

# Применение ПАИС 5400ТР035 в качестве универсальной основы построения модулей радиационной защиты

Всеволод ЭННС,  
к. т. н.  
Виктор КОБЗЕВ  
Игорь КОРЕПАНОВ  
mail@dcsoyuz.com

Большинство микросхем не имеет необходимого уровня стойкости к внешним воздействиям, предъявляемого к космическим аппаратам. При этом использование таких микросхем зачастую позволяет существенно повысить технические характеристики аппаратов. В космическом пространстве воздействие радиации на элементы и аппаратуру определяется типом излучения, энергией, интенсивностью и проникающей способностью первичных и вторичных частиц в объем вещества. Развитие технологий производства новых материалов дало возможность использовать интегрированные в корпуса экраны радиационной защиты (ЭРЗ), чтобы эффективно предохранять электронную аппаратуру от воздействия компонентов (протонов и электронов), относящихся к мягкому излучению. Однако невозможно обеспечить достаточную защиту от компонентов с высокой проникающей способностью (гамма-излучение, тяжелые заряженные частицы (ТЗЧ) и т. д.), которые способны вызвать тиристорное защелкивание в нестойких узлах или блоках [1]. Одно из решений проблемы — применение дополнительных модулей радиационной защиты (МРЗ) [2].

Основной принцип работы МРЗ заключается в следующем:

- отслеживание заданного интервала значений параметров, которые могут изменяться при воздействии космического излучения;

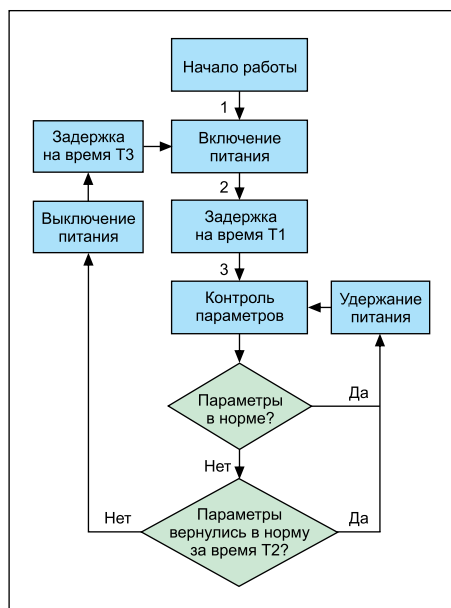


Рис. 1. Диаграмма общего алгоритма работы МРЗ на основе ПАИС

- отключение питания защищаемой группы ИМС при выходе параметров за заданные пределы;
- восстановление питания через заданный промежуток времени с момента полного отключения [2–4].

Для реализации универсального подхода к проектированию МРЗ в короткие сроки и с минимальными затратами предлагается использовать программируемую аналоговую интегральную схему (ПАИС) 5400ТР035. Микросхема выполнена по КМОП КНИ технологии 0,18 мкм и обладает высокой стойкостью к ТЗЧ и накопленной дозе [5, 6].

## Реализация алгоритма радиационной защиты в ПАИС

В основе работы МРЗ предлагается использовать универсальный алгоритм (рис. 1), в котором возможно изменять набор контролируемых параметров, не подвергая особому изменению основную часть структуры схемы.

На первом этапе включается питание, и время задержки T1 дается для установления требуемых параметров ИМС. На втором этапе контролируются запрограммированные пользователем параметры. На третьем этапе

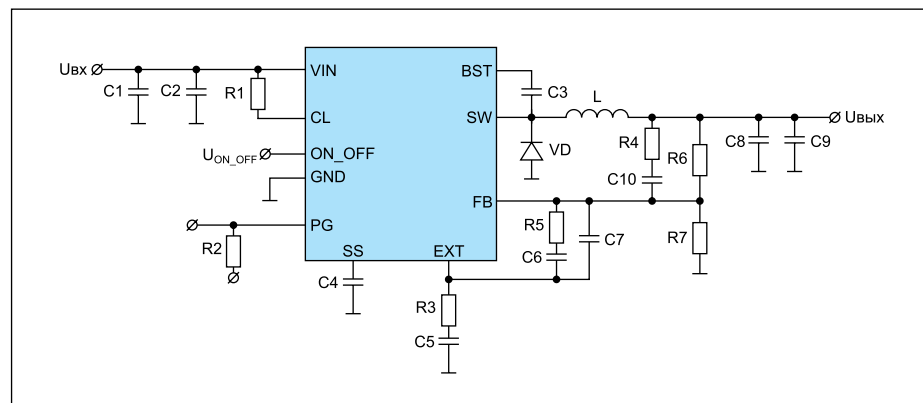


Рис. 2. Рекомендуемая схема включения микросхемы 1393EY014

осуществляется проверка условий на отклонение значений от требуемых норм.

