**Устойчивость работы импульсных устройств**

Рубрика: [Самостоятельные расчеты](http://www.kondratev-v.ru/category/samostoyatelnye-rasschety)

Здравствуйте, уважаемые посетители. Взяться за написание этой статьи вынудило большое количество обращений по поводу некорректной работы цифровых вольтметров и амперметров, схемы и программы, которых представлены на моем сайте. А претензии к программам заключались в мерцании младших разрядов индикаторов.

Я много писать не буду, вы сами поймете, о чем речь. И так, мерцание возникает из-за присутствия большого уровня пульсаций в питающем напряжении, а, как известно, в большинстве случаев при оцифровке аналогового сигнала в качестве опорного напряжения и выбирается напряжение питания контроллера. 2) Большие пульсации самого измеряемого напряжения, особенно при измерении падения напряжения на шунте, при измерении переменного по величине тока нагрузки. При измерении тока входные устройства имеют большой коэффициент усиления, поэтому подвержены внешним электромагнитным полям. 3) Не правильная разводка проводников печатных плат цифровых устройств, когда сам контроллер наводит помехи, особенно при использовании в программе использовании динамической индикации для светодиодных индикаторов. В этом случае на плате присутствует много печатных проводников, по которым текут импульсные токи. 4) И т.д.

Самый простой способ удалить мерцание и забыть про все, что я здесь написал, это ввести задержки. Как в основном и поступаю многие программисты. Все красиво, но то, что вы теряете значительную часть информации, все молчат. Раньше, в стрелочных приборах проблемой, в некоторых случаях, была инерционность стрелки измерительной головки. И нельзя было регистрировать быстро изменяющиеся величины. С приходом «цифры» скорость измерения намного возросла, так теперь для красоты сами стали «тупить» приборы. Время преобразования аналоговой величины в цифровой код у PIC контроллеров составляет микросекунды, а задержку делают вплоть до секунды. Представляете, сколько информации вы намеренно губите! Ладно, если это просто вольтметр или амперметр в блоки питания «и так сойдет», а если на контроллер возложена функция защиты? Представим, что у вас на выходе блока питания случайно возник режим короткого замыкания, а в это время контроллер обслуживает подпрограмму задержки…, надеюсь, понято! Да, у вас тысячу раз все сгорит, пока контроллер выйдет на измерение, а там уже все сгорело и никакого превышения, например, тока уже нет. Да вы никогда и не узнаете, что произошло с вашим, допустим, блоком питания.

В свое время, я собрал для своего будущего БП схему из журнала «Радио» №1 за 2005г. Статья называлась «Цифровое устройство защиты с функцией измерения» автор Н. Заец. В процессе проверки собранного БП на предмет КЗ, выяснилось, что защита срабатывала, тогда, когда она этого хотела. Это стало последней каплей для того, чтобы самому занять программированием. Впоследствии выяснилось, что виной такому поведению собранного устройства и стали эти пресловутые задержки. Поэтому во всех своих программах я, как мог, уменьшил время реакции программы на изменения входной величины. Но, как раз здесь-то и вылезли проблемы с мерцанием младших разрядов в индикаторах. Пришлось сначала определить причины этого явления, а потом искать соответствующую литературу для решения этой проблемы.

# Импульсные помехи, продолжение

Рубрика: [Самостоятельные расчеты](http://www.kondratev-v.ru/category/samostoyatelnye-rasschety)

И так, это продолжение статьи об импульсных помехах, приводящих к непредсказуемому поведению цифровых устройств. После того, как у меня появились проблемы с мерцанием младших разрядов, я начал искать соответствующую литературу. Из всего мной прочитанного, я хочу предложить вам, на мой взгляд, не очень нудную, но очень содержательную и полезную статью. Данная статья была опубликована в журнале **«Схемотехника»** за 2004 год. **Автор статьи — Алексей Кузнецов.**

## Типичные помехи

Источников помех, способных вызвать сбой или отказ устройства, существует бесчисленное множество. Однако наиболее часто встречаются следующие помехи:

● наносекундные помехи, которые, как правило, бывают вызваны срабатыванием механических контактов выключателей и реле. В зарубежной литературе этот вид помех называется EFT—ElectricFastTransients;  
● микросекундные помехи, связанные с работой реактивных элементов в цепях мощных нагрузок (зарядка конденсаторов, а также отдача энергии, накопленной в обмотках моторов, соленоидов и пр.). В зарубежной литературе этот вид помех называется surge;  
● помехи от электростатических разрядов; в основном это помехи, возникающие при касании «наэлектризованным» человеком различных электрических цепей. В зарубежной литературе этот вид помех называетсяESD—ElectrostaticDischarge;  
● помехи, вызванные работой близко расположенных радиопередатчиков;  
● помехи от мощных природных или искусственных источников энергии, прежде всего от грозовых разрядов. Существуют российские и международные стандарты, оговаривающие  
требования к электромагнитной совместимости (ЭМС). Стандарты аккумулируют многолетний инженерный опыт. Однако сами по себе стандарты являются тяжело усваиваемым материалом, малопригодным для непосредственного руководства при проектировании или анализе поведения устройств. Стандарты разработаны таким образом, чтобы при испытании устройств достаточно аккуратно имитировать реальные помехи. Целесообразно все помехи разделить на три абстрактных типа:  
● наносекундные помехи (НП);  
● мощные помехи (МП);  
● радиочастотные помехи (РП).  
Практически все реальные помехи  
могут быть представлены как комбинации этих трех абстрактных. Например, EFT помехи — это пачки наносекундных помех НП, а ESD — это комбинация одиночной НП и одиночной МП. Поэтому если устройство устойчиво ко всем трем абстрактным типам помех, то с высокой степенью  
вероятности оно будет устойчиво и к реальным помехам, независимо от их происхождения.  
Вопрос устойчивости к МП в большой степени является вопросом обеспечения надежности, пожара и электробезопасности. Устойчивость к МП и РП в данной статье не рассматривается.  
Наносекундные помехи  
Этот тип помех является причиной большинства сбоев. При всем своем разнообразии наносекундные помехи обладают некоторыми общими свойствами:  
● одиночная НП — это почти дельта-функция, у нее чрезвычайно широкий спектр (до единиц гигагерц);  
● НП имеет ничтожную энергию, в отличие от МП она, как правило, не «выжигает» радиоэлектронные устройства, а вызывает обратимый сбой;  
● сбиваться могут только устройства, обладающие памятью, такие как микропроцессоры, счетчики и пр. Для чисто комбинационных цифровых узлов понятие «сбой» теряет смысл, так как они автоматически возвращаются в нужное состояние по окончании НП. Заметим, что аналоговые цепи тоже могут обладать «памятью» в виде емкостей или индуктивностей. Чтобы лучше представить себе этот тип помех, полезно обратиться к стандарту МЭК 61000-4-4 (ГОСТ Р 51317.4.4-99). В нем сказано, что EFT помехи должны имитироваться пачками треугольных импульсов. Длительность переднего фронта у каждого импульса — 5 нс, длительность импульса — 50 нс на уровне 50 %. Внутреннее сопротивление генератора импульсов составляет 50 Ом, генератор должен быть заземлен. Амплитуда НП-импульсов зависит от того, к какому классу по помехоустойчивости должно относиться испытуемое устройство, а также от того, куда подаются импульсы при испытании (табл. 1).

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/impulsnye-pomexi-prodolzhenie.html/attachment/table-1-3)

