

УДК 621.382

В.Е. Митрохин, А.В. Ряполов

## Имитатор импульсных помех наносекундной и микросекундной длительности

Создан имитатор помех, предназначенный для тестирования микропроцессорных устройств на сбоеустойчивость при воздействии помех по линиям электропитания. Представлены осциллограммы генерируемых импульсов. Показаны результаты испытания микропроцессорного устройства при воздействии серии импульсов помех. Зафиксированы амплитуды импульсов помех, вызывающие сбой встроенного программного обеспечения.

**Ключевые слова:** имитатор помех, наносекундный импульс, микросекундный импульс, сбой микропроцессорного устройства.

### Предпосылки к созданию имитатора помех

Применение цифровой вычислительной аппаратуры в некоторых случаях сопряжено с опасностью выхода из строя чувствительной полупроводниковой аппаратуры. Проникающие кондуктивные или индуктивные помехи создают напряжения, которые способны вызвать пробой в интегральных микросхемах [1, 2]. Широкое использование встраиваемых систем (микропроцессоры, ПЛИС) осложняется еще одной проблемой. Для необратимого повреждения микросхемы помеха должна обладать достаточной для этого энергией, которая определяется амплитудой и длительностью. Помеха с недостаточно высокой амплитудой может и не вызвать перманентный отказ компонента, но есть вероятность кратковременного или обратимого отказа – сбоя.

Воздействие напряжения помехи на кристалл может происходить либо по информационным линиям, либо по линиям питания. Появление положительной помехи достаточно высокого уровня на информационной линии может интерпретироваться как логическая единица, в то время как появление отрицательной помехи на линии с высоким уровнем может быть воспринято как логический ноль. Такая помеха может не оказать никакого дестабилизирующего воздействия, если в этот момент не происходит чтения информации с данной линии. В противном случае искаженная информация может изменить ход внутренней программы, что отразится на временных или информационных параметрах выходных управляющих сигналов.

Не менее опасной является ситуация появления помехи на линиях питания. Внутренняя структура микроконтроллера достаточно сложна для точного определения источника сбоя. Информация, содержащаяся в ячейках памяти регистров и ОЗУ, может исказиться или потеряться [3, 4]. Если это произойдет в критически важных узлах, таких как регистр инструкций, где хранится текущая команда, программный счетчик, указывающий на следующую команду в памяти, или указателе стека, определяющем точку возврата из подпрограммы, то выполнение программы может перейти в непредсказуемую область памяти программ и формировать на выходах неправильные сигналы.

### Описание имитатора помех

Для оценки возможных последствий от помех в цепях питания цифровых программируемых устройств был разработан имитатор импульсных помех, способный кратковременно изменять потенциал линии GND и VCC. Структурная схема имитатора представлена на рис. 1. Он, по сути, является источником питания постоянного напряжения, в котором выходное напряжение регулируется цепью управления ключевым элементом, представляющим собой резистивную матрицу сопротивлений. Ключевой элемент – мощный МОП-транзистор, способный переключаться за десятки наносекунд. Кроме того, управление осуществляется микроконтроллером, это позволило создавать помехи наносекундной и микросекундной длительности.

Линии регулировки верхнего и нижнего напряжений абсолютно одинаковы и позволяют устанавливать выходное напряжение от 0 В до некоторого максимального значения напряжения, определяемого значением входного напряжения. Всего ступеней регулировки 128. При достаточно высоком входном напряжении можно получить помеху амплитудой, достаточной для пробоя внутри исследуемой микросхемы, таким образом, данный имитатор помех может применяться для исследования не только сбоеустойчивости, но и импульсной прочности.

