

Защита от обратного напряжения для зарядных устройств

Стивен Мартин, менеджер по дизайну зарядных устройств

Вступление

Есть хорошо известные методы обращения с изменением напряжения источника. Наиболее очевидным является диод от источника к нагрузке, но у него есть обратная сторона - дополнительное рассеивание мощности из-за прямого напряжения диода. Каким бы элегантным он ни был, диод не будет работать в портативных или резервных устройствах, так как батарея должна потреблять ток при зарядке и источник тока в противном случае.

Другой подход - использовать одну из схем MOSFET, показанных на рисунке 1.

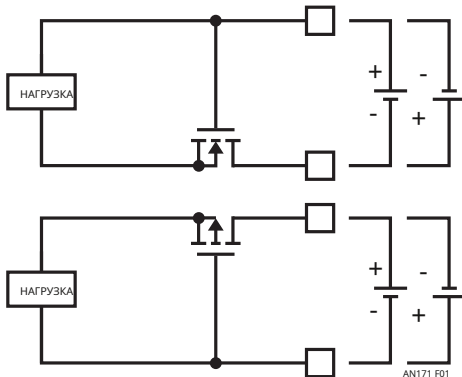


Рисунок 1. Обычная обратная защита со стороны нагрузки

Для схем на стороне нагрузки этот подход превосходит диод, поскольку напряжение источника (батареи) усиливает полевой МОП-транзистор, обеспечивая меньшее напряжение и более высокую проводимость. Версия схемы NMOS предпочтительнее версии PMOS из-за более высокой проводимости, более низкой стоимости и большей доступности дискретных транзисторов NMOS. В обеих схемах полевой МОП-транзистор проводит ток, когда напряжение батареи положительное, и отключается, когда напряжение батареи меняется на противоположное. Физический «сток» полевого МОП-транзистора становится электрическим источником, поскольку он имеет более высокий потенциал в версии PMOS и более низкий потенциал в версии МОП-транзистора. электрически симметричны в области триода, они одинаково хорошо проводят ток в обоих направлениях. С этим подходе транзистор должен иметь максимальное V_{GS} и V_{DS} номинальное напряжение больше, чем напряжение аккумулятора.

К сожалению, этот подход действителен только для цепей на стороне нагрузки и не будет работать со схемой, которая может заряжать аккумулятор. Зарядное устройство вырабатывает мощность, повторно активируя полевой МОП-транзистор и восстанавливая соединение с перевернутой батареей. Пример использования версии NMOS показан на рисунке 2, где батарея показана в состоянии неисправности.

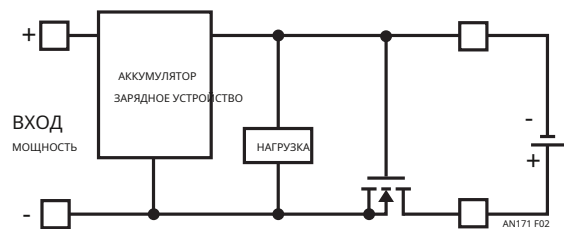


Рисунок 2. Схема защиты стороны нагрузки с зарядным устройством.

Когда батарея подключена, а зарядное устройство неактивно, нагрузка и зарядное устройство безопасно отсоединяются от перевернутой батареи. Однако, если зарядное устройство становится активным, например, если присоединен входной силовой соединитель, то зарядное устройство создает напряжение от затвора к источнику NMOS, усиливая это, в результате непереводимости. Лучше это представить на рисунке 3.

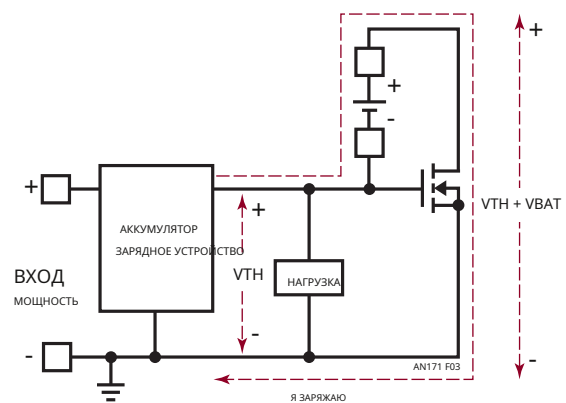


Рис. 3. Отказ обычной обратной защиты аккумулятора для цепей зарядного устройства.

