

Радиационно-стойкие высоковольтные интегральные микросхемы драйверов для управления затворами MOSFET / IGBT-транзисторов

В статье представлены высоковольтные радиационно-стойкие интегральные микросхемы драйверов серии RIC7113 компании International Rectifier для управления затворами силовых ключей, построенных на транзисторах с изолированными затворами: MOSFET (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor) и IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor). Применение собственной технологии создания высоковольтных интегральных КМОП-микросхем и стойкость к защелкиванию до определенных значений наведенного тока обеспечивают устойчивую структуру. Микросхема содержит два драйвера: один для нижнего и один для верхнего ключа полумоста. Логические входы совместимы с выходными уровнями TTL и LSTTL. Драйверы RIC7113 характеризуются стойкостью к воздействию ионизирующих излучений космического пространства: значение поглощенной дозы составляет 100 крад (Si), гарантируется отсутствие обратимых и катастрофических отказов от одиночных эффектов при воздействии заряженных частиц с пороговыми линейными потерями энергии (ЛПЭ) $> 37 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$. Микросхемы RIC7113 предназначены для применения в бортовом оборудовании космических аппаратов и транспортных космических кораблей.

Виктор ЖДАНКИН
info@prochip.ru

Введение

Функционирование современных электроэнергетических комплексов требует использования преобразовательной техники, составляющей основу систем электроснабжения, автоматизации, электропривода управления исполнительных устройств коммутации. Эффективное преобразование электроэнергии в существенной степени определяется элементной базой: силовыми полупроводниковыми приборами (MOSFET- и IGBT-транзисторами, диодами) и соответствующими драйверами.

В настоящее время одним из наиболее известных разработчиков и изготовителей мощных транзисторов с полевым управлением (MOSFET и IGBT) и драйверов управления ими является International Rectifier (США). Компания разрабатывает и производит кристаллы и корпуса, а также собирает приборы на собственном производстве. Драйверы для управления затворами MOSFET- и IGBT-транзисторов — основная группа высоковольтных интегральных схем компании International Rectifier. Драйвер входит в состав любого мощного преобразовате-

ля и осуществляет преобразование слаботочного логического сигнала контроллера в сигнал управления изолированным затвором MOSFET и IGBT для обеспечения перезаряда емкостей затвора в переходных режимах. Кроме управления переключением силовых транзисторов другой функцией драйвера является защита от аварийных режимов.

International Rectifier выпускает драйверы для работы в любых конфигурациях силовых каскадов в диапазоне мощностей до 3–5 кВт. В 1984 году эта компания представила технологию для изготовления высоковольтных микросхем (High Voltage Integrated Circuit, HVIC), которые сочетают в одном корпусе, на одном кристалле низковольтную часть с рабочими напряжениями в пределах десятков вольт и высоковольтные цепи с напряжениями до 600 В [1].

Низковольтная и высоковольтная части схемы на кристалле разделяются слоем поликремния таким образом, что высоковольтная часть находится в «колодце», стенами которого является поликремниевый слой (рис. 1). При повышении потенциала внутри «колодца» относительно низковольтной части вне его разность потенциалов равно-

мерно распределяется по всей толщине поликремниевых колец, не приводя к пробоем. Высоковольтная схема просто размещается внутри «колодца» так, что она может выполнять схемные функции, которые отсчитываются относительно более высокого напряжения, чем низковольтная схема, связанная с шиной общего провода. Такое решение чрезвычайно полезно при управлении силовыми MOSFET- и IGBT-транзисторами верхнего плеча, которые применяются во многих популярных схемных топологиях, таких как повышающие, понижающие преобразователи, полумостовые схемы, мостовые выпрямители и трехфазные преобразователи. Таким образом, низковольтная часть схемы может быть размещена на том же самом кристалле для управления другими силовыми схемами нижнего ключа. Потенциально это позволяет одной микросхемой HVIC управлять многокаскадным преобразователем, где предыдущие решения потребовали бы применения многочисленных интегральных микросхем, большего числа компонентов и более высоких затрат. Увеличение степени интеграции, объединение на одном кристалле максимального количества компонентов для

