

## ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ LDO



В прошлом, четвертом, номере «Новостей электроники» мы опубликовали статью Сергея Кривандина о шумах в линейных стабилизаторах, написанную на основе материала компании Texas Instruments.

Статья специалиста компании **National Semiconductor** рассматривает ту же, важную при построении современных источников питания, проблему с другой стороны: не с точки зрения схемотехники (каким образом включить микросхему линейного стабилизатора и какие внешние компоненты использовать для снижения шумов), а с точки зрения микроэлектроники (какими средствами конструкторы микросхем LDO из National добиваются снижения шума).

В статье рассмотрены основные принципы оптимизации характеристик линейных стабилизаторов на примере популярных микросхем National Semiconductor: LP5900, LP3990, LP38843, LM9070.

### ВВЕДЕНИЕ

Стабилизаторы с низким падением напряжения (Low Dropout regulators, LDO) первоначально разрабатывались, чтобы обеспечить меньшее падение напряжения на микросхеме питания по сравнению с обычными линейными стабилизаторами. Однако затем технология LDO начала стремительно развиваться, и сегодня появляются достаточно сложные устройства, которые с их предшественниками связывает только то, что они действительно обеспечивают сравнительно небольшую разницу между входным и стабилизированным выходным напряжениями питания.

### ТРЕБОВАНИЯ И СПЕЦИФИКАЦИИ

Для любого линейного стабилизатора имеется ряд важных характеристик. Назовем некоторые из них:

*Drop out Voltage (падение напряжения)* — минимально допустимая разница между входным и выходным напряжением, которая необходима для поддержания величины стабилизированного выходного напряжения в установленных границах. Чем меньше это

значение, тем ниже потери энергии на проходном транзисторе (pass transistor). Меньшие потери энергии означают более высокий КПД, а кроме этого — меньшую рассеиваемую энергию, а значит — меньше проблем с организацией теплоотвода.

*Input voltage (входное напряжение)* — минимальное и максимальное значение напряжения на входе микросхемы. Как правило, для питания внутренних схем стабилизатора используется входное напряжение, по этой причине существует некое минимально допустимое значение для этого напряжения. Кроме этого, диапазон допустимого входного напряжения зависит также и от того, по какой технологии изготавливается микросхема LDO.

*PSSR — Power Supply Rejection Ratio* — коэффициент подавления пульсаций напряжения на входе. Эта величина (PSSR) может быть охарактеризована как способность стабилизатора подавлять (фильтровать) помехи, которые присутствуют во входном напряжении. Чем меньше помех поступает с входа на выход микросхемы, тем лучше производится подавление помех и тем выше значение PSSR.

*Quiescent current (I<sub>ddq</sub>) или ground current* — собственный ток потребления стабилизатора, он же — «статический ток» или «ток на землю». Как правило, это значение увеличивается вместе с увеличением тока на нагрузке, и обычно значение статического тока много меньше значения выходного тока. В тех случаях, когда выходной ток имеет небольшую величину, статический ток может быть весьма значительным. В любом случае, I<sub>ddq</sub> — это та характеристика, на которую обязательно стоит обратить внимание.

*Noise performance* — шум, источником которого является сам LDO-стабилизатор. Чем ниже уровень этого шума, тем лучше характеристики регулятора. Этот параметр не всегда имеет первостепенное значение, однако при использовании LDO для питания чувствительных аналоговых или радиочастотных схем он действительно является одним из важнейших.

*Переходные характеристики (Transient performance)* — хорошие переходные характеристики позволяют уменьшить падение или выброс выходного напряжения, которое возникает в результате мгновенного изменения тока потребления или изменения входного напряжения.

*Точность стабилизации выходного напряжения (Output voltage tolerance)* — нам необходимо, чтобы выходное напряжение оставалось в границах, которые определяются именно этим параметром.

На самом деле, существует значительно большее количество полезных характеристик, однако в данной статье мы ограничимся рассмотрением только тех, которые были упомянуты выше. Любой проект по разработке LDO-стабилизатора представляет собой

