

# Простой детектор перегрузки по току с быстрым временем срабатывания

Andy FEWSTER  
Kevin FRICK

Представленная здесь схема — простой быстродействующий детектор перегрузки по току для защиты низковольтных приложений. В отличие от узкоспециализированных контроллеров «горячей замены» (hot-swap), которые дают большую задержку при пуске, вызванную «подсадкой» напряжения, настоящая схема обеспечивает защиту спустя уже 150 мкс после изменения напряжения питания на входе выше 2,7 В. Она также располагает средством ограничения пускового тока во время включения электропитания благодаря хорошему значению предельного напряжения затвора на внешнем *p*-канальном ключе.

На рис. 1 представлена полная схема детектора перегрузки по току с фиксацией. После подачи питания, напряжение на выходе компаратора COUT близко к нулю. Неинвертирующая буферная схема, образованная Q2 и Q3, гарантирует, что затвор Q1 мощного МОП-транзистора с каналом *p*-типа, с очень низким сопротивлением в открытом состоянии и низкой отсечкой, выполнен высококачественно. Результирующий ток на нагрузку измеряется с помощью токочувствительного усилителя, который преобразует небольшое напряжение на токочувствительном резисторе  $R_{SENSE}$  в масштабированное выходное напряжение относительно «земли» на контакте OUT.

Это напряжение, пропорциональное току нагрузки, далее масштабируется на входе неинвертирующего компаратора с фиксацией состояния.

Когда ток нагрузки превысит пороговое напряжение в узле R1–R2, компаратор изменит состояние, вызывая рост выходного напряжения с помощью R3. Когда разность потенциалов между затвором и истоком падает ниже пороговой величины затвора, *p*-канальный МОП-транзистор отключается. Неинвертирующая буферная схема Q2–Q3 обеспечивает поступление достаточного зарядного и разрядного тока на и с затвора Q1, в результате происходит быстрое переключение.

## Выбор компонентов

### Контроллер

Для быстродействующей схемы детектора перегрузки по току выбран контроллер MAX4373, который может работать от источника питания 3,3 В. MAX4373 включает все элементы, необходимые для получения такой схемы: детектор синфазного дифференциального напряжения, источник опорного напряжения и компаратор с защелкой с сигналом сброса (активный уровень — низкий). Задержка при включении обычно составляет 500 мкс, если использовать  $V_{CC}$ , и задержка на прохождение сигнала через компаратор обычно составляет 4 мкс.

### Токочувствительный резистор

При выборе значения чувствительного резистора для обеспечения оптимальной точности усиления (обычно от 1 до 1,5%), падение напряжения при номинальном токе должно быть в диапазоне от 75 мВ до 100 мВ для диапазонов усиления 20 и 50 (версии  $_T$  и  $_F$  контроллера MAX4373).

$$R_{SENSE} = \frac{V_{SENSE}}{I_{LOAD}}$$

где  $75 \text{ мВ} > V_{SENSE} > 100 \text{ мВ}$ .

$$P_{R\_SENSE} = V_{SENSE} \times I_{SENSE}$$

Важно учитывать также динамический диапазон выходного сигнала. Необходимо подгонять номинальное выходное напряжение (соответствующее соотношению рабочего тока/тока обнаружения) до напряжения, равного половине напряжения питания. Обратите внимание, что максимальное выходное

