

# ШУМЫ В ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРАХ. ЧАСТЬ 3: ПОДАВЛЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ СЕТЕВОГО ИСТОЧНИКА В ЛИНЕЙНОМ СТАБИЛИЗАТОРЕ



*Предлагаемый материал является заключительным в серии публикаций, посвященных источникам шумов в линейных стабилизаторах и методам их уменьшения. В первой части мы отметили основные источники шумов линейного стабилизатора и рассмотрели методы снижения уровня шумов. Вторая часть была посвящена преобразованию в LDO пульсаций, пришедших с выхода сетевого источника питания [2].*

*Сегодня мы рассмотрим возможные методы улучшения PSSR в линейных стабилизаторах [3].*

## ВВЕДЕНИЕ

Сетевой источник питания (АС/DC-преобразователь) является источником пульсаций и шумов, которые попадают на вход линейного стабилизатора и преобразуются в нем. Задача линейного стабилизатора — обеспечить независимое стабильное постоянное напряжение. Шумы на выходе стабилизатора уменьшают динамический диапазон таких чувствительных цепей, как АЦП/ЦАП, ФАПЧ, генераторов управляемых напряжением и т.п. Для количественной оценки преобразования пульсаций источника питания в LDO используется такой параметр, как степень подавления пульсаций источника питания (power supply ripple rejection, PSRR). Авторы [3] используют следующее определение PSRR:

$$PSRR = 20 \log \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}},$$

где  $U_{\text{ВЫХ}}$  — напряжение на выходе линейного стабилизатора,

$U_{\text{ВХ}}$  — напряжение питания стабилизатора (входное напряжение). Они используют соотношение, обратное [1, 2]. Упрощенная схема линейного стабилизатора с источниками шумов изображена на рис. 1.  $R_1 R_2$  — делитель цепи обратной связи,  $R_{\text{ESR}}$  — эквивалентное последовательное сопротивление

передачи разомкнутой цепи обратной связи,  $BW_A = (2\pi R_{O-A} C_{O-A})^{-1}$  — полоса пропускания фильтра на выходе усилителя (о фильтре см. также [4]).

Проблема подавления пульсаций в LDO, как мы уже видели в [2], заключается в ограниченной полосе пропускания цепи ОС. Эффективное подавление достигается только в пределах ширины полосы пропускания, ширина которой составляет несколько килогерц. Для подавления шумов за ее пределами применя-

ют  $C_{\text{ВЫХ}}$ . Емкость конденсатора и его эквивалентное последовательное сопротивление образуют RC-фильтр. На рис. 2 показаны типичные частотные характеристики линейных стабилизаторов (кривые 1 и 2).

## КАК ДОСТИЧЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОДАВЛЕНИЯ ШУМА И ПУЛЬСАЦИЙ?

Самый простой способ — включить два LDO последовательно (рис. 3а). Однако это теоретически возможное решение вряд ли практически целесообразно: два стабилизатора требуют большей мощности, большего входного напряжения, что неприемлемо в портативных устройствах и устройствах с батарейным питанием. Кроме того, такое решение не расширяет полосу эффективного подавления шумов и пульсаций.

