеют разную природу. Основной шум, присутствующий на выходе сетевого источника питания, — это пульсации, обусловленные импульсным характером работы источника питания. Собственно шумами в электронике

называются тепловой, дробовой шум и фликкер-шум. Их основными источниками являются активные элементы (транзисторы, диоды) и резисторы. Линейный стабилизатор является источником именно таких шумов.

Шумы и пульсации с выхода сетевого источника питания попадают на вход линейного регулятора и каким-то образом преобразуются в нем. Какова степень подавления этих шумов в линейном стабилизаторе? Для ее количественной оценки существует такой параметр, как степень подавления пульсаций источника питания (power supply ripple rejection, PSRR).

Каким образом влияют шумы линейного стабилизатора на функционирование питаемой нагрузки, какой вклад вносят шумы сетевого источника питания, прошедшие через стабилизатор и тоже попавшие в нагрузку? Этим вопросам в последнее время был посвящен ряд публикаций [1-3]. На основе этих материалов мы начинаем публикацию серии статей.

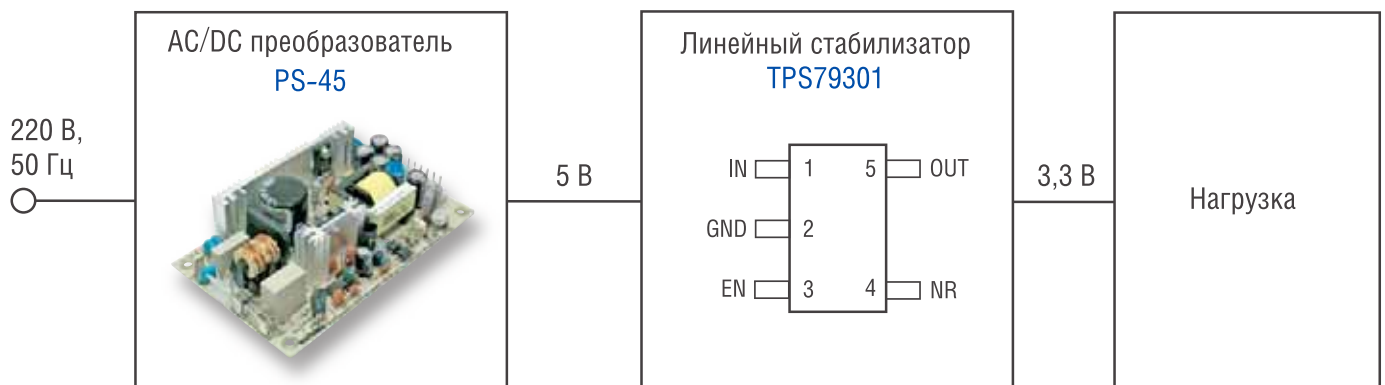


Рис. 1. Обобщенная схема питания электронного устройства

Итак, рассмотрим следующие вопросы:

- источники шумов в линейном стабилизаторе и методы уменьшения уровня шумов на его выходе;
- подавление пульсаций источника питания в линейном стабилизаторе;
- оценка уровня шумов и пульсаций на выходе линейного стабилизатора.

ИСТОЧНИКИ ШУМОВ В ЛИНЕЙНОМ СТАБИЛИЗАТОРЕ И МЕТОДЫ УМЕНЬШЕНИЯ УРОВНЯ ШУМОВ

Характеристики шумов

Линейный стабилизатор (LDO) является аналоговой цепью. Шумы линейного стабилизатора можно описать двумя характеристиками. Одна из них — спектральная плотность шумов, которая представляет собой кривую зависимости приведенного напряжения шумов в мкВ/ $\sqrt{\text{Гц}}$ от частоты.

Другой характеристикой является шум, приведенный к выходу стабилизатора, измеряемый в мкВ (среднеквадратическое значение). Это значение спектральной плотности шума, измеренной в диапазоне частот. Если этот диапазон достаточно широк, рассматриваемая характеристика является очень удобным инструментом оценки и сравнения уровня шумов.

