

СРАВНЕНИЕ СБОЕУСТОЙЧИВЫХ СИНХРОННЫХ И САМОСИНХРОННЫХ СХЕМ

**Зацаринный А.А., Степченков Ю.А.,
Дьяченко Ю.Г., Рождественский Ю.В.**

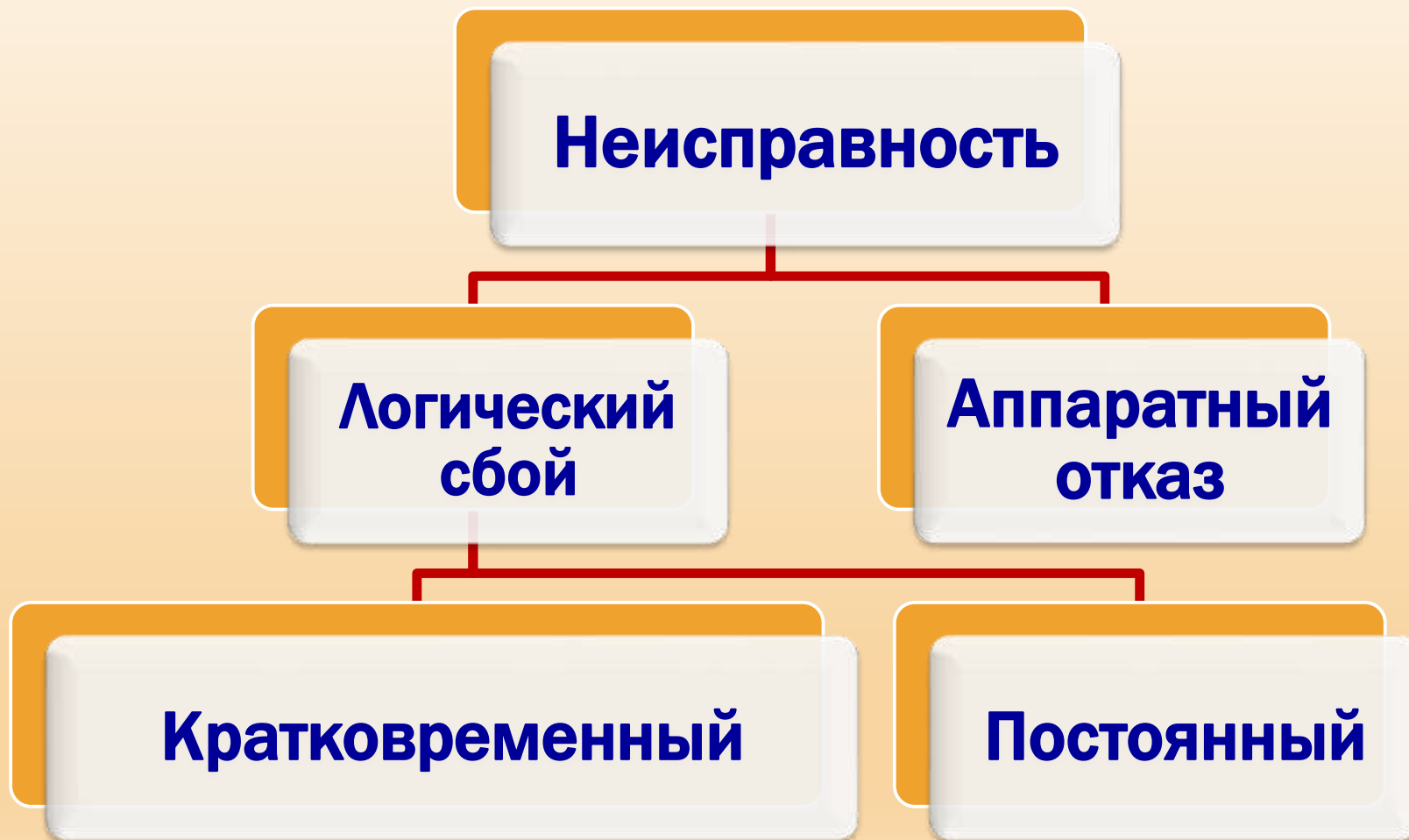


**Федеральный Исследовательский Центр
«Информатика и Управление»