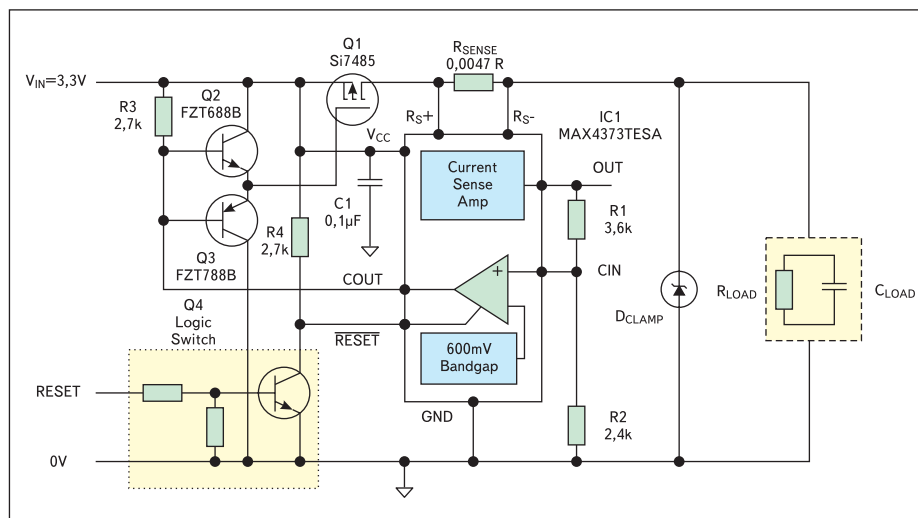


Рис. 1. Интегрированный токочувствительный усилитель, компаратор с фиксированным состоянием и источник опорного напряжения образуют быстродействующую низковольтную схему защиты от перегрузки по току

напряжения  $V_{OUT}$  на 250 мВ ниже напряжения питания при  $V_{CC}$ . Таким образом, при  $V_{CC} = +3,3$  В, номинальное напряжение  $V_{OUT}$  должно примерно составлять 1,4 В. В данном примере контроллер MAX4373 с усилением, равным 20 (версия Т) подходит при напряжении срабатывания 70 мВ.

При токе срабатывания 15 А в данном приложении,  $R_{SENSE} = 4,6$  мОм дают 70 мВ  $V_{SENSE}$ . Необходимо выбрать из стандартного ряда ближайшую величину к 4,7 мОм. Допуск для Тусо-Meggitt RL73H составляет  $\pm 1\%$  (суффикс F).

#### Пороговый ток

Настроив усилитель обнаружения тока, необходимо настроить компаратор так, чтобы обеспечить коммутирующее выходное напряжение, подходящее для выключения последовательного переключателя питания. Резистивный делитель напряжения соединяет выход усилителя тока с положительным входом компаратора. Для переключения положительное напряжение на входе компаратора должно превышать внутренне установленное номинальное пороговое напряжение 600 мВ (разброс от 580 мВ до 618 мВ).

$$V_{COMP\_THRESHOLD} = R_{SENSE} \times I_{SENSE} \times GAIN \left( \frac{R2}{R1 + R2} \right).$$

Ток через  $R1$  и  $R2$  должен быть больше 150 нА и меньше 500 мкА при номинальном выходном напряжении токочувствительного усилителя. Выход компаратора потребляет 1 мА с максимальным напряжением насыщения 600 мВ. Сопротивление  $R3$ , нагрузочно-го резистора в цепи затвора, рассчитывается с помощью следующей зависимости:

$$R3 = \frac{V_{CC} \times 0,25 \text{ В}}{1 \text{ мА}} \text{ кОм.}$$

#### Выключатель питания

Внешний МОП-транзистор с каналом  $p$ -типа выбран таким, у которого основные характеристики — пиковый ток, сопротивление в открытом состоянии и напряжение затвора — строго соответствуют конструкции. Сопротивление в открытом состоянии должно выбираться таким, чтобы падение напряжения при номинальном токе было примерно таким же, как токочувствительное напряжение. Эта величина создает практически одинаковое рассеяние мощности на чувствительном резисторе и МОП-транзисторе.

МОП-транзистор Si7485DP (производства Siliconix) имеет максимальное сопротивление в открытом состоянии 9 мОм при  $V_{GS} = -2,5$  В. Этот 20-вольтовый  $p$ -канальный транзистор был выбран благодаря своей способности действовать при низких входных напряжениях. Рассеяние в стабильном состоянии в худшем случае равно

