

ЭЛЕКТРОННЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ЦЕПЕЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

СЕРГЕЙ ГЛАДЫШЕВ

В статье рассмотрены способы защиты цепей от перенапряжения, провалов напряжения и от токов перегрузки. Рассмотрены электронные предохранители eFuse, в основном на примере продукции компании Texas Instruments, и новое изделие – ограничитель напряжения LTC7862 от компании Analog Devices.

Несмотря на то, что в настоящее время практически во все AC/DC- и DC/DC-преобразователи встроена защита разного рода, потребность в электронных средствах ограничения перегрузки цепей довольно велика. Как правило, электронные средства защиты требуются в случаях, когда необходимо защитить отдельные цепи, питаемые от одного преобразователя. В этом случае защита преобразователя, настроенная на полную нагрузку, может не сработать (или, как иногда говорят, «не достать») при превышении порогового значения тока в отдельной цепи.

Одним из распространенных методов защиты от перегрузки по току являются керамические или полимерные термисторы с положительным температурным коэффициентом (ПТС). Термисторы ПТС резко увеличивают сопротивление при нагреве, т.е. они, в отличие от электронных средств защиты цепей, не могут

защитить цепи с быстрым изменением тока. Кроме того, функциональность электронных предохранителей eFuse и ограничителей напряжения заметно выше. В ряде случаев электронные средства обеспечивает выполнение следующих защитных функций:

- мягкий старт с ограничением пускового тока;
- защита от превышения порогового значения тока либо путем разрыва цепи, либо с помощью ограничения тока на пороговом уровне;
- быстродействующая защита от токов короткого замыкания;
- защита от обратной полярности токов и входного напряжения;
- защита от перенапряжения;
- защита от провалов напряжения;
- программируемый уровень порогов максимального тока.

На всякий случай заметим, что термистор ПТС значительно уступает

по функциональным возможностям электронным средствам защиты. Типовая структурная схема электронного предохранителя показана на рисунке 1. Силовые ключи могут интегрироваться в корпус eFuse, но известны варианты и без встроенных силовых ключей. В этом случае возрастают габариты решения, но, как правило, можно выбрать MOSFET с минимальным сопротивлением открытого канала $R_{DS(ON)}$.

Конечно, весь описанный функционал несложно реализовать с помощью дискретных компонентов. Возможно, при этом даже удастся получить более экономичное решение, но наверняка за счет проигрыша в надежности и габаритах. При использовании электронных предохранителей обычно требуются два внешних компонента – конденсатор для задания скорости мягкого старта и резистор для определения порогового значения тока. Внешний конденса-