Все зарегистрированные товарные знаки и товарные знаки являются собственностью соответствующих владельцев.

Примечание по применению 171

Нагрузка и зарядное устройство изолированы от обратного напряжения, но теперь защитный полевой МОП-транзистор страдает чрезвычайно высокой рассеиваемой мощностью. В этом случае зарядное устройство становится разрядным устройством. Схема придет в состояние равновесия, когда зарядное устройство батареи обеспечит достаточную опору затвора для полевого МОП-транзистора, чтобы поглотить заряд, поступающий на затворе MN1, так что напряжение затвора не заряжается зарядным устройством. Например, если V_{TH} мощного полевого МОП-транзистора составляет около 2 В, и зарядное устройство может поддерживать выходное напряжение на уровне V_{TH} , то выходное напряжение зарядного устройства стабилизируется на 2 В, а на выходе полевого МОП-транзистора 2 В плюс напряжение аккумулятора. Рассеиваемая мощность в полевом МОП-транзисторе будет $P_{DQ} = (V_{TH} + V_{LEAKAGE}) \cdot I_{DQ}$, нагрев полевого МОП-транзистора до тех пор, пока он не стечет с печатной платы. Версия PMOS этого схему постигла та же участь.

Ниже представлены две альтернативы этому подходу, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки.

N-канальный МОП-транзистор

Первый подход использует устройство блокировки NMOS, как показано на рисунке 4.

Алгоритм этой схемы заключается в том, что блокирующий полевой МОП-транзистор должен быть отключен, если напряжение батареи превышает выходное напряжение зарядного устройства.

В этой цепи MN1 подключается к клемме низкого уровня соединения между зарядным устройством / нагрузкой и клеммами аккумулятора, как в подходе NMOS, описанном выше. Однако транзисторы MP1 и Q1 теперь обеспечивают схему обнаружения, которая отключает MN1, если аккумулятор перевернут. Аккумулятор с обратным подключением поднимет источник MP1 над своим затвором, который подключен к положительной клемме зарядного устройства. Сток MP1, в свою очередь, подает ток на базу Q1.

Затем Q1 шунтирует затвор MN1 на землю, предотвращая протекание тока заряда в MN1. R1 управляет базовым током Q1 во время обнаружения обратного хода, а R2 обеспечивает утечку для базы Q1 в нормальном режиме работы. R3 дает Q1 право заземлить ворота MN1. Делитель напряжения R3 / R4 ограничивает напряжение на затворе MN1, так что напряжение затвора не должно падать так далеко во время горячей замены батареи. Нормальный случай - это когда зарядное устройство уже активно, вырабатывая постоянный уровень напряжения, при подключении перевернутой батареи. В этом случае MN1 необходимо выключить как можно быстрее, чтобы ограничить время, в течение которого рассеивается большая мощность. Эта конкретная версия схемы с R3 и R4 лучше всего подходит для свинцово-кислотных систем на 12 В, но R4 может быть исключен в приложениях с более низким напряжением, таких как одно- и двухэлементные литий-ионные продукты. Конденсатор C1 обеспечивает сверхбыстрый зарядный насос, чтобы опустить затвор MN1 во время обратного подключения батареи. C1 особенно полезен для наихудшего сценария, когда, опять же, зарядное устройство уже включено, когда происходит обратное подключение батареи.

Недостатком этой схемы является то, что требуются дополнительные компоненты и что делитель R3 / R4 создает небольшую, но постоянную нагрузку на батарею.

Большинство этих компонентов крошечные. MP1 и Q1 не являются устройствами питания и обычно их можно найти в небольших корпусах, таких как SOT23-3, SC70-3 или даже меньше. MN1 должен быть очень проводящим, поскольку он является проходным устройством, но не должен быть физически большим. Поскольку он работает в глубоком триоде с большим усилением затвора, его рассеиваемая мощность будет низкой даже для устройства со средней проводимостью. Например, транзисторы с сопротивлением менее 100 мОм часто можно найти и в SOT23-3.

