

Перспективные линейные стабилизаторы напряжения для питания микросхем программируемой логики фирмы Altera

Дмитрий ИВАНОВ,
к. т. н.
di@efo.ru

Статья посвящена семейству LP38xxx интегральных линейных стабилизаторов напряжения, разработанных компанией National Semiconductor для построения источников питания современных цифровых интегральных микросхем, в том числе микросхем FPGA и CPLD фирмы Altera.

Импульсный или линейный?

При проектировании стабилизированного источника питания типа PoL (Point of Load), то есть индивидуального преобразователя напряжения, расположенного в непосредственной близости от микросхемы-потребителя, всегда возникает вопрос: «Какой стабилизатор напряжения применить — импульсный или линейный?», на который нет однозначного ответа. Каждый из этих стабилизаторов имеет свои преимущества и недостатки. Главные достоинства линейных стабилизаторов напряжения — это простота применения (минимум внешних компонентов, невысокие требования к «разводке» печатной платы, не требуется внешняя катушка индуктивности и т. д.), малые габариты, низкий уровень шума выходного напряжения, относительно небольшая стоимость. Кроме того, линейный стабилизатор напряжения, при грамотном проектировании печатной платы, практически не создает никаких электромагнитных помех, которые могли бы влиять на работу других электронных устройств.

Основное преимущество импульсных стабилизаторов напряжения перед линейными — более высокий коэффициент полезного действия (КПД), который у импульсных стабилизаторов может достигать 90% и более [1]. Существует мнение, что линейные стабилизаторы напряжения имеют низкий КПД из-за потерь энергии в регулирующем элементе. К сожалению, это является широко распространенным заблуждением. В принципе, у современных интегральных линейных стабилизаторов класса LDO (Low Dropout) КПД может быть очень высоким (выше 95%), но при большой разности входного и выходного напряжений импульсные преобразова-

тели действительно могут иметь более высокую эффективность.

Рассмотрим пример простейшего (с точки зрения схемотехники) линейного стабилизатора напряжения на базе интегральной микросхемы LP38500-ADJ (рисунок). Кроме самой микросхемы в состав стабилизатора входят всего 4 внешних компонента — 2 конденсатора и 2 резистора обратной связи, с помощью которых регулируется выходное напряжение.

Мощность, выделяемую в такой электрической цепи в виде тепла, и КПД можно рассчитать по следующим формулам:

$$P_d = (V_{in} - V_{out})I_{out} + V_{in} \times I_q + \frac{V_{out}^2}{R_1 + R_2}, \quad (1)$$

$$h = 100 \times \frac{V_{out} \times I_{out}}{V_{out} \times I_{out} + P_d}, \quad (2)$$

где P_d — рассеиваемая мощность, Вт; V_{in} — входное напряжение, В; V_{out} — выходное напряжение, В; I_{out} — выходной ток, А; I_q — собственный ток потребления (Quiescent Current) микросхемы, А; R_1, R_2 — сопротивления резисторов цепи обратной связи, Ом; h — КПД, %.

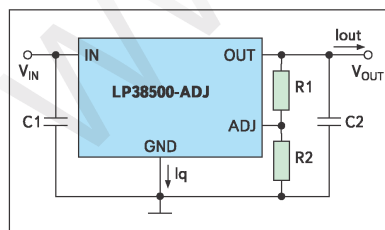


Рисунок. Принципиальная электрическая схема стабилизированного источника питания на базе интегрального линейного стабилизатора LP38500-ADJ

Собственный ток потребления микросхемы LP38500-ADJ равен 2 мА при выходном токе 1,5 А [2].

Расчеты по формулам (1) и (2) показывают, что, если входное напряжение стабилизатора равно 3,3 В, выходное напряжение равно 2,5 В, а суммарное сопротивление резисторов обратной связи равно 20 кОм, то при выходном токе 1,5 А стабилизатор будет иметь КПД 75,7%.