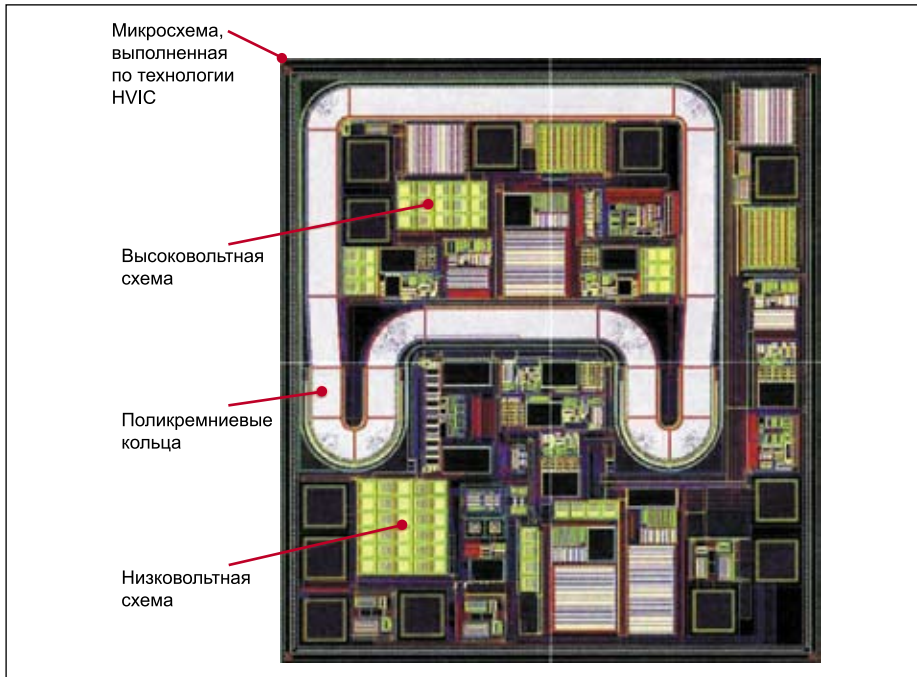


Рис. 1. Структура интегральной микросхемы, выполненной по технологии HVIC

HiRel-продукции охватывает все виды полупроводниковых силовых приборов: мощные ключи, микросхемы управления, мощные диоды, стабилизаторы напряжения, DC/DC-преобразователи.

Радиационно-стойкие интегральные микросхемы драйверов затворов представлены высоковольтными драйверами ключей верхнего и нижнего уровней серии RIC7113 с выходными токами до ± 2 А (при отпирании и запираии управляемого ключа).

Драйверы серии RIC7113, выпуск которых был начат в марте 2000 года, являются полными функциональными аналогами драйверов серии IR2110 для промышленных применений и совместимы с ними по расположению выводов.

Структурная схема драйвера RIC7113

Структурная схема полумостового драйвера RIC7113 показана на рис. 2. Назначение выводов приведено в таблице 1.

полного решения задачи является основной тенденцией современной микроэлектроники. Применение в силовом оборудовании микросхем драйверов обеспечивает повышение надежности, упрощение процесса сборки и снижение массо-габаритных показателей.

Драйверы компании International Rectifier давно и хорошо известны российским разработчикам. Характеристики и особенности применения драйверов MOSFET- и IGBT-транзисторов подробно представлены в многочисленных публикациях [2–5]. Но компания IR известна также как производитель специального класса высоконадежных (HiRel)

электронных компонентов и модулей, предназначенных для применений, где предъявляются особые требования к надежности, безопасности и стойкости к воздействию факторам внешней среды. Для применений в аппаратуре ракетно-технической техники, на функционирование которой влияют поля ионизирующих излучений космического пространства, компания IR выпускает радиационно-стойкие изделия, которые характеризуются стойкостью к накопленной дозе радиации и защищенностью от воздействия высокоэнергетических частиц, вызывающих одиночные сбои. Номенклатура

Таблица 1. Назначение выводов драйвера RIC7113

Обозначение	Описание
V _{DD}	Питание логической части микросхемы
HIN	Логический вход, управляющий выходом, находящимся под высоким напряжением (HON)
SD	Логический вход отключения драйвера (shutdown)
LIN	Логический вход, управляющий выходом, находящимся под низким напряжением (LO)
V _{SS}	«Земля» входной логической части драйвера
V _B	«Плавающее» напряжение источника для выхода, находящегося под высоким напряжением
HO	Выход драйвера, находящийся под высоким напряжением
V _S	Общий вывод выхода драйвера, находящийся под высоким напряжением
V _{CC}	Напряжение питания низковольтной части драйвера
LO	Выход драйвера, находящийся под низким напряжением
COM	Общий вывод драйвера, находящийся под низким напряжением