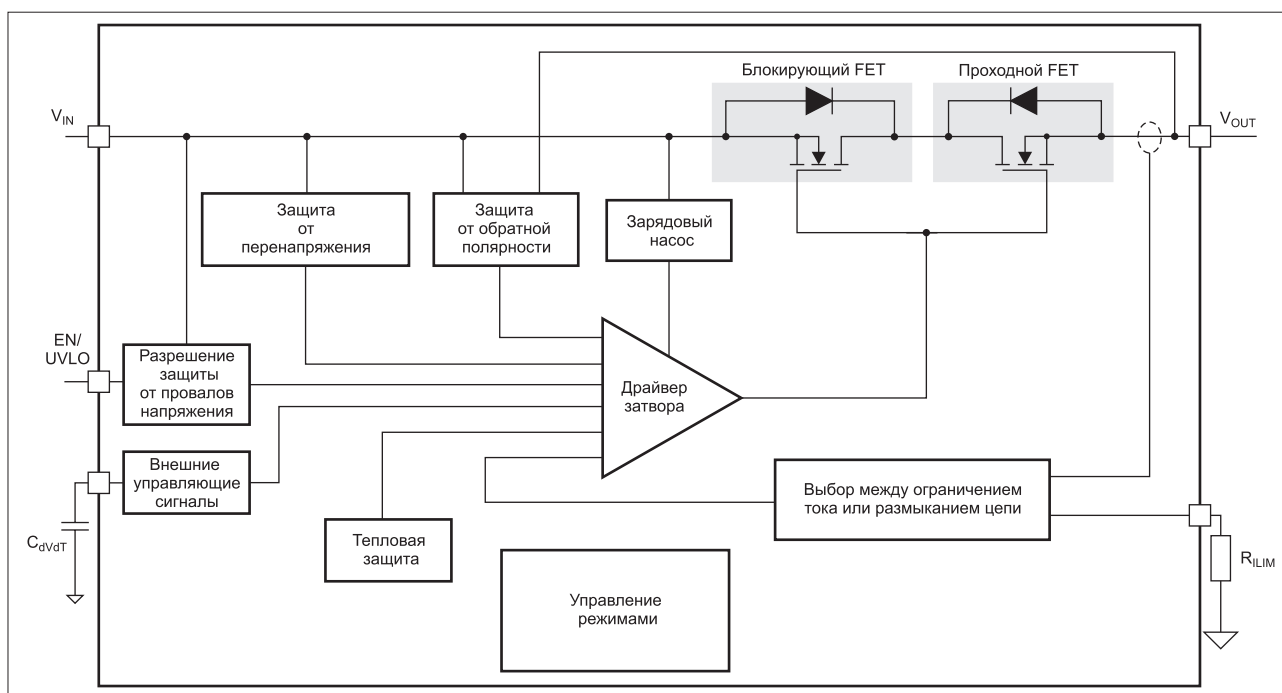


Рис. 1. Типичная структурная схема электронного предохранителя

тор служит датчиком для выходного напряжения – он устанавливает требуемую скорость его изменения при пуске или горячей замене.

Защита от токов короткого замыкания является обычно компромиссным решением между быстродействием, точностью и стоимостью. Результат компромисса – относительно невысокая точность срабатывания электронного предохранителя TPS25944 от Texas Instruments при превышении током заданного порога короткого замыкания составляет 200 нс. Однако точность индикации тока относительно невысока – всего 8% во всем диапазоне уставок максимального тока 0,6–53 А. Столь малое время срабатывания достигается за счет использования быстродействующего компаратора. Не все предохранители eFuse могут похвастать такими динамическими характеристиками. Например, время срабатывания защиты по току предохранителя eFuse AP91352 от компании Diodes находится в пределах 5,5–40 мкс. К сожалению, не все производители указывают динамические параметры предохранителей eFuse.

Защита от перегрузки по току может осуществляться либо за счет удержания тока на пороговом уровне, либо за счет разрыва цепи. Временная диаграмма работы предохранителя eFuse в первом случае показана на рисунке 2, а во втором – на рисунке 3. При удержании максимально допустимого тока (см. рис. 2) предохранитель eFuse проводит ток до тех пор, пока его значение не превысит пороговую величину, либо до срабатывания тепловой защиты, предельно допустимая температура которой обычно задается равной 150°C.

Далее в зависимости от модификации предохранителя eFuse возможны два сценария. В первом из них предохранитель выключается. Такой режим называется «защелка». Повторное включение происходит после сброса и повторного включения питания. Во втором режиме при срабатывании тепловой защиты повторное включение происходит с некоторой временной задержкой, исчисляемой обычно десятками миллисекунд после уменьшения температуры на 12–15°C ниже порога срабатывания тепловой защиты. Именно такой вариант показан на рисунке 2, где после нескольких циклов срабатывания защиты происходит восстановление нормального режима.

Возможен вариант ограничения максимального тока с помощью разрыва цепи (см. рис. 3). В этом случае при превышении порогового тока запускается таймер и, если через несколько

миллисекунд величина тока не уменьшится ниже порогового уровня, произойдет размыкание цепи. Повторное замыкание произойдет через фиксированное время, обычно исчисляемое несколькими десятками миллисекунд. На рисунках 2–3 кривая IMON описывает напряжение на выходе микросхемы электронного предохранителя eFuse, пропорциональное значению выходного тока.