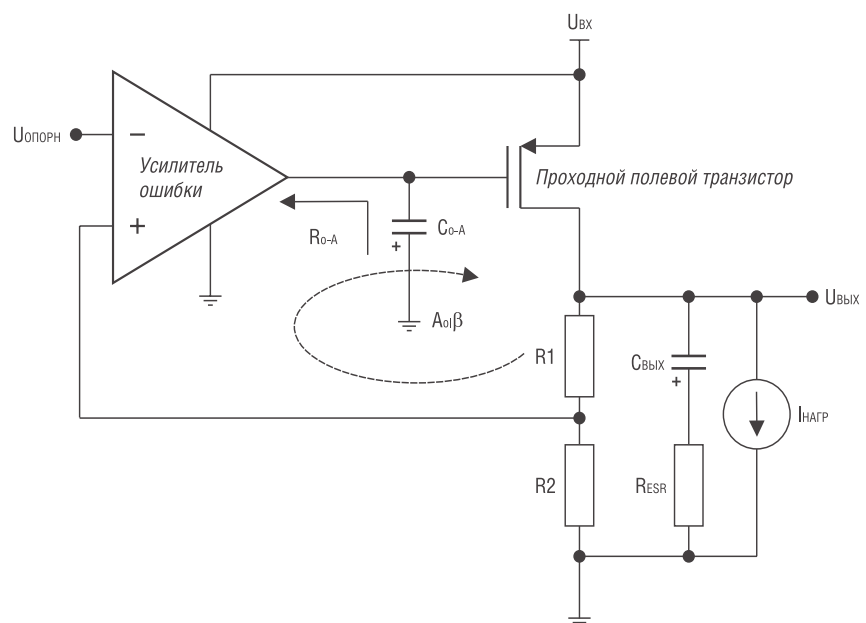


Рис. 1. Обобщенная схема линейного стабилизатора

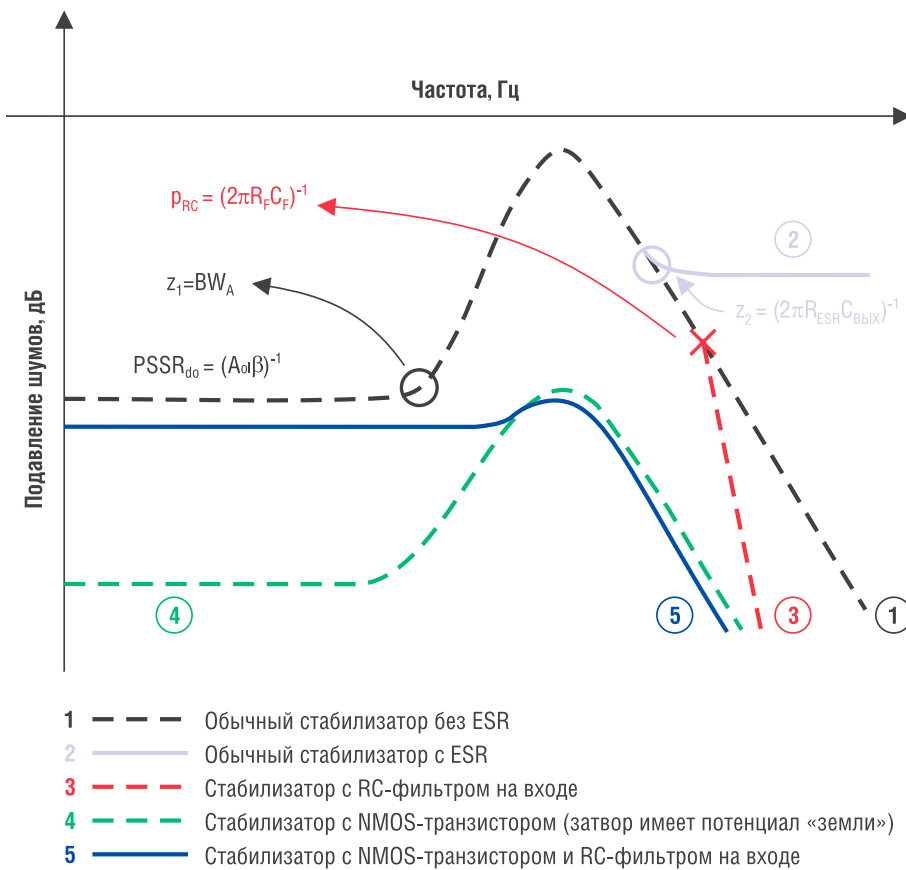


Рис. 2. Частотные характеристики линейных стабилизаторов [3]

Для расширения полосы PSSR и подавления шумов на высоких частотах можно применить RC-фильтр между источником питания и LDO (рис. 3б). Соответствующая частотная характеристика приведена на рис. 2, кривая 3. Однако последовательный резистор требует дополнительной мощности от источника питания, поскольку на резисторе падает значительное напряжение. Уменьшение номинала этого резистора требует соответствующего увеличения емкости конденсатора, что не всегда можно реализовать в однокристальных решениях.

