

ЗАЩИТА ВХОДОВ ЦИФРОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

ВЛАДИМИР КОНДРАТЬЕВ, инженер-разработчик

В статье рассматриваются методы защиты электронных схем от входных сигналов большой амплитуды, появляющихся в результате электростатического разряда, бросков напряжения при коммутации или помех. Публикация представляет собой перевод [1].

ВВЕДЕНИЕ

В типовой электронной системе имеется несколько входных сигналов, управляемых конечным пользователем. Эти сигналы считываются схемой, которая выдает соответствующие управляющие сигналы на выходе. Входные сигналы поступают с разных источников: кнопок, переключателей, датчиков, реле и других коммутационных устройств. В определенных неблагоприятных условиях окружающей среды входные сигналы могут угрожать принимающему их устройству, особенно если оно лишено защиты. В качестве наглядного примера можно привести систему промышленной автоматизации, где сигналы из производственных помещений поступают на вход процессора, микроконтроллера (МК), ПЛИС или конечного автомата. В этих неблагоприятных условиях необходимо защитить процессор, обеспечив поступление в него полезного сигнала.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Типовая система оснащена панелью с кнопками для дистанционного управления из центрального пульта обработки данных. Соединение кнопок с этим

пультом осуществляется по длинным кабелям, что может стать причиной сбоя электронной системы. Длинные провода выступают в роли индуктивности: при переключении кнопки возникают всплески напряжения, распространяющиеся по всей системе (см. рис. 1).

Для преодоления этой проблемы рассмотрим еще один пример. Как правило, входной импеданс микроконтроллеров составляет порядка 20 МОм и выше. Рабочее напряжение системы находится в диапазоне 1,2–5 В. для определенности будем исходить из того, что оно составляет 5 В. На рисунке 2 представлена видоизмененная схема, взятая из рисунка 1.

Очевидно, что в этой схеме не обеспечена защита от входных сигналов с большой амплитудой напряжения, которые передаются напрямую на микроконтроллер. Чем бы ни были вызваны эти сигналы — электростатическим разрядом, наведенными электромагнитными помехами, срабатыванием переключателя или ошибкой пользователя, они могут повредить МК и привести к отказу всей системы. Поэтому для устойчивой и надежной работы системы необходимо применять методы защиты.

Для детального обсуждения этой задачи рассмотрим простую схему, изображенную на рисунке 3. В ней двухполюсный переключатель соединен с микроконтроллером с помощью кабеля длиной 7,5 м. С помощью нагрузочного резистора разомкнутое положение переключателя определяется МК как высокий уровень логического сигнала.

При изменении положения ключа в кабеле появляется бросок напряжения большой амплитуды, которое передается на микроконтроллер (см. рис. 4). Минимальная амплитуда звона при этом достигает –5,88 В, что может вызвать серьезные проблемы в электронной системе. Посмотрим, что можно предпринять для их решения.

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ

В представленной на рисунке 3 схеме не показаны внутренние диоды, которые предназначены для защиты входов микроконтроллера (см. рис. 5). Типовое прямое смещение, обеспечиваемое этими диодами, составляет около 0,7 В.

В идеальных условиях они защищают МК. Однако если напряжение на его входах достаточно большое или поступает в течение длительного времени, оно может повредить эти диоды и, следовательно, вывести вход устройства из строя. Более того, если входной вывод окажется напрямую подсоединенным к шине питания, следующий бросок напряжения на входе может повредить микроконтроллер.

Даже если диоды не выйдут из строя, электростатический разряд большой амплитуды может привести к выбросу тока на шине питания МК и повредить его внутренние регистры. Исходя из этих соображений, в качестве первого средства защиты входного вывода, которое приходит на ум, используется схема ограничения тока.

