

В. Г. Сницар, Р. А. Федоров, В. В. Коняхин, А. Н. Денисов,
С. В. Соловьев, Е. И. Чумаков

МИКРОСХЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ РАДИАЦИОННОЙ 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 по увеличению 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, из-за которых 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 наблюдается тиристорный эффект при воздействии протонов космического пространства, тогда как в ИС с проектными нормами 0,25 мкм и ниже он практически всегда заметен, даже при нормальной температуре.

Тиристорный эффект (тиристорное защелкивание, latch-up) обусловлен наличием паразитного тиристора в микросхемах на базе КМОП структур.

КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЯ

Определенные внешние факторы, в частности воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), могут приводить к отпираанию и фиксации этого тиристора в открытом состоянии, что вызывает быстрое нарастание тока потребления с последующим тепловым разрушением микросхемы.

В НПК «Технологический центр» МИЭТ разработана микросхема управления микромодулем радиационной защиты (МРЗ), в частности, от тиристорного эффекта. Назначение выводов микросхемы приведено в таблице. Микромодуль 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.

При работе в автоматическом режиме МРЗ обеспечивает следующее:

обнаружение заданного превышения тока, потребляемого ЗГМ;

включает защиту (выключает питание ЗГМ) по истечении заданного времени от момента обнаружения превышения тока;

выключает защиту (восстанавливает питание, ЗГМ) по истечении заданного времени от момента включения защиты;

ОПИСАНИЕ ВЫВОДОВ МРЗ

Номер	Имя	Тип	Буфер	Описание
1	Sense+	AI		Прямой вход схемы сравнения для подключения датчика тока
2	Sense-	AI		Инверсный вход схемы сравнения для подключения датчика тока
3	Gate	DO	OD	Выход управления внешним ключом питания нагрузки
4	Alarm	DO	CMOS	Выход управления дополнительным уровнем защиты
5	PWoff	DI	TS, WPU	Вход внешнего управления питанием нагрузки
6	GND	P		Вывод «Общий» источника питания
7	WD_St	DO	OD	Выход, отображающий факт срабатывания защиты по тайм-ауту сторожевого таймера
8	Compare	DO	OD	Выход, отображающий состояние схемы сравнения или факт срабатывания защиты от тиристорного защелкивания
9	Control	DI	TS, WPU	Вход сброса сигнала срабатывания защиты от тиристорного защелкивания и сигнала тайм-аута сторожевого таймера
10	WDI	DI	TS, WPU	Вход периодического сброса сторожевого таймера
11	WD_En	DI	TS, WPU	Вход включения сторожевого таймера
12	Cap_WD			Вывод подключения внешнего конденсатора генератора синхронизации сторожевого таймера
13	Cap_LP			Вывод подключения внешнего конденсатора генератора для синхронизации схемы управления защитой от тиристорного защелкивания
14	GND	P		Вывод «Общий» источника питания
15	Vdd C	P		Вывод для подключения внешнего конденсатора защиты по питанию (катод внутреннего диода)
16	Vdd	P		Вывод для подключения «плюса» источника питания (анод внутреннего диода)

Условные обозначения: AI – аналоговый вход; CMOS – КМОП; DI – цифровой вход; DO – цифровой выход; OD – открытый сток; P – питание; TS – триггер Шмидта; WPU – слаботочная подтяжка к питанию

MP3 отслеживает наличие импульсов на входе сторожевого таймера и при их отсутствии в течение определенного времени t_{WDT} выключает питание ЗГМ на время $4 \cdot t_{WDT}$, если разрешена работа сторожевого таймера.

Предусмотрена возможность внешнего управления с использованием выводов PWOFF, Control и WD_En. Задание порога срабатывания защиты потока производится 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 MP3.

MP3 имеет два информационных выхода типа «открытый сток», позволяющих внешним системам управления определять факты срабатывания защиты от тиристорного защелкивания (Compare) и от тайм-аута сторожевого таймера (WD_St).