Российской Академии Наук**

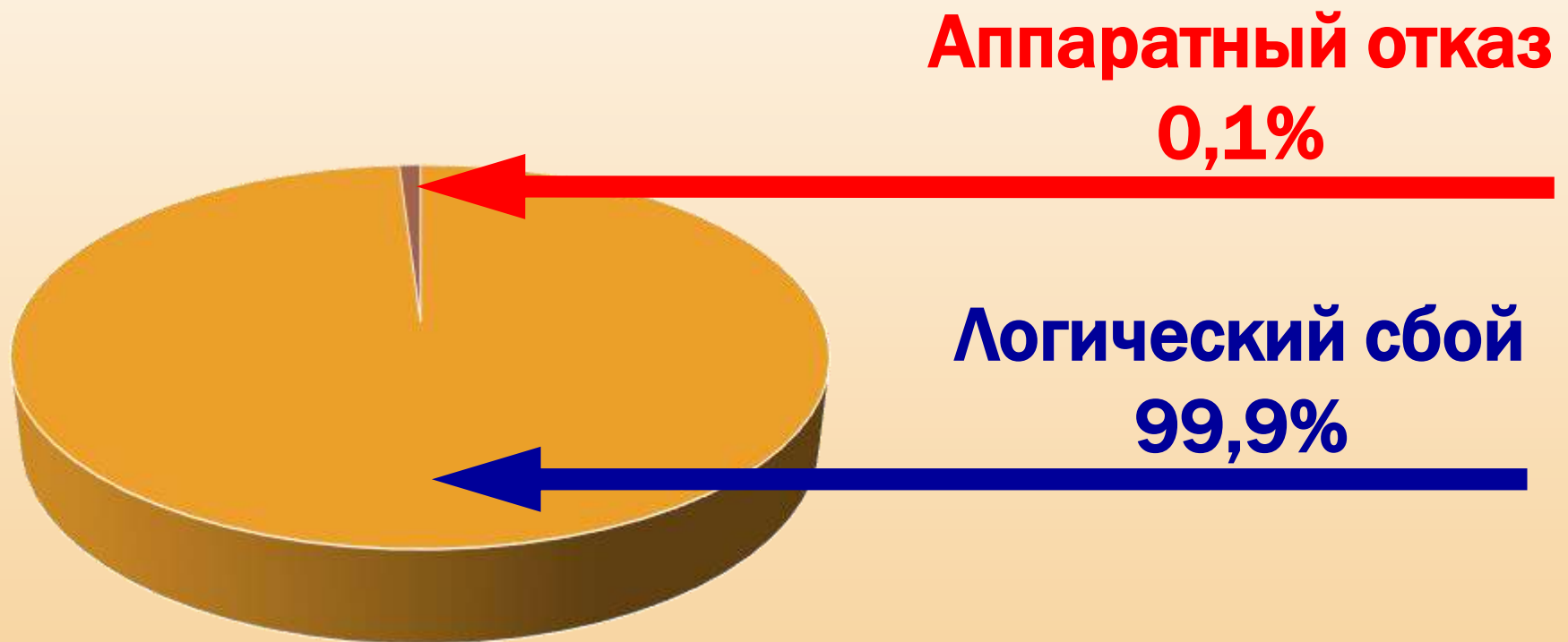
СОДЕРЖАНИЕ

- ▣ **Типы неисправностей**
- ▣ **Что такое «самосинхронные схемы» (СС-схемы)?**
- ▣ **Свойства СС-схем**
- ▣ **Сравнение сбоеустойчивости синхронных и СС-схем**
- ▣ **Заключение**

НЕИСПРАВНОСТИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ



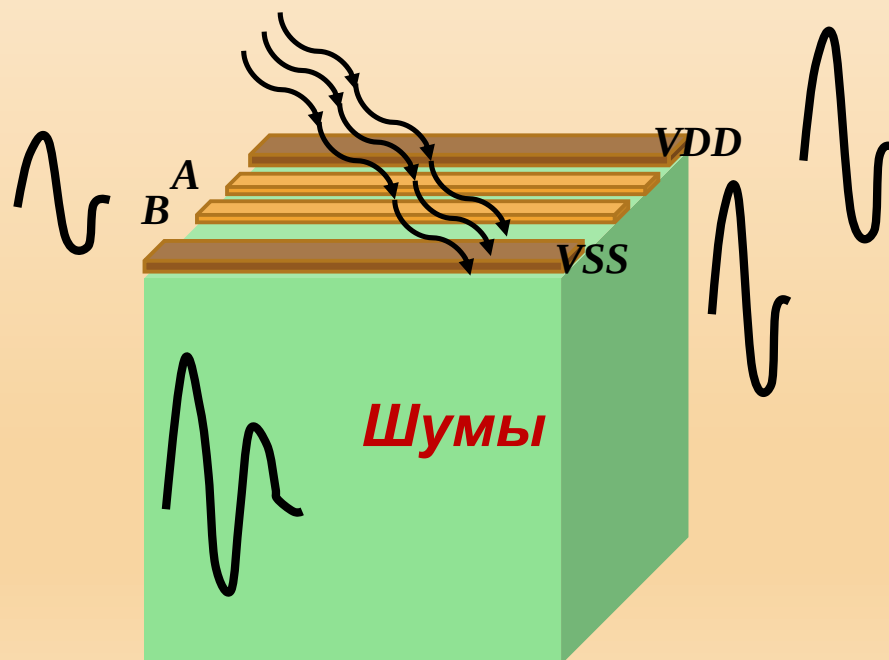
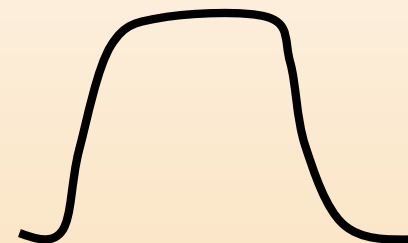
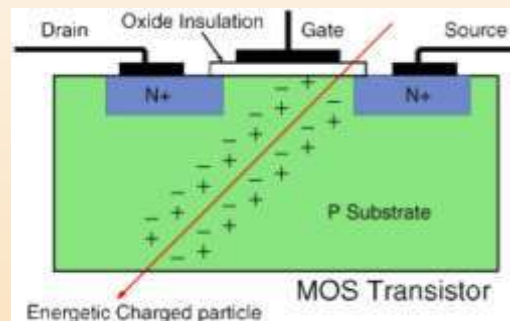
ИНТЕНСИВНОСТЬ НЕИСПРАВНОСТЕЙ



ИСТОЧНИКИ ЛОГИЧЕСКИХ СБОЕВ

- Ядерные частицы и космические лучи
- Электромагнитный импульс
- Наводки на сигнальных шинах
- Шумы на шинах питания
- Шумы по подложке