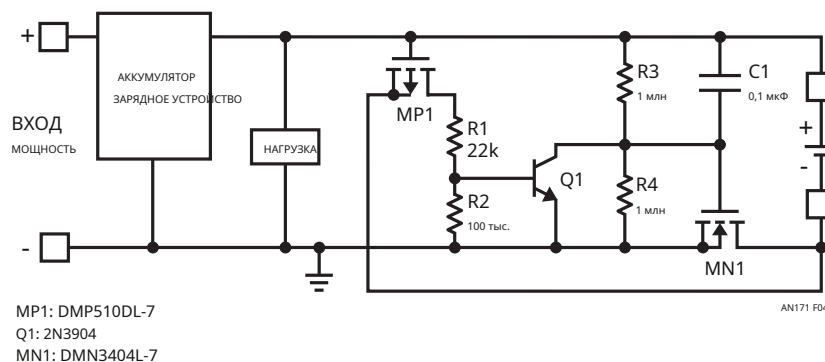


Рисунок 4. Возможная обратная цепь батареи.

Обратной стороной транзистора с малым проходом, однако, является то, что дополнительный импеданс, включенный последовательно с зарядным устройством аккумулятора, увеличивает время зарядки во время фазы зарядки с постоянным напряжением. Например, если батарея и ее кабели имеют эквивалентное последовательное сопротивление 100 мОм и используется блокирующий транзистор 100 мОм, время заряда в фазе зарядки с постоянным напряжением удвоится.

Схема обнаружения и отключения MP1 и Q1 не особенно быстро отключает MN1, и в этом нет необходимости. Хотя MN1 видит большое рассеивание мощности при обратном подключении батареи, цепи выключения просто необходимо отключить MN1 «в конце концов». Необходимо отключить MN1 до того, как MN1 нагреется достаточно, чтобы его можно было повредить. Время отключения в десятки микросекунд, наверное, нормально. С другой стороны, отключение MN1 до того, как перевернутая батарея получит шанс вытянуть зарядное устройство и отрицательное напряжение нагрузки, имеет решающее значение, поэтому требуется C1. По сути, эта схема имеет пути отключения переменного и постоянного тока.

Эта схема была протестирована со свинцово-кислотным аккумулятором и LTC4015 зарядное устройство. На рис. 5 показано, что зарядное устройство батареи находится в выключенном состоянии, когда происходит обратное горячее подключение батареи. Обратное напряжение на зарядное устройство и нагрузку не передается.

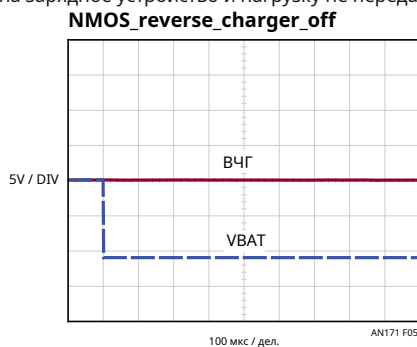


Рисунок 5. Схема защиты NMOS при выключенном зарядном устройстве.

Обратите внимание, что MN1 требуется V_{DS} номинал, равный напряжению батареи и V_{GS} номинал в два раза меньше напряжения аккумулятора. MP1 нужен V_{DS} и V_{GS} номинал равен напряжению батареи.

На рисунке 6 показан более тяжелый случай запуска и работы зарядного устройства, когда происходит горячее подключение обратной батареи. Обратное соединение снижает напряжение на стороне зарядного устройства до тех пор, пока цепи обнаружения и защиты не отключат его, позволяя зарядному устройству безопасно вернуться к своему постоянному уровню напряжения.

Зарядное устройство будет играть большую роль в результате. В этом тесте зарядное устройство для аккумуляторов имело как керамический конденсатор с высокой добротностью, так и полимерный конденсатор с меньшей добротностью.