Упрощенная схема

Упрощенная принципиальная схема MP3 приведена на рис. 1. В состав MP3 входят следующие основные узлы:

U1 (супервизор питания) — предназначен для отслеживания уровня напряжения питания на выводе Vdd_C и формирования сигнала сброса (Power-

On-Reset, POR) всех внутренних узлов MP3. Сигнал POR становится активным также по сигналу POff;

U2 (схема сравнения) — определяет факт превышения допустимого тока, потребляемого ЗГМ, и по этому событию выдает сигнал Compare1. Превышение допустимого порога тока потребления фиксируется по уровню напряжения на внешнем низкоомном измерительном резисторе, включенном между входами Sense+ и Sense-;

U3 (логический элемент ИЛИ) — совместно с транзистором VT1 предназначен для выдачи на внешний

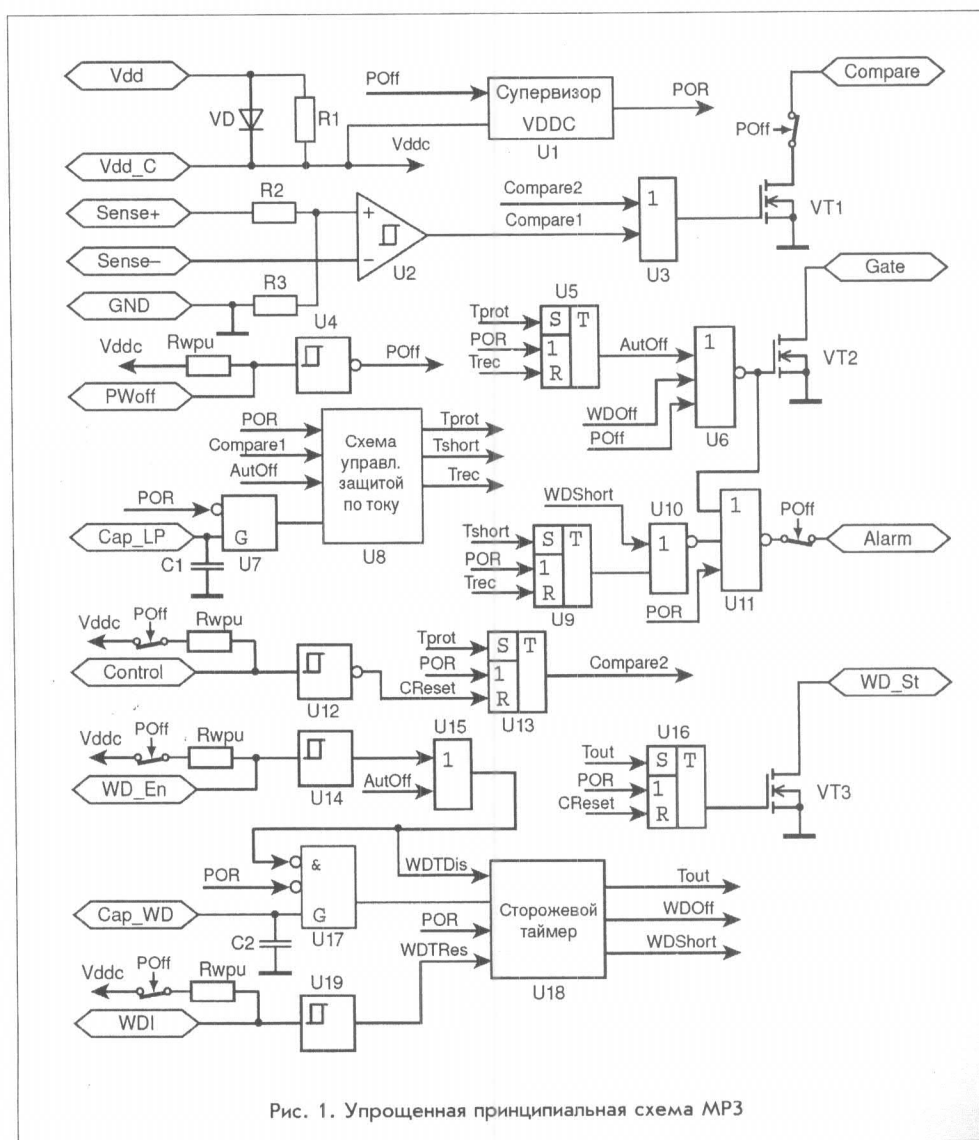


Рис. 1. Упрощенная принципиальная схема MP3

вывод Compare (типа «открытый сток») сигналов Compare1 или Compare2 (логическая единица любого из этих сигналов формирует низкий логический уровень на выводе Compare). Ключ в цепи стока VT1 размыкается высоким уровнем сигнала POff, обеспечивая 3-е логическое состояние выхода Compare при активном внешнем сигнале PWoff;

U4 (триггер Шмидта) — предназначен для формирования внутреннего сигнала POff и выключения питания нагрузки по внешнему управляющему сигналу PWoff. Активный уровень сигнала PWoff — низкий. Вход имеет встроенную подтяжку к напряжению питания Vddc и может оставаться неподключенным;

