

# Метод инъекции ошибок для оценки функциональных сбоев при воздействии ТЗЧ в микропроцессорных СБИС



И.О. Лоскутов,  
П.В. Некрасов,  
А.Б. Каракозов,  
А.Ю. Егоров,  
О.А. Калашников



# Функциональные сбои (ФС, SEFI): понятие

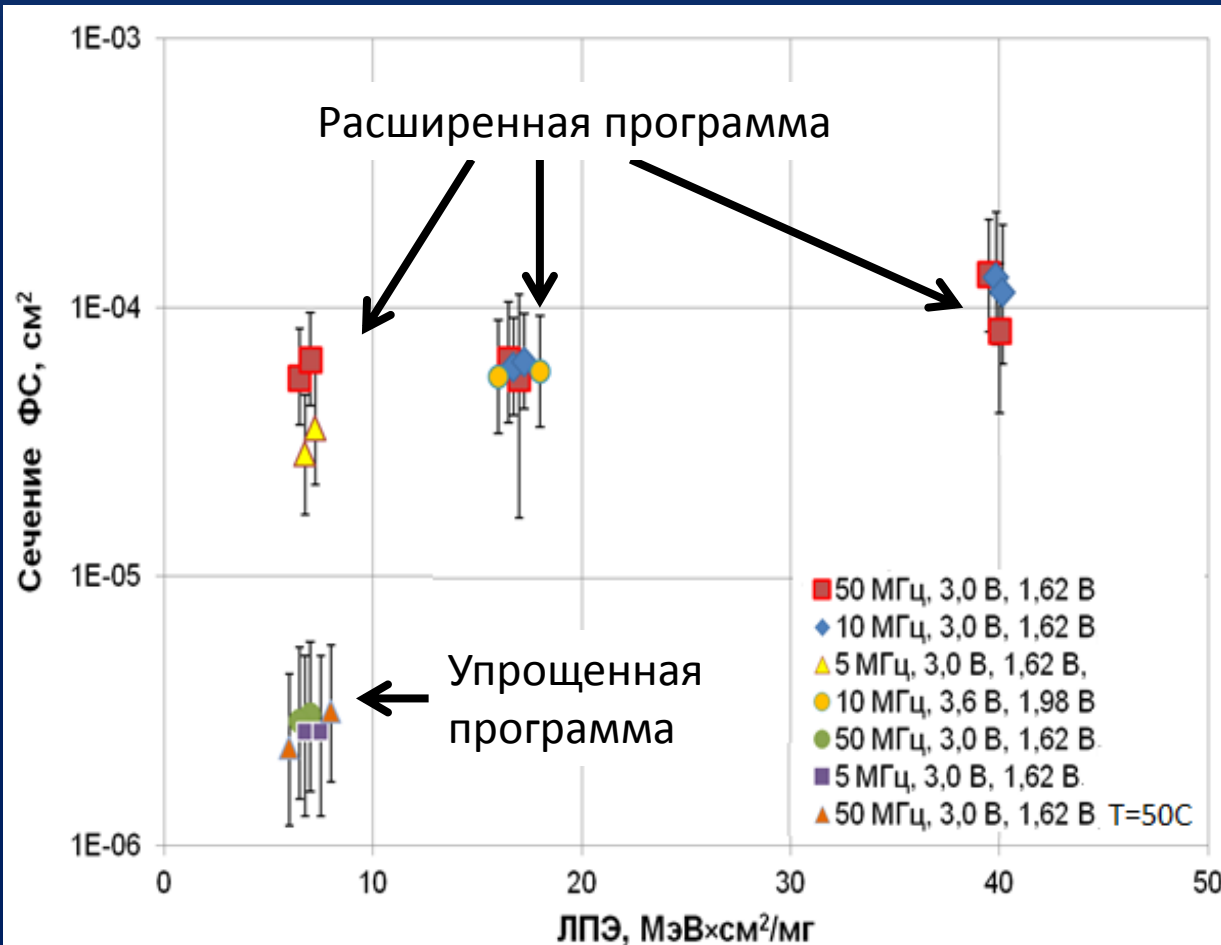
ФС (функциональный сбой) – инверсия логического состояния ячейки (ячеек) памяти или триггера (триггеров) управления, приводящая к нарушению работы МП СБИС.

## Проявление ФС:

а) самопроизвольный перезапуск (сброс) МП;  
б) прекращение выполнения заданной функции (зависание). Может сопровождаться изменением токов потребления.

Восстановление работоспособности после сброса устройства.

