ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

В статье приведена краткая информация о ИМС электронных предохранителей, выпускаемых компанией Analog Devices. Приведены примеры моделей для испытаний электронных предохранителей на базе ИМС LTC4381. Результаты моделирования подтверждают заявленные компанией параметры этих устройств.

В. Макаренко

ELECTRONIC FUSES

Abstract – The article provides brief information about the IC of electronic fuses manufactured by Analog Devices. Examples of models for testing electronic fuses based on the IC LTC4381 are given. Simulation results confirm the parameters of these devices declared by the company.

V. Makarenko

Защита источников питания от перегрузки по току необходима для предотвращения их выхода из строя и, как следствие, отказа систем, которые они питают. Автомобильная, промышленная и авиационная электроника должна выживать и работать в условиях скачков напряжения, характерных для их режимов работы. Традиционная защита от перенапряжения (OV – Over Voltage) и перегрузки по току (OC – Over Current) основана на конденсаторах, ограничителях переходного напряжения (TVS), предохранителях, диодах и катушках индуктивности, но эти решения либо имеют большие габариты и имеют малую точность, либо выходят из строя (перегорают) при длительной неисправности. Кроме того, время срабатывания таких устройств зачастую оказывается недопустимо большим.

Электронные ограничители перенапряжения и защиты от короткого замыкания заменяет эти пассивные компоненты контроллером и последовательно включенным защитным МОП-транзистором. Быстрое отключение неисправной подсистемы от общей шины питания позволяет остальным подсистемам продолжать работу без перезагрузки или перехода в автономный режим.

Ограничители перенапряжения с низким током покоя обеспечивают надежную защиту автомобильных источников питания в соответствии со стандартами ISO 7637-2 и ISO 16750-2.

В автомобильных источниках питания часто имеют место переходные процессы, создающие значительные броски напряжения переходные процессы, которые могут легко вывести из строя бортовую электронику. Производители автомобилей независимо друг от друга разрабатывали стандарты и процедуры испытаний, чтобы предотвратить выход из строя чувствительную электронику при таких событиях. Однако в последнее время производители автомобилей объединили усилия с международной организацией по стандартизации (ISO) для разработки стандартов ISO 7637-2 и ISO 16750-2, описывающих возможные переходные процессы и регламентирующие методы тестирования для их имитации [1].

Хотя стандарт ISO 7637 в основном является спецификацией по электромагнитной совместимости, до 2011 года он также включал переходные процессы, связанные с качеством электропитания. В 2011 году те разделы, которые касаются качества электроснабжения, а не электромагнитной совместимости, были перенесены в стандарт ISO 16750 “Дорожные транспортные средства – условия окружающей среды и испытания электрического и электронного оборудования” во второй из пяти частей “Часть 2: Электрические нагрузки”.

В то время как большинство производителей по-прежнему придерживаются своих собственных спецификаций и требований, а не принимают ISO 7637-2 и ISO 16750-2 полностью, наблюдается тенденция к более точному соответствию стандартам ISO, при этом спецификации производителей соответствуют международным стандартам с незначительными изменениями.

Стандарты ISO 7637-2 и ISO 16750-2 содержат спецификации как для систем 12 В, так и для систем 24 В. Рассмотрим особенности работы схем защиты в различных режимах.

Сброс нагрузки

Сброс нагрузки является наиболее сложным из переходных процессов в источнике питания автомобилей из-за значительного расхода энергии в этом случае. Это происходит, когда генератор переменного тока заряжает аккумулятор, и в это время соединение с батареей теряется.

Генераторы переменного тока без внутренних ограничителей напряжения

Первоначально генераторы переменного тока в автомобилях не имели встроенных устройств ограничения напряжения и могли формировать чрезвычайно большие броски напряжения при сбросе нагрузки, около 100 В для систем 12 В. Новые генераторы переменного тока содержат ограничители, обеспечивающие более низкое значение напряжения во время сброса нагрузки. В связи с тем, что в настоящее время используются как старые генераторы переменного тока и некоторые современные генераторы переменного тока, не содержащие ограничителей напряжения, спецификация при сбросе нагрузки в стандарте ISO 16750-2 разделена на “Тест А – без централизованного подавления сброса нагрузки” и “Тест В – с централизованным подавлением сброса нагрузки”.

На рис. 1 показана схема соединения 3-фазных обмоток статора генератора переменного тока и выпрямителя, который формирует постоянный ток для заряда аккумулятора. При обрыве соединения с аккумулятором результирующий ток протекает так, как показано на рис. 2. Без батареи, поглощающей ток статора, выходное напряжение возрастает до очень высоких напряжений, наблюдаемых при сбросе нагрузки, как показано на рис. 3 (спецификация ISO 16750-2). Это соответствует ситуации с использованием генератора переменного тока без встроенного ограничителя напряжения в “Тесте А – без централизованного подавления сброса нагрузки”.

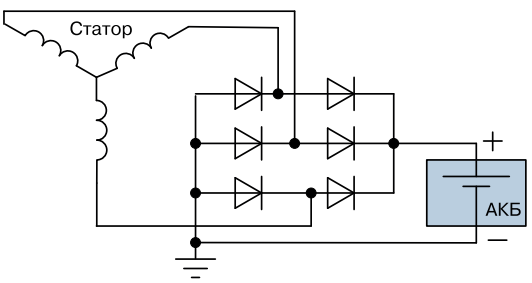


Рис. 1. Формирование тока заряда аккумулятора в стандартном генераторе

Рис. 3. Ограничение скачка напряжения величиной 35 В при использовании генератора со встроенной системой ограничения напряжения

Генераторы переменного тока с внутренними ограничителями напряжения

В новых генераторах переменного тока используются лавинные диоды, которые имеют четко заданные напряжения обратного пробоя и ограничивают максимальное напряжение при сбросе нагрузки. На рис. 3 показан выброс напряжения в генераторе со встроенной системой ограничения напряжения при сбросе нагрузки в соответствии ISO 16750-2 (Тест В).

Проблемы защиты с помощью TVS-диодов

Внутреннее сопротивление Ri генератора переменного тока (рис. 4) как в тесте А, так и в тесте В

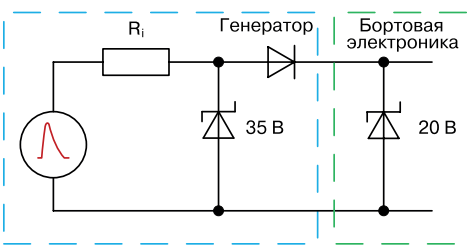


Рис. 4. Схема включения защитного TVS-диода в генераторе

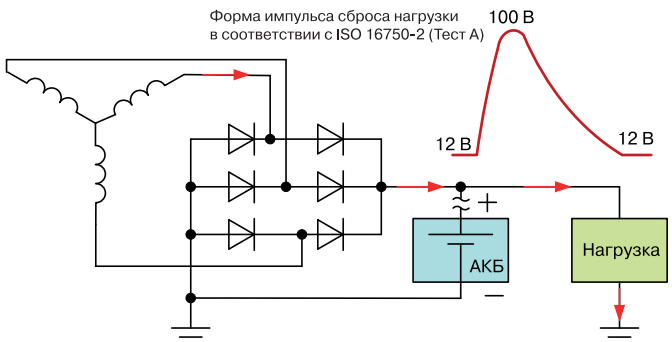


Рис. 2. Скачок напряжения до 100 при потере соединения с аккумулятором во время его зарядки при использовании стандартного генератора

указано в стандарте ISO 16750-2 в диапазоне от 0.5 Ом до 4 Ом. Это ограничивает максимальную энергию, отдаваемую в цепи защиты.