Возможны испытания и более жесткие, чем указаны в таблице, если это требуется по условиям эксплуатации прибора. Однако в подавляющем большинстве случаев перечисленных в таблице степеней жесткости достаточно. Самые легкие испытания применяются к бытовой технике, самые жесткие — к промышленным и бортовым устройствам. В линии питания и заземления тестовые НП импульсы инжектируются непосредственно, без развязки. С учетом достаточно низкого сопротивления генератора сигналов, величины импульсных токов, протекающих в цепи общего провода, могут достигать огромных величин. Импульсные токи НП, протекающие по общему проводу устройства, создают заметное падение напряжения между различными точками этого провода, что может вызвать сбой. В сигнальные цепи тестовые НП импульсы инжектируются через «емкостные клещи», куда по очереди закладываются все провода, приходящие к устройству. Емкость связи невелика — единицы пикофарад, но для НП импульсов даже сравнительно малые емкости не являются серьезным препятствием, настолько широк их спектр. НП, приходящая в устройство по сигнальным цепям, рано или поздно попадает на общий провод («землю») и далее проходит теми же путями, что и НП, инжектированная в цепь общего провода. Поскольку согласно стандарту, амплитуда сигнальной НП вдвое меньше, чем земляной, попавшая в общий провод сигнальная НП в дальнейшем уже не может вызвать эффекта худшего, чем земляная НП. Однако до того как сигнальная НП попадет на общий провод, она может вызвать сбой непосредственно в цепях, связанных с  
данным сигналом. Стандарт оговаривает, что испытуемое устройство должно находиться на изолирующей подставке на расстоянии 100 мм от сплошной заземленной поверхности. Это немаловажное требование, так как между устройством и этой поверхностью образуется емкостная связь, иногда одного этого достаточно для сбоя. На рис. 1 условно показано некое устройство, состоящее из узлов 1—4. Узлы 1 и 2 не подключены к внешним цепям, но они могут сбиваться из-за падения напряжения на внутреннем общем проводе, вызванном прохождением тока помехи IGND (на рис. 1 показана помеха, инжектируемая в линию заземления). Узлы 3 и 4 подключены к внешним устройствам, поэтому помимо упомянутых сбоев они дополнительно подвержены сбоям из-за токов помех I1 и I2, проходящих через их терминалы. Два типа проверок, оговоренных стандартом (со стороны заземления и со стороны сигналов), взаимодополняют друг друга. На рис. 1 можно выделить три составляющих помехоустойчивости устройства к НП, рассматриваемые далее более подробно:  
● внутренний общий провод («земля») устройства;  
● барьеры;  
● емкостные связи.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/impulsnye-pomexi-prodolzhenie.html/attachment/ris-1-3)

Внутренний общий провод устройства. В момент прохождения НП по внутреннему общему проводу создается заметная разность напряжений между различными его точками  
(«перекосы»). Например, если узлы 1 и 2 (рис. 1) являются цифровыми, собранными на микросхемах ТТЛШ, то разность напряжений примерно в 1 В между точками «а» и «б» способна вызвать сбой. Основную роль в создании падения напряжения играет не резистивная, а индуктивная составляющая цепи общего провода. За счет огромной крутизны фронтов НП даже мизерных индуктивностей общего провода или даже слоев в печатных платах бывает достаточно для сбоя.  
Рассмотрим эквивалентную схему на рис. 2.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/impulsnye-pomexi-prodolzhenie.html/attachment/ris-2-4)

Источник помехи — генератор треугольных импульсов U GEN . Фронт нарастания помехи — 5 нс, длительность по уровню 50 % равна 50 нс (рис. 3), сопротивление источника помехи R GEN равно 50 Ом, как оговорено стандартом. Амплитуда импульса помехи — 1 кВ, что соответствует сравнительно «мягким» испытаниям согласно табл. 1.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/impulsnye-pomexi-prodolzhenie.html/attachment/ris-3-3)

Конденсатор C CPL представляет собой емкость связи, L W — индуктивность проводов, подключенных к устройству. Для схемы на рис. 1 емкость связи C CPL состоит из параллельно  
включенных C X 1, C X 2 плюс, возможно, емкости, привносимые внешними устройствами. Индуктивность L W представляет суммарную индуктивность всех проводников на пути помехи, за исключением индуктивности общего провода на рассматриваемом участке (в нашем случае на участке «а»—«б» рис. 1), которая обозначена как L GND . Предположим, что индуктивность общего провода L GND равна 10 нГн, а индуктивность остальных цепей — 100 нГн. Для ориентировки отметим, что печатный проводник шириной 5 мм и длиной 10 мм имеет индуктивность более 10 нГн, проводник шириной 0,35 мм и длиной 10 мм — примерно 17 нГн. Квадратная площадка размерами 25×25 мм имеет индуктивность более 20 нГн. На рис. 4 показана форма падения напряжения на L GND для следующих случаев:  
1. С CPL = 10 пФ, L W = 100 нГн.  
2. С CPL = 100 пФ, L W = 100 нГн.  
3. С CPL = 0,1 мкФ, L W = 100 нГн.  
4. С CPL = 0,1 мкФ, L W = 0.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/impulsnye-pomexi-prodolzhenie.html/attachment/ris-4-2)

