

Воздействие отдельных ядерных частиц на интегральные схемы

Александр Криницкий (Московская обл.)

Проанализированы условия возникновения в интегральных схемах кратковременных импульсов, вызванных отдельными ядерными частицами. Приведены упрощённые модели оценки ионизационной реакции при воздействии отдельных ядерных частиц и выходной электрической реакции изделий. Представлены результаты экспериментальных исследований выходной реакции интегральных микросхем, широко применяемых в радиоэлектронной аппаратуре.

ВВЕДЕНИЕ

Во многих случаях сбои и отказы аппаратуры космических аппаратов (АКА) обусловлены эффектами, возникающими в результате попадания в чувствительные элементы интегральных микросхем (ИС) отдельных ядерных частиц (ОЯЧ): тяжёлых за-

ряженных частиц и протонов с большой энергией. При этом доля применяемых типов ИС в АКА по отношению к другим классам электронной компонентной базы (ЭКБ) составляет 47,2% для изделий производства СНГ и стран Балтии (см. рис. 1) и 54,1% для изделий иностранного производства (см. рис. 2).

Из совокупности возможных локальных радиационных эффектов [1] наблюдаемым, но не в полной мере описанным, является эффект, связанный с появлением кратковременных импульсов ионизационной реакции на выходах ИС. Например, в цифроаналоговых преобразователях и аналоговых микросхемах амплитуда этих импульсов может составлять несколько десятков вольт [2], вследствие чего могут иметь место нарушения функционирования АКА.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ В ИС КРАТКОВРЕМЕННЫХ ИМПУЛЬСОВ, ВЫЗВАННЫХ ТЯЖЁЛЫМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Кратковременные импульсы возникают в результате ионизационной реакции полупроводниковых структур ИС, выражающейся генерацией в её

чувствительном объёме локального ионизационного заряда при взаимодействии ОЯЧ с веществом. За счёт собирания p-n-переходом избыточного заряда, на выводах элемента возникает ионизационный ток, типовая форма импульса которого показана на рисунке 3. При этом дрейфовые процессы завершаются за время, не превышающее единиц наносекунд, тогда как диффузионный ток может иметь продолжительность сотни наносекунд.

Параметры выходных импульсов характеризуются значениями амплитуды и длительности, которые определяются как процессами собирания носителей заряда с трека ядерной частицы, так и переключательной характеристикой ИС. В первом приближении ионизационная реакция $\Delta U(t)$ отдельного элемента зависит от величины собранного заряда ΔQ , внутренней ёмкости элемента C и времени τ_Δ , характеризующего быстроедействие отдельного элемента:

$$\Delta U(t) \approx \Delta Q/C \exp(-t/\tau_\Delta), \quad (1)$$

где t – текущее время.

В общем случае существует корреляция между величинами ΔQ и τ_Δ . Если элемент ИС относительно быстроедействующий, то величина собранного заряда определяется только дрейфовыми процессами. Для относительно инерционных элементов (большинство элементов аналоговых ИС) имеет место практически полное собирание заряда с трека ядерной частицы за счёт диффузионно-дрейфовых процессов.

Таким образом, для большинства элементов ИС выходная ионизационная реакция при воздействии ОЯЧ в первом приближении может быть записана в виде:

$$\Delta U(t) \approx k_L q LET L_e / C \exp(-t/t_{зд, p}), \quad (2)$$

где LET – линейные потери энергии (ЛПЭ) ОЯЧ; q – заряд электрона; L_e – эффективная длина собирания заряда с трека ядерной частицы; k_L – коэффициент пропорциональности ($k_L = 6,4 \times 10^8$ мг/МэВ см² для крем-

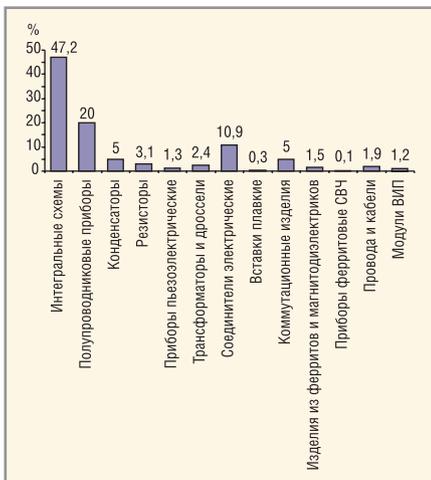


Рис. 1. Обобщённая характеристика номенклатуры ЭКБ производства СНГ и стран Балтии, применяемой в бортовой аппаратуре космических аппаратов

