

Р. А. Федоров, канд. техн. наук, нач. лаб.
НПК "Технологический Центр", Москва,
e-mail: R. Fedorov@tcen.ru

МИКРОСХЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Рассмотрена проблема радиационной стойкости интегральных схем в космической аппаратуре и необходимость ее защиты. Предложен вариант использования микро модуля, отслеживающего начало тиристорного эффекта. Описана специализированная микросхема управления микро модулем и ее особенности.

Ключевые слова: тиристорный эффект, радиационная стойкость, микросхема защиты

Новые технологические возможности микроэлектроники позволили качественно изменить электронную аппаратуру космического назначения, многократно увеличить ее функциональные, технические и эксплуатационные характеристики. На первый план вышла задача увеличения сроков активного существования космических аппаратов с нынешних 3—5 лет до 10—12 лет при размещении радиоэлектронной аппаратуры не в гермоконтейнере, а на открытой платформе космического аппарата. В связи с этим проблема радиационной стойкости интегральных схем (ИС) стала наиболее актуальной, так как во многих случаях именно радиационные отказы и сбои определяют срок активного существования космических аппаратов [1]. При этом по мере увеличения степени интеграции определяющими являются локальные радиационные эффекты. Происходят сбои и отказы ИС вследствие воздействия отдельных высокоэнергетических ядерных частиц [2—4].

Анализ показывает, что для современных ИС высокой степени интеграции наиболее критичны такие радиационные эффекты, как одиночные сбои, тиристорные эффекты и кратковременные импульсы ионизационной реакции ("иголки"). Наиболее опасным является тиристорный эффект, при возникновении которого возможно выгорание как самой ИС, так и вторичного источника питания. Проведенные расчетно-экспериментальные исследования выявили повышение чувствительности КМОП ИС по мере уменьшения технологических норм [1]. Например, в КМОП ИС с проектными нормами 0,5 мкм и выше крайне редко имеет место тиристорный эффект при воздействии протонов космического пространства, тогда как в ИС с проектными нормами 0,25 мкм и ниже он практически всегда имеет место, даже при нормальной температуре.

Тиристорный эффект (тиристорное защелкивание, *latch-up*) обусловлен наличием паразитного тиристора в микросхемах на базе КМОП-структур. Определенные внешние факторы, в частности воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), могут приводить к отпиранию и фиксации этого тиристора в открытом состоянии, что вызывает быстрое нарастание тока потребления с последующим тепловым разрушением микросхемы.

В НПК "Технологический центр" разработана и изготовлена микросхема управления микро модулем радиационной защиты (МРЗ), в частности, от тиристорного эффекта. Микро модуль состоит из специализированной

микросхемы управления, внешнего транзистора коммутации и шунта измерения тока потребления. Защищаемая микросхема или группа микросхем (ЗГМ) подключается через транзистор коммутации к источнику питания и при возникновении повышенного тока потребления, вследствие проявления тиристорного эффекта, обеспечивает ее отключение. На рис. 1 представлена рекомендуемая схема включения МРЗ.

При работе в автоматическом режиме МРЗ обеспечивает:

- обнаружение заданного превышения тока, потребляемого ЗГМ;
 - по истечении заданного времени от момента обнаружения превышения тока включает защиту (выключает питание ЗГМ);
 - по истечении заданного времени от момента включения защиты выключает ее (восстанавливает питание ЗГМ);
 - если разрешена работа сторожевого таймера, МРЗ отслеживает наличие импульсов на входе сторожевого таймера и при их отсутствии в течение определенного времени выключает питание ЗГМ на заданное время.
- На рис. 1 $R_{ИЗМ}$ — низкоомный резистор, предназначенный для отслеживания уровня потребляемого нагрузкой тока; $VT1$ (ключ защиты нагрузки от тиристорного