При прохождении помехи на индуктивности внутреннего общего провода устройства создается падение напряжения, достаточное для сбоя. Увидеть такую помеху при помощи запоминающего осциллографа весьма затруднительно по ряду причин, в том числе по причине ограниченной скорости большинства современных запоминающих осциллографов. Из этого следует, что даже сплошной слой общего провода не спасет устройство на рис. 1 от сбоев, и в нем «перекосы» при прохождении НП могут достигать десятков вольт. Устойчивость устройства к воздействию НП не может быть достигнута только за счет утолщения проводников общего провода, заливки свободных мест печатной платы проводником общего провода или  
использования многослойных плат. За счет одних только «толстых» общих проводников можно получить выигрыш в помехоустойчивости примерно в 1,5…3 раза, что на фоне сигналов помех, показанных на рис. 4, совершенно недостаточно. Развязка внешних сигналов при помощи оптронов тоже считается хорошим средством повышения помехоустойчивости, но на самом деле не является надежной защитой от НП. Типичная емкость оптрона — 0,5 пФ, при подстановке этого значения в качестве C CPL падение напряжения на индуктивности L GND в схеме на рис. 2 уменьшается до 4 В, что все равно достаточно для сбоя. Если устройство имеет несколько линий ввода/вывода, развязанных оптронами, то емкость CCPL будет соответственно больше. Радикального уменьшения напряжения помех на внутреннем общем проводе устройства можно достичь, если правильно скомпоновать устройство и выбрать оптимальную точку заземления. Например, вполне очевидно, что по внутреннему общему проводу устройства на рис. 5 токи помех на участке «а»—«в» вообще не текут, соответственно, не возникает причин для сбоя узлов 1 и 2. В устройстве на рис. 5 внутренний общий провод устройства разделен на две части: «чистую» («а»—«в») и «грязную» («в»—«г»). По «чистой» части токи помех не протекают, к ней можно присоединять все узлы, потенциально чувствительные к помехам (узлы 1 и 2). Токи помех текут только по «грязной» части, с которой можно связывать только узлы, нечувствительные к помехам (узлы 3 и 4). Реальная картина вряд ли будет такой простой, как на рис. 5.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/impulsnye-pomexi-prodolzhenie.html/attachment/ris-5-2)

Паразитную емкость Сх очень редко удается сосредоточить только в «грязной» части, частично она существует и в «чистой» левой. За счет этой емкости полностью избавиться от токов помех в «чистой» части общего провода не удается.

# Разводка плат, помехи

Рубрика: [Самостоятельные расчеты](http://www.kondratev-v.ru/category/samostoyatelnye-rasschety)

Проиллюстрируем сказанное в предыдущей части статьи несколькими примерами.

**Пример 1**

На рис. 6 представлена схема кварцевого генератора микроконтроллера.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-6-2)  
Основу генератора составляет инвертирующий усилитель, встроенный в микроконтроллер. Режим работы по постоянному току задается встроенным высокоомным резистором, включенным между входом и выходом этого усилителя. Для корректной работы генератора дополнительно к внешнему кварцевому резонатору ZQ1 требуются два конденсатора малой емкости — С1 и С2. Конденсаторы и минус питания микропроцессора подключены к внутреннему общему проводу устройства. Точки подключения конденсаторов и микроконтроллера к общему проводу печатной платы играют существенную роль. Малейший перекос напряжений общего провода между С1 и V SS , возникающий при прохождении НП по общему проводу устройства, будет многократно усилен и попадет внутрь микроконтроллера как короткий ложный тактовый импульс.  
Поскольку длительность ложного тактового импульса намного меньше, чем длительность «настоящих», внутренняя логика микропроцессора может перейти в непредсказуемое состояние. Микропроцессор «зависнет», и не всякий встроенный сторожевой таймер сможет его сбросить, так как в некоторых микроконтроллерах сторожевые таймеры тактируются от общего генератора и сами могут «зависнуть» после воздействия такой помехи. На рис. 7 показаны примеры разводки этого узла на печатной плате. Фрагмент слева разведен обычным образом в предположении, что общий провод печатной платы эквипотенциален.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-7-2)