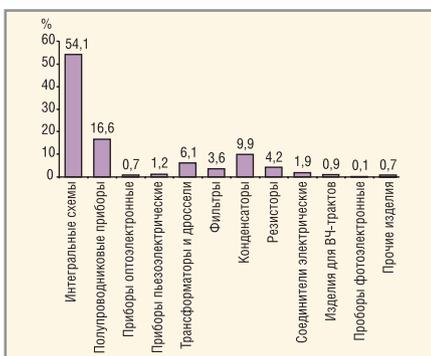


Рис. 2. Обобщённая характеристика номенклатуры ЭКБ иностранного производства, применяемой в бортовой аппаратуре космических аппаратов

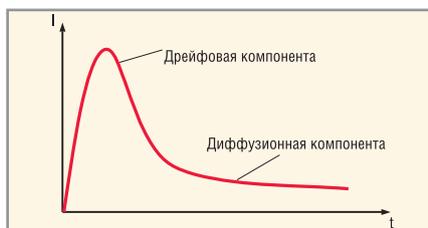


Рис. 3. Типовая временная зависимость импульса ионизационной реакции тока в полупроводниковой структуре ИС

ния); $t_{зд,р}$ – среднее время задержки распространения сигнала.

Эффективная длина собирания заряда с трека ядерной частицы в общем случае зависит от технологических параметров, режима работы и параметров налетающей частицы. В первом приближении можно воспользоваться следующей оценкой:

$$L_e \approx \min(W/\cos\theta, R_o, L_f), \quad (3)$$

где W – толщина активного слоя элемента ИС (для эпитаксиальных или КНИ ИС); θ – угол падения ядерной частицы; R_o – пробег ядерной частицы; L_f – эффективная длина собирания заряда с трека ядерной частицы. Для расчёта дрейфовых процессов типовое значение L_f равно 5 мкм.

На рис. 4 представлены результаты изменений пороговых значений ЛПЭ в зависимости от топологического размера элемента цифровых ИС для объёмной и тонкоплёночной технологий. При расчётных оценках предполагалось, что величина эффективной ёмкости пропорциональна времени $t_{зд,р}$, которое является степенной функцией минимального технологического раз-

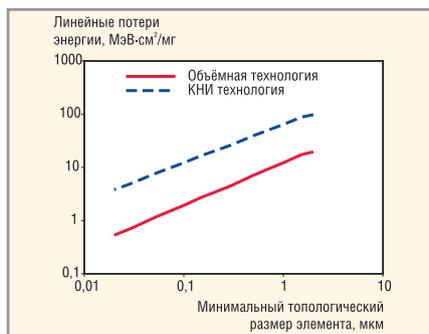


Рис. 4. Изменения пороговых значений ЛПЭ в зависимости от технологического допуска

мера. Принимая во внимание особенности ЛПЭ спектра ОЯЧ космического пространства, нетрудно заметить существенное увеличение чувствительности ИС к анализируемым эффектам при нормах менее 0,3 мкм.

Аналогичные оценки могут быть произведены и для аналоговых ИС. При этом надо иметь в виду, что величина собранного заряда за счёт процессов диффузии оказывается пропорциональной линейным размерам элемента [1]. Поэтому при размерах элементов, меньших L_e , заметной разницы в величинах собранного заряда для аналоговых и цифровых ИС, из-

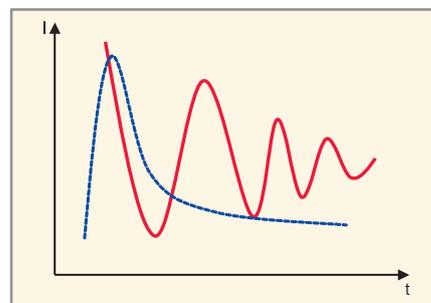


Рис. 5. Форма возможного отклика однокаскадного усилителя в виде затухающей синусоиды

готовленных по объёмной технологии, ожидать не следует.