Ионизационный ток

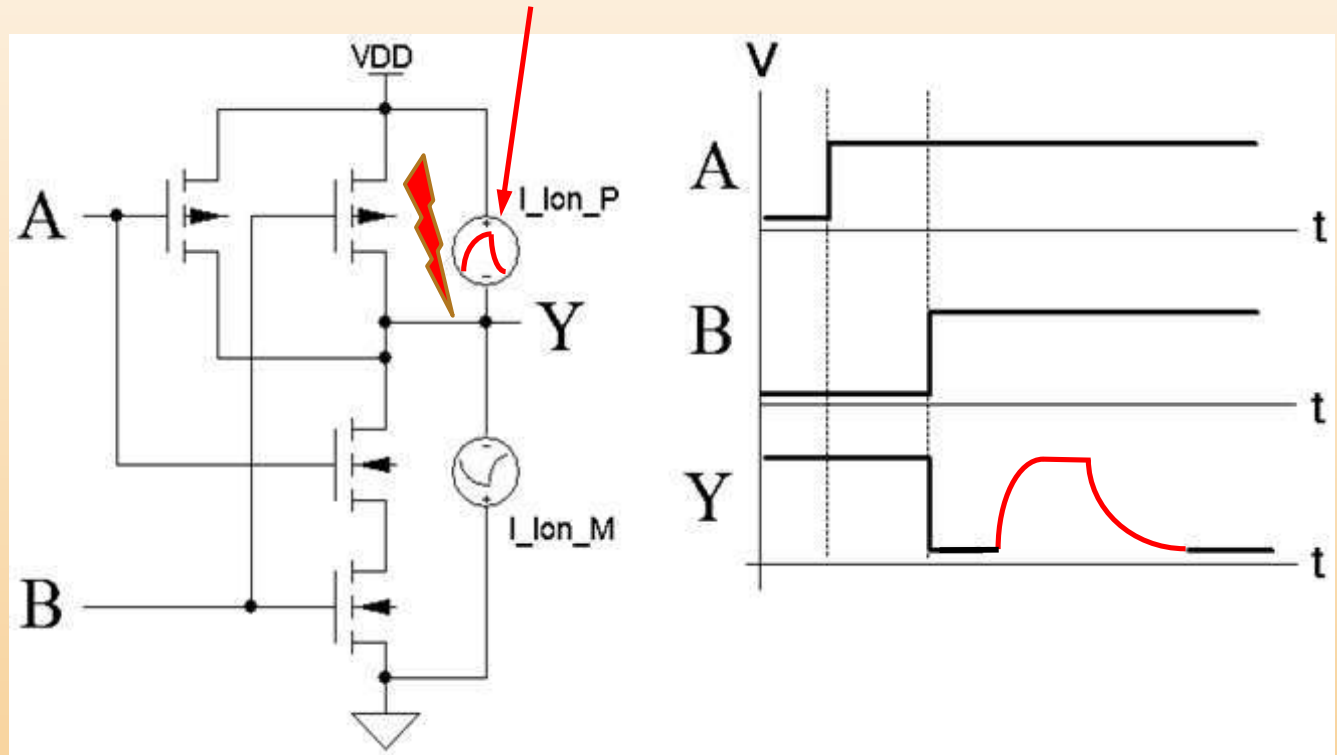


МЕХАНИЗМ ЛОГИЧЕСКОГО СБОЯ

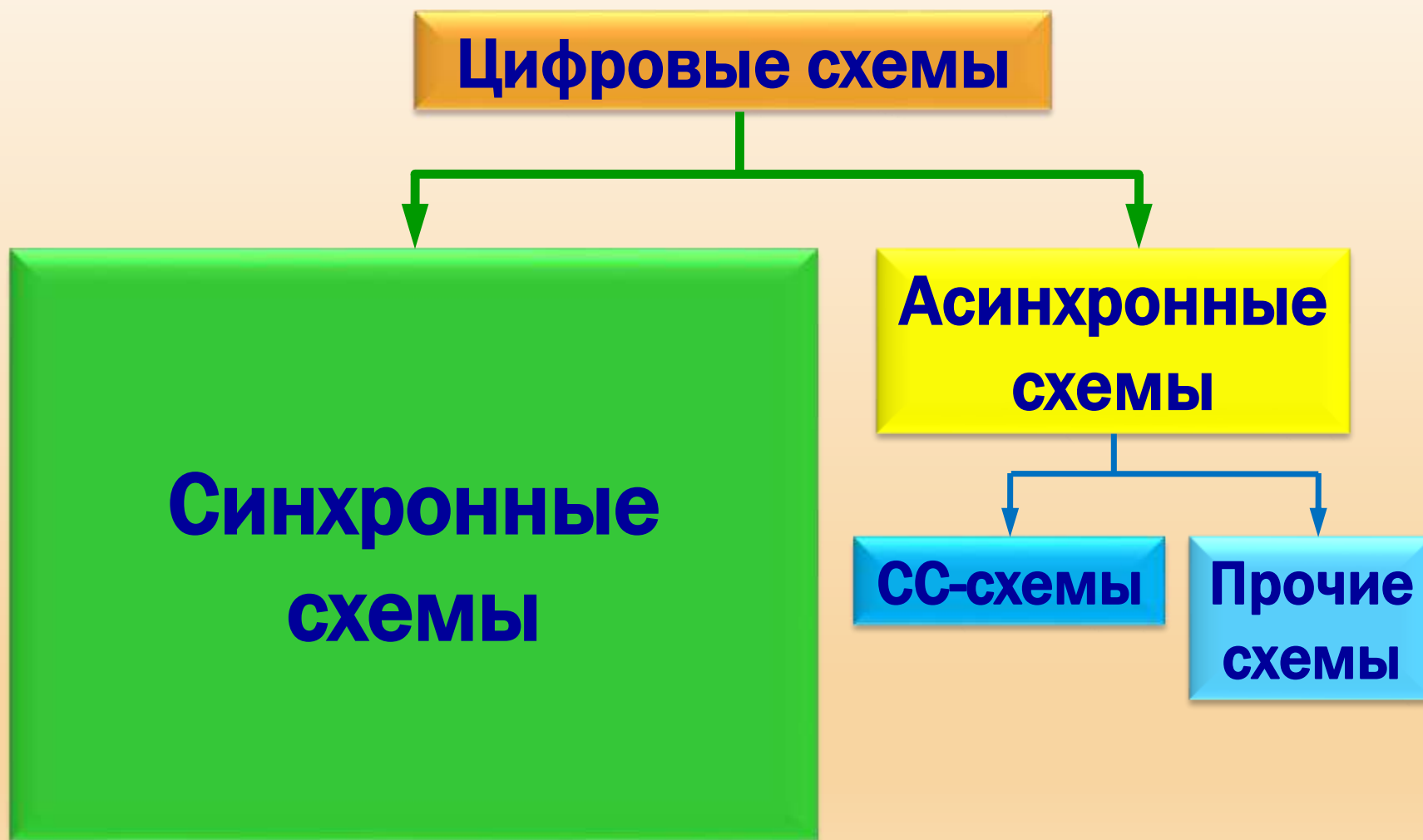
КМДП-схемы:

- ❖ Управление напряжением на затворе транзистора
- ❖ Порог переключения транзистора

Ионизационный ток



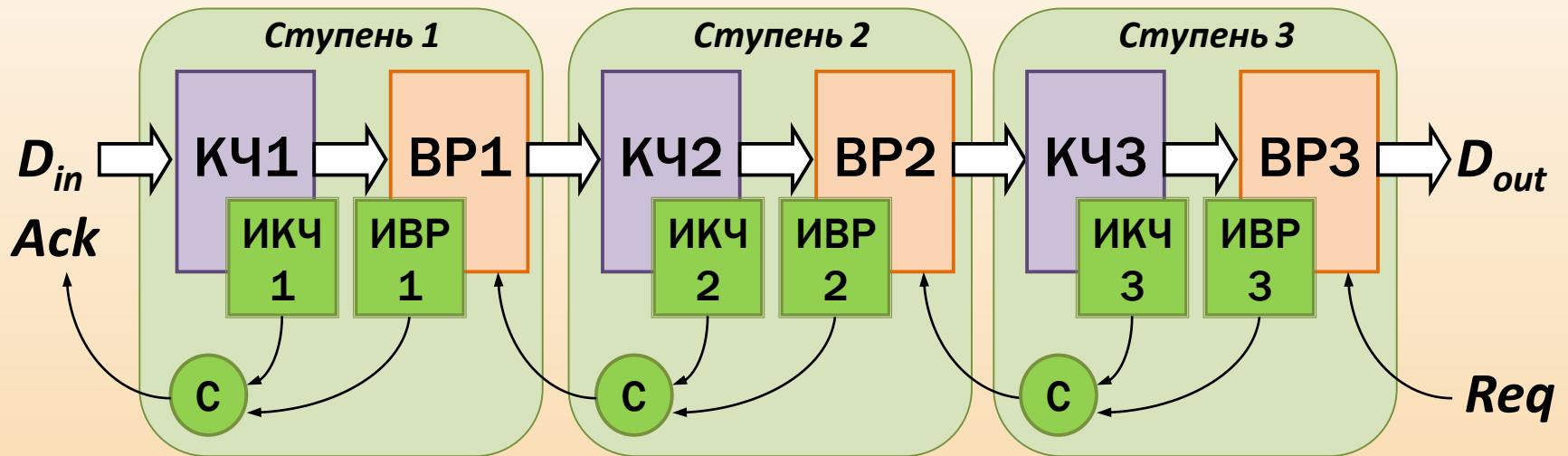
КЛАССИФИКАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СХЕМ



БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ СС-СХЕМ

- ❖ **Две фазы функционирования: рабочая и спейсер**
- ❖ **Подтверждение окончания переключения всех элементов схемы в каждой фазе**
- ❖ **Запрос-ответное взаимодействие соседних СС-устройств в тракте обработки данных**
- ❖ **Избыточное кодирование информационных сигналов (парафазное)**

СС-КОНВЕЙЕР



- ▣ **КЧ** – комбинационная часть,
- ▣ **ВР** – выходной регистр,
- ▣ **ИКЧ** – индикаторная подсхема КЧ,
- ▣ **ИВР** – индикаторная подсхема ВР,
- ▣ **С** – С-элемент Маллера (гистерезисный триггер):

$$Y^+ = I0 * I1 + Y * (I0 + I1)$$

ДИАГРАММА РАБОТЫ СС-КОНВЕЙЕРА



- ▣ **РФ** – рабочая фаза ступени конвейера,
- ▣ **СФ** – спейсерная фаза ступени конвейера

i -ой ступени конвейера разрешается переключение в РФ (СФ) только тогда, когда $(i+1)$ -ая ступень завершила переключение в СФ (РФ)