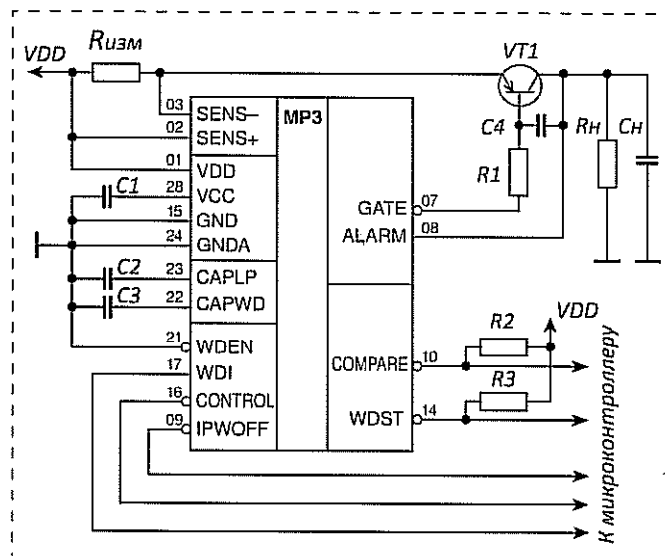


Рис. 1. Рекомендуемая схема включения МРЗ

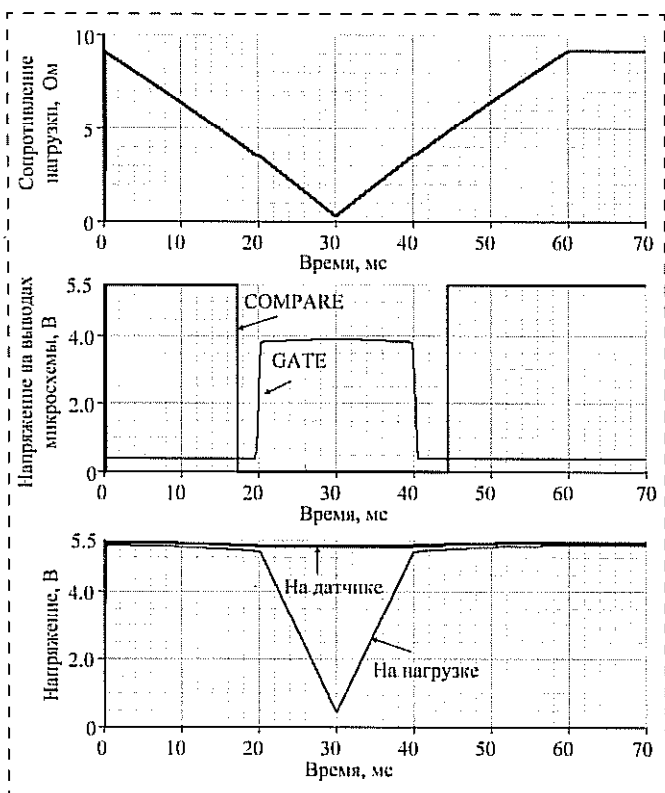


Рис. 2. Работа компаратора, дифференциального усилителя при кратковременном скачке нагрузки

эффекта) — биполярный транзистор структуры $p-n-p$, $R1$ — резистор задания тока базы; R_{II} , C_{II} — нагрузка с конденсатором фильтра; $C1$ — конденсатор защиты по питанию обеспечивает нормальное функционирование МРЗ на время нарушения работы основного источника питания VDD; $C2$ — внешний времязадающий конденсатор защиты от тиристорного защелкивания, который определяет частоту тактового генератора, синхронизирующего работу схемы управления защитой от тиристорного защелкивания; $C3$ — внешний времязадающий конденсатор сторожевого таймера, определяющий частоту тактового генератора сторожевого таймера.

На рис. 2 представлена работа компаратора, дифференциального усилителя при кратковременном скачке нагрузки.

Предусмотрена возможность внешнего управления. Задание порога срабатывания защиты потоку проводит-

ся путем выбора необходимого значения внешнего резистора, являющегося датчиком тока. Установка задержек срабатывания защиты по току и по сторожевому таймеру осуществляется путем выбора значений емкости внешних конденсаторов, определяющих частоту соответствующих генераторов МРЗ.

МРЗ имеет два информационных выхода типа "открытый сток", позволяющих внешним системам управления определять факты срабатывания защиты от тиристорного защелкивания и от тайм-аута сторожевого таймера.

Для проверки микросхемы после изготовления в НПК "Технологический центр" был разработан и создан контрольно-диагностический стенд на базе оборудования компании *National Instruments*. Стенд позволяет проводить автоматизированные аналоговые и цифровые измерения как в составе пластин, так и в корпусном исполнении.

В настоящее время изготовлены и исследованы экспериментальные образцы МРЗ в двух вариантах: с внешним мощным ключом и с встроенным внутренним мощным ключом. Оба варианта выполнены в корпусе типа 28LLC с размерами $6,5 \times 6,5$ мм. Микросхема с внешним мощным ключом изготовлена по радиационно-стойкой КМОП-технологии 1,5 мкм и прошла предварительные испытания. На данный момент микросхема используется заказчиком и успешно парировала ряд тиристорных эффектов в аппаратуре спутника, находящегося на орбите. Микросхема с внутренним мощным ключом изготовлена по КМОП-технологии 0,18 мкм в таком же корпусе. Предварительные измерения показали, что все функциональные блоки работают в соответствии с назначением. В 2014 г. планируется провести предварительные испытания микросхемы.

Список литературы

1. Чумаков А. И., Васильев А. Л., Козлов А. А., Кольцов Д. О., Крипицкий А. В., Печенкин А. А., Тарараксин А. С., Яненко А. В. Прогнозирование локальных радиационных эффектов в ИС при воздействии факторов космического пространства // Микроэлектроника, 2010. Т. 39, № 2. С. 85–90.
2. Чумаков А. И. Действие космической радиации на ИС. М.: Радио и связь, 2004. 320 с.
3. Holmes Siedle A., Adams L. Handbook of Radiation Effects. Oxford: Oxford university press, 1993. 479 p.
4. Messenger G. C., Ash M. S. Single Event Phenomena. N. Y.: Chapman & Hall, 1997. 368 p.

R. A. Fedorov, Head of Lab.

R.Fedorov@tcen.ru

Scientific-Manufacturing Complex "Technological Center" MIET

MICROCIRCUIT FOR RADIATION PROTECTION MODULE MANAGEMENT

This article describes the radiation resistance problem of integrated circuits used in space equipment and the need of space equipment protection. An option to use a micromodule for latch-up effect onset monitoring is suggested to be considered. The article also describes a dedicated micromodule management IC and its distinctive features.

Keywords: latch-up effect, radiation resistance, protection microcircuit