

Почему так важен правильный выбор конденсаторов для LDO стабилизатора

Glenn Morita

Полагая, что добавлением нескольких конденсаторов они решат все проблемы, связанные с шумами в схеме, разработчики зачастую не задумываются о том, что кроме емкости и допустимого напряжения, у конденсаторов есть еще множество характеристик. Как и любые другие электронные компоненты, конденсаторы несовершенны. Они обладают такими паразитными параметрами, как эквивалентное последовательное сопротивление (Effective Series Resistance – ESR) и эквивалентная последовательная индуктивность (Effective Series Inductance – ESL), их емкость зависит от температуры и напряже-

ния, они чувствительны к механическим воздействиям.

Разработчики линейных стабилизаторов напряжения должны относиться к выбору входных и выходных конденсаторов с точно такой же ответственностью, как и разработчики фильтров, времязадающих цепей или других устройств, параметры которых определяются емкостью конденсатора. Следствием неправильного выбора конденсаторов может быть неустойчивость схемы, повышенный уровень шумов, чрезмерное потребление тока, сокращение срока службы и непредсказуемое поведение устройства.

Технологические разновидности конденсаторов

Конденсаторы имеют самые разные размеры, форму, допустимые значения напряжения и другие параметры, позволяющие подобрать подходящий конденсатор для любого приложения. В качестве материала диэлектрика обычно используют масло, бумагу, стекло, воздух, слюду, полимерные пленки и окислы металлов. Каждый диэлектрик обладает специфическими свойствами, которые определяют область его применения.

В стабилизаторах напряжения в качестве входных и выходных, чаще всего, используются многослойные керамические, танталовые с твердым электролитом и алюминиевые конденсаторы. В Приложении к статье приведена таблица сравнения характеристик конденсаторов различных типов.

Многослойные керамические конденсаторы



Многослойные керамические конденсаторы сочетают в себе малые габариты и низкие значения ESR и ESL. Но, к сожалению, они не лишены и серьезных недостатков. В зависимости от материала диэлектрика, влияние на величину емкости температуры, постоянного напряжения смещения и амплитуды переменного напряжения может быть очень значительным. Кроме того, пьезоэлектрический характер диэлектрика является причиной трансформации механических вибраций и ударов в электрический шум. Чаще всего, этот шум имеет порядок единиц микровольт, но в отдельных случаях, генерируемые механическими нагрузками шумы могут достигать единиц милливольт.

Управляемые напряжением генераторы (Voltage-controlled oscillators – VCOs), схемы ФАПЧ (phase-locked loops – PLLs), усилители мощности радиочастотного диапазона (RF power amplifiers – PAs) чувствительны к шумам на шинах их питания. В схемах VCO и PLL эти шумы проявляют себя в форме дрожания фазы, в PA – в форме амплитудной модуляции, в ультразвуковых сканерах и компьютерных томографах приводят к искажению изображений. Шумы опасны для любых аналоговых схем, работающих со слабыми сигналами. Несмотря на все перечисленные недостатки, керамические конденсаторы используются практически в каждом электронном устройстве из-за их небольших размеров и цены. Однако, проектируя стабилизаторы напряжения для чувствительных к шумам приложений, необходимо внимательно оценить и все побочные эффекты.

Танталовые конденсаторы с твердым электролитом



По сравнению с многослойными керамическими конденсаторами, параметры танталовых конденсаторов с твердым электролитом в меньшей степени зависят от температуры, напряжения смещения и вибраций. В танталовых конденсаторах последнего поколения вместо двуокиси марганца используется проводящий полимерный электролит, благодаря которому повысилась стойкость к брос-

кам тока и отпала необходимость в токограничительном резисторе. Кроме того, уменьшилось ESR. Емкость танталовых конденсаторов с твердым электролитом слабо зависит от температуры и напряжения смещения, поэтому основными критериями выбора конденсаторов остаются допустимое напряжение, рабочая температура и величина ESR.

Имеющие низкое ESR танталовые конденсаторы с твердым электролитом дороже и несколько крупнее керамических, но для приложений, где шумы вызванные пьезоэффектом недопустимы, они могут оказаться еди-

нственным выбором. Токи утечки танталовых конденсаторов намного больше, чем у керамических такой же емкости, что делает их непригодными для использования в некоторых слаботочных схемах.