Источники шумов находятся внутри линейного стабилизатора, однако для удобства расчетов и анализа все шумы приводятся к его выходу. Типичный подход к рассмотрению шумов в LDO заключается в следующем. Шумы всех источников сначала приводятся к входу дифференциального усилителя LDO. Термин «приводятся» означает, что шум каждого источника нужно разделить на коэффициент передачи цепи между источником шума и входом усилителя. Далее следует пересчитать все эти шумы к выходу стабилизатора. Для этого нужно умножить значение шума с входа усилителя на значение коэффициента передачи замкнутой цепи обратной связи (ОС). Коэффициент передачи замкнутой ОС стабилизатора

$$A_{CL} = \frac{U_{ВЫХ}}{U_{REF}}$$

где U_{REF} — опорное напряжение встроенного в LDO источника опорного напряжения.

Источники шумов в линейном стабилизаторе

На рис. 2 изображена упрощенная схема линейного стабилизатора с источниками шумов. Источниками шумов в LDO являются:

- источник опорного напряжения (ИОН),
- делитель напряжения R1R2,
- входной каскад операционного усилителя.

Основным источником шумов в стабилизаторе обычно является ИОН. Во многих случаях уменьшить уровень шумов можно с помощью фильтра нижних частот на его выходе (ФНЧ). Этот же фильтр (встроенный резистор, внешний конденсатор $C_{подав.шума}$) используется для подавления пульсаций источника питания (PSSR). Частота среза фильтра выбирается внутри диапазона от 1 до 500 Гц таким образом, чтобы максимально подавить все шумы ИОН. Отрицательным эффектом использования RC-фильтра является значительное увеличение времени заряда ИОН и, как следствие, времени включения стабилизатора. Этих проблем можно избежать, если применять малошумящие стабилизаторы с встроенной цепью быстрого заряда и высоким PSSR. Примером таким LDO могут служить стабилизаторы серий TPS793/4/5/6xx или TPS799xx компании Texas Instruments. Даже при большой емкости шумоподавляющего внешнего конденсатора 0,01 мкФ эти стабилизаторы включаются за 50-100 мкс.

Другим значительным источником шумов в LDO является **делитель напряжения R1R2**. Он генерирует тепловой шум мощностью $4kTR$, где k — постоянная Больцмана, T — температура в Кельвинах, R — сопротивление. Делитель напряжения подключен непосредственно к входу дифференциального усилителя, поэтому шум делителя усиливается всей петлей обратной связи стабилизатора. При расчете шумов этого источника нужно учитывать, что по переменному току резисторы R1, R2 включены параллельно. Для того

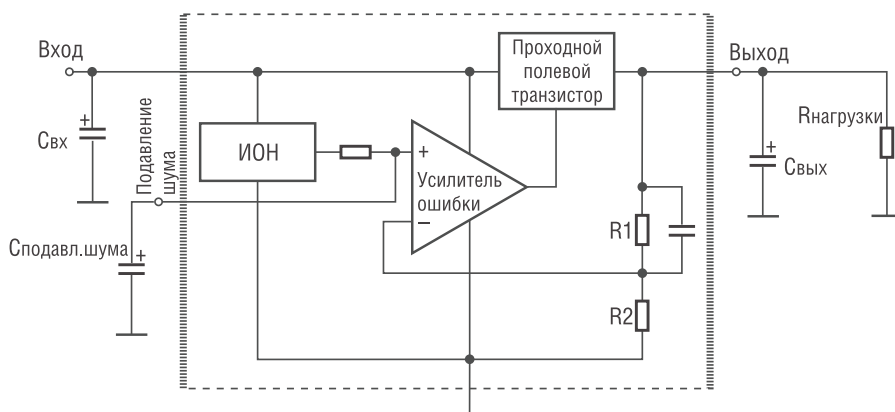


Рис. 2. Упрощенная структурная схема линейного стабилизатора

чтобы снизить уровень шумов делителя, нужно просто уменьшить сопротивление резисторов. Недостатком такого подхода является протекание большего тока через делитель обратной связи. Разработчики стабилизаторов идут на такую «жертву», когда очень важно снизить уровень шума прибора. Конечно, эта мера недоступна разработчику электронной техники, который использует готовый стабилизатор «как есть».