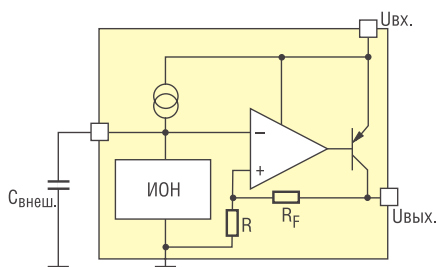


Рис. 1. Схема LDO-стабилизатора

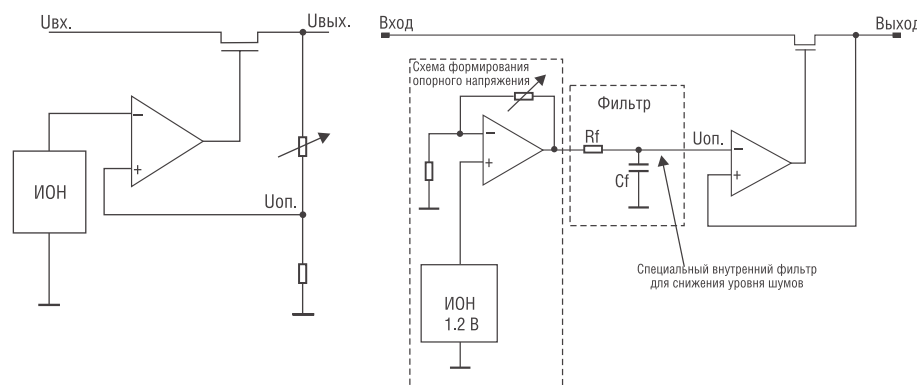
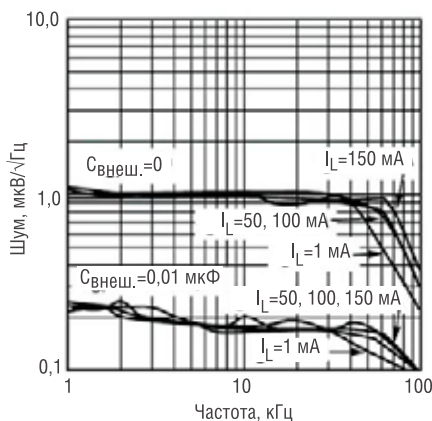


Рис. 2. Традиционная (слева) и современная (справа) архитектуры LDO-стабилизатора

поиск оптимального решения с учетом множества различных параметров — при этом для того, чтобы получить оптимальные значения одного из параметров, часто приходится жертвовать другими.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК**

Для примера рассмотрим требования к собственному шуму — этот параметр чрезвычайно важен, когда LDO используется для питания чувствительных аналоговых или радиочастотных цепей.

В схемах LDO основным источником шума является модуль bandgap (источник опорного напряжения — ИОН). Если необходимо снизить собственные шумы LDO-стабилизатора, то в первую очередь необходимо обратить внимание именно на этот модуль. Уровень шумов можно понизить с помощью увеличения площади транзисторов, но тогда увеличиваются размеры и стоимость микросхемы. Другим

способом является повышение тока коллектора, который протекает через дифференциальную пару модуля ИОН. Недостатком является то, что одновременно при этом будет увеличиваться и значение статического тока. Другим часто используемым способом для уменьшения уровня шумов является внешний конденсатор, который подключается к выводам внутренней схемы ИОН. Этот конденсатор используется в качестве фильтра и помогает значительно улучшить шумовые характеристики микросхемы. Недостатком такого способа является использование дополнительного внешнего компонента и необходимость добавить еще один вывод к корпусу — для подключения конденсатора. Итак, в этом случае необходим поиск оптимального решения, когда стоимость и размер схемы вступают в противоречие с требованиями к низкому уровню собственных шумов. На рисунке 1 показана схема с использованием внешнего кон-

денсатора и графики зависимости шума напряжения от частоты на примере обычного CMOS LDO — микросхемы LP3985. На графиках, расположенных в правой части рисунка 1, можно заметить существенно уменьшение уровня собственных шумов при подключении внешнего конденсатора (емкостью  $C_{внеш} = 0,01 \text{ мкФ}$ ). Заметим также, что использование внешнего конденсатора не только помогает снизить уровень шумов для схемы ИОН, но и улучшает PSSR-характеристики схемы.

Для того, чтобы добиться оптимальных характеристик для одной группы параметров, при этом не оказывая отрицательного влияния на другие характеристики, часто приходится вносить изменения в архитектуру микросхемы (см. рисунок 2). Слева на рисунке 2 показана блок-схема обычного LDO-стабилизатора — выходное напряжение с помощью резистивного делителя напряжения (может использоваться как внутренний, так и внешний делитель) подается на вход усилителя ошибки (рассогласования), где сравнивается с внутренним опорным напряжением. Выход усилителя рассогласования управляет проходным транзистором (pass transistor), который и определяет значение выходного напряжения.

В правой части рисунка 2 показана архитектура, которая реализована в современных микросхемах LDO серии LP5900, которые были специально спроектированы так, чтобы получить низкий уровень собственных шумов и улучшить характеристики PSSR. Здесь мы видим, что напряжение на выходе модуля ИОН усиливается до значения, которое должно составлять выходное напряжение, затем оно подается на внутренний фильтр для подавления шумов и после этого — на вход усилителя ошибки. Выходное напряжение LDO непосредственно подается на вход усилителя ошибки, резистивный делитель здесь не используется.