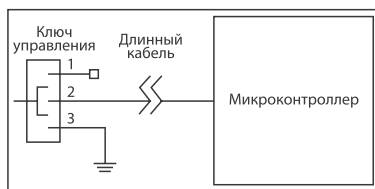


Рис. 1. Упрощенная электронная система

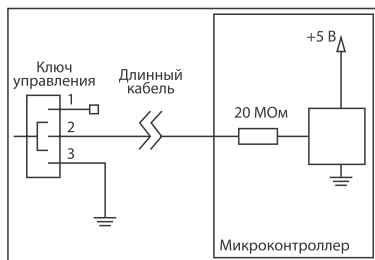


Рис. 2. Добавление входной схемы в упрощенную электронную

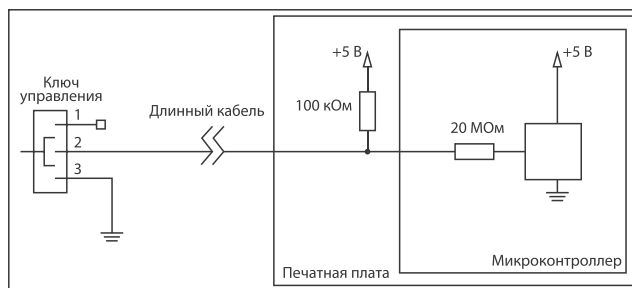


Рис. 3. Простая схема коммутации

ОГРАНИЧЕНИЕ ТОКА

Простейшим защитным средством является токоограничивающий резистор (см. рис. 6). Он выбирается таким образом, чтобы напряжение на нем не оказывало влияния на вход микроконтроллера. Поскольку резистор представляет собой простой делитель напряжения, а входное сопротивление контроллера порядка 20 МОм, величина резистора должна быть достаточно большой. Для большинства цифровых входов наиболее приемлемым диапазоном значений является 100 Ом...10 кОм. В рассматриваемом примере используется значение 1 кОм.

Такое средство хорошо работает в том случае, когда защищенный кабель имеет относительно небольшую длину. На рисунке 7 показано, как эта схема обеспечивает защиту: видно, что фронты затухающих колебаний индуцированного напряжения обрезаются при $-0,810$ В.

ФИЛЬТРАЦИЯ

На рисунке 6 представлена простая схема ограничения тока. Однако при добавлении конденсатора степень защиты повышается за счет превращения токоограничивающей схемы в НЧ-фильтр (см. рис. 8).

В силу токоограничивающих характеристик цепи рисунка 8 значения резистора и конденсатора рассчитываются таким образом, чтобы микроконтроллер не пропустил ни одного сигнала. С этой целью используется следующее уравнение: время нарастания $= 2,2RC$.

Вычисление значений R и C выполняется следующим образом.

- Определяется самый быстрый фронт входящего сигнала или его самая высокая частота, а время его нарастания рассчитывается как 1/100 от периода входного сигнала (например, при частоте входного сигнала равной 1 кГц время нарастания сигнала составит 1 мкс).
- Определяется значение R. Как правило, оно приравнивается к типичному значению сопротивления в системе, например 1 кОм. Для определения C используется указанное уравнение.
- В некоторых случаях входной сигнал нарастает с очень малой скоростью (при нажатии кнопок, замыкании ключа и т.д.), поэтому значение емкости изменяется таким образом, чтобы оно соответствовало стандартной величине емкости на печатной плате.

На рисунке 8 значения R и C равны 1 кОм и 001 мкФ при максимальной частоте входного сигнала 1 кГц. На рисунке 9 показано, как работает схема

