

Ограничение пусковых токов В линейных регуляторах

Джефф ФЭЙЛИН (Jeff FALIN)

Большинство из разработанных ранее линейных стабилизаторов характеризуются высоким значением пускового тока, необходимого для заряда выходных конденсаторов и обеспечения нагрузочных характеристик. Его значение может быть рассчитано по формуле:

$$I_{Inrush} = C_{OUT} \times V_{OUT} / t_{Rise}$$

где t_{Rise} — время нарастания выходного сигнала; C_{OUT} — выходная емкость регулятора. При отсутствии схемы контроля пускового тока (обычно называемой схемой плавного запуска) величина I_{Inrush} ограничивается только предельным значением тока регулятора, которое, как правило, значительно превышает номинальное значение. Если входной источник питания имеет функцию

ограничения тока или длина соединительной цепи (и, соответственно, распределенная индуктивность) достаточно велика, напряжение на входе регулятора может опуститься ниже порога его отключения (например, уровень UVLO, Under Voltage LockOut). На рис. 1 показано, как подобная ситуация приводит к появлению ступенчатого падения выходного сигнала, продолжающегося до тех пор, пока повторный заряд входных емкостей не обеспечит перезапуск схемы.

В прежние годы описанная проблема была обычной для линейных стабилизаторов напряжения, она актуальна до сих пор в схемах с большим значением выходной емкости. Разработчики оборудования должны учитывать особенности работы регулятора с пусковыми токами, особенно если схема не имеет функции ограничения I_{Inrush} . Для решения

этого вопроса может быть использовано дополнительное внешнее устройство. Простейшим способом является применение схемы с полевым (FET) транзистором и несколькими пассивными компонентами, регулирующей характеристики проводимости FET в зависимости от выходного напряжения преобразователя.

Пользователь может получить минимальный контроль стартового тока регулятора с быстрым запуском с помощью схемы Texas Instruments (TI) TPS734xx/5xx, обладающей высоким уровнем подавления пульсаций, низкими шумами и сверхнизким током потребления. На рис. 2 показано, как добавление FET-транзистора и нескольких пассивных компонентов к микросхеме TPS73525 обеспечивает более эффективное ограничение I_{Inrush} . Измерение тока I_{IN} производится между входом регулятора и входным конденсатором, чтобы исключить влияние C1, также создающего перегрузку при включении.

Отметим, что, как показано на рис. 3, амплитуда и длительность начального пика тока существенно ниже, чем на графике, представленном на рис. 4, поскольку выходная емкость регулятора в этом случае всего 2,2 мкФ вместо 100 мкФ. Достаточно неожиданным является факт, что конденсатор C5 между затвором и стоком и резистор R1 задают время запуска схемы. В [1] подробно объясняется принцип работы устройства, обосновывается выбор типа полевого транзистора и номиналов элементов схемы.

В некоторых регуляторах контроль пускового тока обеспечивается схемой самого устройства. Например, линейные стабилизаторы, входящие в семейство TI TPS732xx/4xx/6xx, содержат встроенный зарядовый насос, необходимый для управления затворами n -канальных регулирующих транзисторов. При запуске насосу требуется некоторое ограниченное время (несколько сотен мкс) для заряда внутреннего сервоконденсатора, который, в свою очередь, заряжает емкость затвора n -FET транзистора. На рис. 5 показано выходное напряжение TPS73633 и его пусковой ток при значениях C_{OUT} 1 и 10 мкФ. Хотя максимальное значение I_{out} этого линейного регулятора составляет 800 мА, величина I_{Inrush} не превышает 150 мА после короткого всплеска с амплитудой 300 мА даже при выходной емкости 10 мкФ.