В качестве защищаемого объекта была выбрана ИМС 1393EY014, которая представляет собой импульсный регулятор напряжения [7]. Типовая схема включения приведена на рис. 2. Для реализации МРЗ данной схемы на основе ПАИС 5400TP035 была запрограммирована структурная схема (рис. 3).

Диапазон входного напряжения преобразователя на базе 1393EY014 составляет 9–20 В, выходное напряжение устанавливается резистивным делителем. Максимальный выходной ток 2 А. Частота преобразования 260 кГц [7].

Контроль состояния преобразователя осуществляется по следующим параметрам: входное напряжение на выводе  $U_{вх}$ ; ток, втекающий в преобразователь; частота на выводе SW; выходное напряжение на выводе  $U_{вых}$ .

Модуль радиационной защиты должен контролировать перечисленные параметры и при выходе параметров за установленные пределы отключать входное напряжение блока на заданное время. После чего обеспечить включение блока.

В состав схемы (рис. 3) для микросхемы МРЗ на основе ПАИС вошли следующие основные узлы:

- U1 — компаратор датчика тока отслеживает превышение допустимого входного тока нагрузки через низкоомный измерительный резистор R8 (рис. 4). К внешним выводам SENSOR+ и SENSOR– подключены резистивные делители R3–R6 (рис. 4) для настройки требуемых уровней напряжений.
- U2 — компаратор датчика выходного напряжения сравнивает уровень напряжения  $1V+\Delta V$  (порог) на внешнем выводе COMP\_U2 относительно внутреннего напряжения 1 В от источника опорного напряжения (ИОН). К выводу COMP\_U2 подключен резистивный делитель R9 и R10 (рис. 4) для настройки порога  $\Delta V$ . Сигналом индикации при пониженном питании является логическая «1» на выходе компаратора.
- U3 — компаратор датчика входного напряжения сравнивает уровень напряжения  $1V+\Delta V$  на внешнем выводе COMP\_U3 относительно внутреннего напряжения 1 В от ИОН. К выводу COMP\_U3 подключен резистивный делитель R1 и R2 (рис. 4) для настройки порога  $\Delta V$ . Сигналом индикации при пониженном питании является логическая «1» на выходе компаратора.
- U4 — компаратор датчика тактового сигнала сравнивает напряжение на внутреннем конденсаторе C1 и дополненном конденсаторе C3, подключенном к внешнему выводу CAP\_U4 (рис. 4) с опорным уровнем напряжения Ref от встроенного резистивного делителя. Напряжение на конденсаторах контролируется  $n$ -канальным МОП-транзистором, к затвору которого через внешний вывод RC\_clk подключается цепь R7 и C1 (рис. 4).