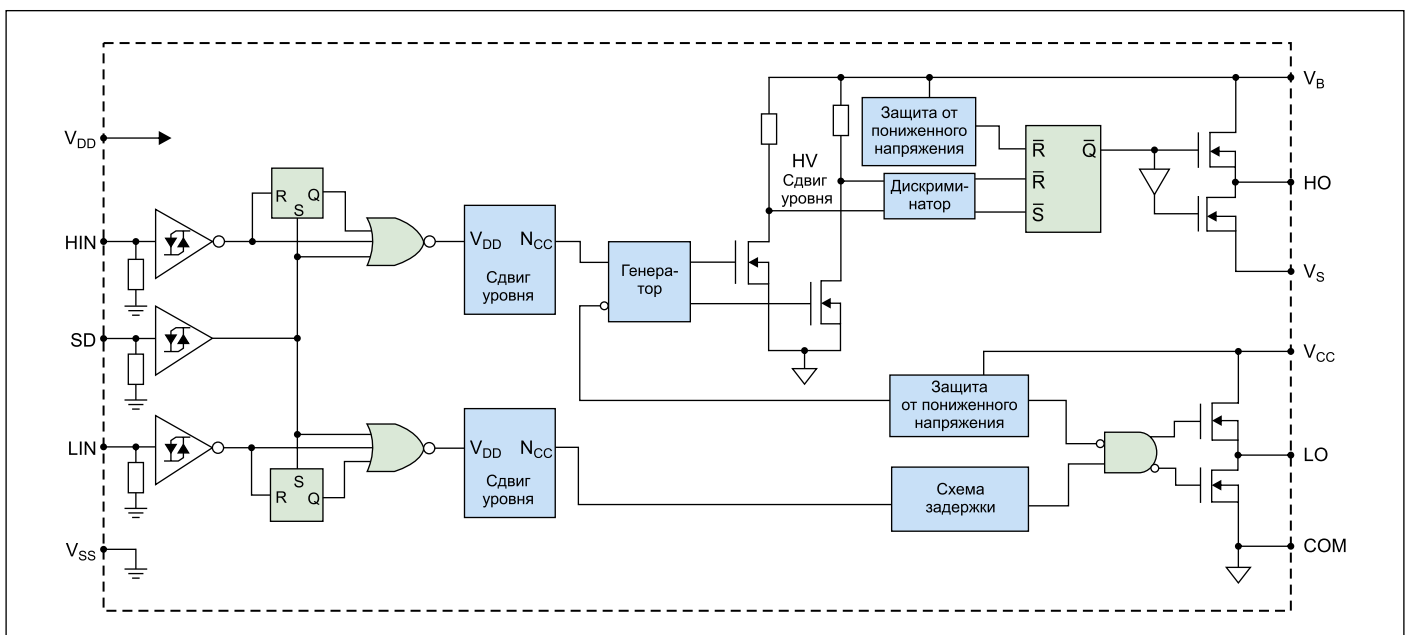


Рис. 2. Структурная схема драйвера верхнего и нижнего ключей RIC7113

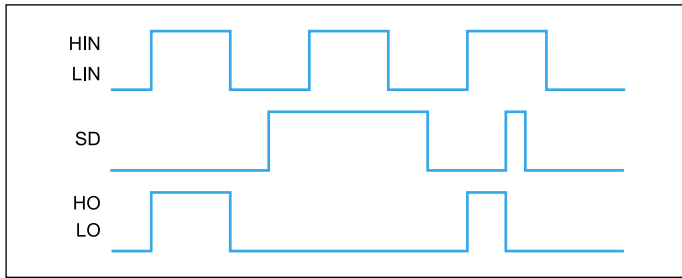


Рис. 3. Диаграмма входных и выходных сигналов драйвера RIC7113

Драйвер содержит каскады, предназначенные для нормирования входных логических сигналов, поскольку силовые ключи работают при напряжениях, существенно превышающих потенциалы сигналов контроллеров. В нем также есть высоковольтный быстродействующий каскад сдвига уровня, выходные каскады управления изолированными затворами и устройства контроля напряжения управления.

Полумостовой драйвер имеет независимые входы верхнего и нижнего плеча. Высокому логическому уровню сигнала на любом входе (HIN, LIN) соответствует такой же уровень на его выходе. Поэтому поочередное включение транзисторов требует обязательного инвертирования сигнала на одном из входов. Появление высокого уровня логического сигнала на входе стробирования (shut down, SD) отключает выходные сигналы и запирает транзисторы, подключенные к выходу драйвера. Диаграммы сигналов на входах и выходах драйвера, а также на входе стробирования SD показаны на рис. 3.

Время задержки включения/выключения для каналов драйвера не превышает 5 нс. Типовое время задержки прохождения сигнала от любого входа к выходу — не более 120 нс. Две схемы защиты контролируют напряжение V_{CC} и не допускают появления напряжения пониженного уровня на любом из выходов. Тем самым предотвращается переход силовых транзисторов в активную область и возможный выход из строя. На входе драйвера установлены триггеры Шмидта,

осуществляющие нормирование фронтов входных сигналов и имеющие ширину гистерезиса, примерно равную 10% от напряжения питания V_{DD} . После триггера Шмидта входные сигналы поступают на трансляторы уровня, имеющие высокую помехозащищенность, которые позволяют согласовать логический сигнал, связанный с сигнальным общим проводом, с силовой минусовой шиной питания.

Каскады сдвига уровня содержат импульсный фильтр, не пропускающий сигналы с длительностью менее 50 нс. Высоковольтный каскад сдвига уровня предназначен для передачи логического сигнала схеме управления транзистором верхнего плеча. Каскад сдвига уровня содержит генератор, вырабатывающий узкие импульсы, совпадающие с фронтами входного логического сигнала, дискриминатор импульсов и триггер-защелку (RS), формирующий сигнал управления выходным каскадом, находящимся под высоким напряжением. Такая схема позволяет значительно снизить ток потребления верхнего каскада драйвера. Дискриминатор нужен для повышения устойчивости драйвера к воздействию переходных напряжений dV/dt , возникающих из-за больших скоростей переключения. Благодаря наличию дискриминатора драйверы RIC7113 способны устойчиво работать при значениях dV/dt до 50 В/нс. При более высоких скоростях может произойти защелкивание драйвера, что является одной из самых серьезных проблем, присущих высоковольтным схемам управ-

ления, не имеющим гальванической развязки. Механизм возникновения защелкивания и общие принципы предотвращения защелкивания подробно рассмотрены в [6–8].

Выходные каскады драйвера RIC7113 выполнены на N-канальных полумостах.

Типовая схема подключения драйвера RIC7113 к силовым ключам, построенным на MOSFET-транзисторах, показана на рис. 4.