U5 (триггер включения защиты от тиристорного защелкивания) — предназначен для формирования сигнала автоотключения нагрузки. Логическая единица на выходе триггера означает отключение питания нагрузки. Триггер устанавливается по сигналу Tprot и сбрасывается по сигналам POR или Tгес;

U6 (логический элемент ИЛИ-НЕ) — совместно с транзистором VT2 предназначен для формирования сигнала на выводе Gate (типа «открытый сток»), который управляет внешним ключом (биполярным *pnp*- или *p*-канальным МОП транзистором), коммутирующим питание нагрузки. Управление производится любым из трех сигналов AutOff, WDOff или POff. Логическая единица любого из этих сигналов приводит к высокому уровню на выводе Gate, что соответствует «размыканию» внешнего ключа и отключению питания нагрузки;

U7 (генератор) — предназначен для выработки тактовой частоты схемы управления защитой по току. Частота генератора задается встроенным конденсатором C₁. Кроме этого, генератор имеет вывод Cap_LP для подключения внешнего конденсатора, выбор которого позволяет задать требуемую частоту генератора и, таким образом, скорость реакции МРЗ на возникновение тиристорного эффекта. Активный уровень сигнала POR блокирует работу генератора;

U8 (схема управления защитой по току) — формирует сигналы отключения и включения питания

Сницар Валерий Григорьевич — заместитель директора по науке НПК «Технологический центр» МИЭТ.

Федоров Роман Александрович — старший научный сотрудник отдела интегральных микросхем НПК «Технологический центр» МИЭТ, кандидат технических наук.

Коняхин Валерий Вячеславович — начальник отдела интегральных микросхем НПК «Технологический центр» МИЭТ.

Денисов Андрей Николаевич — начальник научно-исследовательской лаборатории разработки больших интегральных микросхем НПК «Технологический центр» МИЭТ.

Соловьев Сергей Владимирович — старший научный сотрудник Московского физико-технического института, кандидат технических наук.

Чумаков Евгений Иванович — старший научный сотрудник Московского физико-технического института.

нагрузки в соответствии с уровнем и длительностью сигнала Compare1 от схемы сравнения и в зависимости от частоты генератора U7. Схема управления сбрасывается сигналом POR, во время активного состояния которого сигналы на выходе U8 имеют пассивный уровень. Схема выдает три сигнала: Tprot (для включения защиты по току, т.е. отключения питания нагрузки), Tshort (для включения дополнительного уровня защиты) и Tгес (для отключения защиты, т.е. восстановления питания нагрузки). Подробнее работа схемы управления защитой будет рассмотрена;

U9 (триггер включения дополнительного уровня защиты от тиристорного защелкивания) — предназначен для формирования сигнала включения дополнительного уровня защиты от тиристорного защелкивания. Триггер устанавливается сигналом Tshort и сбрасывается сигналами POR или Tгес;

U10 (логический элемент ИЛИ-НЕ) — формирует сигнал включения дополнительного уровня защиты по состоянию триггера U9 или сигнала от сторожевого таймера WDSHORT. На выходе U10 будет сигнал низкого уровня, если хотя бы один из входных сигналов имеет уровень логической единицы;

U11 (логический элемент ИЛИ-НЕ) — предназначен для блокировки сигнала дополнительного уровня защиты активным уровнем сигнала POR или

пассивным уровнем сигнала отключения питания нагрузки с выхода U6. Сигнал дополнительного уровня защиты Alarm может иметь активный (высокий) уровень, только если одновременно будут иметь низкий логический уровень сигналы: на выходе U6 (питание нагрузки отключено), на выходе U10 (есть необходимость включения дополнительного уровня защиты по току или по тайм-ауту сторожевого таймера) и сигнал POR (отсутствует сброс по включению питания). Ключ на выходе U11 отсоединяет его от вывода Alarm при высоком уровне сигнала POff, обеспечивая 3-е логическое состояние;

U12 (триггер Шмидта) — предназначен для формирования сигнала сброса триггеров U13 и U16 по внешнему управляющему сигналу Control. Активный уровень внешнего сигнала Control — низкий. Вход имеет встроенную подтяжку к напряжению питания Vddc (благодаря резистору Rwrp, но подтяжка отключается при активном уровне сигнала POff);