Если бортовая электроника локально защищена шунтирующим устройством, таким как TVS-диод с напряжением пробоя менее 35 В, то этот диод должен поглощать энергию генератора переменного тока. В этом случае внутренняя схема защиты в генераторе приносит мало пользы. Вся энергия, выделяемая во время сброса нагрузки, поступает на TVS-диод в бортовой электронике.

Иногда и в бортовой электронике включают балластный резистор, но это приводит к падению напряжения и рассеиванию мощности на нем даже при нормальной работе.

Преимущества активной защиты с ограничителем перенапряжения

Лучшим решением является использование последовательных устройств активной защиты, таких как электронные предохранители. Компания Analog Devices выпускает большое число электронных предохранителей [2], предназначенных как для защиты автомобильной электроники, так и для защиты других устройств. Диапазон входных напряжений таких устройств находятся в диапазоне от 0 до 500 В. В табл. 1 приведены основные характеристики устройств защиты, выпускаемых компанией.

Рассмотрим кратко основные характеристики некоторых электронных предохранителей.

Ограничитель перенапряжения с низким тока покоя LTC4380

Ограничитель перенапряжения с низким током покоя LTC4380 защищает нагрузку от переходных процессов с высоким значением максимального напряжения. Защита от перенапряжения обеспечивается путем ограничения напряжения затвора внешнего N-канального МОП-транзистора для ограничения выходного напряжения до безопасного значения во время бросков напряжения на входе при сбросе нагрузки в автомобилях. Фиксированное напряжение затвора выбирается для систем 12 В и 24/28 В. Для систем с пиковыми напряжениями до 72 В необходимо использовать предохранители с регулируемым напряжением на затворе. В этой ИМС предусмотрена защита от перегрузки по току.

Структурная схема LTC4380 приведена на рис. 5.

Внутренний генератор формирует ток вывода TMR, пропорциональный VDS и ID, так что время работы как в условиях перегрузки по току, так и в условиях перенапряжения ограничено в соответствии с напряжением на МОП-транзисторе.

Для версий ИМС LTC4380-1 и LTC4380-2 доступны два различных напряжения на затворе – 31,5 В, что ограничивает выходное напряжение значением примерно 27 В для использования в системах 12 В, и 50 В, что ограничивает выходное напряжение значением 45 В для использования в системах 24 В и 28 В. Напряжение затвора выбирается с помощью подачи сигнала управления на вывод SEL. Напряжение на затворе ограничено значением на 13.5 В выше напряжения на выводе VCC.

Точный компаратор, подключенный к контакту ON, контролирует уровень напряжения входного источника питания и при снижении напряжения ниже заданного уровня отключает выход, снижая ток потребления до 6 мкА.

Контроль перегрузки по току осуществляется компаратором IA, подключенным к выводам датчика тока R_{SNS}. При превышении напряжения, заданного опорным источником, компаратор срабатывает и закрывает транзистор M1, отключая нагрузку. В [3] приведены соотношения для расчета сопротивления резисторов R_{SNS} и R_{DRN} для получения требуемых значений срабатывания схем защиты. Более подробно с описанием функциональной схемы LTC4380 можно ознакомиться в [3].

Типовая схема включения LTC4380-2 приведена на рис. 6, а результаты ее работы – на рис. 7 [3]. Как следует из рис. 7, напряжение на выходе схемы защиты ограничено величиной 27 В.

Для защиты электроники от обратного напряжения обычно используется блокировочный диод. Но использование диода приводит к дополнительным потерям мощности и снижает напряжение, отдаваемое на нагрузку. В автомобилях во время холодного пуска двигателя дополнительное падение напряжения на диоде особенно нежелательно. ИМС LTC4380 спроектирована так, что может выдерживать обратное напряжение на входе. К выводам VCC, ON и SEL можно прикладывать отрицательное напряжение величиной до 60 В.

При использовании двух МОП-транзисторов, включенных встречно, можно построить ограничитель перенапряжения с защитой от обратного напряжения на входе, как показано на рис. 8.