Одно из важнейших преимуществ драйверов IR в том, что благодаря малому собственному току потребления для питания транзисторов верхнего плеча в импульсном режиме работы можно применять простую и недорогую бутстрепную схему (компоненты D_B и C_{BOOT} на рис. 4). Конденсатор C_{BOOT} обеспечивает необходимый ток перезаряда емкостей затвора управляемого транзистора в импульсном режиме. Особое внимание следует уделить выбору компонентов, обеспечивающих питание «плавающего» канала. Номинал бутстрепной емкости зависит от характеристик затвора транзистора и максимальной требуемой длительности импульса управления и может составлять 0,2–1 мкФ. Рекомендации для расчета значения бутстрепной емкости C_{BOOT} представлены в [9]. Значение емкости зависит от заряда затвора транзистора верхнего плеча, частоты следования импульсов ШИМ, напряжения питания (V_{CC}), падения напряжения на транзисторе нижнего плеча в полумостовой схеме, тока затвора в статическом режиме, тока утечки бутстрепного конденсатора и заряда, необходимого для сдвига уровня за один импульс (5 нК для микросхемы RIC7113). Заряд бутстрепной емкости C_{BOOT} происходит через диод D_B от низковольтного источника питания V_{CC} , когда закрывается транзистор верхнего плеча полумоста. Бутстрепный диод D_B должен выдерживать большое обратное напряжение (500 В), его средний прямой ток зависит от характеристик затвора и рабочей частоты и, как правило, не превышает 50 мА.

В таблице 2 приведены рекомендуемые рабочие режимы микросхемы RIC7113.

Рекомендации по применению полумостовых драйверов IR2110, приведенные в [9], можно использовать и для драйвера серии RIC7113.

Драйверы RIC7113 выпускаются в 14-выводном керамическом корпусе MO-036AB (RIC7113L4), 18-выводном корпусе LCC-18

Таблица 2. Рекомендуемые рабочие режимы микросхемы RIC7113

Обозначение	Параметр	Минимальное значение, В	Максимальное значение, В
V_B	Полное «плавающее» напряжение верхнего плеча	V_S+10	V_S+20
V_S	Напряжение смещения плавающего верхнего плеча	-4	400
V_{HO}	Выходное напряжение канала, находящегося под высоким напряжением	V_S	V_B
V_{CC}	Напряжение питания низковольтной части	10	20
V_{LO}	Выходное напряжение выхода, находящегося под низким напряжением	0	V_{CC}
V_{DD}	Напряжение питания логической части	$V_{SS}+5$	$V_{SS}+20$
V_{SS}	Напряжение смещения логической части	-5	5
V_{IN}	Напряжение логических входных сигналов (HIN, LIN и SD)	V_{SS}	V_{DD}

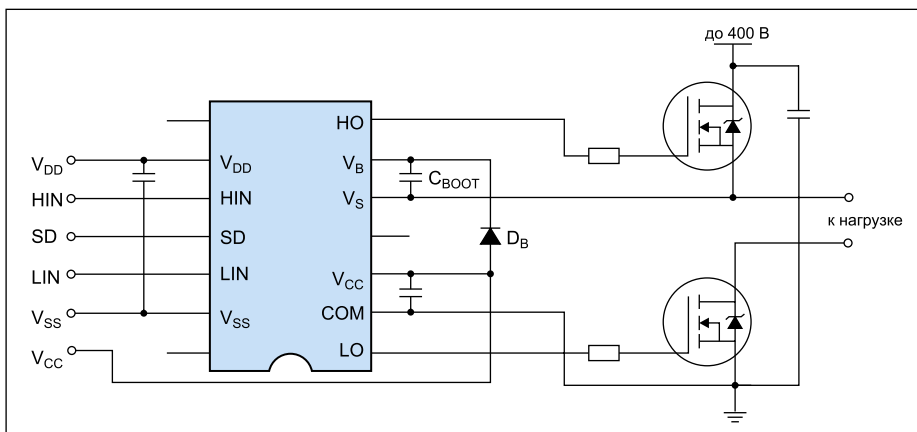


Рис. 4. Схема подключения полумостового драйвера RIC7113 к транзисторам MOSFET

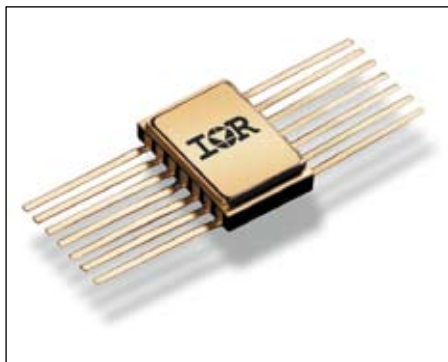


Рис. 5. Внешний вид микросхемы драйвера RIC7113 в корпусе 14 Lead FlatPack

(RIC7113E4) для поверхностного монтажа и 14-выводном корпусе FlatPack (RIC7113A4). На рис. 5 показан внешний вид драйвера RIC7113, выполненного в корпусе 14 Lead FlatPack.

Радиационная стойкость

В настоящее время вопросам обеспечения качества и надежности аппаратуры ракетно-космической техники уделяется большое внимание. Перед разработчиками космических аппаратов стоит задача по увеличению сроков активного существования аппаратов до 10–12 лет при размещении аппаратуры на открытой платформе космического аппарата (КА). Эта тенденция приводит к тому, что проблема радиационной стойкости интегральных схем выходит на первый план, так как именно радиационные отказы и сбои определяют период активного существования космических аппаратов.