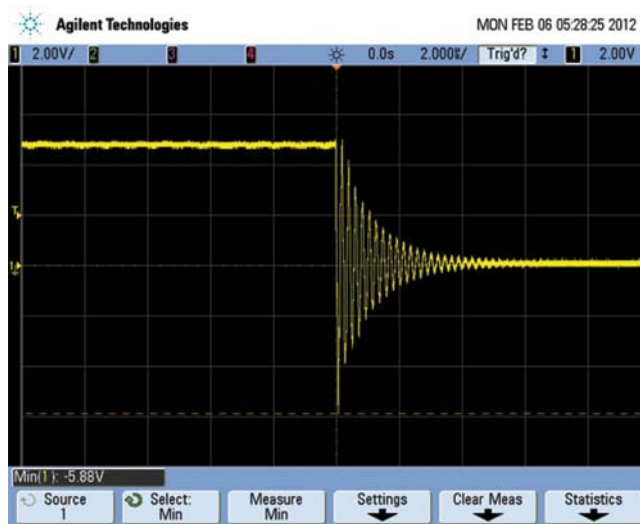


Рис. 4. Замыкание ключа на землю из разомкнутого положения

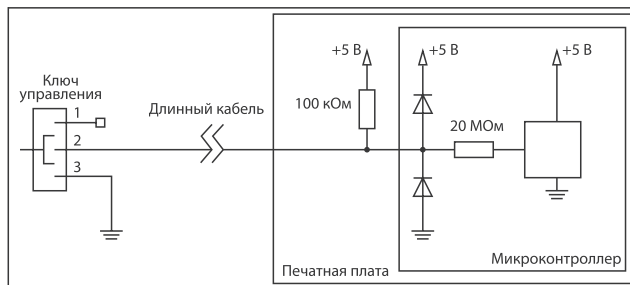


Рис. 5. Усовершенствованная схема включения микроконтроллера

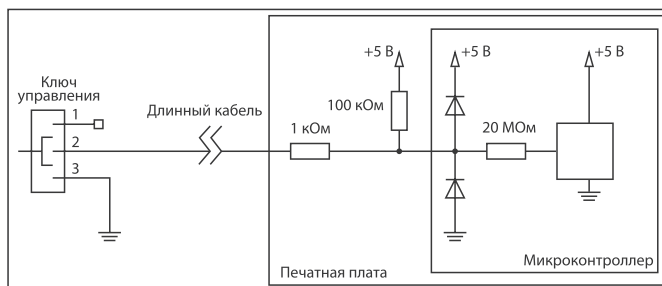


Рис. 6. Защита входа с помощью схемы ограничения тока

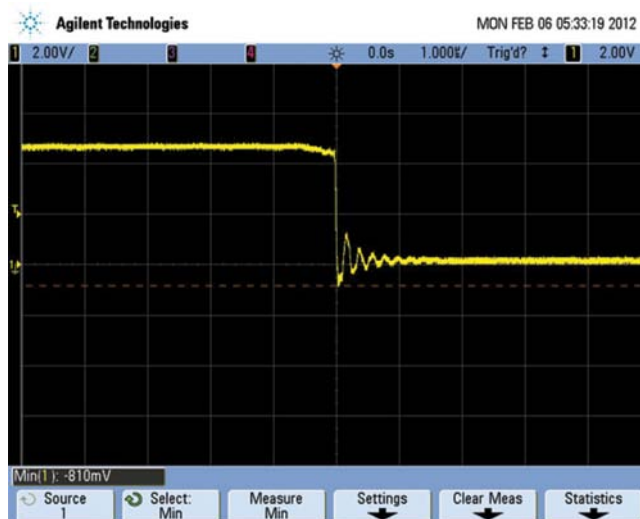


Рис. 7. Результаты защиты с помощью токоограничивающей схемы

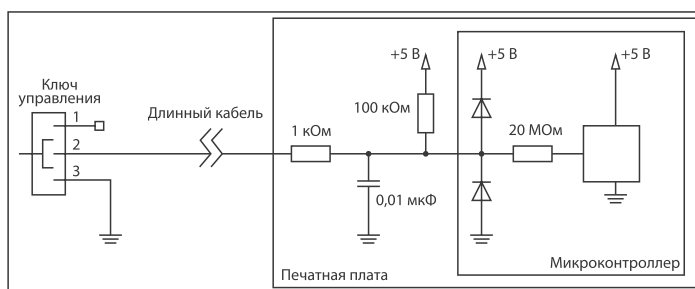


Рис. 8. Защита входа с помощью НЧ-фильтра

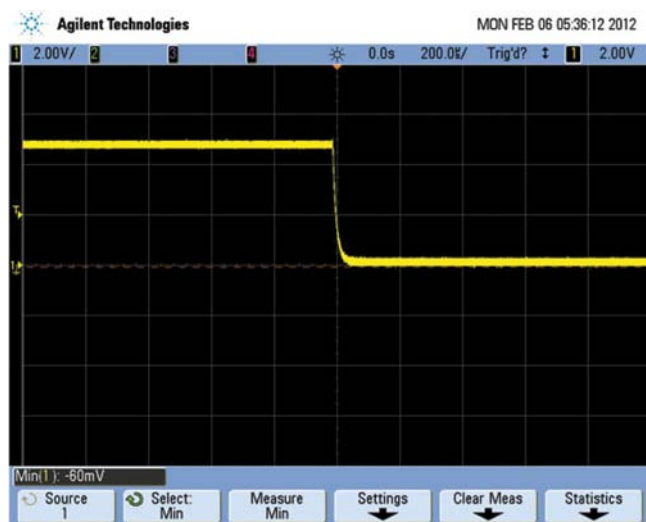


Рис. 9. Работа RC-фильтра

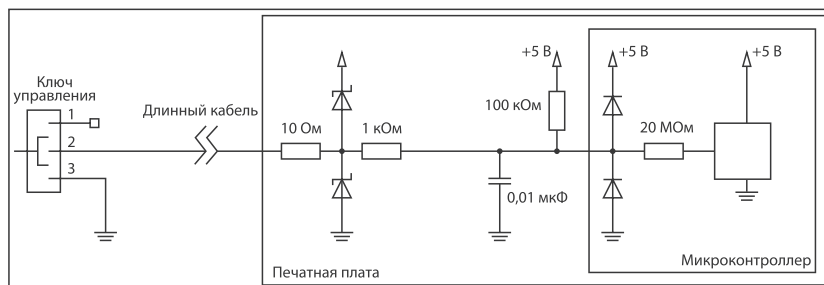


Рис. 10. Внешняя ограничительная диодная цепь

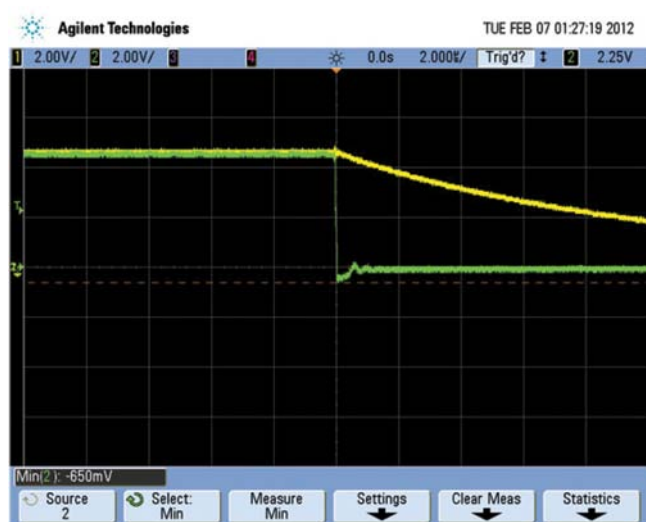


Рис. 11. Результаты применения защиты на основе внешних диодов

при поступлении входного сигнала переключения. Следует заметить, что благодаря конденсатору исчезли фронты выброса.

Одним из преимуществ использования RC-фильтра при защите цифрового входа является подавление паразитных сигналов, которые могут привести к ложному срабатыванию микроконтроллера. К сожалению, он по-прежнему не защищен от электростатических разрядов высокой амплитуды и от последствий использования длинных кабелей, поскольку его схема защиты предусматривает ограничение входного сигнала с помощью внутренних диодов. Таким образом, возникает необходимость в применении следующего метода.

ВНЕШНИЕ ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ДИОДЫ