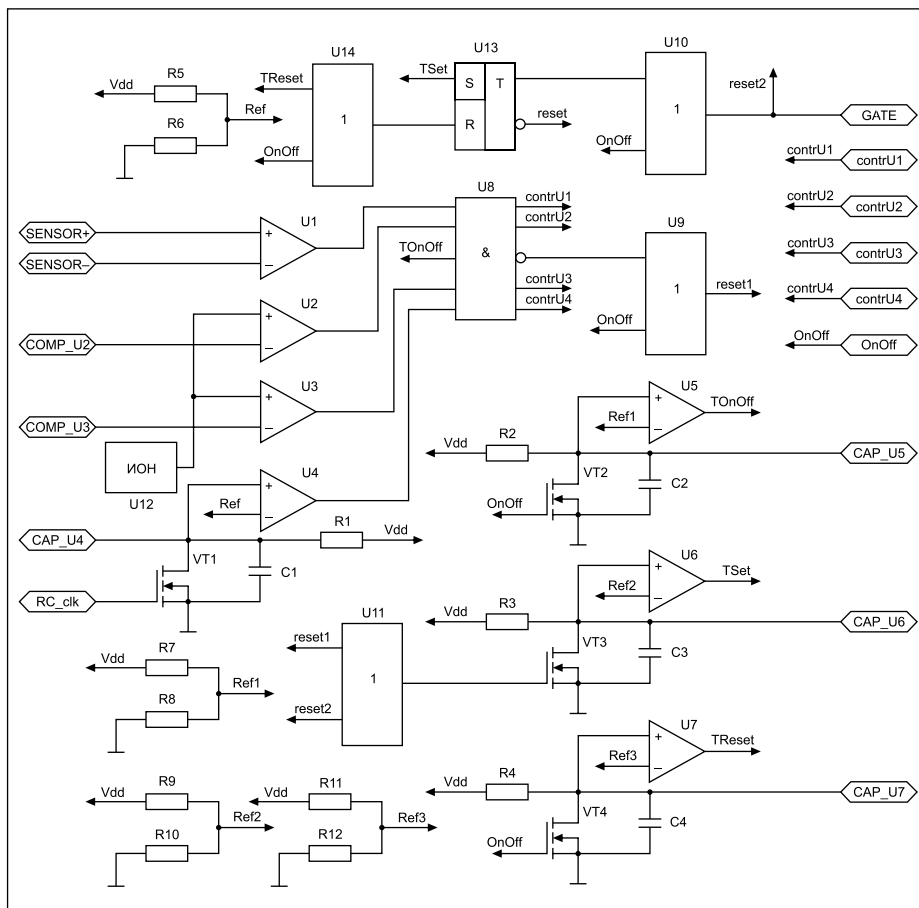


Рис. 3. Упрощенная принципиальная схема микросхемы МРЗ запрограммированная в ПАИС 5400TP035

- U5 — компаратор формирует сигналы (TOnOff) включения и отключения контроля состояний датчиков. Время переключения сигналов определяется встроенной RC-цепью и дополнительным внешним конденсатором C4 (рис. 4) на выводе CAP\_U5.
- U6 — компаратор формирует сигнал (TSet) включения защиты. Время переключения определяется внутренней RC-цепью и дополнительным внешним конденсатором C5 (рис. 4) на выводе CAP\_U6. Сброс осуществляется через  $n$ -канальный МОП-транзистор.