Еще один источник шумов стабилизатора — **дифференциальный усилитель (усилитель ошибки)**. Обычно его входной каскад имеет высокий уровень усиления. Любой шум, возникающий внутри стабилизатора, пройдя по цепи ОС, усиливается этим каскадом. К сожалению, никакими внешними компонентами нельзя уменьшить уровень шумов этого источника внутри стабилизатора. *Все основные источники шумов в стабилизаторе (ИОН, делитель напряжения, входной каскад усилителя ошибки) подключены к входу дифференциального усилителя и поэтому их шумы не ослабляются внутри стабилизатора.*

Для многих оказывается сюрпризом, что **мощный проходной полевой транзистор**, на который приходится основная часть падения напряжения в стабилизаторе, не вносит значительного вклада в уровень шумов стабилизатора. Причиной этого является отсутствие усиления шума. Чтобы найти уровень шума, создаваемого проходным транзистором, надо разделить его шум на коэффициент передачи разомкнутой ОС между выходом транзистора и входом усилителя. Этот коэффициент передачи обычно довольно большой, поэтому результирующий шум от проходного транзистора незначителен, и его можно не учитывать.

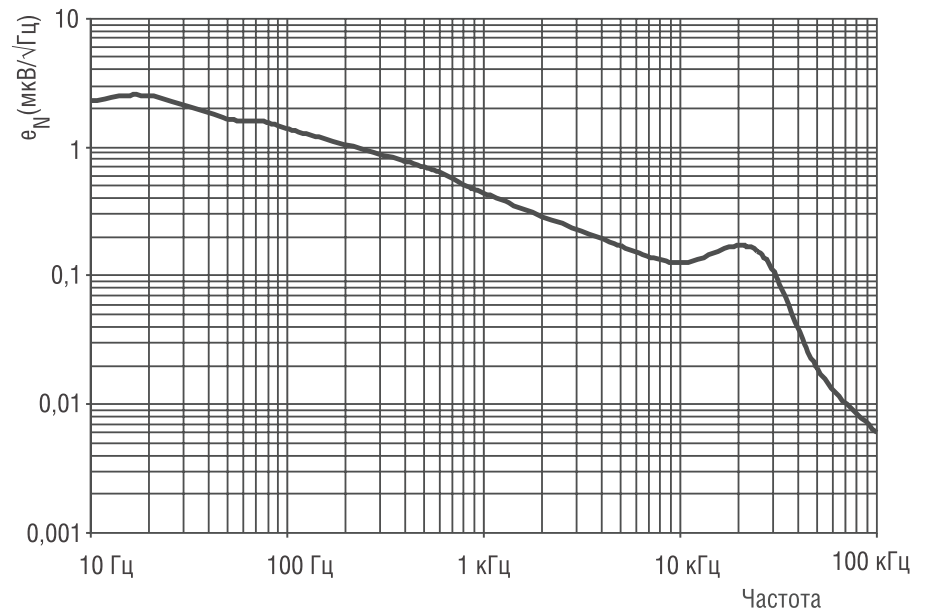


Рис. 3. Спектральная плотность шума линейного стабилизатора

Отметим, что **ни выходная емкость, ни ток нагрузки, ни входное напряжение** не оказывают прямого действия на уровень выходного шума, по крайней мере, в первом приближении. Однако ток нагрузки и выходная емкость могут влиять на уровень шумов не прямо, а опосредованно. Как указывалось выше, выходной шум рассчитывается путем умножения шума, приведенного к входу усилителя, на коэффициент передачи замкнутой цепи обратной связи. Это коэффициент не является постоянным во всем диапазоне частот и уменьшается с ростом частоты. Основная цель анализа обратной связи в стабилизаторе заключается в том, что малый запас по фазе приводит к увеличению коэффициента усиления в замкнутой цепи ОС вблизи частоты единичного усиления и, следовательно, увеличению уровня шума на выходе. Этот эффект хорошо виден по спектральной плотности шума (см. рис. 3).

Большой ток нагрузки и малая емкость выходного конденсатора вносят вклад в уровень шума поскольку, поскольку оба эти параметра делают LDO менее стабильным. Уменьшение запаса по фазе

увеличивает коэффициент передачи замкнутой цепи ОС, что приводит к возрастанию уровня шума на выходе.

Применение **конденсатора Свых с более высоким эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR)** уменьшает уровень шума на выходе стабилизатора. Большое последовательное сопротивление ESR создает нуль на низкой частоте, который улучшает устойчивость LDO. Повышенная устойчивость увеличивает запас по фазе, уменьшает коэффициент передачи цепи ОС и, соответственно, напряжение шумов на выходе. Оптимизация величины емкости выходного конденсатора и тока нагрузки увеличивает запас по фазе и снижает коэффициент передачи замкнутой цепи ОС. Устойчивость можно оптимизировать с помощью кривых устойчивости, которые приводятся в фирменных описаниях (data sheets) некоторых моделей LDO.