U13 (триггер фиксации факта срабатывания защиты от тиристорного защелкивания) — предназначен для формирования сигнала Compare2. Триггер устанавливается сигналом Trprot и сбрасывается сигналом POR или внешним сигналом Control;

U14 (триггер Шмидта) — предназначен для формирования сигнала разрешения работы сторожевого таймера по внешнему управляющему сигналу WD_En. Активный уровень внешнего сигнала WD_En — низкий. Вход имеет встроенную подтяжку к напряжению питания Vddc (благодаря резистору Rwrp, но подтяжка отключается при активном уровне сигнала POff);

U15 (логический элемент ИЛИ) — предназначен для формирования сигнала WDTDIs (блокировки работы сторожевого таймера) в зависимости от состояния сигнала на выходе U14 и сигнала Autoff. Если хотя бы один из входных сигналов U15 имеет высокий логический уровень, WDTDIs тоже будет иметь высокий уровень и будет блокировать работу генератора сторожевого таймера и самого сторожевого таймера;

U16 (триггер фиксации факта тайм-аута сторо-

жевого таймера) — совместно с VT3 предназначен для формирования внешнего сигнала WD_St (типа «открытый сток»). При срабатывании сторожевого таймера триггер устанавливается в состояние логической единицы сигналом Tout и формирует на выходе WD_St активный низкий уровень. Сброс триггера и сигнала WD_St осуществляется сигналом POR или внешним сигналом Control;

U17 (генератор) — предназначен для выработки тактовой частоты для сторожевого таймера. Частота генератора задается встроенным конденсатором C2. Кроме этого генератор имеет вывод Cap_WD для подключения внешнего конденсатора, выбор которого позволяет задать требуемую частоту генератора и, таким образом, время тайм-аута сторожевого таймера. Активный уровень сигнала POR и сигнала WDTDIs блокируют работу генератора;

U18 (сторожевой таймер) — предназначен для формирования сигналов включения и отключения питания нагрузки при тайм-ауте сторожевого таймера. На вход сторожевого таймера поступают сигнал запрета работы сторожевого таймера WDTDIs (запрет работы сторожевого таймера при высоком уровне на внешнем входе WD_En или активном сигнале Autoff, т.е. при срабатывании защиты от тиристорного защелкивания), сигнал сброса по включению питания POR, сигнал сброса сторожевого таймера по фронту внешнего сигнала WDTRes и сигнал с тактового генератора U17. При отсутствии в течение времени тайм-аута любого из трех сигналов WDTDIs, POR или WDTRes наступает событие тайм-аута и на выходе сторожевого таймера формируются сигналы Tout (для установки триггера U16), WDOff (для формирования сигнала отключения питания нагрузки на заданное время по тайм-ауту сторожевого таймера) и WDAIarm (для формирования сигнала включения второго уровня защиты на заданное время по тайм-ауту сторожевого таймера). Подробнее работа сторожевого таймера будет рассмотрена;

U19 (триггер Шмидта) — предназначен для формирования сигнала периодического сброса стороже-

вого таймера WDTRes по внешнему управляющему сигналу WDI. Вход WDI имеет встроенную подтяжку к напряжению питания Vddc (благодаря резистору Rwrp, но подтяжка отключается при активном уровне сигнала POff). Для периодического сброса сторожевого таймера следует подавать на вход WDI импульсный сигнал с периодом меньшим, чем время тайм-аута сторожевого таймера.

Исходное состояние

При включении питания супервизор питания U1 формирует сигнал сброса POR, который переводит с исходное состояние все узлы MP3:

триггеры U5, U9, U13 и U16 сброшены;

сигналы Tprot, Tshort, Trec, Tout, WDOff и WDSHORT — пассивны;

генератор U7 работает;

генератор U17 работает, если на внешнем входе WD_En низкий уровень;

на выходе Gate низкий уровень, что соответствует «замкнутому» состоянию внешнего ключа, т.е. питание на нагрузку подано;

на выходе Alarm низкий уровень, что соответствует отключению дополнительной защиты;

на выходе Compare и WD_St высокий уровень.

Защита от тиристорного защелкивания

На рис. 2 показан пример временной диаграммы работы MP3 в автоматическом режиме при защите от тиристорного защелкивания.

При превышении током нагрузки порогового зна-

чения, заданного номиналом резистора датчика тока между входами Sense+ и Sense-, схема сравнения формирует высокий уровень сигнала Compare1 на входе схемы управления защитой по току. Установка сигнала Compare1 вызывает немедленное появление низкого уровня на выходе Compare, что может быть использовано для проверки правильности выбора порога срабатывания по току.