Анализ рассмотренного устройства позволяет сделать очевидный вывод: при заданном выходном токе КПД линейного стабилизатора будет тем выше, чем меньше разность входного и выходного напряжений стабилизатора. Минимально допустимое падение напряжения на стабилизаторе зависит от типа используемой микросхемы. У лучших представителей класса LDO этот параметр имеет значение около 60 мВ [2]. Реальное падение напряжения определяется техническими требованиями к источнику питания и, как правило, бывает значительно больше, чем 100 мВ. Например, в современных цифровых системах на базе микросхем программируемой логики [3] используются следующие стандартные напряжения питания: 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,5; 3,3 и 5,0 В, минимальный шаг между которыми равен 300 мВ. Если в такой системе необходимо понизить какое-либо из напряжений питания до другого значения, то максимальный КПД, который можно получить с помощью линейного преобразователя, будет равен приблизительно 83%. Такая эффективность достигается при преобразовании напряжения 1,8 В в 1,5 В и при условии, что собственный ток потребления преобразователя значительно меньше выходного тока. Во всех остальных случаях, то есть при других сочетаниях входного и выходного напряжений из указанного выше ряда, а также при относитель-

но большим (по сравнению с выходным током) собственном токе потребления, КПД устройства будет ниже.

Окончательный выбор стабилизатора всегда остается за разработчиком источника питания. По мнению автора, линейные стабилизаторы напряжения целесообразно использовать в тех случаях, когда на микросхеме рассеивается мощность не более 1 Вт, что при КПД 80% соответствует 4 Вт в нагрузке. При такой рассеиваемой мощности легко обеспечить отвод тепла от микросхемы с помощью площадки на печатной плате, то есть без использования специального радиатора. Исключения составляют электронные устройства, в которых принципиально нельзя использовать импульсные источники питания из-за присущих им недостатков.

Поговорим более подробно о современных интегральных стабилизаторах напряжения и их характеристиках, которые могут оказать влияние на принятые решения: какому типу стабилизатора — линейному или импульсному — отдать предпочтение при проектировании источника питания.

LP38xxx — перспективные LDO-стабилизаторы компании National Semiconductor

Сравним параметры линейных стабилизаторов семейства LP38xxx [2] и импульсных понижающих стабилизаторов семейства LM2267x [1]. Оба семейства микросхем созданы компанией National Semiconductor и рекомендуются для применения в PoL источниках питания для микросхем ASIC (Application Specific Integrated Circuits), DSP (Digital Signal Processor), FPGA (Field Programmable Gate Array) и CPLD (Complex Programmable Logic Device).

В составе семейства микросхем LP38xxx можно выделить 5 подсемейств, отличающихся друг от друга некоторыми электрическими и конструктивными характеристиками (таблица). Каждое подсемейство имеет свой ключевой параметр, например, у микросхем LP3869x самые широкие, по сравнению с другими подсемействами, допустимые пределы изменения входного напряжения (от 2,7 до 10 В). Еще одна особенность этого подсемейства заключается в том, что только в нем есть стабилизаторы с фиксированными выходными напряжениями 1,8; 2,5; 3,3 и 5,0 В. Все остальные подсемейства микросхем предназначены для построения низковольтных источников питания с фиксированными (0,8; 1,2; 1,5 В) или регулируемые (от 0,5–0,8 В) напряжениями и выходными токами до 3 А.

Стабилизаторы LP3884x имеют самые низкие значения минимально допустимого падения напряжения (Dropout Voltage). Рекордсменом семейства LP38xxx по этому параметру является микросхема LP38841, которая сохраняет работоспособность при разности между входным и выходным напряжениями 75 мВ.