Как же еще уменьшить уровень шума источника? В работе [3] предложено подключить МДП-транзистор с N-каналом (рис. 3в). Транзистор шунтирует шум и не дает ему проникнуть на вход LDO. Ток канала, управляемый напряжением затвора, свободен от высокочастотного шума. Сопротивление фильтра не включено последовательно с входом источника питания и поэтому не пропускает постоянный ток. В результате сопротивление резистора можно сделать большим, что позволит получить хороший фильтр подавления шумов. Улучшить функционирование цепи можно, добавив цепь накачки (рис. 3г). Результирующая частотная характеристика показана на рис. 2 кривой 5. Поскольку в новой схеме резистор  $R_F$  может иметь большое сопротивление, его значение выбирается, исходя из требуемой полосы пропускания разомкнутой цепи ОС стабилизатора. RC-фильтр подавляет также собственные шумы цепи накачки.

Разработан прототип рассмотренного линейного стабилизатора с NMOS-транзистором и 0,5 мкм CMOS цепью накачки. Проведен расчет устройства при напряжении 1 В и токе канала транзистора 10 мА. RC-фильтр, состоящий из резистора 700 кОм и конденсатора 70 пФ, имеет угловую частоту среза 3 кГц. Наихудшее значение PSSR при наилучших условиях (низкое

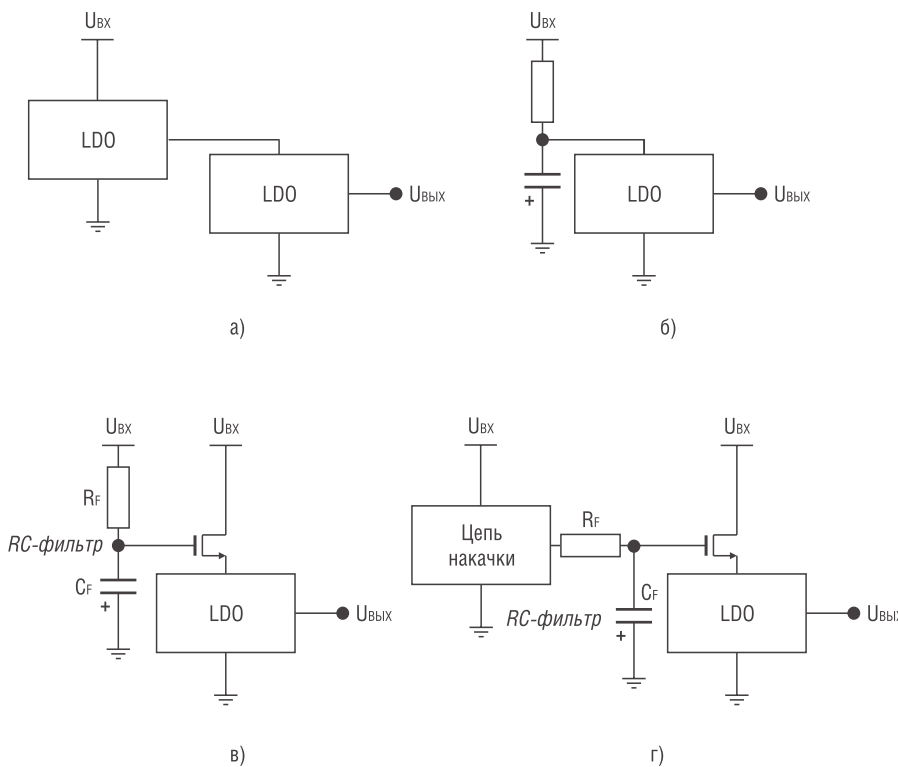


Рис. 3. Схемы линейных стабилизаторов с улучшенным PSSR

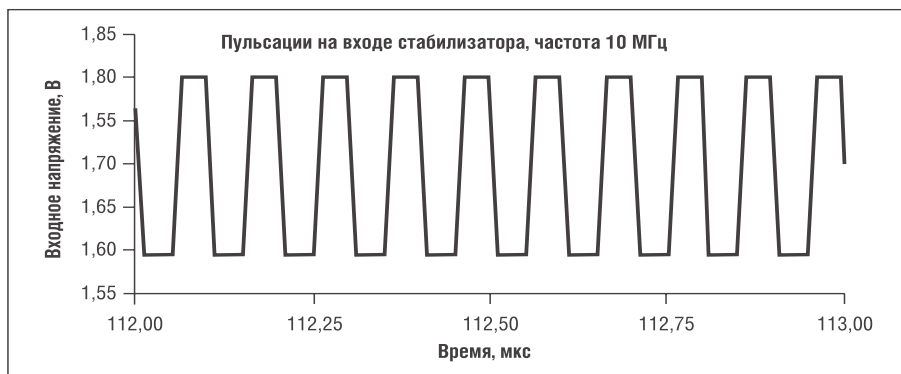
напряжение питания и большой ток нагрузки) получается на частоте 10 МГц. На рис. 4 приведены осциллограммы пульсаций с частотой 10 МГц и размахом 200 мВ на входе стабилизатора (а) и пульсации с той же частотой и размахом 1 мВ на выходе стабилизатора (б). Показано, что стабилизатор с дополнительными цепями подавляет шум на 46 дБ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