Если длительность сигнала Compare1 не превышает время t_{prot} (в примере на рис. 2: $t_1 < t_{prot}$), ничего не происходит и при снижении тока до порога отпущения сигнал Compare1 снимается и MP3 возвращается в исходное состояние. Если длительность сигнала Compare1 превышает t_{prot} (в примере на рис. 2: $t_2 > t_{prot}$), схема управления выдает импульсный сигнал Tprot, который взводит триггеры U5 и U13. Сигнал AutoOff с выхода триггера U5 отключает питание от нагрузки (высокий уровень сигнала на выходе Gate, см. рис. 2) и блокирует сторожевой таймер, который сбрасывается в исходное состояние вне зависимости от предыдущего состояния. Сигнал Compare2 с выхода триггера U13 удерживает на низком уровне выходной сигнал Compare до тех пор, пока триггер U13 не будет сброшен внешними сигналами Control, PWOFF или сбросом по питанию.

Через время, равное t_{prot} (в примере на рис. 2: $t_3 = t_{prot}$), схема управления выдает импульсный сигнал Tshort, который взводит триггер U9, высокий уровень с выхода которого подается на внешний вывод Alarm, используемый для включения дополнительного уровня защиты.

По истечении времени t_{rec} (в примере на рис. 2: $t_4 = 32t_{prot} = t_{rec}$) с момента отключения питания нагрузки схема управления формирует импульсный сигнал Trec, который сбрасывает триггеры U5 и U9, восстанавли-

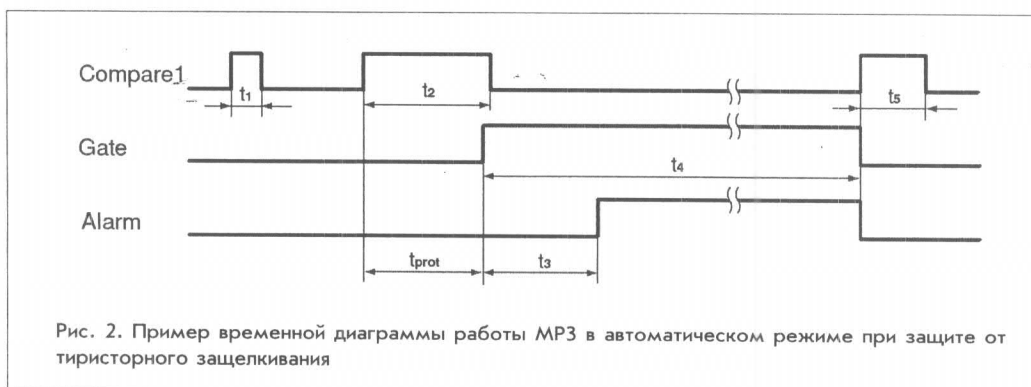


Рис. 2. Пример временной диаграммы работы MP3 в автоматическом режиме при защите от тиристорного защелкивания

вая, таким образом, нормальное питание нагрузки (низкий уровень сигналов Gate и Alarm — см. рис. 2). На этом цикл защиты от тиристорного защелкивания заканчивается.

При включении питания нагрузки возможен бросок тока потребления, превышающий порог срабатывания схемы сравнения и обусловленный зарядом конденсаторов фильтра питания. Чтобы этот процесс не вызвал ложного срабатывания защиты от тиристорного защелкивания, следует надлежащим образом выбирать t_{prot} , т.е. так, чтобы длительность пика тока потребления была меньше t_{prot} (в примере на рис. 2: $t_5 < t_{prot}$).

Сторожевой таймер

На рис. 3 показан пример временной диаграммы работы сторожевого таймера МРЗ.

При низком уровне на внешнем входе WD_En разрешается работа сторожевого таймера МРЗ. Все остальные состояния входа (высокий логический уровень или обрыв) блокируют работу сторожевого таймера. Работа сторожевого таймера блокируется также при срабатывании защиты от тиристорного защелкивания.

Будучи включенным, сторожевой таймер ожидает импульсного сигнала по входу WDI и сбрасывается по каждому фронту этого сигнала. Если период сигнала не превышает t_{wdt} (в примере на рис. 3: $t_6 < t_{wdt}$), то тайм-аут сторожевого таймера не наступает, в противном случае сторожевой таймер срабатывает (в примере на рис. 3: $t_7 = t_{wdt}$), выполняя цикл отключения нагрузки по тайм-ауту.