Примеры других устройств с использованием

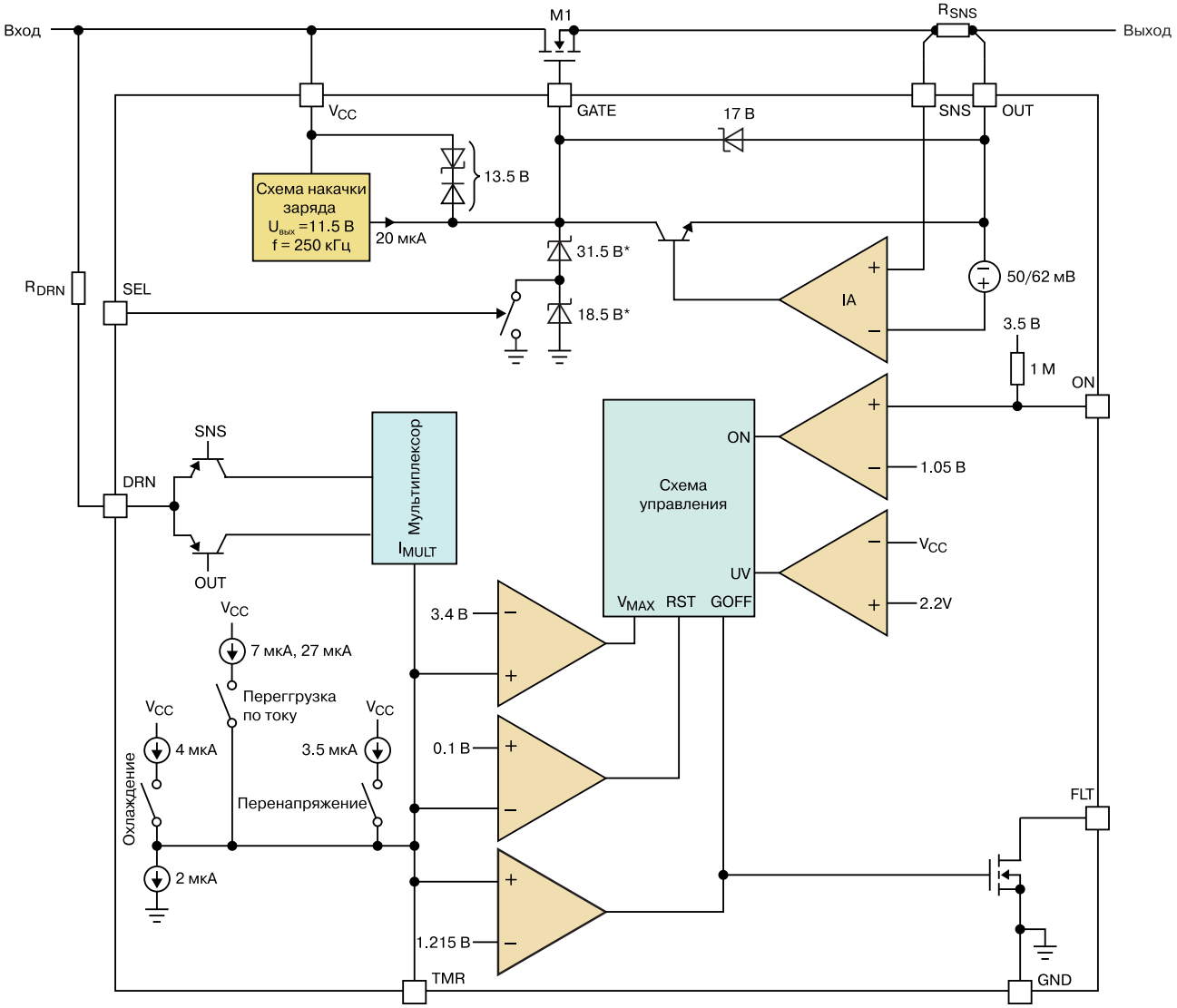


Рис. 5. Структурная схема LTC4380

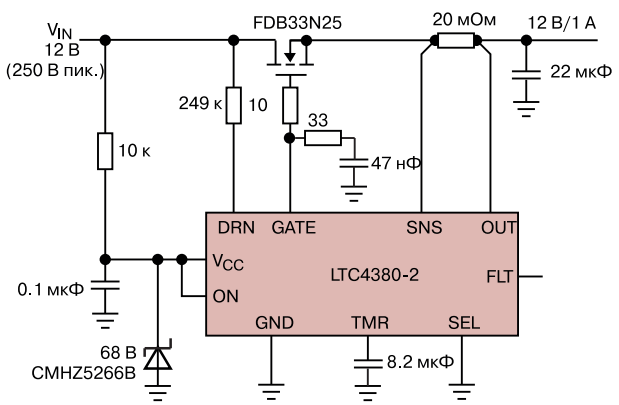


Рис. 6. Типовая схема включения предохранителя LTC4380-2

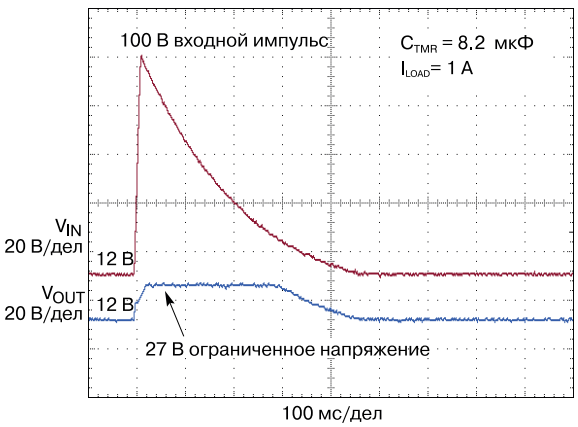


Рис. 7. Осциллограммы входного и выходного сигналов предохранителя LTC4380-2

LTC4380 можно найти в [3].

Таблица 1. Основные характеристики электронных предохранителей компании Analog Devices

Тип	Число каналов	Выполняемые функции	Диапазон входного напряжения, В	Ток покоя	Порог автоматического выключения
LTC4381	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения, блокировка при пониженном напряжении	4...72 В	6 мкА	50 мА
LTC4249	2	Автоматический выключатель	1.5...65 В	1 мА	–
LTC4246	8	Автоматический выключатель	0...13.2 В	2.5 мА	от 50 мА до 1.5 А
LTC7862	1	Автоматический выключатель	4...140 В	1.2 мА	50 мА
LTC4368	1	Автоматический выключатель, отключение при отсутствии входного напряжения, блокировка обратного тока, защита от обратного напряжения, блокировка при пониженном напряжении	2.5... 60 В	80 мкА	±50 мА
LTC4380	1		4...72 В	8 мкА	50 мА
LTC4367	1		2.5...60 В	70 мкА	–
LTC7860	1	Автоматический выключатель, отключение при отсутствии входного напряжения, блокировка обратного тока, защита от обратного напряжения	60...200 В	770 мкА	95 мА
LTM4641	1	Ограничение тока, отключение при отсутствии входного напряжения, регулятор uModule, блокировка при пониженном напряжении	4.5...38 В	8 мА	–
LTC4364	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, блокировка обратного тока, защита обратного входа, защита обратного выхода, ограничитель перенапряжения, блокировка при пониженном напряжении	4...80 В	483 мкА	50 мА
LT4363	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения, блокировка при пониженном напряжении	4...80 В	970 мкА	50 мА
LTC4366	1	Защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения	9...500 В	159 мкА	–
LTC4365	1	Отключение при отсутствии входного напряжения, защита от обратного напряжения, блокировка при пониженном напряжении	2.5...34 В	125 мкА	–
LTC4362	1	Автоматический выключатель, разъединитель OV, защита от обратного напряжения	2.5...5.5 В	220 мкА	–
LTC4360	1		2.5...5.5 В	230 мкА	–
LTC4361	1		2.5...5.5 В	230 мкА	50 мА
LT4356-3	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения	4...80 В	1.21 мА	50 мА
LT4356MP-1	1		4...80 В	1.21 мА	50 мА
LT4356MP-2	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения, блокировка при пониженном напряжении	4...80 В	1.21 мА	50 мА
LT4356-1	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения	4...80 В	1.21 мА	50 мА
LT4356-2	1	Автоматический выключатель, ограничение тока, защита от обратного напряжения, ограничитель перенапряжения, блокировка при пониженном напряжении	4...80 В	1.21 мА	50 мА
LTC1696	2	Отключение при отсувтствии входного напряжения	0.8..24 В	170 мкА	–

Ограничитель перенапряжения с внутренним силовым МОП-транзистором LTC4381

В отличие от LTC4380, микросхема LTC4381 содержит внутренний силовой МОП-транзистор [4]. Это первый ограничитель перенапряжения с внутренним силовым транзистором. При необходимости к этой ИМС можно подключить внешний силовой транзистор. Структурная схема ограничителя приведена на рис. 9.

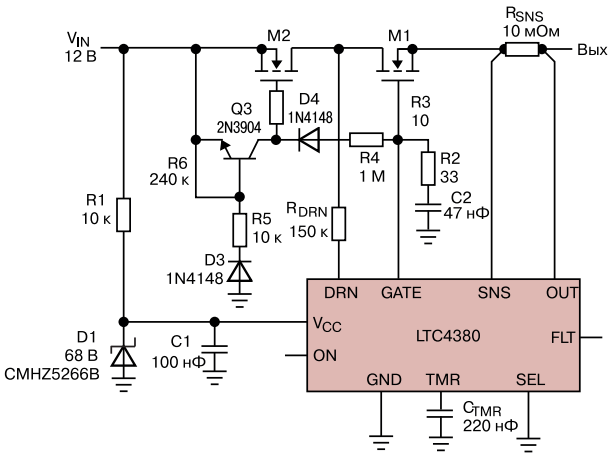


Рис. 8. Устройство защиты от перенапряжения и обратного напряжения с использованием N-канальных МОП-транзисторов и LTC4380

LTC4381 работает при напряжении питания до 72 В, потребляя всего 6 мкА в режиме покоя. Напряжение пробоя внутреннего МОП-транзистора 100 В (BVDSS), сопротивление открытого канала (RDS(ON)) не более 9 мОм. Максимальный ток через встроенный транзистор 10 А. LTC4381 имеет четыре режима повторной попытки включения после сбоя.