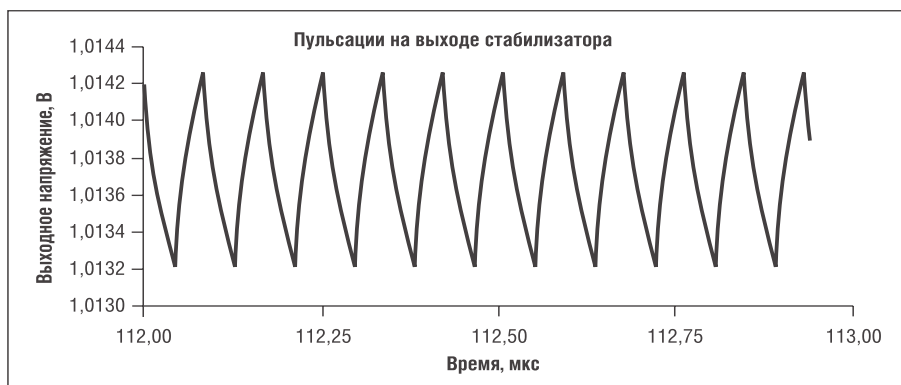
Снижение напряжения питания современных ИС предъявляет все более жесткие требования к снижению уровня шумов и пульсаций на выходе линейных стабилизаторов. В работах [1-4] показаны различные способы подавления шумов, как на уровне чипа — для разработчиков ИС [3,4], так и на схемотехническом уровне — для инженеров, применяющих LDO-стабилизаторы на практике [1,2].

### 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.powermanagementdesigntline.com>
4. Брон Эрнест. Достижения в области технологий LDO / Новости электроники, 2006, №5, с.11.



а)



б)

Рис. 4. Осциллограммы напряжений на входе (а) и выходе (б) предложенного стабилизатора

## Technology for Innovators™

### ЛИНЕЙНЫЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ

Модель	Вых. ток, мА	Особенности, тип корпуса
TPS769xx	100	$I_{LIM} = 17$ мА, бюджетное решение для $I_{LIM} < 100$ мА, SOT23
LP2981	100	$U_{IN}$ до 16 В, малое время переключения, SOT23
TPS731xx	150	$C_{IN}, C_{OUT}$ по умолчанию, точность 1%, $U_{IN} = 1,7-5,5$ В, $U_{OUT}$ по заказу (опция), SOT23
LP2985	150	Бюджетное решение для $I_{LIM} < 150$ мА, SOT23
TPS793xx	200	Замена LP2985, RF, Сок, $C_{IN}, C_{OUT}$ керамические, SOT23/WCSP
TPS799xx	200	Замена LP2985 с $I_{LIM} = 40$ мА, TSOT23/WCSP/SON
TPS732xx	250	Без $C_{IN}, C_{OUT}$ , точность 1%, $U_{IN} = 1,7-5,5$ В, $U_{OUT}$ по заказу (опция), SOT23/QFN
TPS766xx	250	$I_{LIM} = 35$ мА, сигнал Power Good, бюджетное решение для $I_{LIM} < 250$ мА, SOIC8
TPS736xx	400	Без $C_{IN}, C_{OUT}$ , точность 1%, $U_{IN} = 1,7-5,5$ В, $U_{OUT}$ по заказу (опция), SOT23/QFN/SOT223
TPS776xx	500	Бюджетное решение для $I_{LIM} < 500$ мА, SOIC и PowerPAD TSSOP (PMP)
TPS796xx	500	RF, $C_{IN}, C_{OUT}$ керамические, SOT23

АЦП / ЦАП

ИС управления мощностью

Микроконтроллеры

Беспроводная продукция

Источники питания

Усилители и компараторы

Логические ИС

Датчики

Цифровые сигнальные процессоры

www.compel.ru

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