Таким образом, при нормах проектирования, меньших 0,3 мкм, предполагается заметное увеличение чувствительности ИС к эффектам от ОЯЧ. При этом не будет заметных отличий в чувствительности аналоговых и цифровых ИС к эффектам возникновения кратковременных импульсов.

УПРОЩЁННАЯ МОДЕЛЬ ВЫХОДНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ИС УСИЛИТЕЛЯ

Результатом ионизационной реакции в чувствительных элементах ИС

ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ» –
ОДНА ИЗ САМЫХ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КОМПАНИЙ РОССИИ –
ПРИГЛАШАЕТ К СОТРУДНИЧЕСТВУ И ОСУЩЕСТВЛЯЕТ:



ЗАО «НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ФИРМА «ДОЛОМАНТ»



поставку ★

электронных компонентов в качестве второго поставщика (номенклатура порядка 400 тыс. наименований более 60 зарубежных производителей) при сотрудничестве с группой компаний ПРОСОФТ

производство ★

промышленных и встраиваемых компьютеров (в форматах Compact PCI, VME, EPIC, 3,5", PC/104, MicroPC, AT96, PICMG, Mini-ITX, ATX), плат для монтажа на DIN-рейку, а также каркасов, шлейфов, кабелей и аксессуаров, предназначенных для работы в жестких условиях эксплуатации с военной приёмкой

разработку ★

программных и аппаратных средств по ТЗ заказчика под контролем ВП

контрактную сборку ★

изделий по КД заказчика, включая изготовление печатных плат, поверхностный монтаж и тестирование электронных модулей, изготовление механических деталей корпусов и передних панелей под контролем ВП

Производственное высокоавтоматизированное оборудование для поверхностного монтажа электронных модулей ЗАО «НПФ» Доломант» соответствует уровню требований мировых производителей. Оборудование адаптировано к использованию бессвинцовой технологии, позволяет производить автоматическую разбраковку и рентгеновский контроль качества пайки.

ЗАО «НПФ «ДОЛОМАНТ»

имеет лицензии на разработку и производство электронных средств для ВВТ и атомных электростанций, свидетельство об аттестации второго поставщика, а также СМК, сертифицированную в системе «Военный регистр» на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ РВ 15.002.

117437, Москва, ул. Профсоюзная, д. 108
 Тел./факс: (495) 232-20-33
 E-mail: info@dolomant.ru
 Web: www.dolomant.ru

реклама

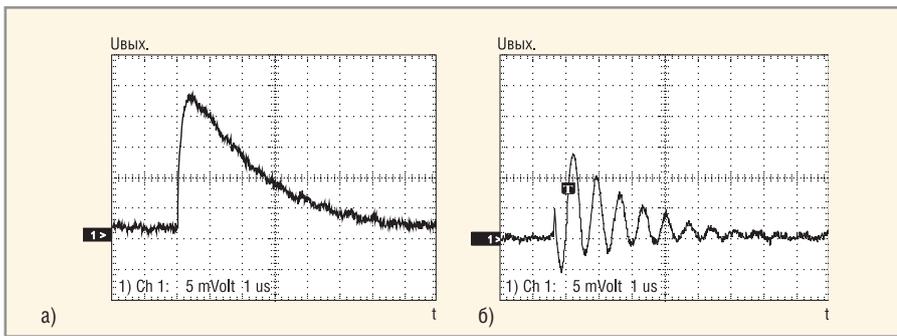


Рис. 6. Типовые временные зависимости выходного напряжения ИС ОУ 140УД20 после воздействия сфокусированным лазерным излучением

а) результат энергосвободения на входном транзисторе; б) результат энергосвободения от вторичных ядерных частиц в чувствительных элементах ИС