Функциональность ограничителя перенапряжения LTC4381 может быть легко расширена для работы в качестве электронного предохранителя [5]. На рис. 10 показана схема подключения LTC4381-4 для использования в качестве электронного предохранителя 48 В, 10 А, который защищает источник питания от перегрузки или короткого замыкания на выходе.

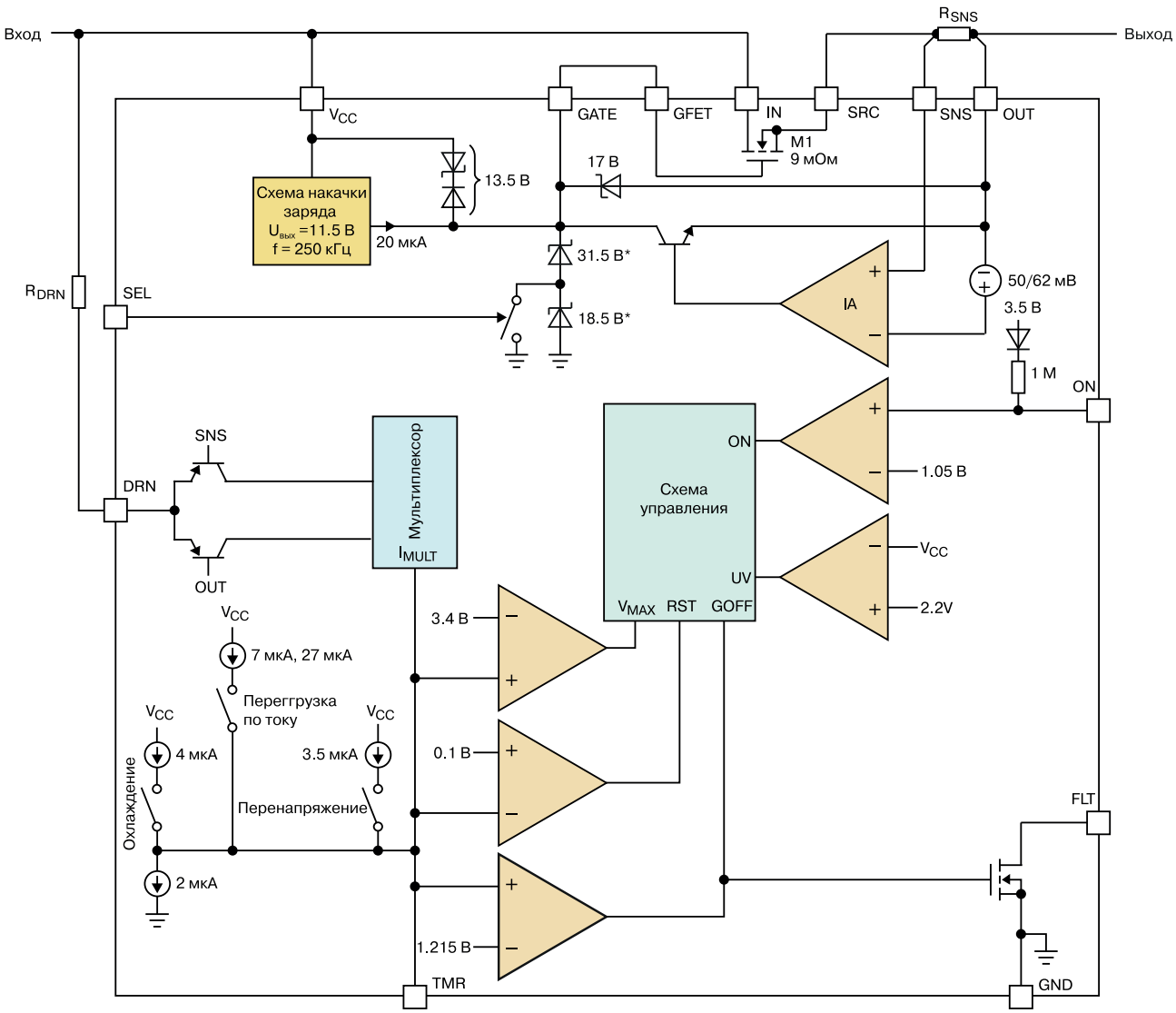


Рис. 5. Структурная схема LTC4381

Во время нормальной работы выход VOUT подключается к входу питания VIN через внутренний силовой МОП-транзистор и внешний резистор RSNS, выполняющий функцию датчика тока. Когда падение напряжения на резисторе RSNS превышает предельный порог 50 мВ во время перегрузки или короткого замыкания на выходе, напряжение на конденсаторе CTMR начинает увеличиваться. В начальном состоянии (при отсутствии короткого замыкания) напряжение на этом конденсаторе равно нулю. Внутренний МОП-транзистор закрывается, когда напряжение на конденсаторе CTMR достигает 1,215 В. При значении сопротивления резистора RSNS = 4 мОм типичный порог перегрузки по току составляет 12,5 А (50 мВ/4 мОм) и минимальный порог 11,25 А (45 мВ/4 мОм), обеспечивая достаточный запас по току нагрузки 10 А.

Из-за паразитной индуктивности дорожки или кабеля, соединяющих источник питания с входом LTC4381, входное напряжение значительно превышает нормальное рабочее напряжение всякий раз, когда внутренний МОП-транзистор закрывается при срабатывании защиты. Стабилитрон D1 защищает вывод VCC ИМС LTC4381 от абсолютного максимального напряжения 80 В, в то время как D2 защищает внутренний МОП-транзистор от лавинообразного разрушения. D1 также ограничивает напряжение на выходе величиной 66,5 В (56 В + 10,5 В) в случае, если D2 не используется. Фильтр R1, C1 сглаживает броски напряжения VIN. Если на плате имеется емкость, расположенная близкая к LTC4381, то вывод VCC может быть напрямую подключен к VIN. В этом случае D1, D2, R1 и C1 могут быть исключены из схемы.

При токе 10 А, протекающем через внутренний МОП-транзистор во время нормальной работы, начальное падение напряжения между входом и выходом LTC4381 составляет 90 мВ, а рассеиваемая мощность составляет 900 мВт, что приводит к повышению температуры корпуса LTC4381 примерно до 100 °C на оценочной плате DC2713A-D при комнатной температуре окружающей среды. При такой температуре сопротивление открытого транзистора RDS возрастает в 2 раза и, как следствие, падение напряжения между входом и выходом ИМС увеличивается до 180 мВ. На резисторе RSNS падение напряжения составляет еще 40 мВ при токе 10 А. Чтобы снизить повышение температуры LTC4381 необходимо увеличить площадь меди. Для справки, площадка меди под узлом SNS DC2713A-D имеет площадь 2,5 см2 и равномерно распределена по двум внешним слоям платы.