Следует оговориться, что на рисунках 2–3 приведены варианты защиты при превышении порогового тока LIM, заданного пользователем. В случае короткого замыкания, когда ток достигнет величины ISC, отключение происходит гораздо быстрее, например за 200 нс при использовании TPS25944 от Texas Instruments. У менее быстродействующих микросхем eFuse эта величина достигает нескольких десятков микросекунд.

Срабатывание тепловой защиты происходит по сигналу датчика температу-

ры, встроенного в микросхему eFuse. На рисунке 4 показана зависимость времени срабатывания тепловой защиты от рассеиваемой микросхемой мощности и температуры окружающей среды. Эта зависимость схожа с аналогичным графиком для теплового электрохимического реле. Следует оговориться, что тепловая защита целесообразна в случае, если силовые ключи интегрированы в микросхему электронного предохранителя. Гистерезис тепловой защиты обычно составляет 10–15%.

В некоторых случаях возникает ситуация, когда выходное напряжение выше входного. Подобное происходит при резервировании по схеме ORing, когда от ветви с более высоким напряжением ток перетекает в цепи с меньшим напряжением, или при наличии в цепи, защищаемой электронным предохранителем, конденсаторов большой емкости. Избежать перетекания обратных токов позволяет защита от обратной поляр-

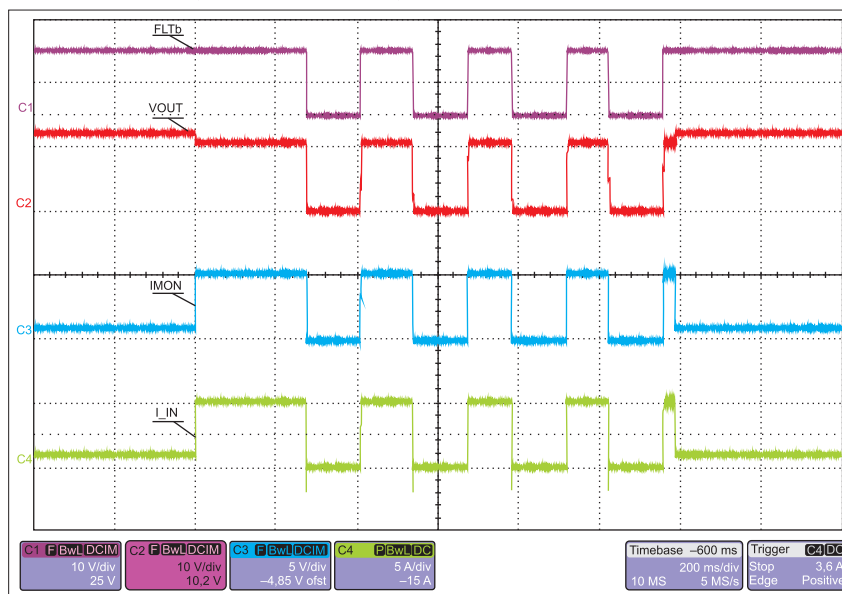


Рис. 2. Временная диаграмма работы предохранителя eFuse при удержании тока на пороговом уровне