Недостатком технологии твердых полимерных электролитов является большая чувствительность к повышенной температуре

Алюминиевые электролитические конденсаторы



Обычные алюминиевые электролитические конденсаторы имеют большие габариты, худшие значения ESR и ESL, относительно высокий ток утечки и ограниченный срок службы, измеряемый тысячами часов. В алюминиевых конденсаторах с сухим электролитом (OS-CON) используется электролит на основе органических полупроводников и катод из алюминиевой фольги, что позволяет получить лучшие значения ESR. Несмотря на то, что технологически OS-CON конденсаторы близки к танталовым конденсаторам с твердым электролитом, появились они лет на 10 раньше танта-

пайки, характерной для бессвинцовых процессов. Изготовители, как правило, запрещают подвергать конденсаторы с твердыми полимерными электролитами более чем трем циклам монтажа. Игнорирование этого требования может привести к проблемам долговременной надежности.

ловых. Из-за отсутствия подверженного высыханию жидкого электролита, OS-CON конденсаторы превосходят обычные алюминиевые по сроку службы. Большинство из них рассчитаны на предельную температуру 105 °С, но в последнее время стали появляться OS-CON конденсаторы, специфицированные для температуры 125 °С.

Хотя характеристики OS-CON конденсаторов и лучше, чем обычных алюминиевых, они крупнее и имеют худшее ESR, чем керамические и танталовые конденсаторы. Также, как танталовые, они не имеют пьезоэффекта и могут использоваться в приложениях, требующих низких уровней шумов.

Выбор выходных конденсаторов для схем на LDO стабилизаторах

LDO стабилизаторы фирмы Analog Devices могут работать с небольшими керамическими конденсаторами, при условии, что последние имеют низкое значение ESR. ESR выходного конденсатора влияет на устойчивость петли обратной связи стабилизатора.

Рекомендуется использовать конденсаторы с емкостью не менее 1 мкФ и ESR не более 1 Ом.

От выходного конденсатора зависит, также, реакция стабилизатора на изменения тока нагрузки. Петля обратной связи имеет

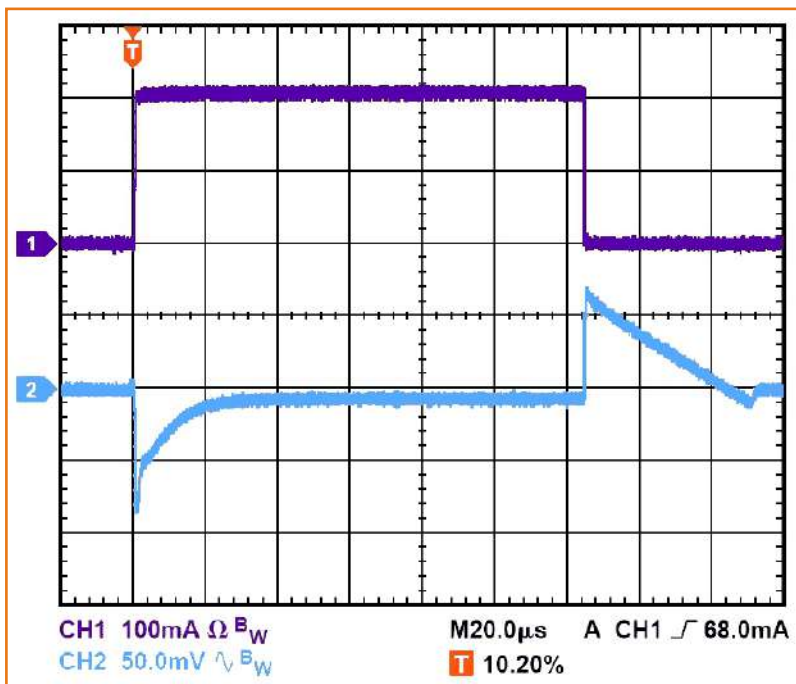


Рис. 1. Переходный процесс при $C_{out} = 1$ мкФ.