Существует еще одно техническое решение для уменьшения уровня шумов: можно **подключить конденсатор параллельно верхнему резистору в делителе обратной**

связи. На высоких частотах конденсатор уменьшает коэффициент передачи замкнутой цепи ОС и, следовательно, уровень шума на выходе. Однако эта мера может увеличить время включения прибора, эта задержка обусловлена необходимостью заряда этого конденсатора, на что требуется время. Указанное противоречие между снижением уровня шума и увеличением времени включения LDO разрешено в стабилизаторах серии TPS799xx Texas Instruments: для снижения уровня шумов они имеют встроенный конденсатор, а для ускорения включения – специальную ускоряющую цепь.

ВЫВОДЫ

Существует несколько способов снижения уровня шума на выходе линейного стабилизатора.

Самый простой – выбрать малошумящий стабилизатор с вы-

соким PSSR. Примерами таких стабилизаторов являются приборы серий TPS793/4/5/6xx, оптимизированных для малошумящих приложений и серии TPS799xx с низким током покоя.

Второй способ – использовать конденсатор $C_{\text{подав.шума}}$ большой емкости, но в этом случае дальнейшее улучшение ситуации невозможно.

Наконец, можно выбрать малое сопротивление резисторов делителя в цепи обратной связи (у LDO с регулируемым выходом) и подключить небольшой конденсатор параллельно верхнему резистору делителя, если его подключение возможно у конкретной модели стабилизатора.

Оптимизация величины емкости выходного конденсатора и тока нагрузки являются более тонкими способами и используются в особо важных случаях.

ЛИТЕРАТУРА

1. John C. Teel. Understanding noise in linear regulators/ Application Journal, Q2 2005, Texas Instruments

2. John C. Teel. Understanding power supply ripple rejection in linear regulators/ Application Journal, Q2 2005, Texas Instruments

3. Gabriel A. Rincyn-Mora, Vishal Gupta. Power Supply Ripple Rejection and Linear Regulators: What's all the noise about?/ <http://www.powermanagementdesignline.com>

По вопросам получения технической информации, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.
E-mail: ac-dc-206@a.compel.ru.



ЛИНЕЙНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ

Модель	Вых. мА	Особенности, тип корпуса	Пульт ДУ	WLAN	RF (Большой PSRR + малый шум)	С MSP430	С OMAP™	С DSP и FPGA	Корпус ниже 1,2 мм
TPS769xx	100	$I_{\text{load}} = 17$ мА, бюджетное решение для $I_{\text{load}} < 100$ мА, SOT23							
LP2981	100	U_{in} до 16 В, малое время переключения, SOT23							
TPS731xx	150	$C_{\text{in}}, C_{\text{out}}$ не нужны, точность 1%, $U_{\text{in}} = 1.7-5.5$ В, U_{out} по заказу (опция), SOT23						✓	
LP2985	150	Бюджетное решение для $I_{\text{load}} < 150$ мА, SOT23							
TPS793xx	200	Замена LP2985, RF, Свх, $C_{\text{in}}, C_{\text{out}}$ керамические, SOT23/WCSP	✓	✓	✓		✓	✓	✓
TPS799xx	200	Замена LP3985 с $I_{\text{load}} = 40$ мА, TSOT23/WCSP/SON	✓	✓	✓		✓	✓	✓
TPS732xx	250	Без $C_{\text{in}}, C_{\text{out}}$, точность 1%, $U_{\text{in}} = 1.7-5.5$ В, U_{out} по заказу (опция), SOT23/DFN					✓	✓	✓
TPS766xx	250	$I_{\text{load}} = 35$ мА, сигнал Power Good, бюджетное решение для $I_{\text{load}} < 250$ мА, SOIC8					✓	✓	
TPS736xx	400	Без $C_{\text{in}}, C_{\text{out}}$, точность 1%, $U_{\text{in}} = 1.7-5.5$ В, U_{out} по заказу (опция), SOT23/DFN/SOT223						✓	✓
TPS776xx	500	Бюджетное решение для $I_{\text{load}} < 500$ мА, SOIC and PowerPAD TSSOP (PWP) package						✓	✓
TPS795xx	500	RF, $C_{\text{in}}, C_{\text{out}}$ керамические, SOT23			✓			✓	



Информация о применении и заказ образцов
powermn-102@a.compel.ru



www.compel.ru