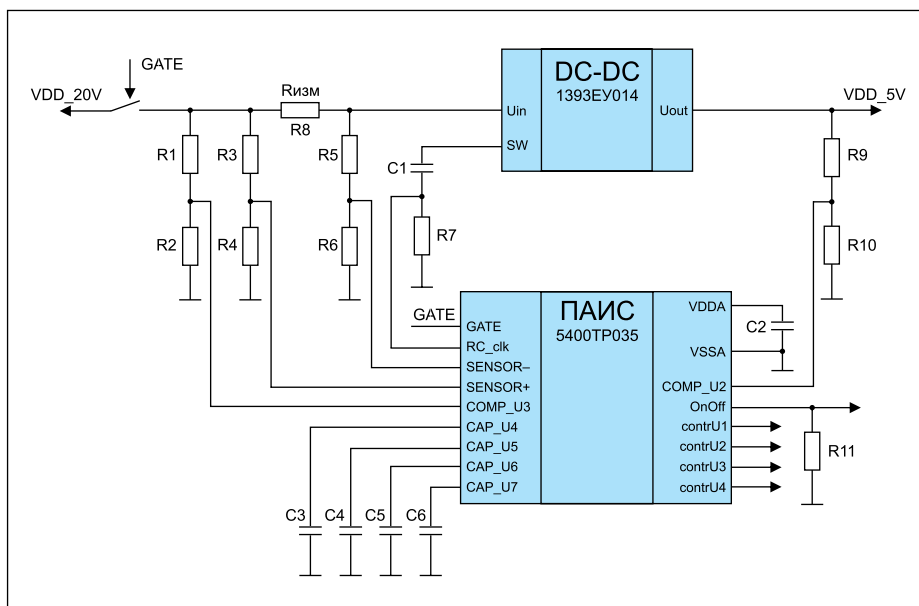


Рис. 4. Упрощенная схема МРЗ на основе ПАИС 5400TP035

- U7 — компаратор формирует сигнал (TReset) отключения защиты. Время переключения определяется внутренней RC-цепью и дополнительным конденсатором C6 (рис. 4) на выводе CAP\_U7. Управление сбросом осуществляется внутренним сигналом reset триггера U13.
- U8 — 4И-НЕ отслеживает состояние датчиков. Контроль выполняется при логической «1» сигнала TOnOff. Выходы contrU1, contrU2, contrU3 необходимы для определения факта срабатывания защиты по какому-либо из параметров.
- U9 — 2ИЛИ принимает два сигнала от блока U8 и внешний управляющий сигнал OnOff. Формирует управляющий сигнал reset1 для схемы включения защиты (U6).
- U10 — 2ИЛИ принимает сигналы от триггера и внешний управляющий сигнал OnOff. Формирует дополнительный сигнал reset2 для схемы включения защиты (U6) и сигнал на выводе GATE для управления внешним ключом (рис. 4).
- U11 — 2ИЛИ принимает сигналы reset1 и reset2. Выход подключается к  $n$ -канальному МОП-транзистору схемы включения защиты (U6).
- U12 — ИОН.
- U13 — RS-триггер принимает сигналы TSet, по которому включается защита, и TReset, по которому сбрасывается в исходное состояние выключая защиту (на прямом выходе «0», на инверсном «1»).
- U14 — 2ИЛИ принимает сигналы TReset и внешний управляющий сигнал OnOff. На выходе формируется сигнал сброса триггера.

На рис. 4 представлена электрическая схема включения микросхемы защиты.

Электрическая схема была составлена и предварительно промоделирована в пакете программного обеспечения, прилагаемого к программатору ПАИС 5400TP035 [5]. После программирования выполнена экспериментальная проверка полученной микросхемы.

На рис. 5 представлена диаграмма включения защиты нагрузки на примере работы датчика напряжения U2.

В момент включения модуль радиационной защиты дает некоторое время T1, необходимое для полного включения нагрузки. Через период времени T1 сигнал TOnOff переключается в состояние логической «1» и модуль начинает контролировать основные параметры нагрузки, отвечающие за ее работоспособность.

Если у одного из датчиков формируется на выходе логическая «1» (выход компаратора U2) и время длительности сигнала меньше времени реакции T2 ( $T < T2$ ) (рис. 5), то превышение носило кратковременный характер и MP3 не реагирует.

Если время превышения равно времени реакции T2 ( $T = T2$ ) (рис. 5), то на выходе TSet (схема включения защиты U6 рис. 3) формируется логическая «1», которая устанавливает триггер (внеш-

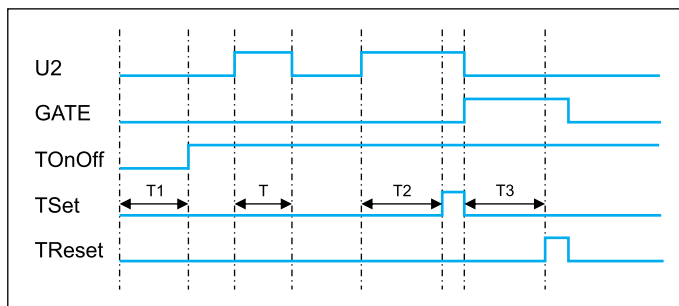


Рис. 5. Диаграмма срабатывания защиты

ний выход GATE) и включает защиту. По прошествии времени T3 на выходе TReset (схема выключения защиты U7 рис. 3) формируется логическая «1», которая сбрасывает триггер и выключает защиту. Времена T1, T2, T3 задаются пользователем выбором номинала внешних конденсаторов C4–C6.

Ниже приведены результаты измерения реальной модели модуля с запрограммированной схемой защиты (рис. 3).