В микросхеме LP5900 отсутствие резистивного делителя напряжения помогает снизить уровень

собственных шумов. Кроме этого, для подавления шумов в усиленном опорном напряжении используется фильтр, который располагается перед входом усилителя ошибки (рассогласования). В результате мы добиваемся существенного улучшения характеристик для собственных шумов и PSSR. Во всем диапазоне выходных токов (вплоть до 100 мА) наибольшее значение уровня шума для LP5900 определено в спецификациях как 10 мкВ (среднеквадратичное), что является достаточно низким уровнем. На рисунке 3 показан график зависимости PSSR от частоты для LP5900. Очевидно, что по уровню собственных шумов и по PSSR микросхема LP5900 значительно превосходит «обычные» LDO-стабилизаторы (или другие LDO-стабилизаторы, которые специально проектируются для снижения уровня шумов). Можно добиться сравнимых характеристик и при использовании традиционной архитектуры LDO-стабилизаторов, однако при этом приходится жертвовать другими важными параметрами. В противоположность такому подходу, микросхема LP5900 имеет достаточно низкое значение статического тока  $I_{ddq}$  (типичное значение – 25 мкА при нулевом выходном токе) и не требует использования дополнительных внешних компонентов – таких, как подключение внешних конденсаторов к схеме ИОН.

Как сказано выше, сегодня LDO уже не являются просто стабилизаторами с низким падением напряжения – основная схема сегодня изменяется и оптимизируется с учетом потребностей каждого конкретного приложения. Хорошим примером является LP5900, ниже мы рассмотрим другие примеры оптимизации LDO-стабилизаторов под конкретные требования.

LP3990 – специально проектировался для питания цифровых процессоров, таких как baseband-процессоры или DSP, в мобильных системах. Схема управления данной микросхемы специально оптимизирована для стабиль-

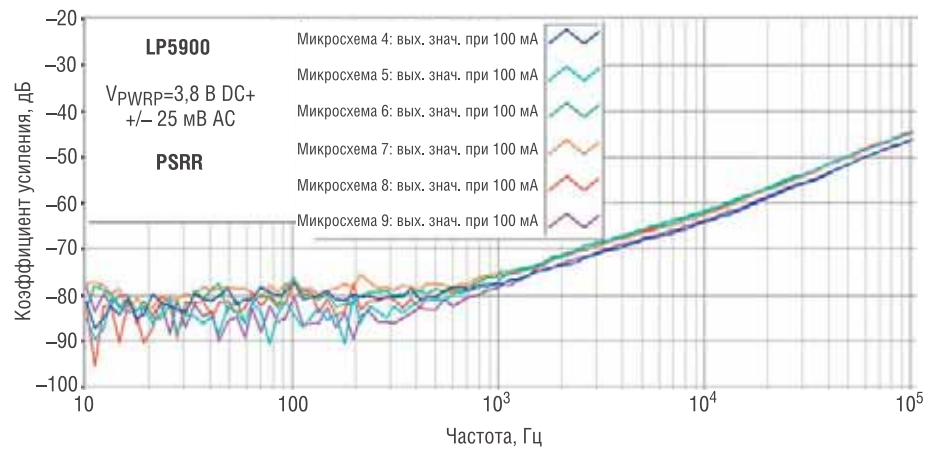


Рис. 3. Характеристика PSSR в зависимости от частоты для нескольких микросхем LP5900

ной работы с самыми различными входными и выходными конденсаторами, позволяя использовать конденсаторы с малой емкостью и обеспечивать при этом приемлемые переходные характеристики при изменении входного напряжения и тока на нагрузке. Используемая внутренняя схема опорного напряжения обеспечивает низкое значение выходного напряжения (до 0,8 В).

LP38843 – обеспечивает высокое значение выходного тока (до 3 А) при низких выходных напряжениях (до 0,8 В) и специально предназначена для таких приложений, где необходимо получить низковольтное стабилизированное напряжение с малым уровнем шума и большими токами потребления. В том случае, когда LDO-стабилизатор должен обеспечивать высокий ток на нагрузке, всегда возникают проблемы с температурным режимом, так как необходимо обеспечить теплоотвод для энергии, которая рассеивается на микросхеме. Оптимальным решением является уменьшение падения напряжения на стабилизаторе. Однако в том случае, когда необходимо получить низкие значения выходного напряжения, малое падение напряжения на стабилизаторе требует также соответственного уменьшения входного напряжения – при этом традиционные схемы LDO-стабилизаторов при таких низких входных напряжениях могут уже

не работать. Микросхема LP3884 имеет дополнительный вывод, который используется для управления затвором силового N-MOS транзистора. Благодаря такой архитектуре мы получаем стабилизатор, который способен обеспечить высокий выходной ток и низкое падение напряжения (примерно 210 мВ при 3 А) при чрезвычайно низких напряжениях на входе и выходе стабилизатора (минимальное значение выходного напряжения – 0,8 В). Однако для того, чтобы добиться таких характеристик для низковольтных систем понадобилось использовать дополнительное внешнее напряжение  $U_{смещ}$  (5 В, ток потребления – несколько мА).

LM9070 – данный LDO-стабилизатор специально предназначен для автомобильной электроники. Он имеет защиту от неправильного подключения питания, широкий температурный диапазон, защиту от перегрузки по выходному напряжению до 60 В. Кроме этого, при проектировании данной микросхемы обеспечивалась повышенная устойчивость к электромагнитным помехам.

По вопросам заказа специальных брошюр National Semiconductor, а также по вопросам технических консультаций, заказа образцов и поставки обращайтесь в компанию КОМПЭЛ.

E-mail: powermn-207@a.compel.ru.