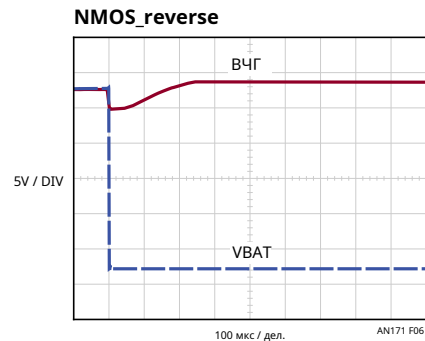


Рисунок 6. Схема защиты NMOS при работающем зарядном устройстве.

В любом случае рекомендуется использовать в зарядном устройстве алюминиево-полимерные и алюминиево-электролитические конденсаторы для повышения производительности при обычном горячем подключении аккумулятора. Из-за своей чрезвычайной нелинейности чистые керамические конденсаторы производят чрезмерно высокие выбросы во время горячей замены, поскольку их емкость падает на шокирующие 80% при увеличении напряжения с 0 В до номинального. Эта нелинейность способствует протеканию большого тока при низком напряжении, в то же время быстро теряя емкость при повышении напряжения; смертельная комбинация, приводящая к выбросу сверхвысокого напряжения. Эмпирически наиболее надежным представляется сочетание керамического конденсатора и стабильного по напряжению алюминиевого или даже танталового конденсатора.

Конструкция полевого МОП-транзистора с каналом P

Второй подход с использованием ПМОП-транзистора в качестве защитного устройства показан на рисунке 7.

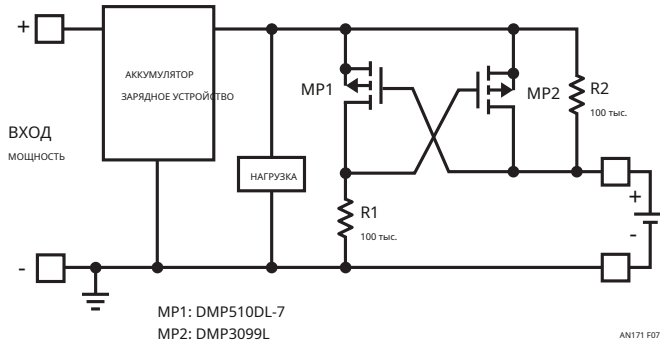


Рисунок 7. Версия проходного элемента транзистора PMOS

В этой схеме MP1 является обратным устройством обнаружения батареи, а MP2 - обратным блокирующим устройством. Положительный полюс батареи сравнивается с выходом зарядного устройства батареи источником с напряжением затвора MP1. Если напряжение на клеммах зарядного устройства превышает напряжение аккумулятора, MP1 отключает устройство первичного прохода MP2. Следовательно, если напряжение аккумуляторной батареи опускается ниже уровня земли, очевидно, что устройство обнаружения MP1 отключит проходное устройство MP2, заклинив его затвор до источника. Он будет предоставлять эту услугу независимо от того, включено ли зарядное устройство аккумулятора и подает напряжение заряда или отключено при 0 В.

Эта схема имеет огромное преимущество в том, что блокирующий транзистор PMOS, MP2, не имеет права передавать отрицательное напряжение на схему зарядного устройства и вообще на нагрузку. Рисунок 8 иллюстрирует это более четко.

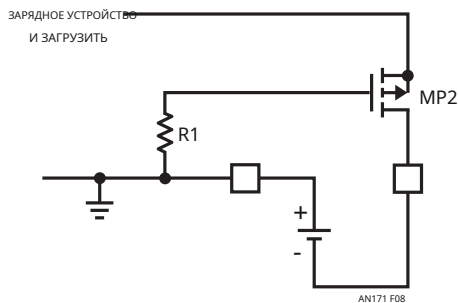


Рисунок 8. Иллюстрация эффекта каскода.

Наименьшее достижимое напряжение на затворе MP2 составляет 0 В через R1. Даже если слив MP2 находится глубоко под землей, его источник не будет оказывать значительного давления вниз. Как только напряжение источника упадет до транзистора, систора V_{тн} над землей транзистор смещается, и его проводимость падает. Чем ближе источник к земля, тем более смещенным становится транзистор. Эта характеристика, наряду с простой топологией, делает этот подход более привлекательным, чем подход NMOS, показанный ранее. У него есть недостаток в более низкой проводимости и более высокой стоимости транзистора PMOS по сравнению с подходом NMOS.