Использование электронной компонентной базы индустриального исполнения не обеспечивает требуемой надежности,

стойкости и длительных сроков функционирования в условиях специфических дестабилизирующих факторов космического пространства. Для применения в таких условиях необходимы специальные изделия микроэлектроники с повышенной радиационной стойкостью и с сертификацией на устойчивость к радиационным воздействиям. Микросхемы RIC7113, выполненные по технологии HVIC 2-го поколения, производятся по технологическим нормам 2 мкм, что снижает вероятность возникновения одиночных сбоев. Для отбраковки ненадежных интегральных схем в процессе производства применяется метод радиационно-термической обработки, при этом облученные ионизирующим излучением структуры выдерживаются при повышенной температуре. Отбраковка микросхем с макродефектами позволяет повысить процент выхода годных изделий на пластине [10].

Оценка стойкости к суммарной накопленной дозе радиации

При разработке своих изделий, предназначенных для применения в аппаратуре ракетно-космической техники, которая при эксплуатации подвергается воздействию ионизирующих излучений космического пространства, компания International Rectifier проводит квалификационные испытания изделий на воздействие дозовых и одиночных эффектов. Отчеты по результатам испытаний находятся в свободном доступе на сайте компании или доступны по запросу. Таким образом, гарантируется доступ к информации об устойчивости к воздействию радиации и другим внешним воздействующим факторам.

ИМС RIC7113 были испытаны в соответствии с Method 1019 Ionizing Radiation (Total

Dose) Test Procedure, Condition A стандарта MIL-STD-883. Был заключен контракт с корпорацией Raytheon (Эль Сегундо, Калифорния) на проведение испытаний ИМС RIC7113 на стойкость к воздействию суммарной накопленной дозы радиации. Центр по снабжению МО США (Defense Supply Center Columbus, DSCC) подтвердил соответствие испытательной лаборатории, расположенной в Эль Сегундо, условиям проведения испытаний по этой методике.

Радиационные испытания включали два условия электрического смещения: статическое и динамическое. Статическое смещение выполнялось на выборочной партии устройств, собранных из всех кремниевых пластин, предназначенных для производства. Динамическое смещение выполнялось на небольшой выборке собранных устройств в качестве единовременного квалификационного испытания. Схематическая диаграмма динамического смещения представлена на рис. 6.

Согласно условию A Method 1019.6 стандарта MIL-STD-883 мощность дозы ионизирующего излучения от источника гамма-излучения типа ⁶⁰Co должна быть между 50 и 300 рад (Si)/с. Интенсивность облучения может быть разной для каждого значения суммарной дозы, однако мощность дозы не должна различаться более чем на ±10% во время каждого облучения.

Все параметры испытанных устройств находились в пределах границ спецификации непосредственно после облучения. После ускоренного старения (отжига) в течение 168 ±12 ч при температуре +100 ±5 °C все параметры исследуемых устройств находились в пределах границ спецификации. Средние значения основных параметров для каждой контрольной точки представлены в таблице 3.

Восемь дополнительных устройств подвергались низкоинтенсивному радиационному облучению до достижения суммарной дозы 500 крад (Si). При этом четыре устройства находились под динамическим смещением, а четыре других подвергались статическому смещению. Все восемь устройств вышли из строя. У четырех устройств, находящихся под динамическим смещением, были зафиксированы функциональные отказы. Для четырех устройств, испытываемых при статическом смещении, были отмечены только изменения параметров выше пределов, указанных в спецификации. Электрические параметры, зафиксированные после достижения экспозиционной дозы 500 крад (Si), представлены в отчете [11].

По результатам исследования радиационной стойкости ИМС RIC7113 были сделаны следующие выводы. Электрические параметры ИМС после воздействия гамма-излучения практически не изменились, были отмечены лишь незначительные отклонения. Микросхему RIC7113 нельзя применять в ап-

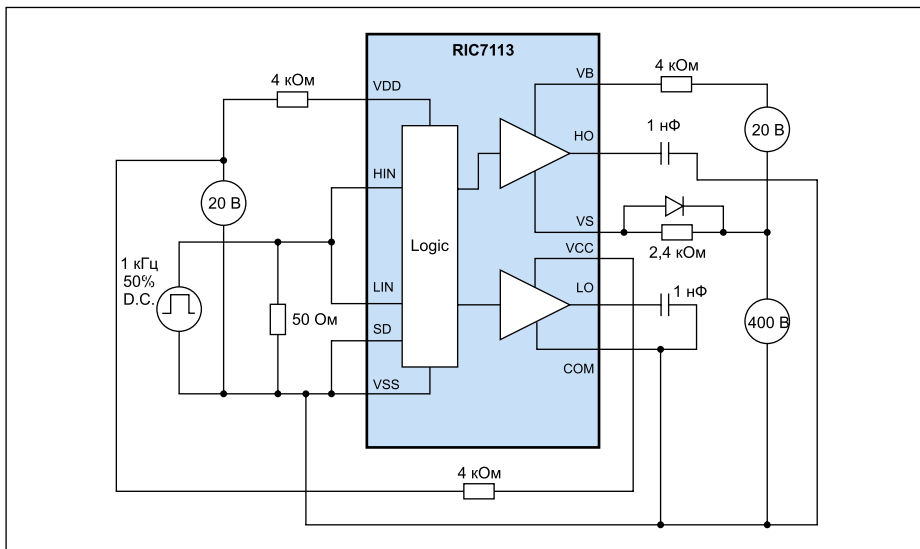


Рис. 6. Схема динамического смещения микросхемы RIC7113 для испытаний на воздействие низкоинтенсивного ионизирующего излучения (статическая схема смещения аналогична представленной схеме — исключается только генератор 1 кГц 50% DC)