ограниченную полосу пропускания для большого сигнала, поэтому во время переходного процесса функцию поставщика в нагрузку большей части тока должен принимать на себя конденсатор. Как показано на Рис. 1, при скачке тока нагрузки от 1 до 200 мА со скоростью 500 мА/мкс, конденсатор емкостью 1 мкФ не в состоянии отдать достаточный ток, что приводит к «провалу» напряжения, приблизительно на 80 мВ. Увеличение емкости до 10 мкФ уменьшает бросок напряжения до 70 мВ (Рис. 2). Конденсатор емкостью 20 мкФ позволяет стабилизатору активно отслеживать скачок тока (Рис. 3) и уменьшить влияние переходного процесса. В примере использовался стабилизатор типа ADP151 с входным напряжением 5 В и выходным 3.3 В.

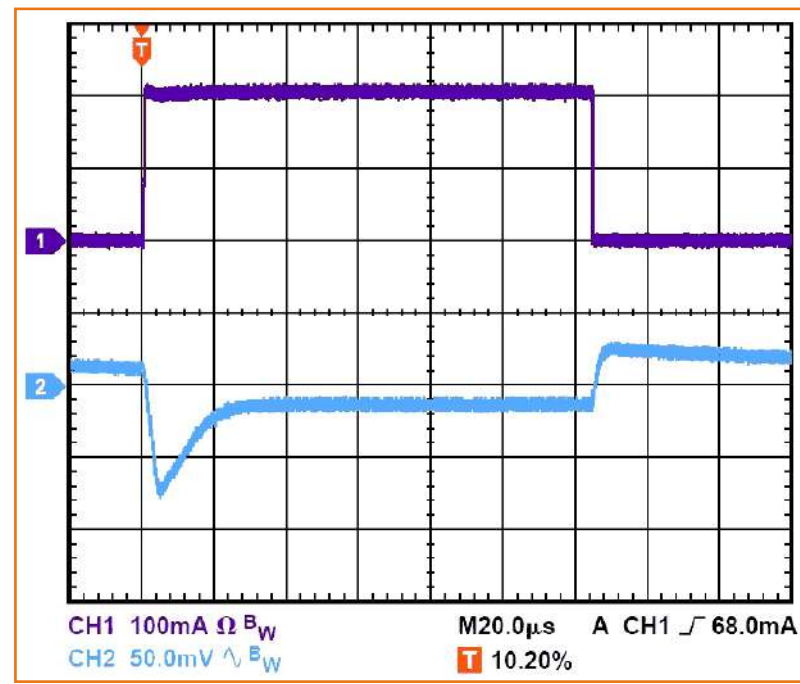


Рис. 2. Переходный процесс при $C_{out} = 10$ мкФ.

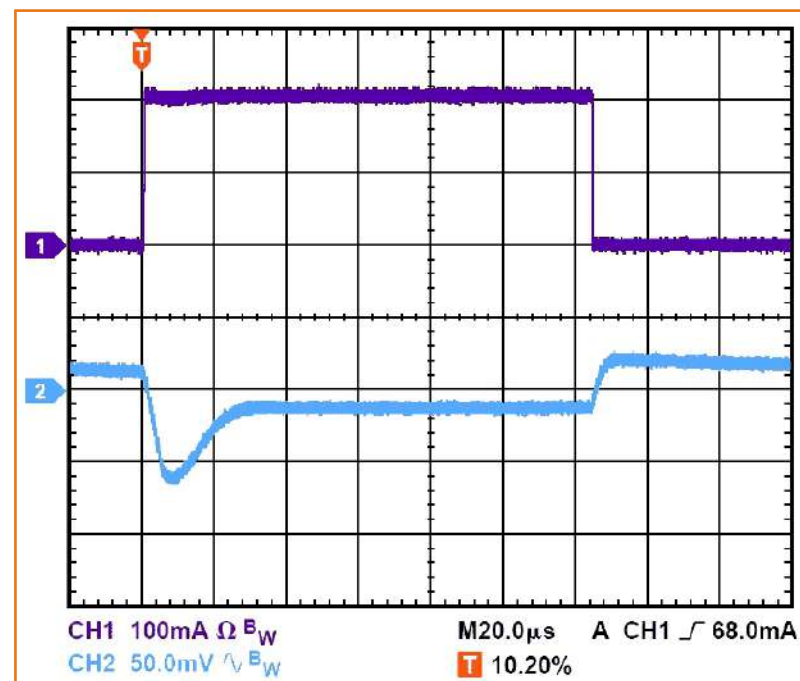


Рис. 3. Переходный процесс при $C_{out} = 20$ мкФ.