Таблица. Сравнение интегральных стабилизаторов напряжения LP38xxx и LM2267x

Критерий	Семейство микросхем					
	LP3869x	LP3884x	LP3885x	LP3850x	LP3851x	LM2267x
Год разработки	2004–2005	2004–2005	2006–2007	2007	2008	2008
Тип стабилизатора	Линейный LDO	Линейный LDO	Линейный LDO	Линейный LDO	Линейный LDO	Импульсный, понижающий, асинхронный
Входное напряжение, В	2,7–10	5,5 макс.	5,5 макс.	2,7–5,5	2,25–5,5	4,5–42
Выходное напряжение, В	ADJ (от 1,25); 1,8; 2,5; 3,3; 5,0	ADJ (от 0,56); 0,8; 1,2; 1,5	ADJ (0,8–1,8); 0,8; 1,2; 1,5	ADJ (0,6–5)	ADJ (от 0,5); 1,8	ADJ (1,285–30); 5,0
Минимальное падение напряжения, В	0,2; 0,45; 0,65; 0,8; 0,95	0,075; 0,115; 0,21	0,115; 0,13; 0,18; 0,24; 0,35	0,22; 0,42	0,25; 0,26; 0,3; 0,425; 0,47	н/н
Максимальный выходной ток, А	0,5; 1,0	0,8; 1,5; 3,0	0,8; 1,5; 3,0	1,5; 3,0	0,8; 1,5; 3,0	0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 5,0
Собственный ток потребления, мА	55	32	10	2	7,5–10	3,4
Рабочая частота, кГц	н/н	н/н	н/н	н/н	н/н	500; ADJ (200–1000)
Внешние дискретные компоненты	Керамические конденсаторы, резисторы	Керамические конденсаторы, резисторы	Керамические конденсаторы, резисторы	Конденсаторы любого типа, резисторы	Керамические конденсаторы, резисторы	Керамические конденсаторы, резисторы, диод Шоттки, катушка индуктивности
Быстрый отклик на переходные процессы	Нет	Да	Да	Нет	Да	Нет
«Мягкий» старт	Нет	Нет	Да	Нет	Нет	Да
Тип корпуса	SOT-223 TO-252 LLP	TO-263 TO-220 PSOP	TO-263 TO-220 PSOP	TO-263 TO-263THIN LLP	TO-263THIN PSOP	TO-263THIN PSOP

Примечание: ADJ — значение регулируется внешними резисторами; н/н — параметр не нормируется производителем.

У большинства представителей подсемейства LP3885x есть режим «мягкий старт» (Soft Start). С помощью внешнего конденсатора, подключаемого между управляющим входом Soft Start микросхемы и «землей», можно задавать скорость нарастания выходного напряжения при включении источника питания. Это позволяет при питании цифровых электронных устройств избежать условий, при которых возникает эффект «защелкивания» [1].

Стабилизаторы подсемейства LP3850x сохраняют устойчивость при работе с внешними конденсаторами любого типа, а также имеют самый низкий в семействе собственный ток потребления (2 мА).

Микросхемы подсемейства LP3851x имеют быстрый отклик на изменения входного напряжения или тока нагрузки.

У импульсных стабилизаторов LM2267x (см. последнюю колонку таблицы) по сравнению с семейством LP38xxx есть всего 2 очевидных преимущества. Во-первых, у LM2267x значительно выше максимальное входное напряжение (42 В), а во-вторых, в этом семействе есть версия с максимальным выходным током 5 А. За такие высокие характеристики приходится платить, в первую очередь, значительным усложнением конструкции стабилизатора. Микросхемам семейства LM2267x требуются дополнительные внешние компоненты — диод Шоттки и катушка индуктивности, а это, в свою очередь, ведет к возрастанию общих размеров и себестоимости источника питания. Более высокие требования предъявляются и к проектированию печатной платы. Кроме того, у импульсных стабилизаторов значительно хуже качество выходного напряжения (больше пульсации и шум) и выше уровень электромагнитных помех. Что же касается широко распространенного мнения о высоком КПД интегральных

импульсных стабилизаторов напряжения, то этот показатель не является свойством микросхемы, а зависит от конкретных условий ее работы. Как было показано выше, сравнивать энергетическую эффективность имеет смысл только у альтернативных вариантов источников питания при одинаковых требованиях технического задания.

Altera плюс National Semiconductor

Микросхемы программируемой логики предъявляют ряд специальных требований к своим источникам питания [3]. К числу общих требований можно отнести несколько выходных напряжений низкого уровня, большие выходные токи, способность быстро реагировать на скачкообразное изменение тока нагрузки. Иногда требуется обеспечить специальные условия включения источника питания, например ограничить скорость возрастания выходных напряжений.

В тесном сотрудничестве с компанией Altera инженеры National Semiconductor разработали полный пакет рекомендаций по питанию микросхем FPGA и CPLD, выпускаемых Altera. Многим из этих рекомендаций соответствуют микросхемы семейства LP38xxx, рассмотренные в данной статье. ■

Литература

1. Иванов Д. LM2267x — Simple Switcher в пятом поколении // Компоненты и технологии. 2009. № 1.
2. Справочно-информационный портал компании National Semiconductor. LDO-стабилизаторы: <http://www.national.com/analog/power/ldo>
3. Power Management Solutions for Altera FPGA and CPLD: http://www.national.com/altera/altera_power