Поведение LTC4381 при пуске

При отключении вывода ON от общего провода начинается зарядка выходного конденсатора C_{LOAD} (рис. 10), как показано на рис. 11. Предполагается, что максимальное напряжение источника питания 48 В не превышает 60 В. Емкость нагрузки не должна превышать 220 мкФ (при условии отсутствия дополнительного тока нагрузки во время включения) чтобы ИМС начала нормально функционировать.

Если емкость конденсатора CLOAD = 220 мкФ заряжается до 60 В при максимальном токе 12.5 А, время включения составляет (220 мкФ Ч 60 В)/12,5 А = 1.06 мс. График безопасной рабочей зоны (SOA) МОП-транзистора LTC4381, как показано на рис. 12, показывает, что он может выдерживать 12.5 А и 30 В в течение 1 мс.

Поскольку конденсатор на выводе GATE (Затвора) отсутствует, выходной конденсатор заряжается в течение 2 мс, а пусковой ток достигает 17 А, превышая пороговое значение предела тока, прежде чем его можно будет контролировать (рис. 2). LTC4381 имеет пороговое значение ограничения

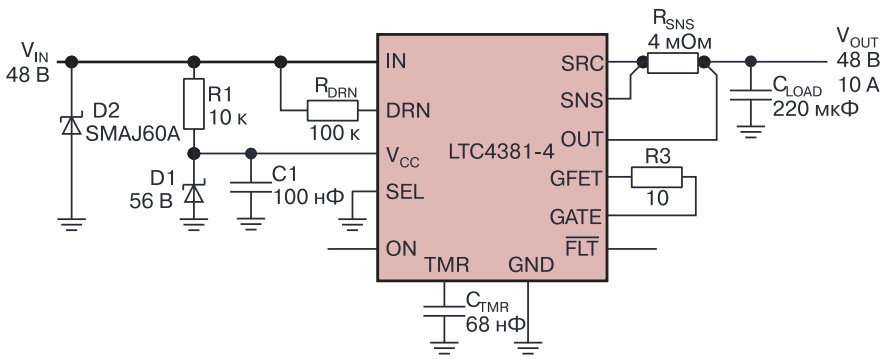
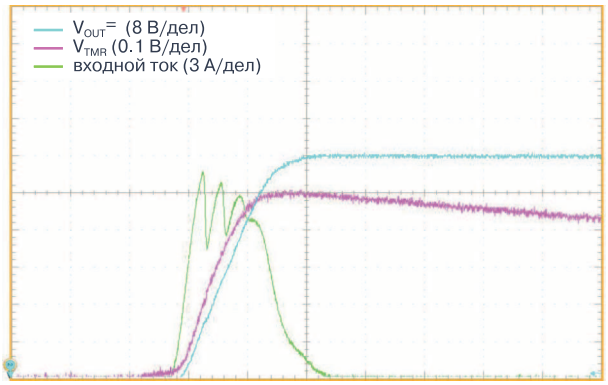


Рис. 10. Предохранитель 10 А на основе ИМС LTC4381



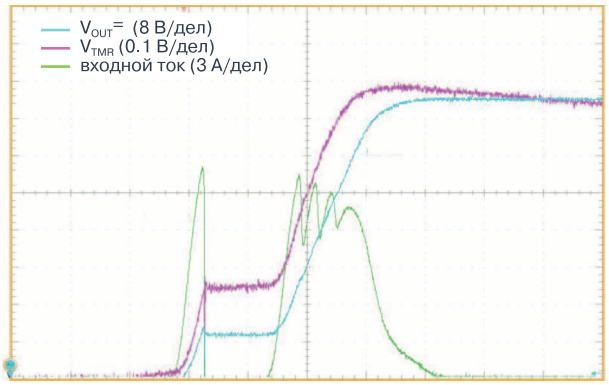


Рис. 11. Осциллограммы сигналов LTC4381 при токе 10 А и максимальном выходном напряжении 48 В (а) и 60 В (б)

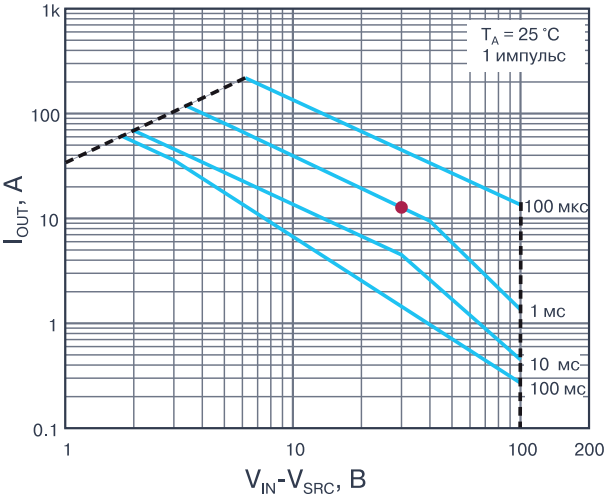


Рис. 12. Безопасная рабочая зона МОП-транзистора LTC4381

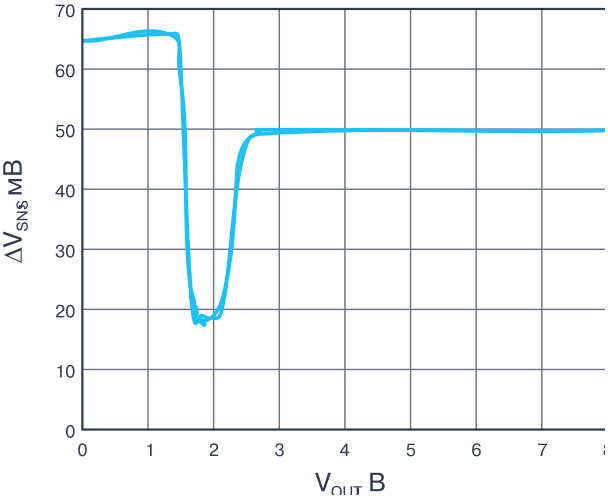


Рис. 13. Зависимость падения напряжения на датчике тока от выходного напряжения

тока 12,5 А с чувствительным резистором 4 мОм, когда напряжение на выводе OUT превышает 3 В. Но при напряжении на выходе ИМС меньше 1.5 В падение напряжения на резисторе RSNS увеличивается до 62 мВ, что соответствует току 15.5 А, как показано на рис. 13.

Формы сигналов на рис. 11 показывают, что импульсы пускового тока не регулируются из-за отсутствия конденсатора затвора, необходимого для стабильности контура. Фактически, ток отключается примерно через 0.5 мс во время скачка напряжения 60 В. Напряжение на выводе TMR LTC4381 пропорционально рассеиваемой мощности во внутреннем МОП-транзисторе. Следовательно, напряжение на выводе TMR увеличивается во время пуска, даже если выходной ток ниже предельного значения тока. Конденсатор затвора намеренно отключен, а режим включения обеспечивает конденсатор, подключенный к выводу TMR. Одновременно этот конденсатор позволяет защитить МОП-транзистор во время короткого замыкания.