Входной блокировочный конденсатор

Включение конденсатора емкостью 1 мкФ между входом стабилизатора и «землей» уменьшает влияние на схему топологии печатной платы, особенно при большой длине подводящих проводников или при высоком выходном сопротивлении источника питания.

Емкости выходных и входных конденсаторов следует изменять согласованно: если на выходе требуется конденсатор более 1 мкФ, емкость входного конденсатора также должна быть увеличена.

Требования, предъявляемые к свойствам входных и выходных конденсаторов

Требования к входным и выходным конденсаторам должны учитывать диапазон рабочих температур и рабочие напряжения стабилизатора. Керамические конденсаторы производятся с диэлектриками самых разных типов, и каждый характеризуется определенным поведением при изменении температуры и напряжения. Для 5-вольтовых приложений рекомендуется использовать керамические

конденсаторы с диэлектриками X5R или X7R на напряжения от 6.3 до 10 В. Диэлектрики Y5V и Z5U характеризуются очень сильной зависимостью от температуры и напряжения, и использоваться в LDO стабилизаторах не могут.

На Рис. 4 показана зависимость емкости от величины приложенного постоянного напряжения для конденсаторов 1 мкФ / 10 В / X5R типоразмера 0402. Рабочее напряжение и размер конденсатора сильнее всего влияют на зависимость его емкости от напряжения. В общем случае можно сказать, что чем больше типоразмер и допустимое напряжение конденсатора, тем меньше влияние на него напряжения смещения. Изменение емкости конденсатора с диэлектриком X5R в диапазоне температур $-40 \dots +85 \text{ }^\circ\text{C}$ составляет $\pm 15\%$ и не зависит ни от габаритов, ни от допустимого напряжения.

Вычислить наихудшее изменение емкости конденсатора, в зависимости от температуры, допуска номинала и напряжения, можно с помощью следующего уравнения:

$$C_{EFF} = C_{BIAS} (1 - TVAR) (1 - TOL)$$

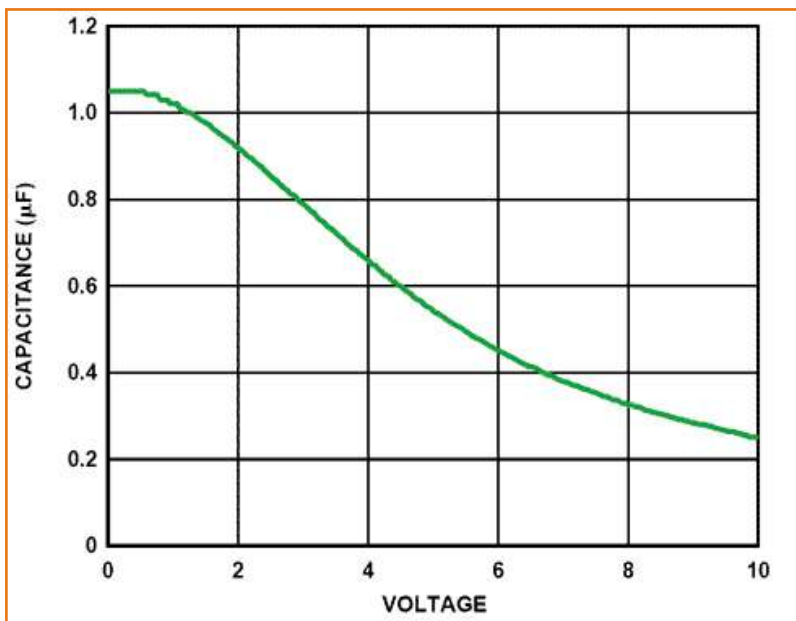


Рис. 4. Зависимость емкости от напряжения смещения.