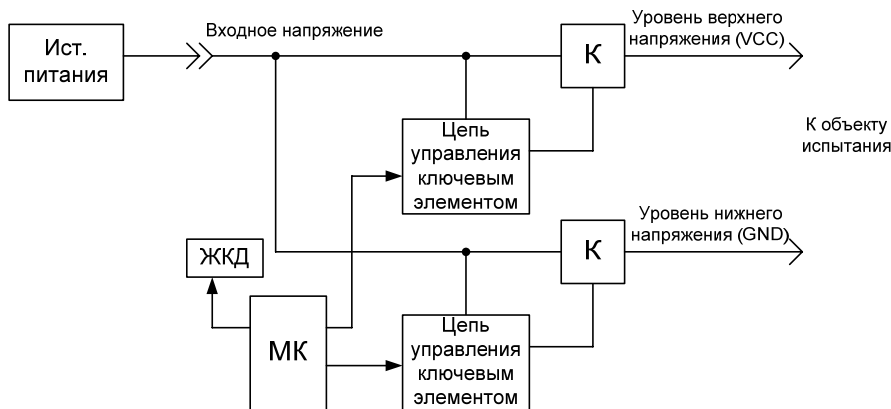


Рис. 1. Структурная схема имитатора помех

Наличие программного управления с микроконтроллера позволяет создавать помехи различной формы, амплитуды и длительности [5], а также подавать импульсы в виде пачек с изменяемыми временными параметрами появления помех. Уровни верхнего и нижнего напряжений, относительно которых происходит формирование импульсной помехи, задаются предварительно. Таким образом, располагая уровни двух питающих напряжений в среднем диапазоне 128 шагов регулировки выходного напряжения, можно формировать на любой из линий помехи положительной и отрицательной полярности.

На рис. 2 и 3 представлены осциллограммы импульсных помех положительной полярности, сформированных отдельно в питающих линиях VCC и GND. На рис. 4 показана генерация помех в обеих линиях. Длительность импульсов составляет порядка 300–500 нс для амплитуды до 20 В.

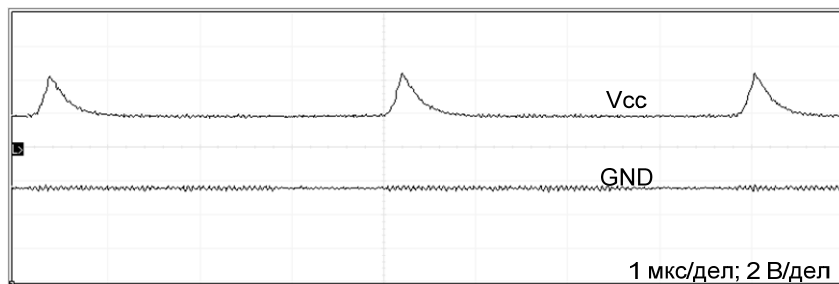


Рис. 2. Осциллограмма серии помех в линии VCC

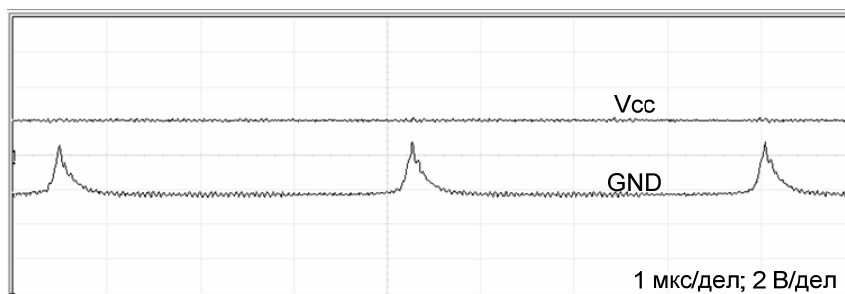


Рис. 3. Осциллограмма серии помех в линии GND

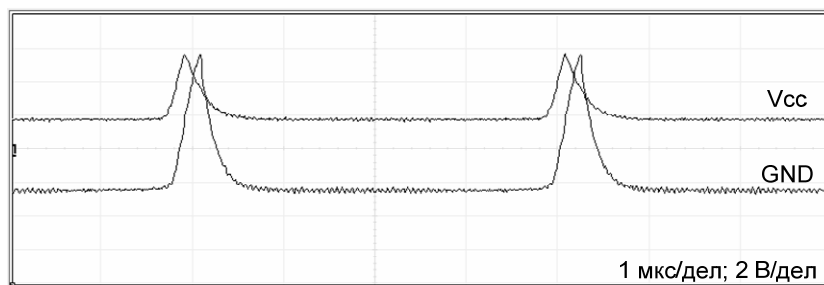


Рис. 4. Осциллограмма помех, сформированных в линиях VCC и GND

### Тестирование микропроцессорного устройства на сбоеустойчивость

Данный имитатор был применен для исследования стабильности работы микропроцессорного устройства, состоящего из микроконтроллера и минимальной внешней обвязки. Тестовая программа микроконтроллера осуществляла периодическое выведение состояния программного счетчика на внешний дисплей, так чтобы можно было визуально отслеживать ход работы испытуемого устройства. Поскольку предполагалось, что вследствие искажения содержимого программного счетчика выполнение тестовой программы может перейти по непредсказуемому адресу, она заняла весь диапазон памяти программ. Таким образом, после перехода в произвольную область памяти можно точно определить, по какому адресу в текущий момент выполняются команды.