Пользуясь приведенным выше соотношением для I_{Inrush} и сравнивая время нарастания

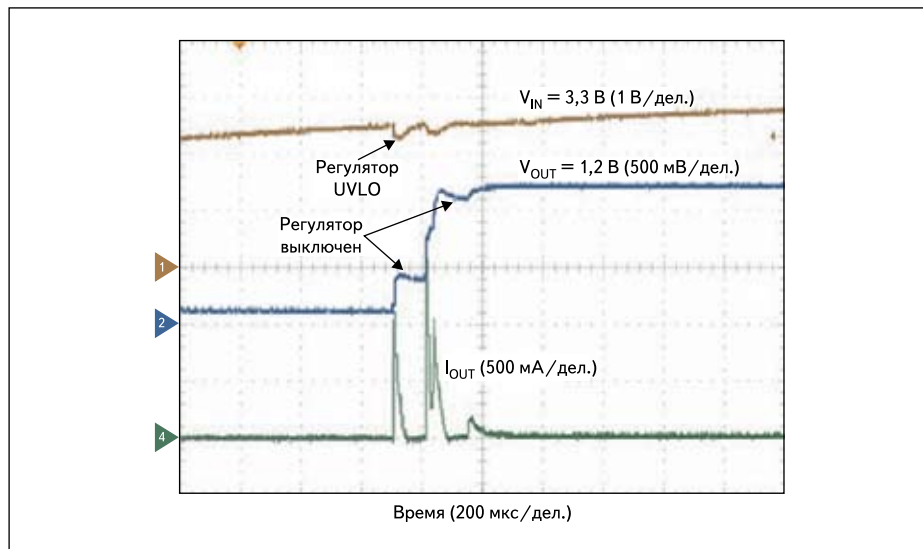


Рис. 1. Эпюры включения ненагруженного регулятора с уровнем защиты UVLO, равным 2,5 В

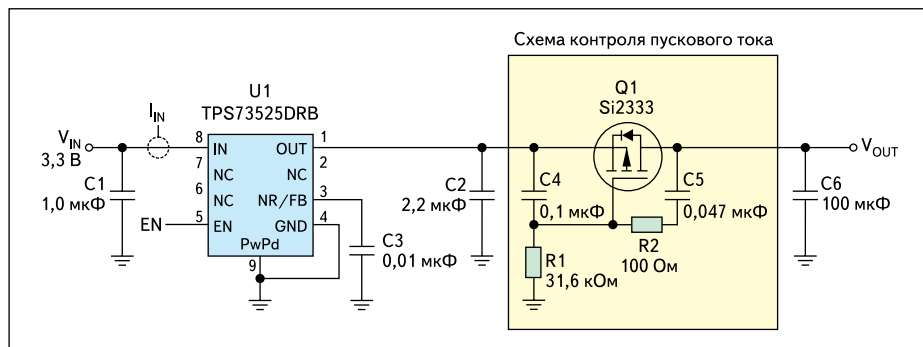


Рис. 2. Схема регулятора пускового тока с полевым транзистором на выходе TPS73525