где

C_{BIAS} – номинальная емкость при рабочем напряжении;

$TVAR$ – наихудшее изменение емкости от температуры (в долях от 1);

TOL – наибольшее отклонение номинала (в долях от 1).

В этом примере

$TVAR = 15\%$ в диапазоне $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ для диэлектрика X5R;

$TOL = 10\%$;

$C_{BIAS} = 0.94$ мкФ при напряжении 1.8 В, как показано на Рис. 4.

Используя эти значения, можно вычислить:

$$\begin{aligned} C_{EFF} &= \\ &= 0.94 \text{ мкФ} (1 - 0.15) (1 - 0.1) = \\ &= 0.719 \text{ мкФ} \end{aligned}$$

В справочных данных на ADP151 минимальная входная емкость в диапазоне рабочих температур и при рабочем напряжении указана равной 0.70 мкФ, так что конденсатор удовлетворяет этим требованиям.

Заключение

Для того, чтобы гарантировать сохранение характеристик LDO при влиянии напряжения смещения, изменении температуры и разбросе номинальных значений емкости, надо выбирать конденсаторы, ясно представляя себе их свойства и особенности. Учитывать технологические особенности

конденсаторов необходимо и в тех случаях, когда предъявляются требования к уровню шумов, дрейфу или целостности сигналов. Все конденсаторы в чем-то несовершенны, и выбирать их следует в строгом соответствии с областью применения.

Приложение

Сверху по часовой стрелке:

Алюминиевый конденсатор с твердым полимерным электролитом 100 мкФ/6.3 В

Танталовые конденсаторы с твердым электролитом 1 мкФ/35 В и 10 мкФ/25 В

Многослойные керамические конденсаторы 1 мкФ/25 В, 4.7 мкФ/16 В, 10 мкФ/25 В

Алюминиевые электролитические конденсаторы 10 мкФ/16 В и 22 мкФ/25 В

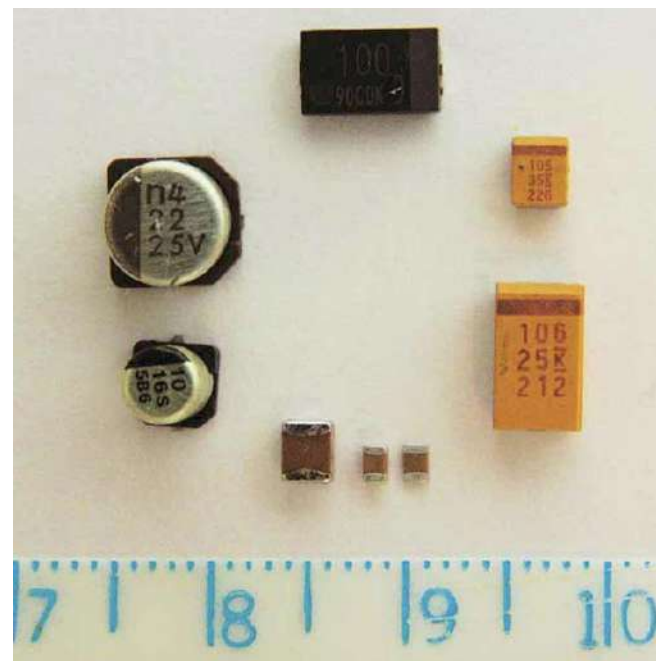


Рис. А. Конденсаторы, чаще всего используемые для LDO стабилизаторов

Сравнение важнейших характеристик конденсаторов различных технологических видов

Технология	ESR	ESL	Стабильность по напряжению	Температурная стабильность	Чувствительность к вибрации	Отношение емкость/объем
Алюминиевые электролитические	Наибольшее	Наибольшая	Худшая	Худшая	Низкая	Низкое
Танталовые с твердым электролитом	Среднее	Средняя	Наилучшая	Хорошая	Низкая	Высокое
Алюминиевые с твердым электролитом	Низкое	Низкая	Наилучшая	Хорошая	Низкая	Высокое
Многослойные керамические	Самое низкое	Самая низкая	Плохая	Хорошая	Высокая	Среднее