На рис. 6 сигнал с выхода contrU2 показывает возникновение сбоя по входному напряжению питания (подсхема U2 рис. 3). Сигнал с выхода GATE переключается с логического «0» в логическую «1», тем самым включая защиту. Сигнал с выхода CAP\_U6 демонстрирует время включения защиты (настраивается внешним C5 (рис. 4) и внутренним C3 (рис. 3) конденсаторами). Сигнал с выхода CAP\_U7 показывает длительность защиты (настраивается внешним C6 (рис. 4) и внутренним C4 (рис. 3) конденсаторами). На рис. 6а время включения равно длительности защиты, а на рис. 6б уменьшено время включения, но увеличена длительность защиты.

Если же сбой в одном или нескольких параметрах не устраняется, то возможно с помощью внешнего сигнала, подаваемого на вывод OnOff (рис. 7), отключить систему контроля и включить принудительно защиту на длительное время. Сигнал на входе COMP\_U2 (рис. 7) (после резистивного делителя R9, R10 (рис. 4)) демонстрирует перепад входного напряжения, который сравнивается с напряжением ИОН на входах компаратора U2 (рис. 3).

Как показало экспериментальное исследование, запрограммированная в ПАИС 5400TP035 схема MP3 DC/DC-преобразователя 1393EY014 реализует заложенный алгоритм защиты. Для защиты других классов устройств при необходимости достаточно перепрограммировать ПАИС. При этом возможны включение или исключение дополнительных параметров, а также некоторая модификация алгоритма защиты.

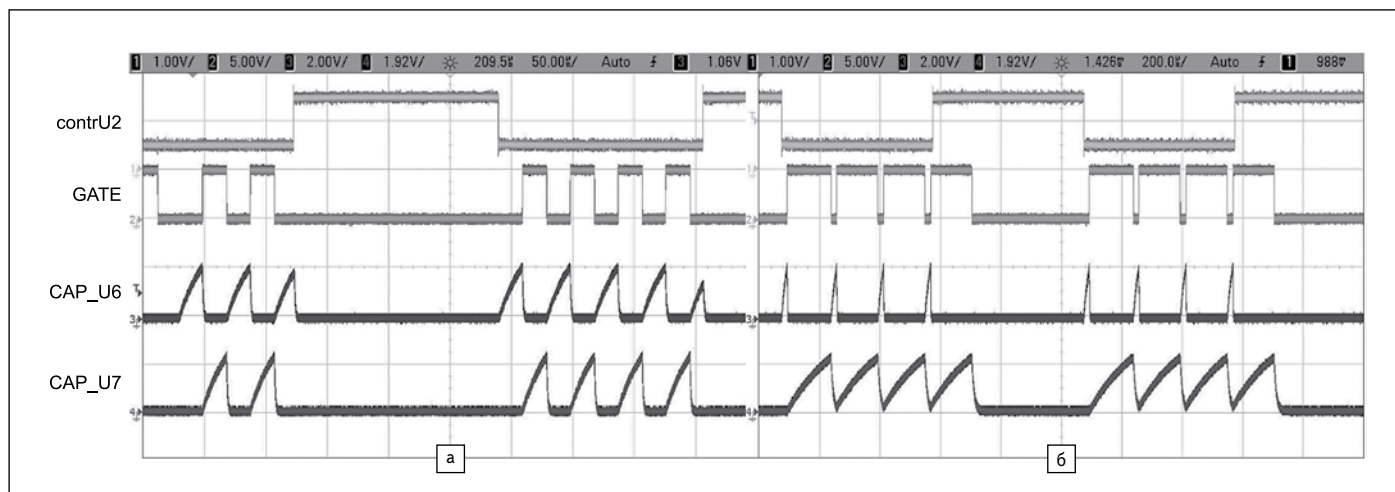


Рис. 6. Экспериментальное моделирование случаев возникновения нескольких сбоев в режимах работы защищаемой ИМС:  
а) время включения равно длительности защиты; б) время включения уменьшено, а длительность защиты увеличена