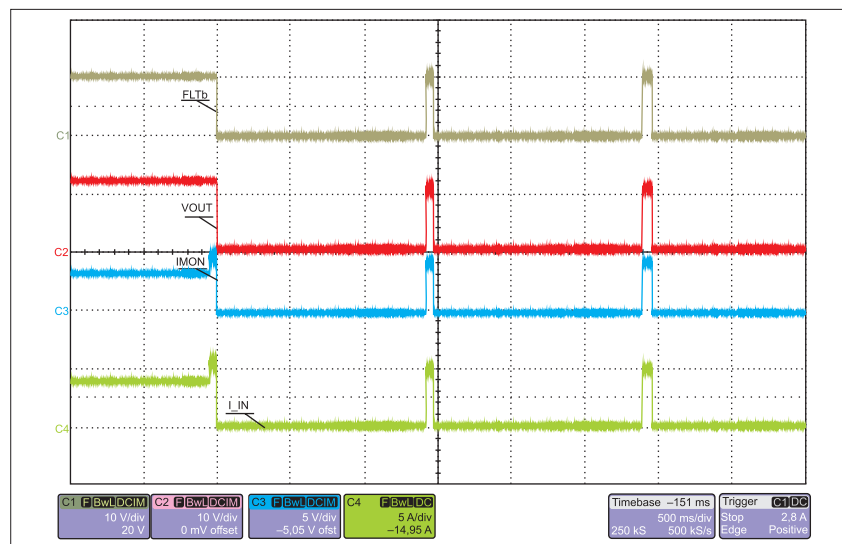


Рис. 3. Временная диаграмма работы предохранителя eFuse при размыкании цепи

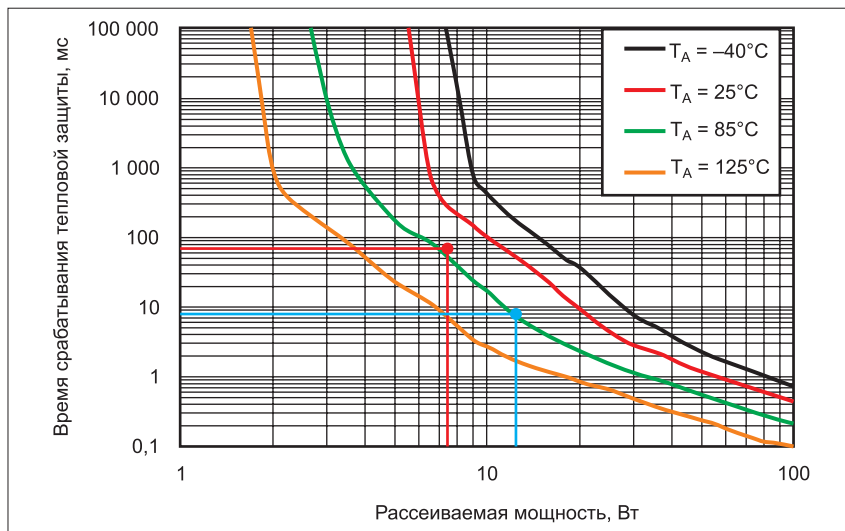


Рис. 4. Зависимость времени срабатывания тепловой защиты от рассеиваемой микросхемой мощности и температуры

ности токов. Она реализована с помощью блокирующего и проходного FET (см. рис. 1). При обнаружении тока обратной полярности защита срабатывает не позже чем через 1 мкс. Эта же схема служит защитой от напряжения обратной полярности на входе eFuse.

Несколько компаний выпускает электронные предохранители eFuse. На нашем рынке наиболее известны Diodes, NXP, ON Semiconductors, STMicroelectronics, Texas Instruments. Но для защиты от перенапряжений в этих eFuse приходится использовать внешние TVS-диоды. Поскольку параметры eFuse варьируются в широких пределах, нет смысла приводить в статье характеристики некоего «типичного» электронного предохранителя – такового попросту не существует.

Оригинальное решение недавно предложила компания Linear Technology, которая ныне является подразделением Analog Devices. Свою новую микросхему LTC7862 они назвали: «высокоэффектив-

ным ключевым ограничителем перенапряжений» (High Efficiency Switching Surge Stopper).

Несмотря на свое название, помимо ограничения перенапряжения LTC7862 ограничивает максимальный ток, ток короткого замыкания и реализует мягкий старт с заданной скоростью нарастания напряжения, а также имеет защиту от провалов напряжения. Таким образом, микросхема LTC7862 в значительной степени выполняет функции электронного предохранителя eFuse за исключением тепловой защиты, а также защиты от обратной полярности напряжения и тока. Схема включения ограничителя LTC7862 показана на рисунке 5. При показанных на схеме номинальных значениях компонентов уровень ограничения напряжения и тока составит 34 В и 20 А, соответственно.