Минимальное значение емкости конденсатора CTMR – 68 нФ. При таком значение емкости напряжение на выводе TMR возрастает примерно до 0.7 В при включении и формировании на выходе напряжения 60 В. При значении емкости 47 нФ напряжение на выводе TMR достигает 1.15 В при пуске, что очень близко к порогу отключения затвора 1.215 В. Пиковое напряжение на выводе TMR равное 0.7 В выбрано таким образом, чтобы обеспечить достаточный запас по сравнению с порогом отключения затвора 1.215 В с учетом следующих допусков: ±50% для тока срабатывания, ±10% для конденсатора CTMR и ±3% для порога отключения затвора при VTMR = 1.215 В.

В табл. 2 приведены рекомендуемый значения

емкости конденсатора CTMR при максимальной нагрузке, чтобы ограничить повышение напряжения TMR примерно до 0,7 В при пуске с напряжением 60 В.

Таблица 2. Рекомендуемый значения C_{TMR} для заданного значения C_{LOAD}

C_{LOAD}(MAX)	C_{TMR}
12 мкФ	10 нФ
47 мкФ	22 нФ
90 мкФ	33 нФ
140 мкФ	47 нФ
220 мкФ	68 нФ

Поведение LTC4381 при коротком замыкании на выходе

Основное назначение схемы, приведенной на рис. 10 – защита источника питания от перегрузки по току и короткого замыкания, как при включении, так и при нормальной работе. На рис. 14 показано, как LTC4381 включает МОП-транзистор при наличии короткого замыкания на выходе. Напряжение на затворе (синяя кривая) увеличивается. Когда оно превышает пороговое напряжение 3 В, включается МОП-транзистор, и начинает течь ток (зеленая кривая).

Из-за короткого замыкания на выходе и отсутствия конденсатора затвора ток МОП-транзистора быстро возрастает, превышая порог ограничения тока 15.5 А, и достигает максимального значения 21 А, прежде чем LTC4381 отреагирует, чтобы снизить напряжение на затворе МОП-транзистора и закрыть его.

Скачок тока выше 15.5 А длится менее 50 мкс. Из-за кратковременного рассеивания мощности в МОП-транзисторе напряжение на выводе TMR (красная кривая) увеличивается примерно на 200 мВ. Поскольку TMR намного ниже порога отключения затвора 1.215 В, затвор снова включается, что приводит к еще одному скачку тока. С каждым скачком тока напряжение на выводе TMR приближается к 1.215 В.

После нескольких таких скачков тока напряжение на выводе TMR достигает порога отключения затвора 1.215 В, и МОП-транзистор отключается. После этого ИМС входит в цикл охлаждения и МОП-транзистор остается закрытым до окончания

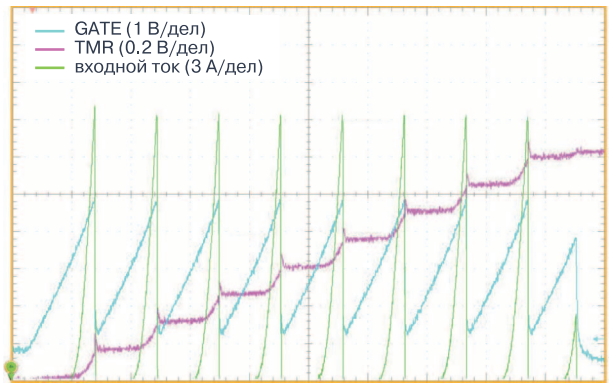


Рис. 14. Временные диаграммы сигналов во время включения LTC4381 при формировании выходного напряжения 48 В

цикла охлаждения.

Для конденсатора C_{TMR} емкостью 68 нФ цикл охлаждения составляет $33.3 \times 0.068 = 2.3$ с, согласно техническим характеристикам LTC4381 [4]. Поскольку LTC4381-4 повторяет попытку автоматически, то циклы включения и охлаждения будет повторяться бесконечно, пока не будет устранено короткое замыкание на выходе. Аналогичный процесс происходит, если короткое замыкание на выходе возникает во время нормальной работы, то есть, когда выход уже включен.

Проверить реакцию предохранителя на основе LTC4381 при различных испытательных сигналах можно путем моделирования в LTspice. На рис. 15 приведена модель для испытания предохранителя в соответствии требованиями стандарта ISO7637-2 при использовании испытательного импульса Pulse3b_12V.

На рис. 16 приведены временные диаграммы сигналов на выходе генератора испытательных сигналов и на выходе предохранителя. Там же показан выходной сигнал предохранителя в увеличенном масштабе.

Как следует из рис. 16, импульс амплитудой 145 В на входе блокируется предохранителем. Кроме импульса Pulse3b_12V для анализа на соответствие стандарту ISO7637-2 доступны испытательные импульсы, перечень которых показан на рис. 17.

Результаты проверки на соответствие стандарту ISO7637-2 при использовании одиночного импульса Pulse2a_12V приведены на рис. 18. Как следует из рисунка, работа предохранителя восстанавливается через 2 мс после окончания испытательного сигнала – напряжение на входе и на выхо-

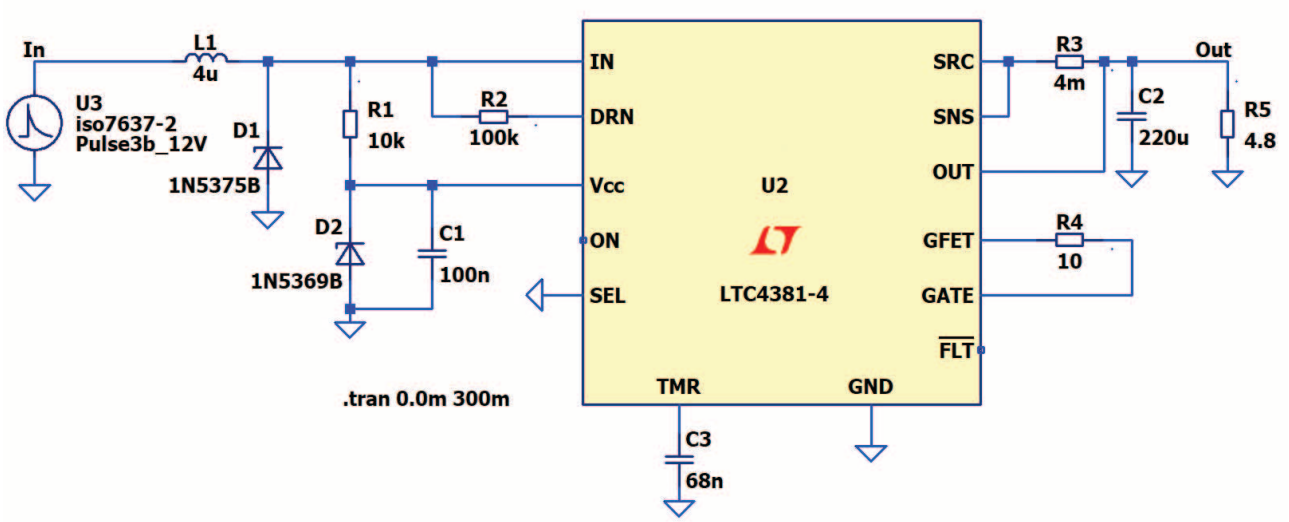


Рис. 15. Модель для испытания предохранителя на основе LTC4381 на соответствие требованиями стандарта ISO7637-2 при использовании импульса Pulse3b_12V

