

## ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ LDO В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

*Рассматриваются основные сведения об LDO-регуляторах, их использование в цепях питания, собственные шумы LDO и способы их уменьшения.*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время большая часть радиоэлектронной аппаратуры запитывается от импульсных вторичных источников. Такие источники имеют высокие значения КПД и удовлетворительные массо-габаритные показатели. Однако, им свойственны повышенные уровни высокочастотных помех по сетевому входу, также ВЧ-пульсации и импульсные помехи на выходе. Большая группа аппаратуры требует применения источников питания с гораздо более низким уровнем пульсаций и электромагнитных помех. Такие требования предъявляются к питанию прецизионной высокочувствительной аппаратуры: датчиков физико-химического состава веществ, спектральных приборов, усилительно-измерительных трактов и т.п. Они необходимы для использования в аналоговых и аналого-цифровых устройствах и системах, в которых амплитуда полезного сигнала составляет доли и единицы милливольт.

### I. ПРОБЛЕМАТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛАССИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Продолжительное время в распоряжении разработчиков измерительных устройств были только классические стабилизаторы с минимальным падением на регулирующем элементе от 0,8 В и выше. Это связано с тем, что в качестве регулирующего элемента применялся p-n-транзистор, включенный по схеме с общим коллектором. Чтобы открыть такой транзистор до насыщения, необходим дополнительный источник питания, напряжение которого превышает входное напряжение. С появлением мощных и компактных r-канальных полевых транзисторов, их начали использовать в стабилизаторах напряжения, используя схему включения с общим истоком. Такая схема позволяет при необходимости полностью открыть транзистор, и падение напряжения на его переходе фактически будет зависеть только от сопротивления канала и тока нагрузки. Эта концепция заложена в основу LDO (Low DropOut)-стабилизаторов.

### II. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ LDO-РЕГУЛЯТОРОВ В ЦЕПЯХ ПИТАНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Одним из назначений LDO является уменьшение пульсаций напряжения на шине питания, что обеспечивает измерения с меньшей погреш-

ностью. Чтобы очистить шину питания от высокочастотных пульсаций, находят применение различные схемы включения LDO-регуляторов, основные из них – использование только LDO-регулятора и включение LDO-регулятора после dc/dc-преобразователя.

Основным и очень важным параметром для LDO-регуляторов является PSRR – коэффициент подавления пульсаций напряжения питания (Power supply rejection ratio). Использование LDO с высоким PSRR вместе с преобразователем постоянного тока (рисунок 1) может обеспечить более высокую эффективность по сравнению с подходом, использующим только LDO, и гораздо меньший уровень шума по сравнению с использованием только dc/dc преобразователя без LDO (рисунок 2).

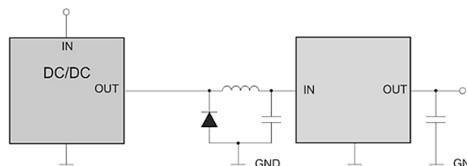


Рис. 1 – последовательное включение DC-DC и LDO-регулятора

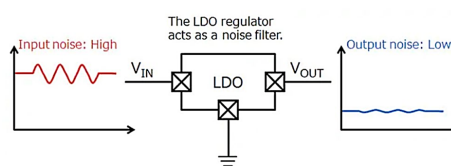


Рис. 2 – снижение уровня шума цепи питания LDO-регулятором

### III. ШУМЫ В LDO-РЕГУЛЯТОРАХ

Шум – это физическое явление, источниками которого являются резисторы и транзисторы, используемые в схеме. LDO-регулятор имеет собственные шумы, которые порождаются встроенным источником опорного напряжения (ИОН) bandgap, формируемым на p-n переходе. Именно поэтому в малошумящих LDO присутствует дополнительный вывод NR (noise reduction), к которому подключается внешний конденсатор (рисунок 3).