СВОЙСТВА СС-СХЕМ

■ **Преимущества:**

- ❖ Широкий диапазон работоспособности по напряжению питания и температуре
- ❖ 100%-ное обнаружение константных неисправностей
- ❖ Отсутствие аппаратных и энергетических затрат на реализацию «клокового дерева»
- ❖ Работа по реальным задержкам

■ **Недостатки:**

- ❖ Аппаратная избыточность (до 2,7 раз в комбинационных схемах и до 1,5 в триггерных)
- ❖ Дополнительное время на отработку спейсерной фазы

ИНТЕНСИВНОСТЬ СБОЕВ

Интенсивность сбоев λ в нерезервированной схеме:

$$\lambda = N_K \cdot \lambda_0 \cdot \alpha$$

N_K – число компонентов в схеме;

λ_0 – число воздействий, инициирующих сбой в одном компоненте, в единицу времени;

α – вероятность сбоя при повреждении одного компонента

Компонент = транзистор

СРАВНЕНИЕ СИНХРОННЫХ И СС-СХЕМ (1)

Отношение интенсивностей сбоев в
нерезервированной синхронной и СС-схеме:

$$K_I = \frac{\alpha_C}{A_R \cdot \alpha_{CC}} = \begin{cases} 1,19 \text{ для комбинационных} \\ \text{схем,} \\ 1,96 \text{ для триггерных схем} \end{cases}$$

A_R – коэффициент избыточности СС-схемы по
отношению к синхронному аналогу;

α_C, α_{CC} – вероятность сбоя при повреждении
одного компонента синхронной и СС-схемы

ПОВЫШЕНИЕ СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ (1)

Принципы вотирования “ M из N ”:

- ❖ **параллельная обработка данных в N идентичных каналах,**
- ❖ **выбор в качестве корректного результата, полученного не менее, чем в M каналах.**

ПОВЫШЕНИЕ СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ (2)

Дублирование схемы



Остановка схемы при несовпадении

ПОВЫШЕНИЕ СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ (3)