Если значение напряжения и тока ниже установленных пределов, постоянно открыт ключ MTOP, и входное

напряжение подается на нагрузку. Если же величина напряжения или тока превышает допустимые пределы, микросхема LTC7862 начинает работать как обычный понижающий DC/DC-контроллер; при этом нижний ключ MBOT играет роль синхронного выпрямителя. При работе в режиме DC/DC-контроллера величина напряжения или тока удерживается на пороговом уровне. При мягком старте микросхема так же работает в режиме DC/DC-контроллера.

При старте режима DC/DC-контроллера запускается внутренний таймер микросхемы. Если в течение заданного времени ток или напряжение не опускаются ниже порогового уровня или при мягком старте выходное напряжение не достигает заданной величины, цепь нагрузки разрывается ключом MTOP, а через заданное время процесс запускается вновь. В заключение приведем некоторые основные параметры ограничителя LTC7862:

- входное напряжение: 4–140 В;
- уровень порогового напряжения (макс.): 60 В;
- пороговый уровень провала напряжения, задается уровнем напряжения на внешнем выводе микросхемы: 4,0 или 7,5 В;
- задержка обнаружения перенапряжения: 1 мкс;
- падение напряжения на токоувствительном элементе при срабатывании защиты (макс.): 50 ± 7 мВ;
- рабочая частота в режиме DC/DC-контроллера, программируется: 50–900 кГц;
- время нарастания сигнала драйверов затвора: 25 нс;
- время спада сигнала драйверов затвора: 15 нс;
- диапазон рабочей температуры: $-40 \dots 125^\circ\text{C}$;
- корпус: QFN20 (4x4 мм) TSSOP20.

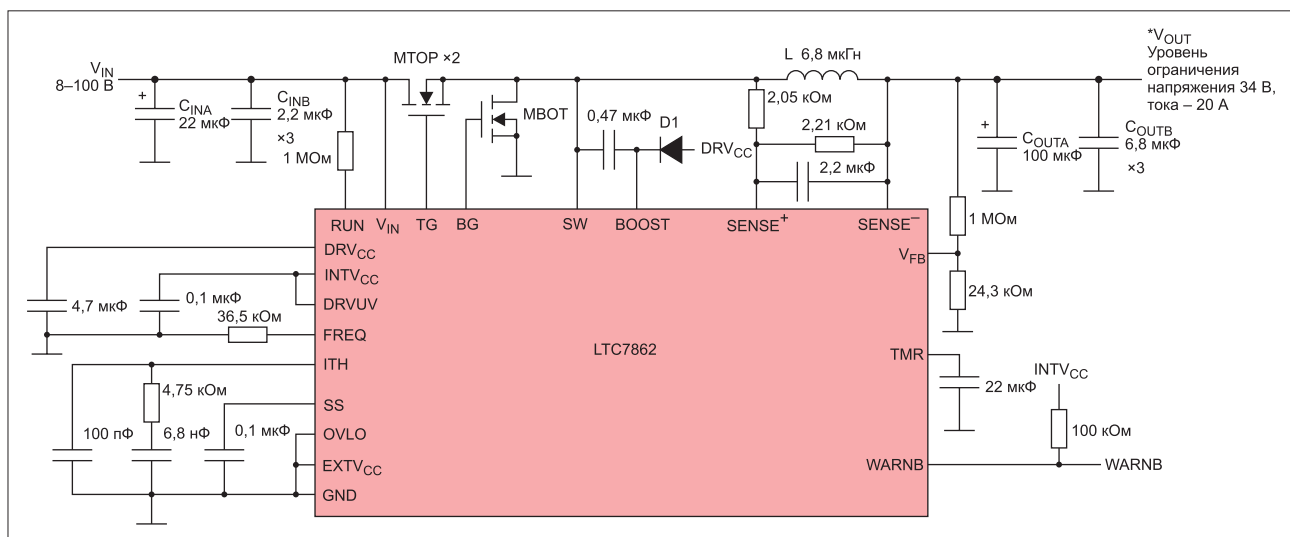


Рис. 5. Схема включения ограничителя LTC7862