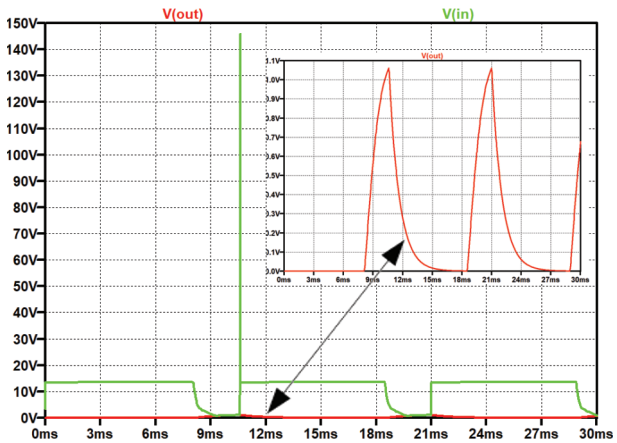


Рис. 16. Временные диаграммы сигналов на выходе генератора испытательных сигналов (зеленая) и на выходе предохранителя (красная) при использовании импульса Pulse3b_12V

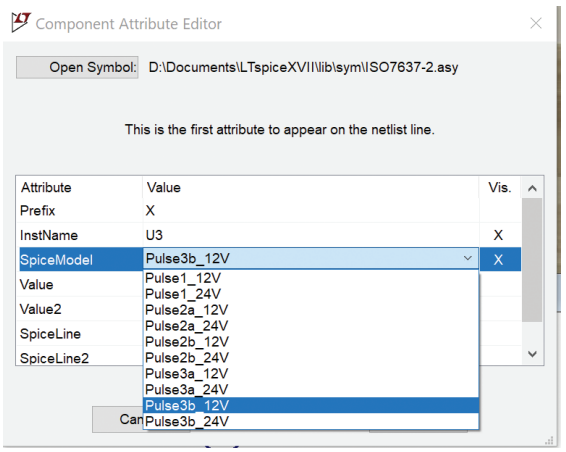


Рис. 17. Перечень испытательных импульсов на соответствие стандарту ISO7637-2

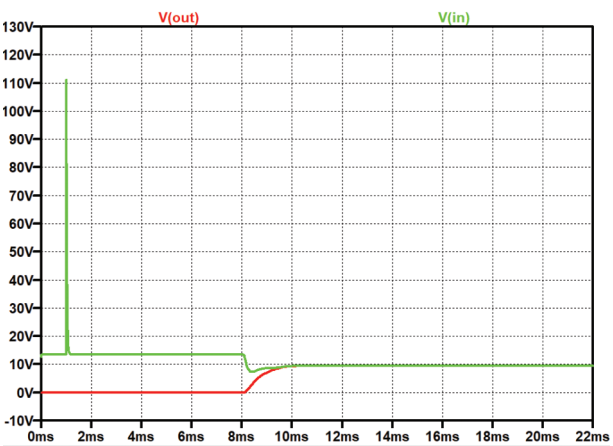


Рис. 18. Результаты проверки на соответствие стандарту ISO7637-2 при использовании одиночного импульса Pulse2a_12V

де совпадают начиная с 10-й миллисекунды.

Модель для испытаний предохранителя на соответствие стандарту ISO16750-2 при воздействии отрицательного напряжения на входе приведена на рис. 19. Для испытаний используется генератор, формирующий импульс 4-7_24V_Reversed-VoltageCase2. Кроме этого импульса генератор позволяет формировать импульсы перечень которых приведен на рис. 20.

Результаты испытания на воздействие на вход предохранителя отрицательного напряжения приведены на рис. 21.

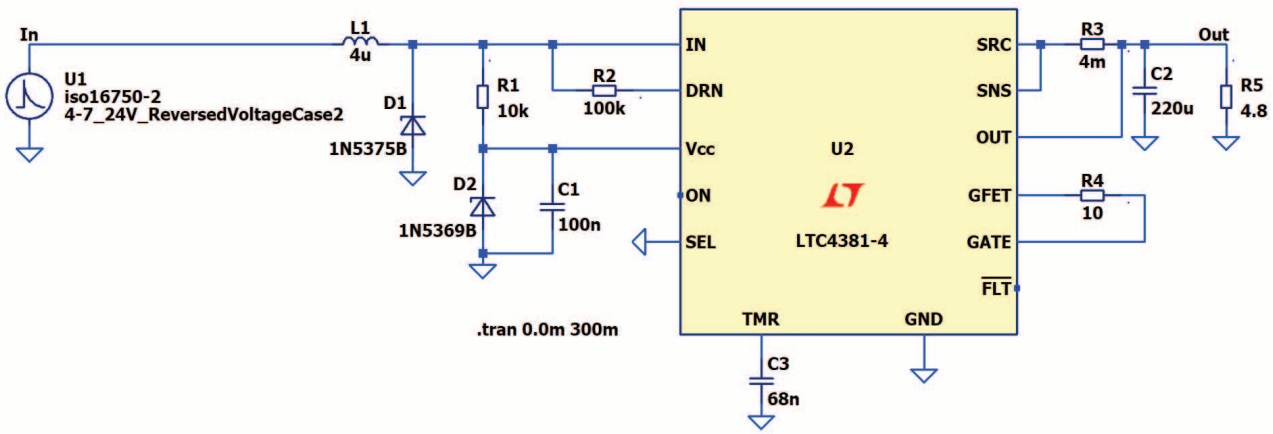


Рис. 19. Модель для испытаний предохранителя на основе LTC4381 на соответствие стандарту ISO16750-2 при воздействии отрицательного напряжения на входе