Для исключения необходимости в использовании внутренних диодов МК применяются внешние ограничивающие диоды Шоттки (см. рис. 10). Прямое смещение на диодах Шоттки, установленных до внутренних диодов микроконтроллера, составляет около 0,2 В, на диодах МК — 0,7 В. Следует заметить, что для защиты диодов Шоттки от перегрузки по току используется последовательно установленный резистор с небольшим сопротивлением. Поскольку внешние диоды включаются лишь на короткое время, вполне хватает 10 Ом, однако если диоды Шоттки достаточно мощные, чтобы справиться с большими и короткими импульсами тока, этот резистор можно и не устанавливать.

На рисунке 11 представлены результаты применения ограничительной цепи в схеме с переключателем на входе. Кривая желтого цвета соответствует напряжению на положительной обкладке конденсатора, а зеленая кривая — напряжению в том месте схемы, где резистор соединяется с диодами Шоттки. Всплеск отрицательного напряжения достигает величины −0,650 В. Поскольку это напряжение ниже прямого смещения на микроконтроллере, оно не должно привести к возникновению нежелательных эффектов на хорошо смонтированной печатной плате.

Таким образом, для самой надежной защиты цифрового входа применяются внешние резисторы, конденсаторы и диоды.

ДРУГИЕ СХЕМЫ

Изложенные методы применяются для защиты системы от входных сигналов высокого напряжения. Например, если входной сигнал подключает цепь к шине напряжения питания, а не к земле, то применяется схема, подобная изображенной на рисунке 12.