Таблица 3. Средние значения параметров в контрольной точке

Параметр	Исходное значение	После электротермотренировки	После 150 крад (динамическое смещение)	После 150 крад (статическое смещение)	После отжига (динамическое смещение)	После отжига (статическое смещение)
IQDD0, мкА	0,039	0,037	0,803	0,041	0,038	0,034
IQCC0, мкА	94,47	94,35	90,03	90,08	86,04	85,86
IQBS0, мкА	73,77	73,88	71,75	71,3	68,94	68,73
IHN0, мкА	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
ILIN0, мкА	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
ISD0, мкА	0,012	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
IQDD1, мкА	0,058	0,065	0,0698	0,054	0,137	0,047
IQCC1, мкА	102,78	102,58	100,53	97,36	94,19	93,97
IQBS1, мкА	57,36	57,5	54,78	54,67	52,38	52,35
IHN1, мкА	24,22	24,28	23,6	23,88	24,34	24,16
ILIN1, мкА	24,56	24,56	23,73	24,15	24,53	24,45
ISD1, мкА	24,22	24,27	23,48	23,89	24,27	24,16
VTH+HS, В	8,43	8,39	7,95	8,13	7,93	8,13
VTH-HS, В	6,92	6,85	6,27	6,62	6,22	6,54
VTH+LS, В	8,37	8,36	7,94	8,13	7,91	8,13
VTH-LS, В	6,83	6,81	6,23	6,57	6,19	6,5
VTH+SD, В	8,38	8,36	8,27	8,13	8,33	8,13
VCCUV+PA, В	8,35	8,51	8,46	8,59	9,23	9,23
VCCUV-PA, В	8,11	8,26	8,19	8,32	8,94	8,96
VBSUV+PA, В	8,42	8,56	8,58	8,56	8,3	8,29
VBSUV-PA, В	8,17	8,29	8,3	8,28	8,05	8,04

паратуре, подвергающейся воздействию полей ионизирующих излучений космического пространства, вызывающих дозовые эффекты при суммарной накопленной дозе радиации более 333 крад (Si), как было установлено при исследовании восьми устройств, отказавших при экспозиционной дозе 500 крад (Si) (коэффициент запаса 1,5).

Результаты испытаний на воздействие заряженных частиц, вызывающих одиночные сбои

Необходимо отметить, что на долю одиночных эффектов от воздействия ионов естественных радиационных поясов Земли, солнечных и галактических космических лучей приходится до 35% квалифицированных отказов бортовой аппаратуры КА [12].

В январе 2000 года компания International Rectifier определила стойкость ИМС RIC7113 к воздействию заряженных частиц, вызывающих одиночные сбои. Исследования были выполнены в Brookhaven National Laboratory с применением каскадного генератора Ван де Граафа.

Все устройства были установлены в 14-выводные керамические корпуса с двухрядным расположением выводов. Крышка была удалена, чтобы обеспечить пучку ионов непосредственное воздействие на поверхность кристалла. До трех образцов были помещены на тестовые платы и размещены на оси пучка в условиях высокого вакуума. Требуемый опытный образец помещался на ось пучка, и, как только все было готово, отодвигалась заслонка и начиналось облучение опытного образца. Осуществлялся текущий контроль значений токов покоя, которые использовались для прогнозирования приемлемости устройства. При динамическом смещении сбой фиксировался с по-

мощью цифровых запоминающих осциллографов. Как только достигался необходимый поток частиц, пучок автоматически перекрывался шторкой и снималось смещение. Облученные устройства были возвращены в IR для последующих проверок электрических параметров с помощью автоматизированной системы контроля.

Для определения параметров использовались два смещения. При статическом смещении подавались фиксированные напряжения постоянного тока ко всем силовым соединениям, а управляющие входы были принудительно установлены в нулевое состояние (0 В). Режим динамического смещения отличался только тем, что входы верхнего и нижнего плеча управлялись сигналом прямоугольной формы с частотой 50 кГц.

Испытательный стенд

Каскадный генератор Ван де Граафа, установленный в Brookhaven National Laboratory, оборудован необходимой дозиметрией, чтобы обеспечить пучок ионов, соответствующий ожиданиям заказчика. В таблице 4 приведены критерии пучка для трех видов ионов.

Плотность переноса частиц (поток) и плотность потока частиц, установленные для этого испытания, были 10^6 частиц/см² и 10^4 частиц/см²/с соответственно. Диаметр пучка частиц составил 0,9 см. Угол падения был установлен нулевой (перпендикулярно к поверхности кристалла) и временами изменялся для повышения эффективного значения

Таблица 4. Разновидности ионов, применяемые при тестировании

Ион	Энергия, МэВ	Эффективное значение ЛПЗ, МэВ·см ² /мг	Глубина проникновения, мкм
Br ⁸¹	284	37	37
¹²⁷ I	344	60	33
¹⁹⁷ Au	346	82	28

удельных потерь энергии иона (значения удельных потерь энергии при фиксированной энергии растут с увеличением массы частицы и увеличиваются как q_2 с ростом заряда частицы).