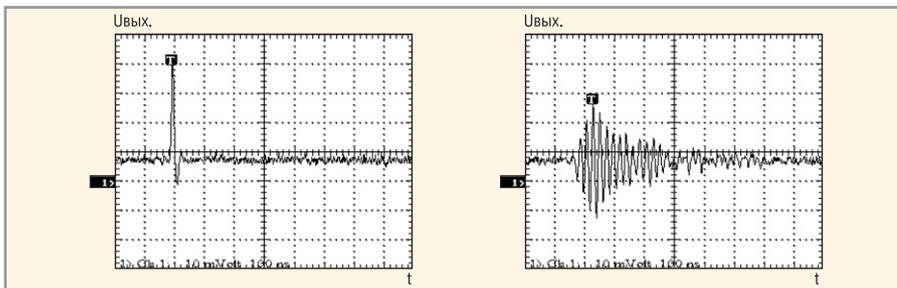


Рис. 7. Типовые временные зависимости выходного напряжения ИС ОУ типа 1484УД1У после воздействия высокоэнергетических протонов

является импульс напряжения на выходе микросхемы. Этот импульс, рассматриваемый как первичный импульсный отклик цепи, можно аппроксимировать дельта-функцией. Обычно передаточная функция (ПФ) однокаскадного усилителя описывается следующим выражением:

$$F(s) = 1/(s + \alpha) \quad (4)$$

где α – полюс ПФ, т.е. точка, где выражение (4) остаётся однозначным.

Для случая, когда полюс α является действительным, выходной сигнал будет представлять собой экспоненту. Если же полюса являются комплексно сопряжёнными числами (т.е. возмущение системы происходит не от одного, а от нескольких источников), отклик может прини-

мать вид затухающей синусоиды (см. рис. 5).

Однако, операционные усилители (ОУ) состоят из двух, трёх или четырёх каскадов усиления, которые имеют значительно большую полосу пропускания, чем весь ОУ. При этом весь ОУ может быть охвачен обратной связью, что также отражается на выходной реакции усилителя. Поэтому выходной импульсный сигнал может иметь несколько отличную форму (на рисунке 5 приведена пунктиром). Появление таких импульсов напряжения на выходах аналоговой ИС носит вероятностный характер и зависит от многих факторов и условий, параметры которых определяются энергией, воздействующей на интегральную схему ОЯЧ, местом воздействия и параметрами схемы усилителя.

Условия проведения исследований ИС ОУ типа 1484УД1У

Флюенс, протон/см ²	Режим включения ОУ	Количество одиночных сбоев
1,17 × 10 ¹¹	U _{cc+} = 12 В, U _{cc-} = 12 В, I _{cc+} = 30 мА, I _{cc-} = 30 мА, уровень триггера 250 мВ	0
1,15 × 10 ¹¹	U _{cc+} = 12 В, U _{cc-} = 12 В, I _{cc+} = 30 мА, I _{cc-} = 30 мА, уровень триггера 250 мВ	0
5,87 × 10 ¹⁰	U _{cc+} = 12 В, U _{cc-} = 12 В, I _{cc+} = 30 мА, I _{cc-} = 30 мА, уровень триггера 50 мВ	39
5,78 × 10 ¹⁰	U _{cc+} = 12 В, U _{cc-} = 12 В, I _{cc+} = 30 мА, I _{cc-} = 30 мА, уровень триггера 40 мВ	78
5,80 × 10 ¹⁰	U _{cc+} = 12 В, U _{cc-} = 12 В, I _{cc+} = 30 мА, I _{cc-} = 30 мА, уровень триггера 40 мВ	68

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫХОДНОЙ РЕАКЦИИ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ

Экспериментальное моделирование выходной реакции операционного усилителя 140УД20 с помощью источников лазерного сфокусированного излучения пикосекундной и наносекундной длительностей (ОАО ЭНПО «СПЭЛС», г. Москва) для двух значений длин волн (1,06 и 0,53 мкм) с длительностью импульса 25 нс показало, что форма сигнала на выходе ОУ под воздействием сфокусированного лазерного излучения имеет вид экспоненты или затухающей синусоиды (см. рис. 6).

Сигналы аналогичного вида (см. рис. 7) были получены при проведении исследований ИС операционного усилителя 1484УД1У на ускорителе протонов (ПИАФ, г. Гатчина). Условия проведения исследований приведены в таблице.