При срабатывании сторожевого таймера выдается

импульсный сигнал Tout и устанавливается высокий уровень сигнала WDOff. Сигнал WDOff отключает питание от нагрузки высоким уровнем на выходе Gate. Сигнал Tout также устанавливает триггер U16, обеспечивая низкий уровень на внешнем выходе WD_St, что сигнализирует о имевшем место тайм-ауте. Высокий уровень данного выхода может быть восстановлен только подачей низкого логического уровня на вход Control или на вход PWoff, или сбросом по питанию.

По истечении времени t_{wdt} с момента срабатывания сторожевого таймера на выходе схемы управления появляется высокий уровень сигнала WDAlar, который используется для формирования высокого уровня выходного сигнала включения дополнительного уровня защиты Alarm (в примере на рис. 3: $t_8 = t_{wdt}$).

Длительность отключения питания нагрузки равна $2 t_{wdt}$ (в примере на рис. 3: $t_9 = 2 t_{wdt}$) с момента срабатывания сторожевого таймера. После этого сигналы WDOff и WDAlar возвращаются в низкий уровень. Таким образом, питание нагрузки восстанавливается и дополнительная защита отключается.

По аналогии с восстановлением питания после защиты от тиристорного защелкивания при включении после цикла тайм-аута возможен бросок тока потребления, превышающий порог срабатывания схемы

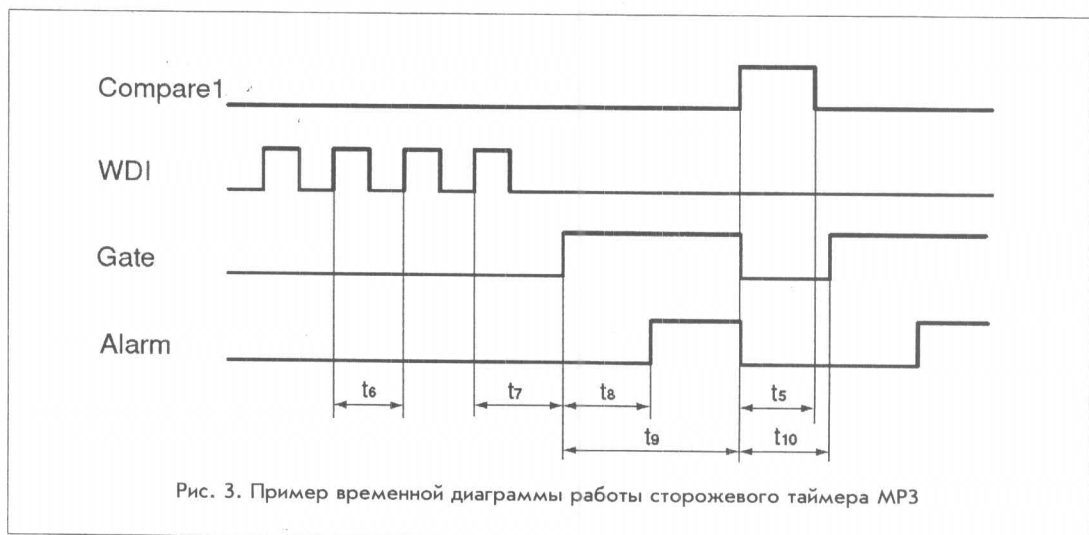


Рис. 3. Пример временной диаграммы работы сторожевого таймера МРЗ

сравнения и обусловленный зарядом конденсаторов фильтра питания. Чтобы этот процесс не вызывал ложного срабатывания защиты от тиристорного защелкивания, следует надлежащим образом выбирать t_{prot} , т.е. так, чтобы длительность пика тока потребления была меньше t_{prot} (в примере на рис. 3: $t_5 < t_{prot}$).

Если на вход WDI по-прежнему не поступает периодический сигнал сброса, то цикл отключения по тайм-ауту повторится через t_{wdt} (в примере на рис. 3: $t_{10} = t_{wdt}$).

Появление высокого уровня на внешнем входе WD_Ep в любой момент работы сторожевого таймера приводит к его сбросу и выключению (т.е. производит немедленное восстановление питания нагрузки), но не влияет на низкий уровень сигнала WD_St, высокий уровень которого может быть восстановлен только подачей низкого логического уровня на вход Control или на вход PWoff, или сбросом по питанию.