Конденсаторы С1 и С2 подключены к нему точно также, как и все остальные элементы, толщина проводников общего провода выбрана большой. Такая разводка встречается часто, но она не обеспечивает высокой помехоустойчивости. Фрагмент справа разведен таким образом, чтобы ток помех не протекал по дорожке, соединяющей конденсаторы С1 и С2 с выводом минуса питания микроконтроллера. Эта дорожка образует участок «чистого» общего провода. Помехоустойчивость микропроцессорного устройства с такой разводкой максимальная.  
**Пример 2**  
Вход сброса микроконтроллера является еще одной цепью, подверженной влиянию наносекундных помех.  
Нередко разработчики игнорируют этот очевидный факт и используют разветвленную цепь сброса, непосредственно подключенную к различным узлам на плате. Перекос общего провода между источником сигнала сброса (часто это супервизор питания) и микроконтроллером вызывает ложный сброс устройства. Схемотехнически решить эту проблему нетрудно, достаточно на вход микроконтроллера добавить простую RC-цепочку, как показано на рис. 8.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-8-2)

Однако такое решение должно сопровождаться и правильной разводкой «холодного» вывода конденсатора С3, иначе никакой пользы оно не принесет. Требования к разводке проводника, соединяющего С3 с минусовым выводом микроконтроллера такие же, как для первого примера: никакие другие детали, кроме С3, к этому проводнику подключать нельзя. Исключение составляют только конденсаторы кварцевого генератора (С1 и С2 на рис. 6).

**Пример 3**

Обеспечить высокую помехоустойчивость устройства можно на этапе общей компоновки. Типичная плата устройства, при компоновке которой вопросы помехоустойчивости не были приняты во внимание, показана на рис. 9.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-9-10)

Для подключения внешних сигналов и питания в нем использованы все четыре кромки печатной платы. Микропроцессор расположен почти в центре печатной платы, т. е. в месте максимально подверженном влиянию наносекундных помех. В случае использования сплошного общего провода очень вероятно, что такое устройство будет сбиваться. Не меняя компоновки существенного улучшения помехоустойчивости в таком устройстве можно достичь, если разделить общий провод на «чистую» и «грязную» части, как условно показано на рис. 9. Наружный контур является «грязной» частью, он специально предназначен для распространения наносекундных помех. К «грязной» части нельзя подключать устройства, чувствительные к помехам. Внутренний «полуостров» «чистой» части соединен с «грязной» частью в одной точке. Во все сигнальные линии, проходящие между «чистой» и «грязной» частями, необходимо добавить резисторы или дроссели, чтобы преградить путь НП (барьеры).Дальнейшее улучшение помехоустойчивости достигается перекомпоновкой устройства, как показано на рис. 10. Видно, что все терминалы сосредоточены с одной «грязной» стороны платы. Тем самым путь распространения помех по общему проводу платы значительно сокращен.

**Барьеры.**

После того как внутренний общий провод устройства разделен на «чистые» и «грязные» части, возникает вопрос — как предотвратить проникновение помех из «грязной» части в «чистую»? Например, в устройстве на рис. 5 узел 2 подключен к «чистой» части, но он обменивается сигналами с узлом 3, который подвержен влиянию помех. В приведенном выше примере 3 было упомянуто, что сигнальные цепи, соединяющие узлы на «чистой» и «грязной» частях, должны содержать барьеры для помех — резисторы или дроссели. Практика показывает, что повсеместное использование барьеров обычно повышает помехоустойчивость устройства в несколько раз.

**Пример 4**

Рассмотрим микроконтроллер, управляющий мощной нагрузкой при помощи реле через биполярный транзистор (рис. 11).

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-11-3)

Контакты реле являются источником наносекундных помех. Кроме того, внешние помехи достаточно легко проходят «сквозь» реле за счет его паразитной проходной емкости и емкостей монтажа. Вместе с тем ни реле, ни транзистор VT1 сами по себе влиянию НП не подвержены. Минусовый вывод микроконтроллера V SS подключен к «чистой» части общего провода, эмиттер транзистора VT1 — к «грязной». Резистор R1 помимо своей основной функции выполняет роль барьера, препятствующего распространению помех из «грязной» части в «чистую». Проходная емкость резистора, как правило, мала, порядка 0,2...0,3 пФ, поэтому резистор создает достаточно эффективный барьер для НП. В особо тяжелых случаях для уменьшения проходной емкости можно включать по два-три резистора последовательно. Если бы вместо биполярного использовался полевой транзистор, то R1 пришлось бы поставить именно в качестве барьера, хотя для функционирования схемы он был бы не нужен.