Результаты испытаний

Условия смещения представлены в таблице 5. После облучения устройства были возвращены в компанию IR и проверены с помощью производственной автоматизированной системы контроля. С результатами проверки электрических параметров можно ознакомиться в Appendix C отчета [13].

При испытаниях RIC7113 была обнаружена интересная реакция на угол падения пучка ионов. Эффективное значение линейных потерь энергии в кремнии может быть увеличено за счет отклонения пучка ионов от нормальной оси. После проведения эксперимента было обнаружено, что стойкость RIC7113 к одиночным эффектам была улучшена в начальной стадии, или, говоря другими словами, действие пучка ионов ослаблялось, в то время как пучок отклонялся от нормальной (перпендикулярной) оси. Это вероятная реакция для технологии силового транзистора MOSFET, но не обязательно для всех узлов интегральной схемы. При наихудшем случае использования эффективного порога ЛПЗ (100 МэВ·см²/мг, Au, отклонение пучка на 35°) было отмечено, что, когда V_{CC} фиксировалось на значении 20 В, устройства могли выйти из строя, показывая высокие значения токов на силовой шине V_{CC} . Таким образом в первый раз были разрушены логические схемы КМОП. Понижение напряжения V_{CC} до 17,5 В было достаточным, чтобы достичь правильного функционирования при эффективном значении пороговых линейных потерь энергии 100 МэВ·см²/мг.

При динамических испытаниях зарегистрированы сбои. Наблюдался два особых вида случайных сбоев. Один вид сбоя, представленный на рис. 7, происходит только на верхнем плече драйвера и только когда выход НО имеет высокий уровень. Происходит резкое снижение напряжения на выходе, и оно остается низким (ошибочное состояние) до тех пор, пока напряжение на входе также начинает понижаться, затем, когда напряжение на входе повышается в следующем цикле, выход опять находится в фазе. Таким образом, состояние выхода драйвера НО исправляется в пределах половины рабочего цикла. Другой вид сбоя, представленный на рис. 8, был обнаружен одновременно на обоих выходных каналах. Этот сбой также происходит только тогда, когда выход находится в состоянии с высоким уровнем. Длительность этого сбоя составляет приблизительно 500 нс. Журналы регистрации и сведения об аппаратуре включают общий счет для ряда зарегистрированных сбоев. Эти количества отражают суммарно оба типа сбоев. Нет данных, чтобы опреде-

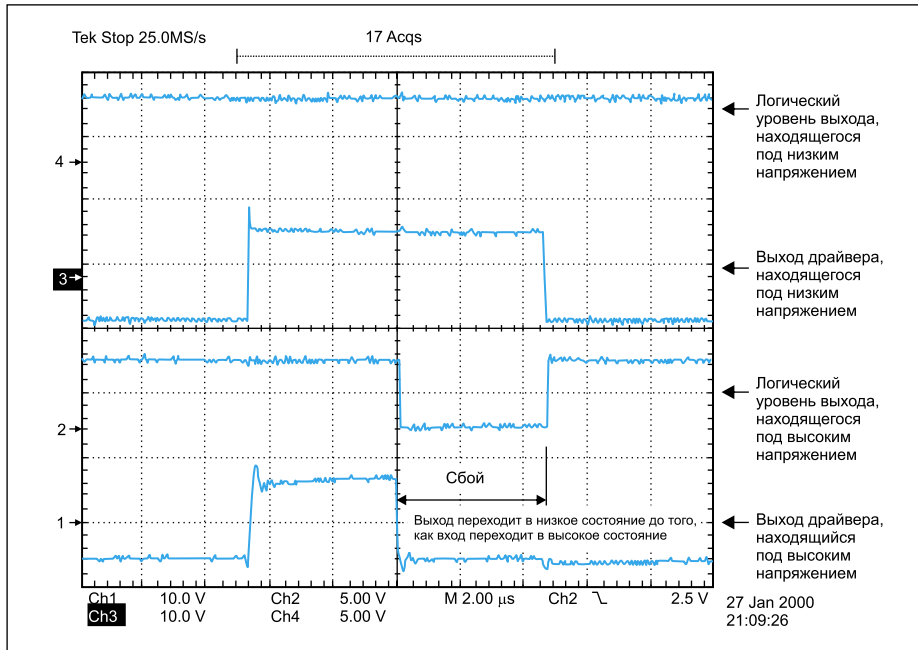


Рис. 7. Сбой на выходе HO драйвера RIC7113 в динамическом режиме при воздействии ионов