Внешнее управление питанием нагрузки

Низкий уровень на входе PWoff позволяет отключить питание нагрузки в любой момент и на произвольное время. Низкий уровень PWoff сбрасывает в исходное состояние все узлы МРЗ и переводит все выводы в 3-е логическое состояние. «Обрыв» вывода Gate приводит к отключению питания нагрузки. Нормальное функционирование восстанавливается только по высокому уровню на входе PWoff. Следует обратить внимание на необходимость подключения выводов Control, WD_Ep и WDI к конкретному логическому уровню, так как при активном сигнале PWoff происходит отключение подтяжки этих входов к питанию, что может вызвать повышение потребляемого микросхемой тока. Если вход PWoff не используется, выводы Control, WD_Ep и WDI можно оставлять не подключенными.

Дополнительный уровень защиты

При отключении питания нагрузки возможна ситуация «неполного» отключения из-за гальванической связи ЗГМ по информационным шинам с нормально функционирующими частями схемы.

Подобное «неполное» отключение может привести к сбойному состоянию ЗГМ после восстановления питания. Для борьбы с этим эффектом и предусмотрен дополнительный уровень защиты. Он представляет собой внешний ключ, выполненный на базе n -канального МОП транзистора. В момент срабатывания дополнительного уровня защиты ключ отпирается высоким уровнем сигнала Alarm и замыкает питание ЗГМ на общий провод, обеспечивая полное обесточивание. При восстановлении питания нагрузки ключ размыкается низким уровнем сигнала Alarm.

Вход Control

Для индикации состояния МРЗ используются два выхода: Compare и WD_St. Они позволяют определить, имел ли место факт срабатывания защиты по току или по тайм-ауту сторожевого таймера. Восстановить первоначальное состояние этих сигналов можно только с помощью входа Control. Для сброса сигналов Compare и WD_St в исходное состояние необходимо подать на вход Control управляющий сигнал низкого уровня длительностью, равной или более t_{prot} . Все сигналы сброса короче t_{prot} игнорируются.

Питание МРЗ

Поскольку существует вероятность кратковременного нарушения питания под воздействием радиационных факторов, в МРЗ предусмотрена возможность защиты питания, позволяющая поддерживать нормальное функционирование МРЗ на время сбоя основного питания. Эта возможность реализуется с помощью дополнительного внешнего конденсатора, подключаемого к выводу Vdd_C. Основной источник питания подключается к выводу Vdd. При нормальном функционировании основного источника потребляемый ток протекает через диод VD и разница напряжений между выводами Vdd и Vdd_C не превышает 0,6 В. При снижении напряжения на выводе Vdd из-за сбоя основного источника питания диод запирается и питание МРЗ поддерживается за счет внешнего конденсатора. Выбор емкости этого

конденсатора позволяет задать время автономного функционирования МРЗ.

Рекомендуемая схема включения

Условное графическое обозначение и рекомендуемая схема включения МРЗ приведены на рис. 4.

Компоненты схемы имеют следующее назначение:

$R_{изм}$ (датчик тока) — низкоомный резистор, предназначен для отслеживания уровня потребляемого нагрузкой тока;

VT1 (ключ защиты нагрузки от тиристорного эффекта) — биполярный транзистор структуры *npn*;

R1, R2 (резисторы задания тока базы) — резисторы, сопротивления которых выбираются в соответствии с величиной напряжения питания, током нагрузки и параметрами транзистора VT1 таким образом, чтобы открытый VT1 работал в режиме насыщения, а при срабатывании защиты обеспечивалось надежное запирающее ключа;

VT2 (ключ дополнительного уровня защиты) — *n*-канальный МОП транзистор в режиме обогащения и с небольшим пороговым напряжением затвор-исток (т.е. таким, которое обеспечило бы низкое сопротивление сток-исток при логической единице на затворе);

R3 (резистор, обеспечивающий запирающее ключа VT2) — высокоомный резистор для надежного запирающего транзистора VT2 при 3-ем логическом состоянии на выходе Alarm;

RH, CH — нагрузка с конденсатором фильтра;

C1 (конденсатор защиты по питанию) — керамический или полярный электролитический конденсатор, заряд которого обеспечивает нормальное функционирование МРЗ на время нарушения работы основного источника питания VDD;

C2 (внешний времязадающий конденсатор защиты от тиристорного защелкивания) — керамический конденсатор, емкость которого определяет частоту тактового генератора, синхронизирующего работу

схемы управления защитой от тиристорного защелкивания;