# Функциональные сбои: зависимость от режимов и условий работы микросхемы

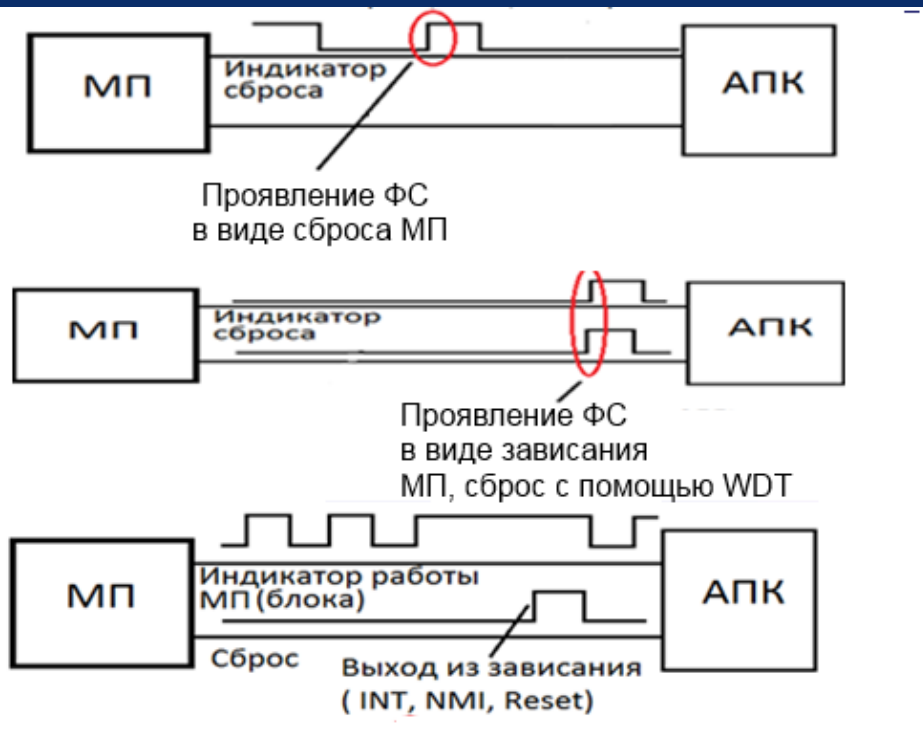


*Зависимость сечения ФС от ЛПЭ для МК PIC17  
в различных режимах и условиях работы*

1. Программа функционирования
2. Частота работы
3. Напряжение питания
4. Температура корпуса

# Трудности оценки ФС в эксперименте

## 1) Способы регистрации ФС.



- а) необходимость формирования индикатора сброса для контроля самопроизвольного сброса;
- б) контроль зависаний с помощью «сторожевого таймера»;
- в) необходимость формирования периодического сигнала для контроля зависаний, требующих внешнего перезапуска.

## 2) Регистрация ФС плохо поддается автоматизации

(контроль ФС типа «зависание», для которого требуется внешний перезапуск). Как следствие необходимо снижать поток ионов, что приводит к большим временным затратам.

# Инженерная модель расчета ФС

Возникновение ФС есть следствие возникновения ОС в различных элементах памяти МП и может быть выражено формулой:

$$\sigma_{\text{ФС}} = (\sigma_{\text{ОС}_{\text{РСН}}} N_{\text{РСН}} + \sigma_{\text{ОС}_{\text{ПП}}} N_{\text{ПП}} + \sigma_{\text{ОС}_{\text{ПД}}} N_{\text{ПД}})$$

где  $N$  – количество критичных бит в блоке памяти определенного типа, используемых в программе;

$\sigma_{\text{ОС}}$  – сечение ОС на бит в блоке памяти определенного типа;

$\sigma_{\text{ОС}}$  – величина, определяемая расчетно-экспериментальным методом.

$N$  – неизвестная величина. Количество критичных бит зависит от архитектуры МП СБИС и тестовой программы. Методы инъекции ошибок позволяют определить данный параметр для конкретного МП.

# Аппаратно-программные методы инъекции ошибок

Создание IP-блока инжектора ошибок для тестирования механизмов обнаружения и коррекции сбоев



Архитектура МП типа СНК с инжектором сбоев

Достоинства:

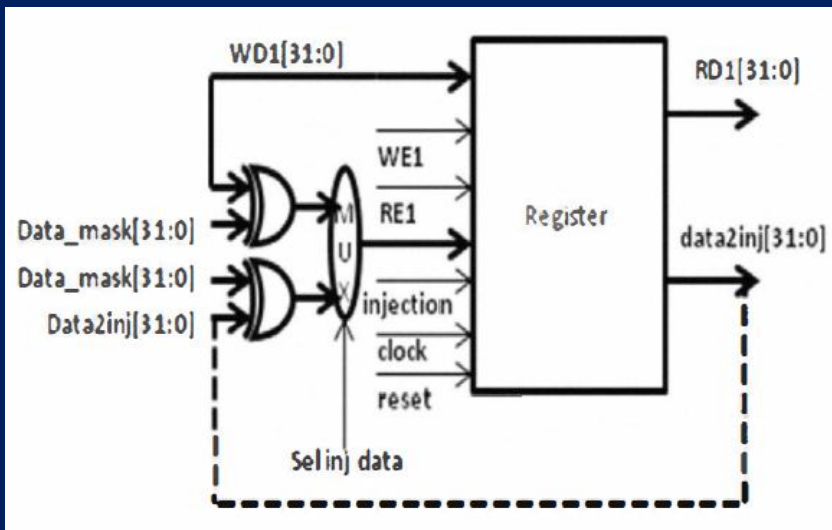
- 1) Автономное инжектирование сбоев;
- 2) Нет необходимости в специальной аппаратной избыточности кроме блока «инжектор сбоев»
- 3) Возможность программной симуляции, а так же возможность внедрения в готовое устройство

Недостаток:

Возможность создания инжектора сбоев только на этапе проектирования и создания СНК.

# Программные методы инъекции ошибок (fault injection)

Изменение HDL-кода устройства. Модификация регистров МП путем добавления мультиплексоров и элементов «исключающее или».



Архитектура модифицированного регистра

## Достоинства:

- 1) Программная симуляция устройства;
- 2) Возможности инъекции сбоя в любой момент времени;
- 3) Возможность внедрения сбоев во все типы памяти устройства.

## Недостатки:

- 1) Отсутствие HDL-модели у большинства отечественных МП СБИС;
- 2) При наличии HDL модели МП (например, LEON3), отсутствие реального МП для сравнения с экспериментом.

# Использование программного инжектора



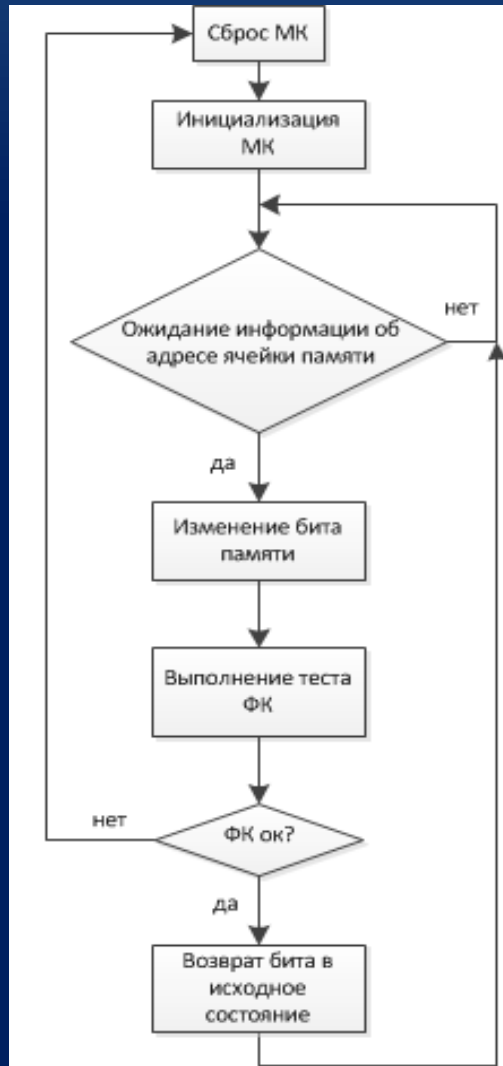
*Структура системы для инжекции ошибок*

## Функции аппаратно-программного комплекса:

- 1) Обеспечивать подачу питания;
- 2) Реализовывать внешнюю память программ;
- 3) Обеспечивать подачу внешних управляющих сигналов (CLK, RST);
- 4) Реализовывать связь с МК через интерфейсы UART, SPI, GPIO:
  - а) обеспечивать функциональный контроль тестируемого устройства;
  - б) отправлять информацию об адресе регистра и бите, который необходимо инвертировать



# Использование программного инжектора



*Блок-схема алгоритма работы программного инжектора*

Инициализация МК предусматривает формирование индикатора сброса с целью последующей регистрации ФС типа «самопроизвольный сброс».