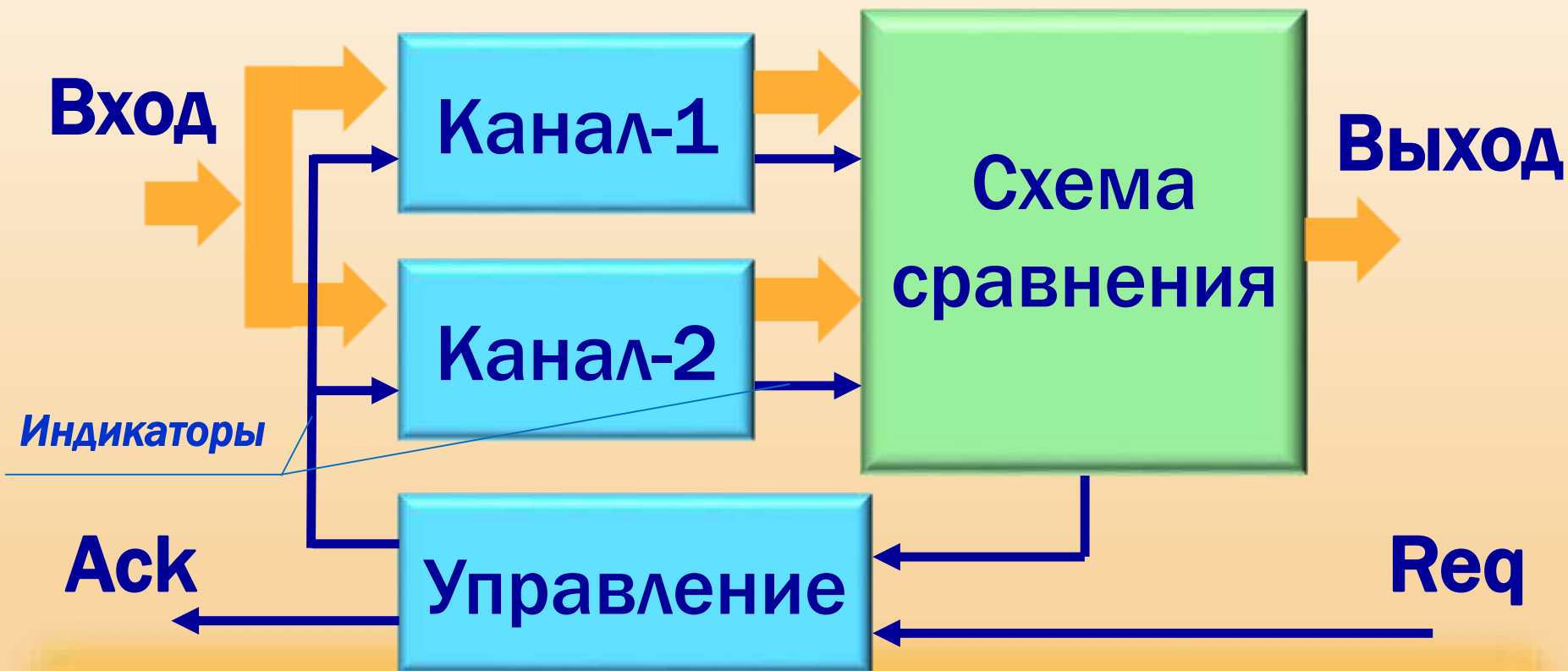
Мажоритирование схемы



Маскирование сбоя «на лету»

ПОВЫШЕНИЕ СБОЕУСТОЙЧИВОСТИ (4)

Дублирование СС-схемы



Маскирование сбоя после сравнения

НАДЕЖНОСТЬ СХЕМ С ВОТИРОВАНИЕМ (1)

Вероятность бесбойной работы схемы с
вотированием “М из N”:

$$R_{M_N} = \sum_{i=0}^{N-M} \left\{ \frac{N!}{i! \cdot (N-i)!} \cdot [1 - R(t)]^i \cdot R(t)^{N-i} \right\}$$

где $R(t)$ – вероятность бесбойной работы
одного канала

НАДЕЖНОСТЬ СХЕМ С ВОТИРОВАНИЕМ (2)

Вероятность бессбойной работы синхронной схемы с троированием (M=2, N=3):

$$R_{2_3} = 3 \cdot R_c(t)^2 - 2 \cdot R_c(t)^3$$

и СС-схемы с дублированием:

$$R_{1_2} = 2 \cdot R_{cc}(t) - R_{cc}(t)^2$$

НАДЕЖНОСТЬ СХЕМ С ВОТИРОВАНИЕМ (3)

Время бессбойной работы схемы:

$$T_{M_N} = \int_0^{\infty} R_{M_N}(t) dt$$

**Для синхронной схемы
с троированием:**

$$T_c = \frac{5}{6 \cdot N_c \cdot \lambda_0 \cdot \alpha_c}$$

**Для СС-схемы с
дублированием:**

$$T_{cc} = \frac{3}{2 \cdot N_{cc} \cdot \lambda_0 \cdot \alpha_{cc}}$$

НАДЕЖНОСТЬ СХЕМ С ВОТИРОВАНИЕМ (4)

Отношение времен бессбойной работы синхронной и СС схем:

$$K_T = \frac{T_{CC}}{T_C} = \frac{9 \cdot \alpha_C}{5 \cdot A_R \cdot \alpha_{CC}}$$

Для комбинационных схем:

$$K_{T_C} = 2,14$$

Для триггерных схем:

$$K_{T_T} = 3,53$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Синхронные схемы с троированием не обеспечивают защиту от часто повторяющихся одиночных и множественных сбоев
- В первом приближении дублированная СС-схема обладает в 2,1 – 3,5 раза лучшей устойчивостью к сбоям, чем троированный синхронный аналог
- Разработка новых программных средств моделирования сбоев в микроэлектронных компонентах позволит уточнить оценки сбоеустойчивости электронных схем и разработать более эффективные сбоеустойчивые решения

КОНТАКТЫ

- ▣ Адрес: Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук (ФИЦ ИУ РАН), Россия, 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корпус 2
- ▣ Директор: академик Соколов И.А.
- ▣ Телефон: +7 (495) 137 34 94
- ▣ Fax: +7 (495) 930 45 05
- ▣ E-mail: ISokolov@ipiran.ru
- ▣ Докладчик: Дьяченко Ю. Г., +7(495)381-45-21, diaura@mail.ru

Поддержка

Работа выполнена в рамках государственного задания
№ 0063-2019-0010