**Пример 5**

Другой типичный пример — подключение оптронов к микроконтроллеру. На рис. 12 представлен фрагмент входной и выходной оптронной развязки.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-12-2)

Эмиттер входного оптрона U1 подключен к «грязной» части общего провода, так как за счет проходной емкости в 0,5 пФ оптрон полупрозрачен для НП. Сам низкоскоростной оптрон достаточно безразличен к НП, но надо заметить, что оптроны с подключенным выводом базы фототранзистора иногда «ловят помеху», поэтому предпочтительней использовать оптроны без вывода базы. Резистор R1 может быть подключен как к «грязному», так и к «чистому» выводам питания, поскольку сам резистор является барьером, препятствующим прохождению НП на «чистое» питание. Резистор R2 сопротивлением 1...100 кОм служит барьером для помех между оптроном и микроконтроллером. Конденсатор С1 не является обязательным элементом, однако его наличие дополнительно улучшает помехоустойчивость, так как уменьшает ток помех, протекающий по выводу V SS микроконтроллера. Конденсатор С1 и микроконтроллер подключены к «чистой» части общего провода. Анод светодиода выходного оптрона U2 подключен к «грязному» питанию +5 В. Токозадающий резистор R3 одновременно служит барьером для помех. В особо тяжелой помеховой обстановке полезно зашунтировать светодиод оптрона конденсатором 1...10 нФ или хотя бы резистором. В случае, когда невозможно или неудобно подключать оптрон к «грязному» питанию, можно разделить токозадающий резистор на два, как это показано для оптрона U3. Резистор R5 служит барьером для помех между оптроном и «чистой» шиной питания +5 В.

## ЕМКОСТНЫЕ СВЯЗИ

Часть тока помех на рис. 1 протекает через емкость связи С Х. Вспомним, что при испытании устройства на помехоустойчивость оно должно находиться на изолирующей подставке на высоте 100 мм над сплошной заземленной поверхностью. Иногда одной только емкости связи с землей бывает достаточно для сбоя устройства. Разделение общего провода на «чистую» и «грязную» части само по себе не уменьшает суммарную величину емкостной связи. Соотношение емкостей связи для «чистой» и «грязной» частей соответствует отношению их площадей. Вполне очевидными методами борьбы с емкостными связями являются перераспределение частей общего провода, уменьшение площадей проводников и частичное экранирование.  
Обратите внимание на положение микропроцессора на рис. 10. Он расположен в углу платы, поэтому за счет емкостной связи сквозь него будет течь сравнительно небольшой ток. На рис. 9 он расположен иначе.  
Большой полигон «чистой» части общего провода справа от него имеет значительную емкостную связь с истинной землей, поэтому вероятность сбоя будет намного больше.

**Пример 6**

На рис. 13 показаны два варианта разводки площадки общего провода под микроконтроллером. Вместо кварцевого резонатора и конденсаторов используется трехвыводной керамический резонатор для монтажа на поверхность Х1.

[](http://www.kondratev-v.ru/samostoyatelnye-rasschety/razvodka-plat-pomexi.html/attachment/ris-13-2)

Разводка выполнена для гипотетического «правильного» микроконтроллера, разработчики которого позаботились о помехоустойчивости и расположили общий вывод между выводами генератора. Это не утопия, микроконтроллеры семейства M16C фирмы Renesas, которые являются одними из самых помехоустойчивых 16-битных микроконтроллеров, действительно имеют подобное расположение выводов. Неиспользованные выводы микроконтроллера подключены к внутренней площадке общего провода. На рис. 13 слева эта площадка соединена с «чистой» частью общего провода  
платы несколькими переходными отверстиями. За счет этого устройство оказывается не помехоустойчивым. Ток помехи, протекающий по «чистой» части и уходящий в истинную землю через емкостную связь, создает градиент напряжения («перекос»). Переходные отверстия передают этот перекос на площадку под микроконтроллером. Ток помехи частично протекает через выводы микроконтроллера, подключенные к площадке, что может вызвать сбой. На рис. 13 справа площадка под микроконтроллером соединена с «чистой» частью в одной точке рядом с общим выводом микроконтроллера. Помехоустойчивость устройства максимальна, так как «чистая» часть на противоположной стороне платы при этом становится разновидностью экрана, защищающего «сверхчистую» площадку под микроконтроллером.