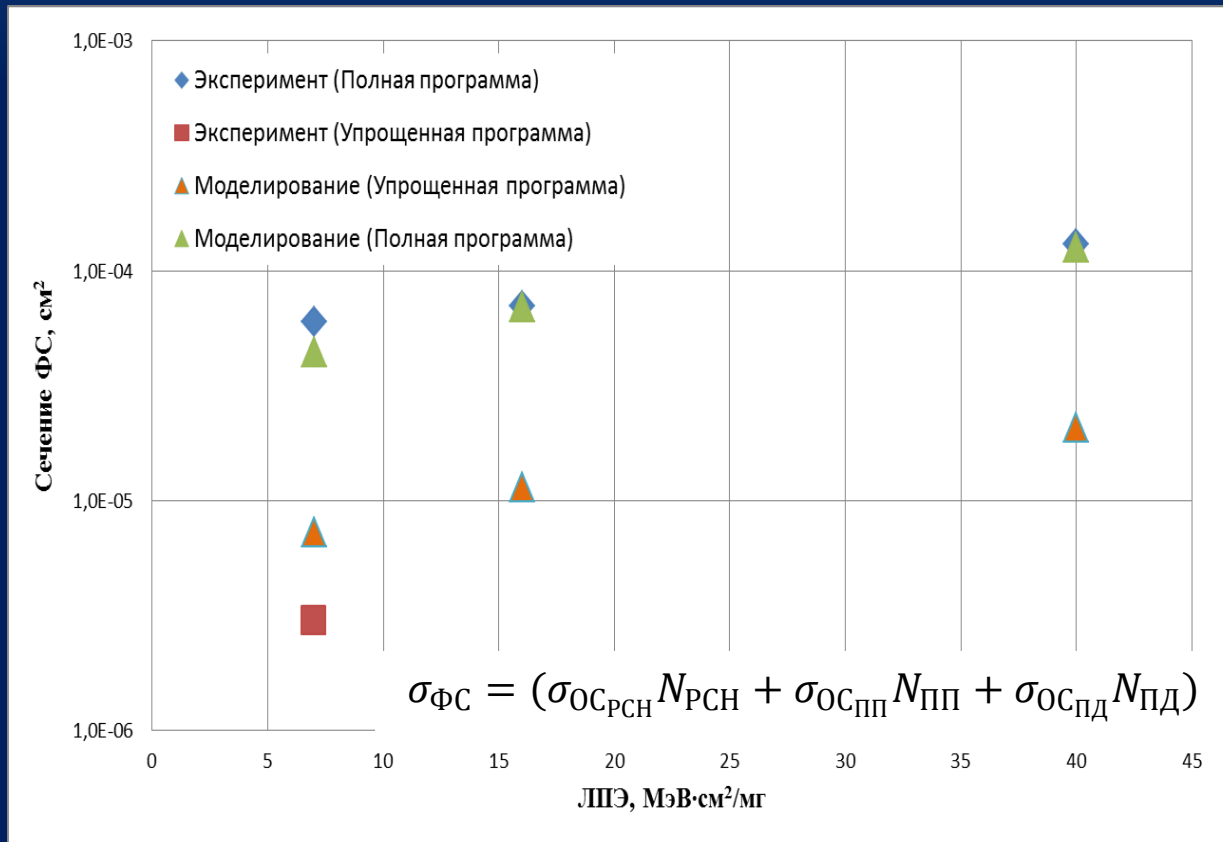
МК ожидает от АПК посылку с информацией о номере банка памяти, адресе регистра и номере бита, который необходимо изменить.

МК выполняет процедуру функционального контроля. Если АПК регистрирует сбой ФК (самопроизвольные сброс или зависание), то бит считается критичным, его адрес сохраняется в базе.

При успешном прохождении ФК управление передается программному инжектору, который возвращает значение инвертированного бита в исходное состояние и ожидает команды об инверсии другого бита.

Таким образом, производится проверка всей памяти данных и программ МК.

# Моделирование функционального сбоя в микроконтроллере PIC17



Сравнение расчетно-экспериментальной оценки сечения ФС и результатов моделирования с использованием инженерной модели

Количество критических бит по результатам моделирования:

Упрощенная программа:

$$N_{\text{РСН}} = 16,$$

$$N_{\text{ПД}} = 0,$$

$$N_{\text{ПП}} = 48.$$

Полная программа:

$$N_{\text{РСН}} = 66,$$

$$N_{\text{ПД}} = 1,$$

$$N_{\text{ПП}} = 596.$$

# Заключение

- Разработан программный инжектор с целью моделирования эффекта ФС;
- Проведено моделирование эффекта ФС на МК PIC17 и сравнение с экспериментальными данными.

## Направление дальнейших исследований

- Набор статистики по моделированию эффекта ФС в других МП СБИС;
- Исследование зависимости ФС от режимов работы функциональных блоков (ФБ) МП СБИС:  
ФС  $\rightarrow$  F (режим работы ФБ)
- Влияние частоты чтения или записи РСН и РОН на возникновение ФС.