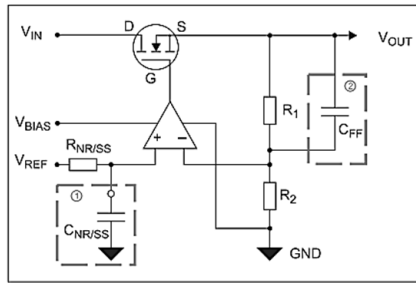


Рис. 3 – способы уменьшения шума и пульсаций выходного напряжения

Этот конденсатор вместе с интегрированным резистором образуют НЧ-фильтр, который минимизирует шум внутреннего ИОН. Однако дополнительная ёмкость увеличивает время включения ИОН и LDO. На низких частотах преобладает фликкер-шум  $1/f$ ; далее преобладает тепловой шум. Величина этих шумов не зависит от выходного тока. В чувствительных к шумам схемах при больших выходных токах следует учитывать и дробовой шум, величина которого пропорциональна величине тока. График зависимости PSRR LDO от частоты можно разделить на три частотные области (рисунок 4).

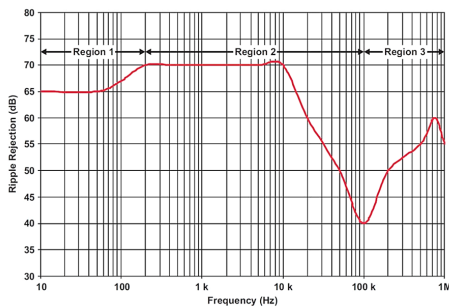


Рис. 4 – зависимость коэффициента пульсаций входного напряжения PSRR от частоты

В области низких частот, вплоть до частоты среза полосового фильтра, PSRR является следствием комбинации коэффициента усиления разомкнутого контура и параметров полосового фильтра. Выше частоты среза полосового фильтра, вплоть до частоты единичного усиления, PSRR в большей степени зависит от коэффициента усиления LDO в разомкнутом контуре. Выше частоты единичного усиления, в третьей области, PSRR в основном зависит от выходного конденсатора и в меньшей степени от паразитных составляющих между  $V_{in}$  и  $V_{out}$ . Использование более ёмкого выходного конденсатора с

меньшим эквивалентным последовательным сопротивлением (ESR) позволяет улучшить PSRR в третьей области, но может также повлиять на PSRR на более низких частотах. Вместо использования конденсатора большей ёмкости можно использовать LDO с более высоким PSRR. Однако LDO с высоким значением PSRR, как правило, требуют большего тока питания и могут быть подвержены самогенерации.

PSRR рассчитывается следующим образом:

$$PSRR = 20 \lg \left( \frac{V_{ripple}(IN)}{V_{ripple}(OUT)} \right)$$

где  $V_{ripple}(IN)$  и  $V_{ripple}(OUT)$  – пульсации входного и выходного напряжения соответственно.

В идеальном случае был бы уместен LDO-регулятор с минимально возможным допустимым падением напряжения и с максимальным коэффициентом PSRR. Увы, эти требования противоречат друг другу. При малом падении напряжения на LDO-регуляторе уменьшается и его PSRR. Таким образом, при максимальном ослаблении пульсаций, придётся пожертвовать КПД регулятора; максимальная величина коэффициента PSRR достигается при падении напряжения на регуляторе близким к 1 Вольту.

#### IV. ВЫВОДЫ

LDO-регуляторы эффективно снижают уровень шумов в цепях питания измерительных устройств в широком диапазоне частот, благодаря чему, эффективно используются в измерительной технике. Коэффициент подавления шумов зависит от коэффициента усиления цепи ОС, нагрузочной способности регулятора, ёмкости выходного конденсатора, качества ИОН.

#### Список литературы

1. Интернет-портал 'Analog IC tips' [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.analogictips.com>. – Дата доступа: 07.04.2023.
2. Интернет-портал 'TI LDO basics' [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.ti.com/video/series/learn-the-basics-of-linear-and-low-drop-out-regulators-ldos.html>. – Дата доступа: 08.04.2022.
3. Интернет-портал 'Промэлектроника' [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.promelec.ru/news/27/>. – Дата доступа: 08.04.2022.
4. Технический документ 'LDO PSRR Measurement Simplified' - Texas Instruments.

*Сатинов Егор Евгеньевич*, студент кафедры теоретических основ электротехники БГУИР, [satinov.ee.study@gmail.com](mailto:satinov.ee.study@gmail.com).

*Петухов Владислав Игоревич*, студент кафедры теоретических основ электротехники БГУИР, [vladpetuhov88@mail.ru](mailto:vladpetuhov88@mail.ru)

*Научный руководитель: Журавлёв Вадим Игоревич*, Заведующий кафедрой, кандидат технических наук, [vadzh@bsuir.by](mailto:vadzh@bsuir.by).