Хотя эта схема проще, чем подход NMOS, она имеет еще один большой недостаток. Хотя он всегда защищает от обратного напряжения, он не всегда может подключать цепь к батарее. При перекрестном соединении вентилях, как показано, схема образует блокирующий элемент памяти, который может выбрать неправильное состояние. Хотя этого трудно достичь, существует условие, при котором зарядное устройство вырабатывает напряжение, скажем 12 В, батарея подключена с более низким напряжением, скажем 8 В, и цепь отключена. В этом случае напряжение между источником и затвором MP1 составляет +4 В, усиливая MP1 и отключая MP2. Этот случай показан на рисунке 9 со стабильными напряжениями, указанными на узлах.

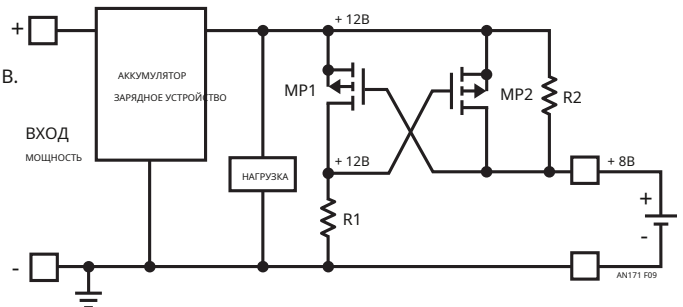


Рисунок 9. Иллюстрация возможного заклипшего состояния со схемой защиты PMOS.

Для достижения этого состояния при включении аккумулятора должно быть включено зарядное устройство. Если аккумулятор применяется до включения зарядного устройства, ворота MP1 поднимаются аккумулятором, полностью отключая MP1. Когда зарядное устройство включается, оно вырабатывает регулируемый ток, а не

чем сильноточная батарея, которая снижает вероятность включения MP1 и выключения MP2.

С другой стороны, если зарядное устройство включается до подключения батареи, затвор MP1 просто следует за выходом зарядного устройства батареи, поскольку он подтягивается стравливающим резистором R2. Без батареи MP1 вообще не имеет склонности включать и отключать MP2.

Проблема возникает, когда зарядное устройство уже включено и работает, а затем подсоединяется аккумулятор. В этом случае будет мгновенная разница между выходом зарядного устройства и клеммой аккумулятора, которая будет побуждать MP1 отключать MP2, поскольку напряжение аккумулятора заставляет емкость зарядного устройства ассимилироваться. Это составляет состояние гонки между способностью MP2 снимать заряд с конденсатора зарядного устройства и способностью MP1 отключать MP2.

Эта схема также была протестирована со свинцово-кислотным аккумулятором и LTC4015 зарядное устройство. Подключение сильно нагруженного источника питания 6 В в качестве эмулятора батареи к уже включенному зарядному устройству никогда не приводило к состоянию «отключения». Тестирование не было исчерпывающим, и его следует проводить очень тщательно в критических приложениях. Даже если цепь отключилась, отключение и повторное включение зарядного устройства всегда приведет к повторному подключению.

Состояние неисправности может быть продемонстрировано путем искусственного манипулирования схемой с временным подключением верхней части R1 к выходу зарядного устройства. Однако считается, что эта схема имеет значительно более высокую склонность к подключению, чем к отключению. Если отказ от подключения действительно становится проблемой, можно разработать схему, которая отключит

зарядное устройство с большим количеством устройств. Пример показан на более полной схеме на Рисунке 12.

На рисунке 10 показан результат работы схемы защиты PMOS с отключенным зарядным устройством.

Обратите внимание, что зарядное устройство и напряжение нагрузки не показывают передачи отрицательного напряжения.

На рисунке 11 показана эта схема в зловещем состоянии уже включенного зарядного устройства, когда перевернутая батарея подключена к горячему подключению.

Неразличимый от результатов схемы NMOS, обратная батарея подтягивает зарядное устройство и напряжение нагрузки несколько вниз до того, как цепь отключения разъединяет транзистор MP2.