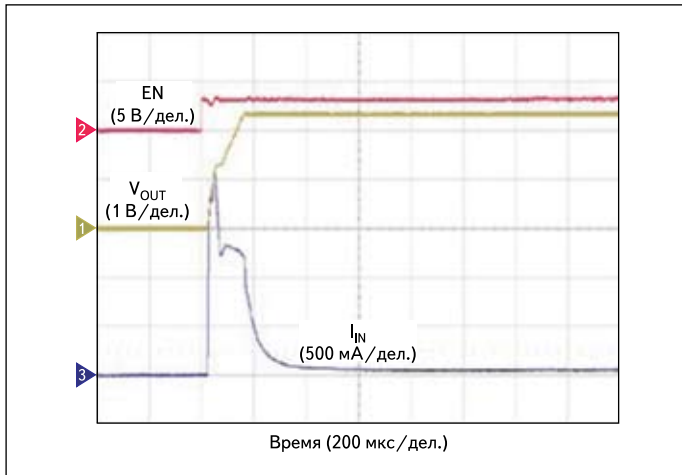


Рис. 3. График включения TPS73525 на емкость 100 мкФ без ограничения тока

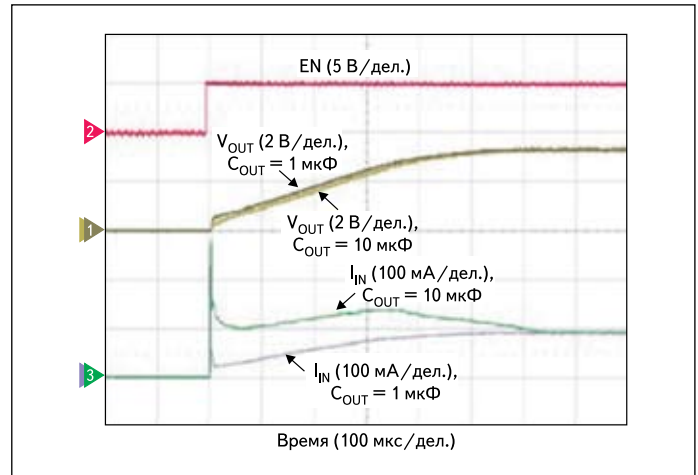


Рис. 5. График включения TPS73633 на емкость 1 и 10 мкФ

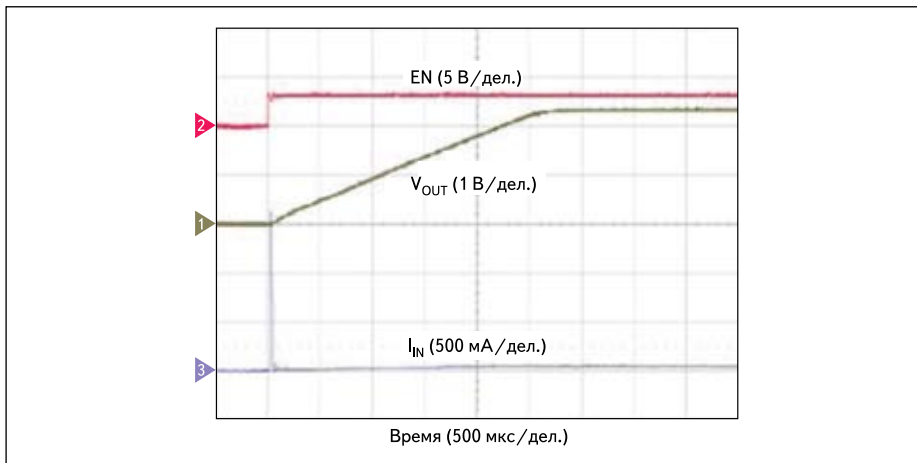


Рис. 4. График включения TPS73525 на емкость 100 мкФ со схемой контроля пускового тока на базе FET-транзистора

растающего опорного напряжения усилителя сигнала ошибки. Микросхема содержит встроенный источник стабильного тока (I_{SS}), что позволяет линейно заряжать внешний конденсатор (C_{SS}) на входе «софт-старт», связанном с усилителем сигнала ошибки. Когда емкость заряжается до напряжения опорного источника V_{REF} усилитель рассогласования подключается к источнику опорного напряжения. Таким образом, изменяя величину конденсатора, пользователь имеет возможность определять время запуска t_{SS} с помощью простого выражения:

$$t_{SS} = V_{REF} \times C_{SS} / I_{SS}$$

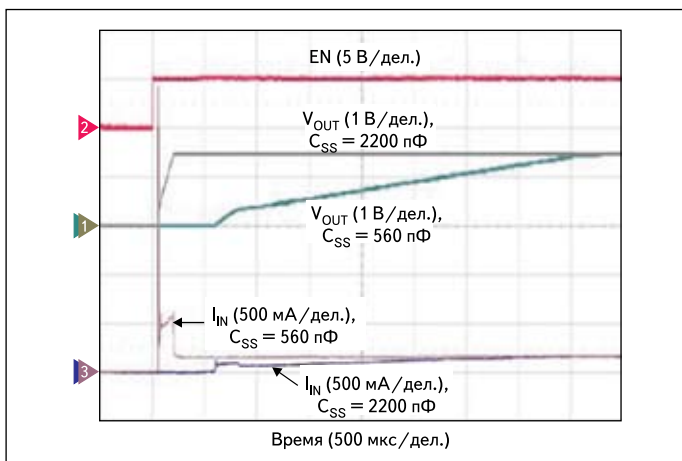
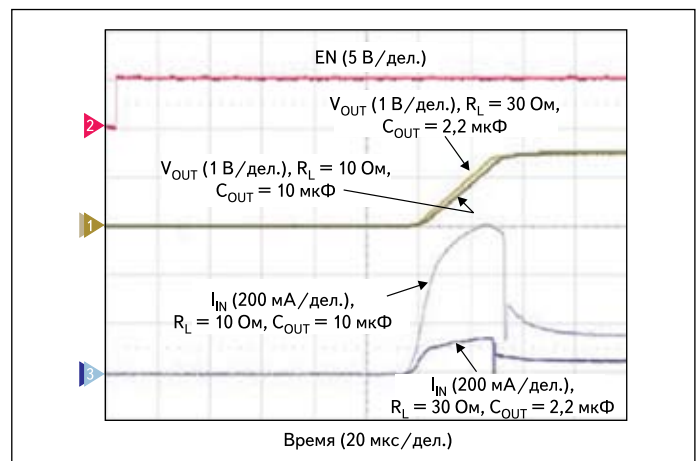
На рис. 6 показано выходное напряжение и пусковой ток TPS74901 при двух значениях C_{SS} и выходной емкости 10 мкФ. Подобный метод плавного пуска достаточно широко используется в тех случаях, когда нагрузка имеет в основном емкостной характер.

В случае резистивной нагрузки схема также работоспособна, однако время «софт-старта» при этом получается несколько больше расчетного. Микросхема экономичного двуполярного 350-мА линейного регулятора

тания выходного напряжения на рис. 4 и 5, можно увидеть, что существует обратная зависимость между t_{Rise} и пусковым током. Опираясь на этот факт, производители интегральных регуляторов в последние годы разрабатывали схемы с управляемым пользователем временем нарастания V_{OUT} (режим «плавный запуск») не только для ограниче-

ния I_{Inrush} , но и для удовлетворения требований по t_{Rise} для цифровых сигнальных процессоров (DSP) и программируемых логических матриц (FPGA).

Простейший метод «плавного запуска», реализованный в семействе регуляторов TI TPS74x01, состоит в формировании после подачи сигнала разрешения плавно на-

Рис. 6. Плавный пуск TPS74901 на емкость $C_{OUT} = 10$ мкФ при $C_{SS} = 560$ пФРис. 7. Включение TPS72015 при разных значениях нагрузки R_L

TPS720xx способна работать как с емкостной, так и с активной нагрузкой. В ней используется новый способ контроля пускового тока, который ограничивается на уровне:

$$I_{Inrush_Limit} = I_{RL} + C_{OUT} \times 0,0455,$$

где I_{RL} — начальный ток активной нагрузки. На рис. 7 показан запуск микросхемы TPS72015 при различных значениях нагрузочного сопротивления и величине выходной емкости 2,2 и 10 мкФ. Схема плавного запуска масштабирует пусковой ток пропорционально C_{OUT} таким образом, чтобы время пуска «виртуально» не зависело от значения емкости.

Заключение

Как правило, разработчики отдают предпочтение линейным регуляторам благодаря их дешевизне, простоте, отсутствию шумов и высокому уровню подавления пульсаций. К сожалению, инженеры очень редко обращают внимание на способность устройства ограничивать всплеск тока при включении. Такое упущение может в худшем случае привести к тому, что источник питания окажется неспособен обеспечить необходимый ток, и регулятор не запустится. Особенно остро эта проблема проявляется, если он имеет большую выходную емкость. В этом случае пользовате-

лю приходится использовать дополнительное внешнее устройство, обеспечивающее контроль пускового тока. В настоящее время имеется возможность выбрать линейный регулятор нового поколения, снабженный встроенной схемой «плавного пуска», ограничивающий всплеск тока при включении. Применение подобных микросхем позволяет полностью исключить рассмотренную в статье проблему. ■

Литература

1. Falin J. Monotonic, Inrush Current Limited Start-Up for Linear Regulators. Application Report slva 156.
2. www.ti.com/sc/device/partnumber