Диод, ограничивающий входной сигнал до потенциала земли, предназначен для защиты схем от всплесков отрицательного напряжения. Вместо диода, ограничивающего напряжение входного сигнала до уровня положительного напряжения шины, после токоограничивающего резистора ставится стабилитрон, который устанавливает требуемое напряжение на входном выводе и уменьшает ток, потребляемый от шины питания. Более того, все соединения на входе заземлены, что упрощает топологию печатной платы. В этой схеме токоограничивающий резистор должен иметь достаточно малую величину, чтобы обеспечить пробой Зенера при расчетном напряжении (как минимум, около 1 мА). На рисунке 13 отображена работа этой схемы при переключении входного сигнала до 12 В.

ВЫВОДЫ

Интерфейс цифровой схемы должен обеспечить надежную защиту чувствительной электроники от внешних сигналов. Блок защиты, характеризующийся малыми размерами, низкой стоимостью и простотой реализации, позволяет обойти многие проблемы, связанные с эксплуатацией электронной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Protecting Inputs in Digital Electronics*//
www.digikey.com.

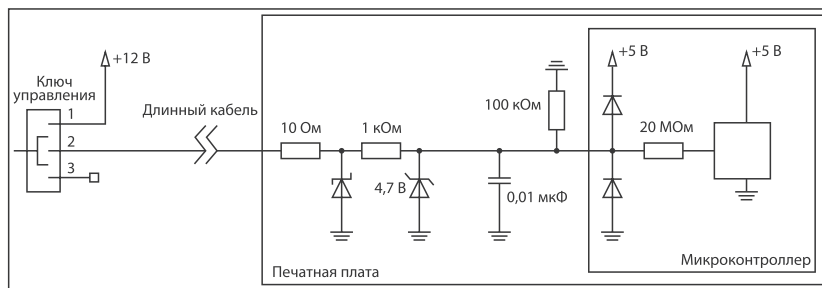


Рис. 12. Считывание сигналов высокого напряжения

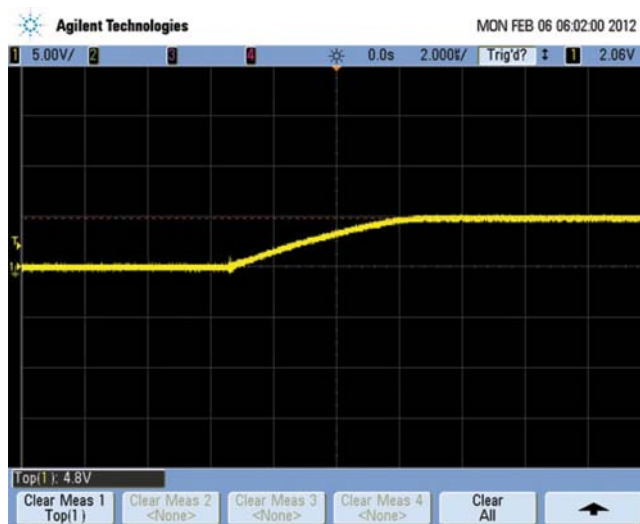


Рис. 13. Изменение большого сигнала напряжения на цифровом входе

ZIF-панельки



Высокая производительность

Более чем полмиллиона циклов установки-извлечения без ухудшения электрических характеристик; работа без потери сигнала.



Огромный выбор

Широкий ассортимент панелек для автоматизированного использования и тестирования вручную, в том числе на предельно допустимых режимах. Широкая гамма образцов позволяет работать с любыми корпусами, вне зависимости от шага и варианта исполнения выводов (контактных площадок).



Низкая цена

Значительно уменьшена стоимость панелек



Меньше ожидание

Сокращенные сроки производства панелек



Группа компаний Симметрон

МОСКВА
+7 (495) 797-5535, -45
moscow@symmetron.ru

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
+7 (812) 449-4000, -05, -06
spb@symmetron.ru

НОВОСИБИРСК
+7 (383) 361-3424
sibir@symmetron.ru

МИНСК
+375 (17) 336-0606
minsk@symmetron.ru

КИЕВ
+38 (044) 494-2525
kiev@symmetron.ua

ХАРЬКОВ
+38 (057) 750-8022
kharkov@symmetron.ua

www.symmetron.ru