В этом варианте схемы транзистор MP2 должен иметь возможность выжить в V_{DS} удвоенного напряжения батареи (один для зарядное устройство и одно для перевернутой батареи) и V_{GS} одного напряжения батареи. MP1, с другой стороны, должен выжить в V_{DS} одного напряжения батареи и V_{GS} вдвое больше напряжения батареи. Это требование не соответствует оценкам. У нас всегда превышает номинальное значение V_{GS} для MOSFET транзисторов. Можно найти транзисторы с V_{GS} допуск 30В и V_{DS} допуск 40 В, что подходит для свинцово-кислотных систем. Для поддержки аккумуляторов с более высоким напряжением придется модифицировать дополнительными стабилитронами и токоограничивающими резисторами.

На рисунке 12 показан пример схемы, которая может работать с двумя последовательно соединенными свинцово-кислотными батареями.

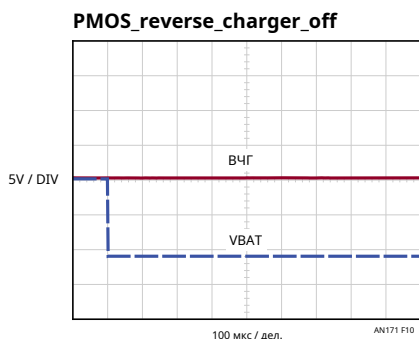


Рисунок 10. Схема защиты PMOS при выключенном зарядном устройстве.

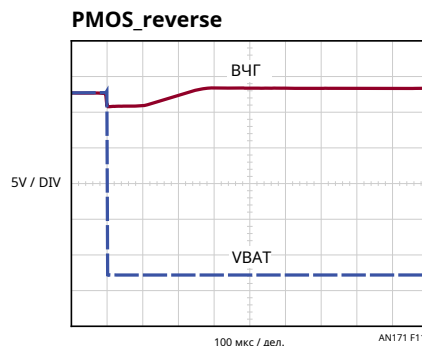


Рисунок 11. Схема защиты PMOS при работающем зарядном устройстве.

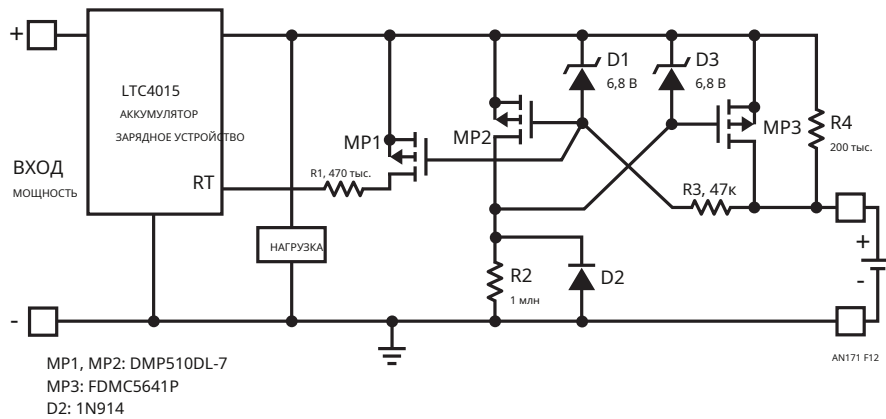


Рисунок 12. Защита от обратного высоковольтного аккумулятора.

D1, D3 и R3 защищают ворота MP2 и MP3 от высокого напряжения. D2 предотвращает перекачку ворот MP3 ниже заземление и выход зарядного устройства аккумулятора вместе с ним, когда перевернутая батарея подключена к горячему подключению. MP1 и R1 обнаруживают, когда в цепи имеется перевернутый аккумулятор или находится в неправильном состоянии защелки отключения, и отключают зарядное устройство аккумулятора вместе с ним, эксплуатируя отсутствующий R T особенность [LTC4015](#).

Заключение

Можно разработать схему защиты от обратного напряжения для устройств на базе зарядного устройства. Были разработаны некоторые схемы и проведено сокращенное тестирование с обнадеживающими результатами. Нет серебряной пули для обратной проблемы с аккумулятором, но, надеюсь, показанные подходы дают достаточно вдохновения для создания простого и недорогого решения.