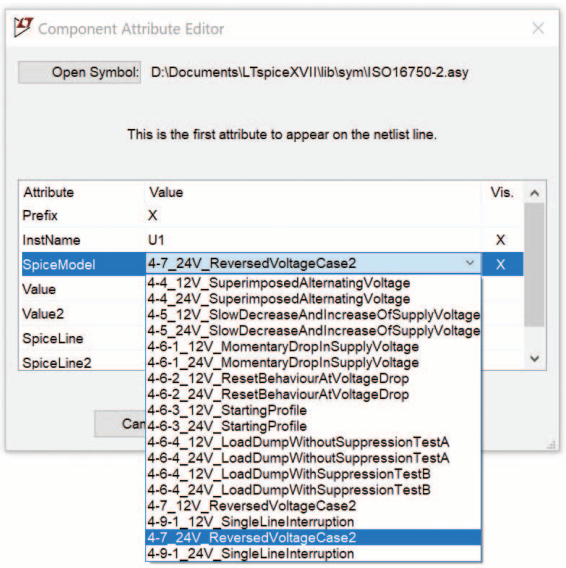


Рис. 20. Перечень испытательных импульсов на соответствие стандарту ISO16750-2

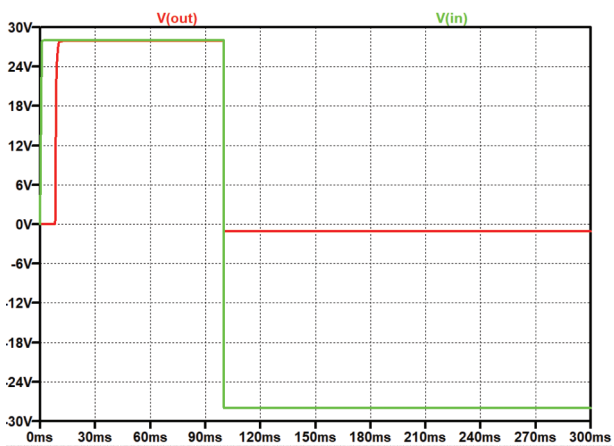


Рис. 21. Результаты проверки на соответствие стандарту ISO16750-2 при использовании импульса 4-7_24V_ReversedVoltageCase2

Как следует из рис. 21, на выходе предохранителя отрицательное напряжение не превышает –1.06 В при воздействии на вход напряжения –28 В.

Для проверки реакции предохранителя на основе LTC4381 на короткое замыкание в нагрузке использована модель, приведенная на рис. 22. Короткое замыкание создается с помощью, управляемого напряжением, ключа SW. Ключ замыкается через 10 мс после начала моделирования. Интервал времени, на котором поддерживается короткое замыкание, установлен равным 10 мс. Сигнал управления ключом формируется с помощью генератора V2. Для отслеживания реакции предохранителя на восстановление нормального состояния нагрузки время анализа установлено равным 3 с.

Результат исследования реакции предохранителя на короткое замыкания в нагрузке приведен на рис. 23.

Начальный участок временных диаграмм входного и выходного сигналов в увеличенном временном масштабе показан в поле рисунка. Сигнал генератора, управляющего ключом, показан синим цветом. Как следует из рисунка предохранитель автоматически восстановил свою нормальную работу через 2.3 мс (красная кривая), что полностью совпадает с рассчитанным значением.

Напряжение на выходе предохранителя составляет 47.86 В при входном напряжении 48 В и токе в нагрузке 10 А. Предохранитель на ИМС LTC4381 позволяет осуществлять защиту цепей, включенных на его выходе, в широком диапазоне напряже-

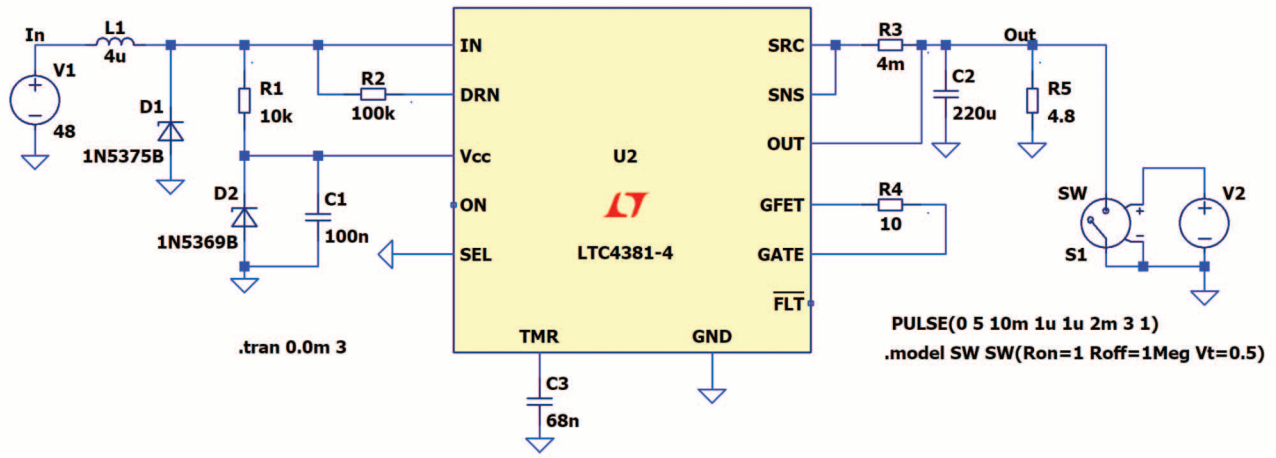


Рис. 22. Модель для исследования работы предохранителя на ИМС LTC4381 при коротком замыкании в нагрузке

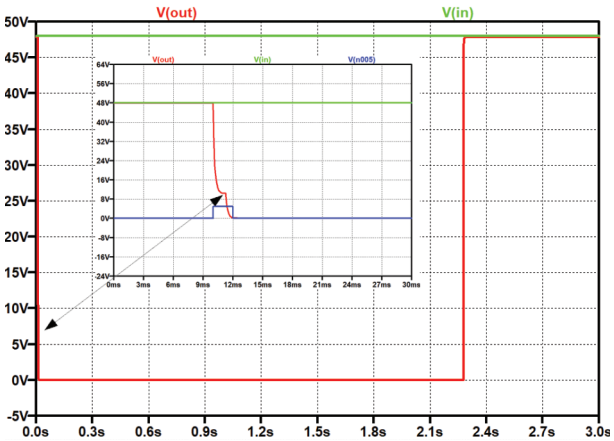


Рис. 23. Результат исследования реакции предохранителя на короткое замыкания в нагрузке-2 при использовании импульса 4-7_24V_ReversedVoltageCase2

ний. Минимальное напряжение, при котором сохраняется работоспособность с элементами указанными на рис. 23, составляет 4 В.

Проведенные эксперименты показывают, что такое устройство можно использовать не только в автомобильной или авиационной электронике, но и во многих других приложениях.

ВЫВОДЫ

Наличие внутреннего силового МОП-транзистора LTC4381 позволяет реализовать компактное устройство защиты от перенапряжения, от отрицательного напряжения на входе и от короткого замыкания в нагрузке в диапазоне входных напряжений от 4 до 48 В и максимальном токе 10 А. При необходимости увеличения значения макимального тока можно использовать внешний силовой МОП-транзистор.

В рассматриваемой схеме отсутствуют пульсирующие токи во время короткого замыкания. Однако в момент включения возникают кратковременные переходные процессы, длящиеся менее нескольких миллисекунд. Наличие выходной емкости позволяет снизить помехи в цепях питания, особенно если источник питает несколько плат одновременно – – например, на объединительной плате.

С другими ИМС для построения электронных предохранителей можно ознакомиться в [6] и на сайте компании Analog Devices.

ЛИТЕРАТУРА

1. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/technical-articles/M139_EN-Surge_Stopper.pdf
2. https://www.analog.com/en/parametric-search/11394#/
3. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/LTC4380.pdf
4. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc4381.pdf
5. Pinkesh SACHDEV 10 A Electronic Fuse Enables Compact Overcurrent Protection for 48 V Power Supplies / https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/tech-articles/compact-overcurrent-protection-for-48-v-power-supplies.pdf
6. https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/product-selector-card/Surge-Stoppers.pdf