Верхнее и нижнее напряжения на выходе имитатора были установлены на уровнях 15 и 10 В соответственно, таким образом, тестовый объект работал от разности напряжений 5 В. В результате подачи серии помех по линии GND испытуемое устройство начинало сбивать при достижении амплитуды помехой уровня примерно в три четверти от напряжения питания. Сбой выражался в перезагрузке микроконтроллера и возобновлении работы с начального адреса.

На рис. 5 приведена осциллограмма помех в линии GND, вызвавших сбой. Из осциллограммы видно, что помеха, проходя через устройство, проявляется и в линии VCC.

При увеличении амплитуды помехи перезагрузка наступала во всех случаях, независимо от числа импульсов в серии. В ходе выполнения эксперимента было зафиксировано несколько случаев, когда внешняя индикация показывала, что в программном счетчике не происходило смены адресов, т.е. наступало полное зависание устройства и выход из этого состояния был только после перезагрузки по питанию.

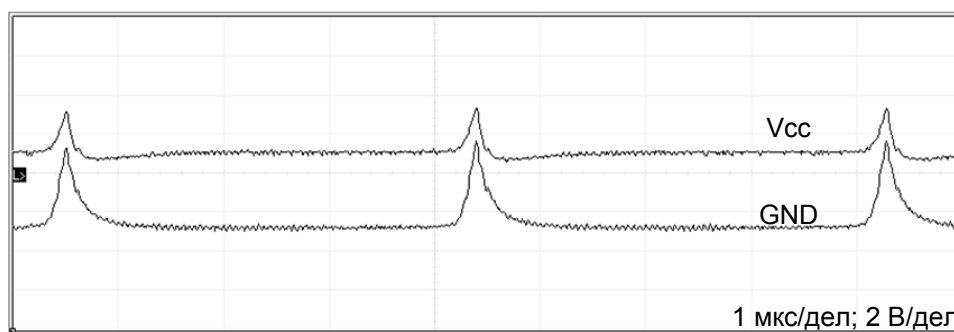


Рис. 5. Осциллограмма помех в линии GND тестового устройства, вызвавших сбой

### Заключение

Применение программного управления в имитаторе помех позволяет создавать импульсы различной формы и длительности, а также осуществлять генерацию помех с различной частотой следования. В ходе проведенного эксперимента имитатор показал свою эффективность в оценке сбоеустойчивости микропроцессорных систем и может успешно применяться для тестирования устройств, работающих вблизи силовых цепей или в неблагоприятной электромагнитной обстановке.

### Литература

1. Гуревич В. Проблема электромагнитных воздействий на микропроцессорные устройства релейной защиты. – Ч. 1–3 // Компоненты и технологии. – 2010. – № 2–4.
2. Белоус В. Схемотехнические методы повышения помехоустойчивости цифровых КМОП-микросхем / В. Белоус, С. Дрозд, А. Листопадов // Компоненты и технологии. – 2010. – № 6. – С. 132–137.
3. Martorell F. Error probability in synchronous digital circuits due to power supply noise / F. Martorell, M. Pons, A. Rubio, F. Moll // Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era, DTIS. International Conference –2007. – P. 170–175.
4. О'Нара М. The EMC impact of embedded software // Conformity magazine. – 2007. – № 9. – P. 36–45.
5. Кравченко В.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. – М.: Радио и связь, 1987. – 256 с.

**Митрохин Валерий Евгеньевич**

Д-р техн. наук, проф., зав. каф. «Системы передачи информации»  
Омского государственного университета путей сообщения (ОмГУПС)  
Тел.: 8 (3812) 31-06-94  
Эл. почта: mitrokhin@list.ru

**Ряполов Артём Владимирович**

Аспирант каф. «Системы передачи информации»,  
инженер каф. «Системы передачи информации» ОмГУПС  
Тел.: 8 (3812) 70-14-09  
Эл. почта: a.v.ryapolov@gmail.com

Mitrokhin V.E., Ryapolov A.V.

**The pulse noise imitator of nanosecond and microsecond duration**

The pulse noise imitator for testing microprocessor units on failure stability was created. Waveforms of generated pulses are shown. The results of testing the microprocessor unit under impact of several noise pulses are presented. Amplitude of transient pulse which causes a failure in running firmware is obtained.

**Keywords:** noise imitator, nanosecond duration pulse, microsecond duration pulse, microprocessor unit failure.

---