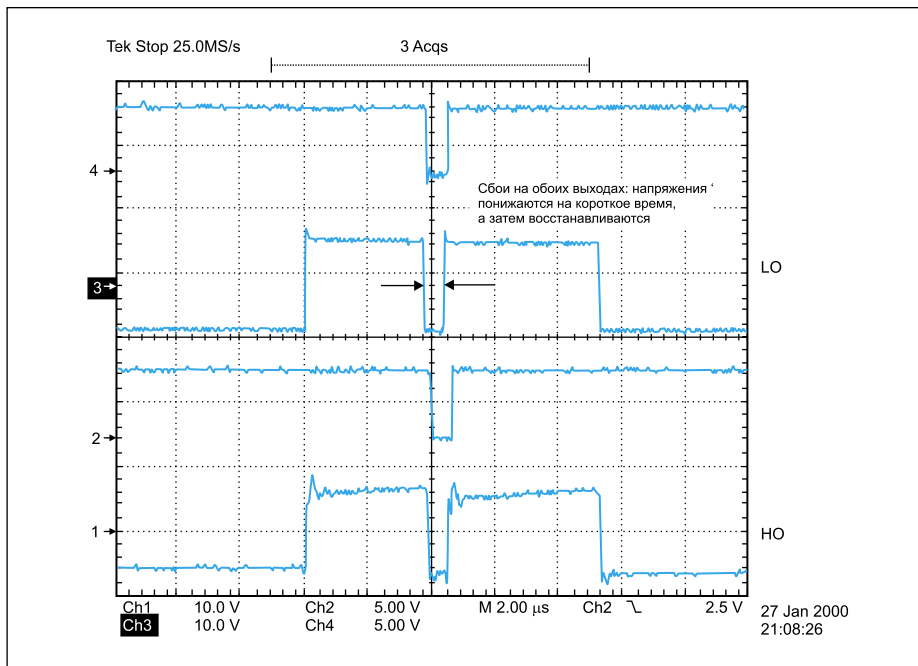


Рис. 8. Сбой на обоих выходах драйвера RIC7113 в динамическом режиме при воздействии ионов

лить, какой из этих двух сбоев происходит наиболее часто. Можно сказать, что первый вид сбоя, упомянутый ранее, может происходить немного чаще, чем последний вид сбоя.

Необходимо отметить, что показатели приемки, допускаемые для рабочих условий, ниже тех, которые использовались здесь для испытаний.

Более того, изменение режимов воздействия можно также применить к режимам ЛПЭ различных видов ионов (табл. 5). Например, успешный режим использования иона Br (37 МэВ·см²/мг) может означать, что ионы Si и Ni, или любого другого иона

с ЛПЭ < 37 МэВ·см²/мг, также допустимы и не требуют проверки.

Выводы

В результате испытаний были подтверждены рабочие характеристики микросхемы RIC7113: доказана очень высокая степень стойкости к одиночным эффектам (SEE). Для достижения условий самого неблагоприятного варианта требуется, чтобы пучок был направлен перпендикулярно поверхности кристалла. Но необходимы дополнительные исследования для лучшего понимания

Таблица 5. Область безопасной работы для одиночных эффектов (SEE)

Ион	ЛПЭ, МэВ·см ² /мг	Энергия, МэВ	Угол, градус	V _s	V _s	V _s
				V _{BS} = -10 В	V _{BS} = -15 В	V _{BS} = -17,5 В
Br	37	284	0	400	400	400
I	60	344	0	325	250	200
Au	82	346	0	250	200	175
I	85	344	45	400	400	350
Au	100	346	45	400	400	350

Примечание. V_{CC}/V_{DD} = 20 В, за исключением ЛПЭ = 100: в этом случае V_{CC}/V_{DD} = 17,5 В.

и определения стойкости RIC7113 как функции угла падения пучка.

ИМС драйвера RIC7113 характеризуется высокой стойкостью к воздействию ионизирующих излучений: значение поглощенной дозы составляет 100 крад (Si), гарантируется отсутствие обратимых и катастрофических отказов от одиночных эффектов при воздействии заряженных частиц с пороговыми линейными потерями энергии (ЛПЭ) > 37 МэВ·см²/мг.

Литература

- Ribarich T. IR's HVICs lead the way towards energy efficiency // Power Supplement. Apr. 2011.
- Звоначев Е. G5 HVIC — новое поколение высоковольтных силовых управляющих ИС // Новости электроники. 2007. № 7.
- Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2006.
- Колпаков А. И. Характеристики и особенности применения драйверов MOSFET и IGBT // Компоненты и технологии. 2003. № 3.
- Волович Г. Драйверы силовых ключей // Современная электроника. 2007. № 8.
- Колпаков А. И. В лабиринте силовой электроники: сборник статей. СПб.: Издательство Буковского, 2000.
- Колпаков А. И. Устранение защелкивания в драйверах фирмы International Rectifier // CHIP NEWS. 2002. № 1.
- Колпаков А. И. Схемотехнические способы борьбы с защелкиванием в каскадах с IGBT-транзисторами // Компоненты и технологии. 2000. № 7.
- NV Floating MOS-Gate Driver ICs. Application Note AN-978. Rev D. 2007.
- Попов В. Д. Пострадиационный эффект в ИС. Неразрушающий контроль качества ИС // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2002. № 4.
- RIC7113 Total Ionizing Dose Test Report. International Rectifier. May 2000.
- Анашин В. С. Средства контроля воздействия ионизирующих излучений космического пространства на РЭА космических аппаратов в области одиночных эффектов // Датчики и системы. 2009. № 9.
- RIC7113 Single Event Effects Test Report. Revision 1. International Rectifier. Jan. 2000.