C3 (внешний времязадающий конденсатор сторожевого таймера) — керамический конденсатор, емкость которого определяет частоту тактового генератора сторожевого таймера;

R4 (резистор, обеспечивающий высокий уровень выходного сигнала Compare) — высокоомный резистор, обеспечивающий подтяжку к питанию выхода типа «открытый сток», может использоваться для объединения нескольких аналогичных сигналов от нескольких МРЗ «монтаж-

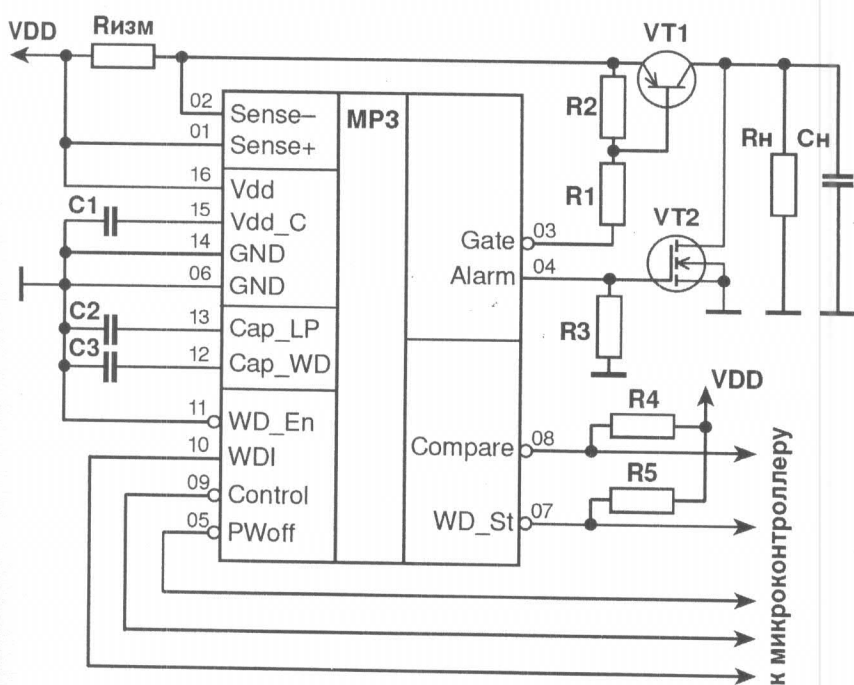


Рис. 4. Схема включения МРЗ

ным ИЛИ». Если соответствующий вход контроллера имеет средства внутренней подтяжки к питанию, установка R4 необязательна;

R5 (резистор, обеспечивающий высокий уровень выходного сигнала WD_St) – высокоомный резистор, обеспечивающий подтяжку к питанию выхода типа «открытый сток», может использоваться для объединения нескольких аналогичных сигналов от разных МРЗ по «монтажному ИЛИ». Если соответствующий вход контроллера имеет средства внутренней подтяжки к питанию, установка R5 обязательна.

Рекомендуемая схема включения не является единственно возможной. Например, при отсутствии необходимости в дополнительном уровне защиты, вывод Alarm можно оставить неиспользованным и исключить из схемы VT2.

Однако, если VT2 необходим, это должен быть именно *n*-канальный МОП, а не биполярный *pnp*-транзистор, так как вытекающий из вывода Alarm ток базы существенно осложнит работу защиты по питанию (номинал конденсатора C1 придется выбирать чрезмерно большим).

В данной схеме сторожевой таймер включен постоянно благодаря замыканию входа WD_En на об-

щий провод. Если сторожевой таймер не нужен, можно не подключать выводы WD_En, WDI, Cap_WD и WD_St и, таким образом, уменьшить количество необходимых внешних компонентов.

Состояние разработки

В настоящее время изготовлены и исследованы экспериментальные образцы МРЗ и микромодуля тиристорной защиты на его основе. Микросхема реализована по радиационно стойкой КМОП технологии в корпусе типа H02.16.

Полученные результаты позволяют приступить к выполнению ОКР по освоению специализированной микросхемы управления модулем тиристорной защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прогнозирование локальных радиационных эффектов в ИС при воздействии факторов космического пространства. – А. И. Чумаков и др. – М.: 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. – N.Y.: Oxford university press, 1993. – 479 p.
4. Messenger G.C., Ash M.S. Single Event Phenomena. – N.Y.: Chapman&Hall, 1997. – 368 p.



Все

о «Петербургском журнале электроники»

читайте на сайте

www.elstandart.spb.ru