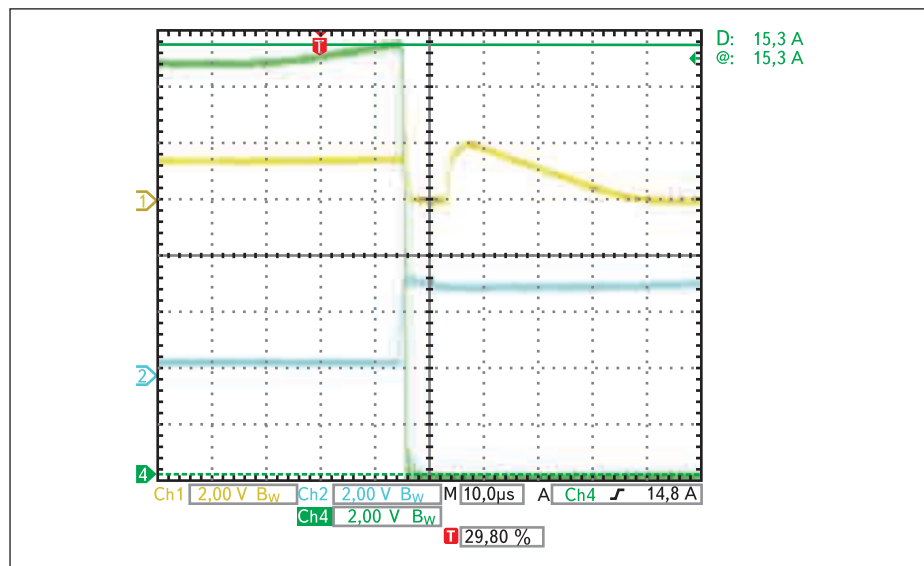


Рис. 2. Результаты теста схемы на рис. 1 показывают примерное время срабатывания 2 мкс

$$P_{DISSIPATION} = R_{ON\_MAX} \times I^2_{LOAD}.$$

При токе нагрузки 15 А и сопротивлении в открытом состоянии 9 мОм МОП-транзистор Si7485DP работает при температуре от 40 до 50 °С, что выше температуры окружающей среды, поэтому в конечном приложении необходим дополнительный отвод тепла.

В этом примере характеристика заряда затвора выключателя питания составляет примерно 60 нс. Если нужно быстрое срабатывание, то эта величина выше возможностей управления  $R3$  и выхода сигнала компаратора низкой мощности. Поэтому обязательно присутствие буферной схемы управления затвором. Как описано выше,  $Q2$  и  $Q3$  образуют комплементарный драйвер по схеме эмиттерного повторителя, который обеспечивает значительное усиление тока, поступающего на затвор  $Q1$ . Транзисторы выбираются с хорошим коэффициентом усиления по постоянному току, со средним током коллектора от 500 мА до 1 А. Подходящим выбором будут Zetex FZT688B ( $n-p-n$ ) и FZT788B ( $p-n-p$ ), в корпусе SOT223.

$$GateTime = G_T \times \frac{Q_{GATE}}{I_{PEAK\_INPUT}}.$$

## Эксплуатация

#### Увеличение допусков

Величина действительно определяемого тока зависит от разброса параметров согласно следующему:

- Чувствительный резистор:  $\pm 1\%$  (TL3A).
- Пределы чувствительного напряжения:  $\pm 0,1$ .
- Допуск усиления составляет:  $\pm 5,5\%$  max (включает усиление и погрешности ухода).
- Допуск резистора компаратора:  $\pm 1\%$  ( $R1$  и  $R2$ ).
- Допуск порогового напряжения компаратора:  $\pm 3,3\%$ .

Если игнорировать допуск чувствительного напряжения, то общий токочувствительный допуск близок к  $\pm 10,8\%$ . Более подробно пределы можно подсчитать с помощью следующего уравнения:

$$I_{SENSE} = \frac{V_{COMP\_THRESHOLD}}{R_{SENSE} \times GAIN \times \left( \frac{R2}{R1 + R2} \right)}.$$

Использование резисторов с допуском  $\pm 0,1\%$  для  $R1$  и  $R2$  в некоторой степени снижает погрешность (примерно на  $\pm 1\%$ ), однако в конечном приложении такие дополнительные затраты могут быть неоправданными.

#### Переходные процессы при отключении

Основным требованием является быстрая реакция на неисправность и последующее прерывание тока. Однако электроэнергия, оставшаяся как результат распределенной индуктивности силовых проводов, может вызвать пики разрушительного напряжения. Некоторая часть этой энергии поглощается распределенной емкостью в питании нагрузки, но может понадобиться быстросрабатывающая схема фиксации перенапряжения для защиты контроллера MAX4373 от переходных напряжений с амплитудой в 28 В или выше.

## Результаты

Токовый зонд определяет ток нагрузки на входе ( $V_{IN}$  на рис. 1). Ток нагрузки растет, пока не достигает пороговой величины и запускает схему. Время срабатывания составляет около 2 мкс (рис. 2).

Автор благодарит Kevin Frick за его топологию, составление и тестирование схемы, представленной на рис. 1.

Более подробную информацию запрашивайте у авторизованных дистрибьюторов [www.maxim-ic.ru](http://www.maxim-ic.ru).