## ПЕРЕКРЕСТНЫЕ ПОМЕХИ

Помимо внешних источников наносекундных помех различные узлы внутри устройства сами могут генерировать взаимные помехи. Современные цифровые микросхемы, особенно БИС, тоже являются  
источниками НП. В момент переключения сотни и тысячи транзисторов внутри БИС меняют свои состояния, в результате сотни и тысячи паразитных емкостей перезаряжаются (например, емкости затворов в микросхемах КМОП). В результате через выводы общего провода и питания микросхем протекают импульсные токи наносекундной и субнаносекундной длительности и большой амплитуды. Распространяясь по шинам общего провода и питания платы эти токи несколько ухудшают суммарную помехоустойчивость устройства, но сами по себе, как правило, причиной сбоев не являются. Для уменьшения вредного влияния этих токов в цепи питания рядом с микросхемами ставят керамические развязывающие конденсаторы. Конденсаторы должны устанавливаться как можно ближе к выводам общего провода и питания, чтобы уменьшить размер контура, по которому циркулируют токи перезарядки.

Сказанное является прописной истиной. Тем не менее, достаточно часто приходится слышать такие высказывания: «мое устройство сбивается, я поставил больше конденсаторов в цепи питания, а оно все равно сбивается». Складывается впечатление, что некоторые разработчики считают, будто развязывающие конденсаторы ставятся для защиты от внешних помех. Это, конечно, заблуждение. Вследствие такого заблуждения иногда встречаются платы, где развязывающие конденсаторы стоят вдалеке от микросхем, хотя ничто не мешало поставить их гораздо ближе к выводам питания. Особого рассмотрения заслуживает микросхема супервизора питания. Как известно, срабатывает она нечасто, так что наносекундных помех практически не создает. Однако она сама подвержена влиянию НП, поэтому вблизи супервизора питания необходимо ставить керамический развязывающий конденсатор. Это редкий  
случай, когда такой конденсатор и в самом деле является фильтром для внешних помех.

## Алексей Кузнецов, г. Аделаида, Австралия

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. ГОСТ Р 51317.4.4-99.  
2. Устойчивость к электростатическим разрядам. ГОСТ Р 51317.4.2-99.  
3. Методы проектирования аппаратного обеспечения. http://www.analog.com.ru/Public/10.pdf.  
4. The Keith Armstrong Portfolio. http://www.compliance-club.com/KeithArmstrongPortfolio.htm.  
5. SZZA009: PCB Design Guidelines For Reduced EMI. http://www-s.ti.com/sc/psheets/szza009/szza009.pdf.  
6. SDYA011: Printed Circuit Board Layout for Improved Electromagnetic Compatibility. http://www-s.ti.com/sc/  
psheets/sdya011/sdya011.pdf.  
7. SCEA018: Comparison of Electromagnetic Interference Potential of Integrated Logic Circuits AVC, GTLP,  
BTL and LVDS. http://www-s.ti.com/sc/psheets/scea018/scea018.pdf.  
8. SLLA057: A Survey of Common-Mode Noise. http://www-s.ti.com/sc/psheets/slla057/slla057.pdf.  
9. ANM085: EMC Improvement Guidelines. http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc3ae68a605a252.pdf.  
10. AVR040: EMC Design Considerations. http://www.atmel.com/atmel/acrobat/doc1619.pdf.  
11. AN1050: Designing for Electromagnetic Compatibility (EMC) with HCMOS Microcontrollers. http://e-  
www.motorola.com/brdata/PDFDB/docs/AN1050.pdf.  
11. AP2426: EMC Design Guideline for Microcontroller Board Layout. http://www.  
infineon.com/cmc\_upload/0/000/011/171/ap242602\_EMC\_DesignGuideline.pdf.