Выходной сигнал ИС, обусловленный радиационным откликом, при прочих равных условиях будет зависеть и от места попадания ОЯЧ в чувствительную область ИС. Обобщённой характеристикой аналоговой ИС предлагается рассматривать значение сигнала возмущения, приведённое к её входу, которое будет зависеть от места возникновения возмущения и энергии ОЯЧ. Это потребует проведения дополнительных экспериментальных исследований с определением наиболее чувствительных областей ИС к воздействию ОЯЧ, а также моделирования в системе P-SPICE.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, упрощённые модели отклика ИС позволяют вероятностно оценить виды отклика при воздействии ОЯЧ. Кратковременные импульсы ионизационной реакции, возникающие в результате попадания в чувствительные элементы ИС ОЯЧ, могут привести к устойчивым нарушениям функционирования АКА.

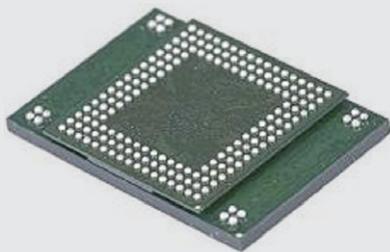
ЛИТЕРАТУРА

1. Чумаков А.И. Действие космической радиации на ИС. Радио и связь, 2004.
2. Turflinger T.L. Single Event Effects in Analog and Mixed-Signal Integrated Circuits. IEEE Trans. Nucl. Sci. 1996. Vol. NS-43. № 6. P. 594–600.
3. Никифоров А.Ю., Телец В.А., Чумаков А.И. Радиационные эффекты в КМОП ИС. Радио и связь, 1994.



Intel намерена ворваться на рынок твердотельных накопителей

По словам Троя Винслоу (Troy Winslow), ответственного за маркетинг NAND-флэш продуктов Intel, компания намерена значительно расширить своё присутствие на рынке твердотельных накопителей, причём собирается сделать это в очень агрессивной манере, что серьёзно встряхнёт этот сегмент, в котором сейчас господствуют Samsung, Toshiba и SanDisk. В настоящее время Intel предлагает флэш-накопители небольшой ёмкости, до 16 Гб, выполненные в формате сборок микросхем (Thin Small Outline Packages, TSOP). Но уже во втором квартале эта линейка должна получить пополнение в виде 1,8" и 2,5" твердотельных жёстких дисков с ёмкостью от 80 до 160 Гб. Таким образом, компания вступит в конкуренцию, например, с Samsung, у которой на третий квартал запланирован выход SSD-устройств ёмкостью 128 Гб.



Кроме того, Винслоу пообещал, что с выходом Intel на рынок SSD с интерфейсом SATA станет ясно, насколько производительность подобных устройств зависит от архитектуры, работы контроллера и встроенного ПО. На сегодняшний день наиболее скоростные модели твердотельных накопителей Samsung демонстрируют скорость считывания до 100 Мб/с, но для устройств Intel ожидаются «намного лучшие» показатели. То ли признавая растущую актуальность данного сегмента, то ли в честь своего выхода на этот рынок, Intel провозгласила 2008 г. «годом SSD-устройств».

Между прочим, начало массового распространения SSD-устройств Intel в качестве полной замены традиционным жёстким дискам, особенно целесообразной для ноутбуков, будет означать очередной шаг компании в качестве производителя почти всех комплектующих для мобильных систем. Процессоры, чипсет, коммуникационные решения, в ряде случаев – графическая подсистема, и вот теперь – твердотельные накопители. Пожалуй, из основных составляющих неохваченными вниманием Intel останутся лишь дисплеи и приводы оптических дисков. Винслоу чи-

тает, что одним из результатов обостряющейся конкуренции на рынке SSD станет значительный рост темпов снижения цен. По его прогнозам, в текущем году цены на твердотельные накопители снизятся на 40%, а затем по 50% в 2009 и 2010 гг.