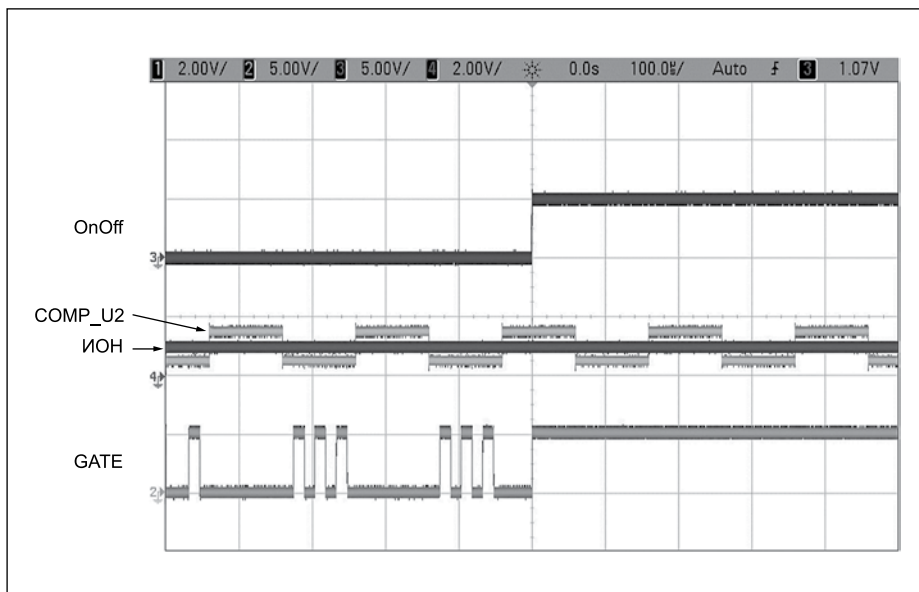


Рис. 7. Принудительное включение защиты сигналом OnOff

на примере блока импульсного понижающего DC/DC-регулятора 1393EY014.

## Литература

1. Василенков Н., Максимов А., Грабчиков С., Ластовский С. Специализированные радиационно-защитные корпуса // Электроника: НТБ. 2015. № 4.
2. Федоров Р. А. Микросхема управления модулем радиационной защиты // Нано- и микросистемная техника. 2014. № 6.
3. Федоров Р. А., Коняхин В. В. Микросхема защиты от тиристорного эффекта, Материалы конференции Intermatic-2016.
4. TRC15-460 Микросхема радиационной защиты. НПК «Технологический центр». [www.asic.ru/images/stories/prod/TCR15-460.pdf](http://www.asic.ru/images/stories/prod/TCR15-460.pdf)
5. Эннс В. В., Кобзев Ю. М., Корепанов И. В. Программируемая аналоговая микросхема КомПАС-1 (5400TP035) — основные характеристики и особенности применения // Электроника НТБ. 2016. № 7.
6. Эннс В. В., Кобзев Ю. М., Корепанов И. В. Разработка типовых решений аналоговой обработки с помощью программируемой пользователем аналоговой микросхемы КомПАС-1 // Компоненты и технологии. 2016. № 12.
7. Контроллер 1393EY014 понижающего импульсного преобразователя напряжения с интегрированным силовым ключом. [www.dcsouyuz.com/products1/dc-dc](http://www.dcsouyuz.com/products1/dc-dc)

## Заключение

МРЗ на базе 5400TP035 может быть запрограммирован на контроль параметров защищаемых произвольных блоков. При этом программирование происходит на стороне разработчика с использованием про-

грамматора и программного обеспечения, включающего возможность моделирования и автоматической трассировки. С использованием предложенного подхода стоимость разработки и время изготовления МРЗ существенно уменьшается. Построение МЗР на базе 5400TP035 успешно апробировано

## ГИБКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТЧИКОВ АППАРАТУРЫ



- Аналого-цифровые БМК и типовые решения на их основе: операционные усилители, компараторы, схемы обработки сигналов датчиков, супервизоры питания, линейные регуляторы напряжения, преобразователи физических величин, многоканальные АЦП/ЦАП различных архитектур, схемы обработки видеосигнала, многоканальные системы телеметрии и другие
- Программируемые пользователем микросхемы серии 5400
- Современные быстродействующие АЦП серии 5112
- Импульсные регуляторы напряжения серии 1393
- Температурные датчики серии 5306

[www.dcsouyuz.com](http://www.dcsouyuz.com)

Телефон: 8 (499) 995-25-18

Адрес: г. Зеленоград, корпус 100

e-mail: [mail@dcsouyuz.com](mailto:mail@dcsouyuz.com)