Кроме роли компонента мобильных систем, Intel, так же как и Samsung, рассматривает SSD-устройства в качестве ускорителей для серверных систем. Поясняя свою мысль, Винслоу вспомнил продемонстрированный компанией эксперимент, в котором была показана система, транслирующая одновременно 4000 видеопотоков видео по запросу. Для обслуживания столь значительной нагрузки понадобилась дисковая подсистема, содержащая 62 традиционных дисковых накопителя со скоростью вращения шпинделя 15 000 об/мин. По его словам, в перспективе те же возможности можно будет получить, используя всего лишь 10 SSD-устройств с интерфейсом SATA.

blogs.cnet.com

Рынок полупроводников: память тянет отрасль вниз

Ассоциация производителей полупроводниковой продукции (Semiconductor Industry Association, SIA) опубликовала результаты работы полупроводниковой отрасли в январе 2008 г. Согласно данным ассоциации, рост отрасли по сравнению с результатом января 2007 г. составил 0,3%, достигнув отметки в 21,5 млрд. долл. США. По сравнению с показателем декабря 2007 г., рынок полупроводников потерял в весе 3,6%.

Как отмечают эксперты ассоциации, главной причиной столь неубедительных результатов является крайне плохое состояние дел в секторе динамической памяти. Рост, пусть небольшой, количества отгруженных микросхем полностью съедается постоянно снижающимися ценами по причине крайне высокой конкуренции среди производителей. Не спасает даже рост спроса на модули памяти, отмеченный специалистами ассоциации. Если исключить из месячного анализа сектор памяти, рост полупроводниковой отрасли составил бы 8,1%, – утверждают эксперты.

Состояние других секторов полупроводниковой промышленности вполне устойчивое, – утверждает агентство. Рост продаж персональных компьютеров и мобильных средств связи совпал с предсказанными ранее показателями. По мнению аналитиков ассоциации, годовой рост указанных секторов составит 12 и 15% соответственно. При этом на секторы персональных компьютеров и мобильных телефонов по

итогах 2008 г. придётся порядка 60% доходов всей полупроводниковой отрасли.

edn.com

AUO остается лидером по производству панелей для ЖК ТВ

Тайваньская компания AU Optronics (AUO) по результатам января 2008 г. сохранила за собой первое место среди производителей ЖК-панелей для телевизионных приёмников, – сообщает агентство DisplaySearch. На долю компании пришлось 23,1% рынка. Лидирующее положение компания сохраняет уже в течение восьми месяцев подряд. Всего, по данным агентства, в январе 2008 г. потребителям был отгружено 8,44 млн. панелей. Объём исследуемого рынка уменьшился по сравнению с декабрем 2007 на 3%. По сравнению с аналогичным показателем прошлого года рынок вырос на весовые 74%.

На втором месте рейтинга с результатом в 18,8% следует корейская компания LG Display (бывшая LG.Philips LCD), буквально по пятам преследуемая соотечественницей Samsung Electronics, завоевавшей в январе 2008 г. 18,6% рынка телевизионных ЖК-панелей. На четвёртом и пятом местах располагаются тайваньская Chi Mei Optoelectronics (CMO) и японская Sharp с долями рынка в 17,7 и 13,4% соответственно.

В сегменте панелей для ЖК-мониторов лидерство по итогам января 2008 г. принадлежит компании Samsung Electronics, завоевавшей 17% рынка. Доля AUO за указанный период возросла до 15,7%, LG Display – до 15,5%, что позволило компаниям занять второе и третье места в рейтинге. Компания CMO не удержала декабрьского второго места и с рыночной долей в 14,2% опустилась на четвёртое место. Тайваньские Chunghwa Picture Tubes (CPT) и HannStar Display пришли к концу месяца на пятом и шестом местах с результатом в 9,4 и 9,3% соответственно.

Январь 2008 г. не принес изменений в расстановку сил среди производителей ЖК-панелей для ноутбуков. По итогам месяцев, компания Samsung Electronics с 30,3% рынка сохранила за собой первое место. Показав результат в 29,1%, LG Display осталась на втором месте. Тайваньская AU Optronics с долей в 22,9% рынка надёжно удерживает третье место. Всего, по подсчётам экспертов агентства, в январе 2008 г. три ведущих производителя выпустили более 82% панелей для ноутбуков.

digitimes.com