

Методы оптимизации схем кодирования на основе диаграмм двоичных решений для синтеза отказоустойчивых микро- и наноэлектронных схем

Жукова Татьяна Дмитриевна

Рыжова Дарья Игоревна

Гаврилов Сергей Витальевич



ИППМ РАН

Содержание

- **Актуальность**
- **Известные методы решения проблемы отказоустойчивости**
- **Предлагаемый подход**
- **Анализ логических корреляций**
- **Синтез схемы кодирования**
- **Метод оптимизации схем кодирования с учетом логических корреляций**
- **Результаты численных экспериментов для схем набора ISCAS**
- **Результаты и выводы**

Актуальность

С внедрением новой технологии происходит рост степени интеграции и уменьшение технологических размеров, что приводит к необходимости повышения надежности и отказоустойчивости интегральных схем в экстремальных условиях эксплуатации:

- технологические и радиационные помех и сбои;
- перекрестные помехи;
- деградации во времени;
- скачки напряжения питания и др.

Известные методы решения проблемы отказоустойчивости

- **Методы контроля и коррекции ошибок**

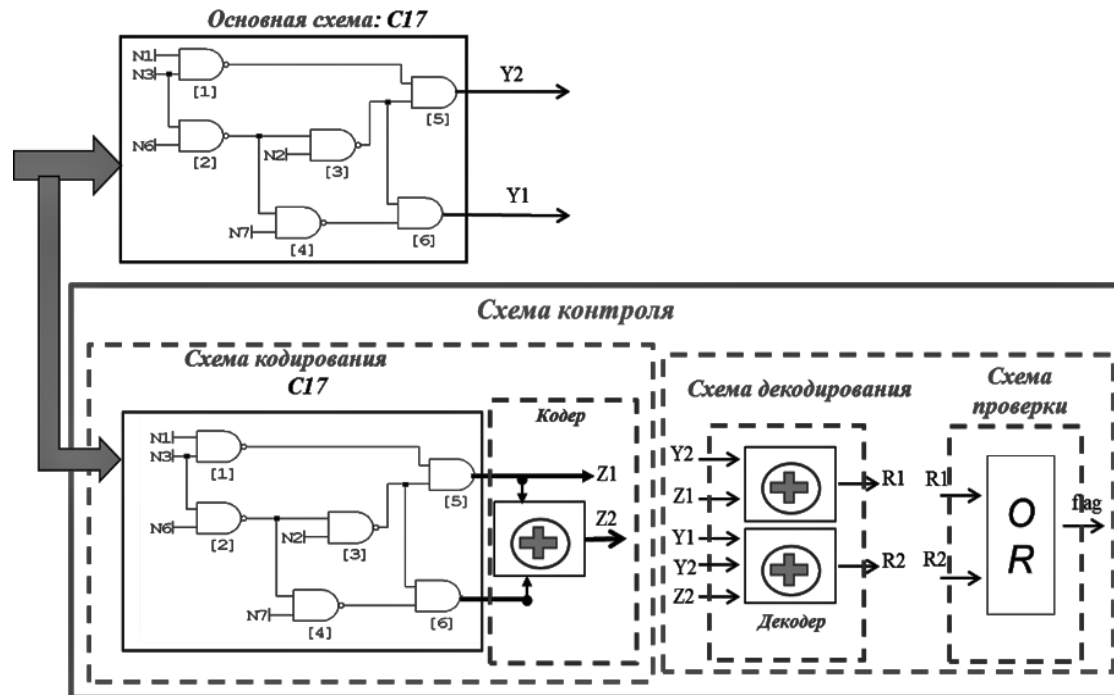
Методы избыточного кодирования, такие как контроль по четности или кодам Хэмминга, мажорирование и ряд других решений;

- **Методы резервирования**

Методы, основанные на контроле работоспособности и автоматической замене неисправных блоков резервными.

А.Бумагин, Ю.Гулин, С.Заводсков, В.Кривякин, А.Руткевич, В.Стешенко, А.Сухоруков, О.Шишкин.
Специализированные СБИС для космических применений: проблемы разработки и производства.
//Электроника НТБ. - 2010. - Вып. #1. - С. 50

Предлагаемый подход



Кодирование: добавление к схеме необходимого количества элементов XOR и объединение на них выходов схемы кодирования с помощью схемы коммутации.

Оптимизация: за счет выбора варианта коммутации на основе анализа логических корреляций на основе диаграмм двоичных решений.

Анализ логических корреляций

Для нахождения оптимального варианта коммутации необходимо учитывать логические корреляции, имеющие в своем составе хотя бы один из выходов.

Методы учета логических корреляций:

- Метод основанный на использовании простых логических импликаций (ПЛИ);
- Метод резолюций.

Стемпковский А.Л., Гаврилов С.В., Глебов А.Л. Анализ помехоустойчивости цифровых схем на основе метода резолюций // Электроника, Известия ВУЗов, 2004, № 6, С. 64-71.

Анализ логических корреляций

Метод резолюций – метод, позволяющий вывести новые булевы соотношения из заданного множества булевых соотношений.

Работает на схемах транзисторного уровня и не требует предварительной экстракции логической функции вентилей. Первоначальный набор ограничений в этом методе вытекает из условия равенства потенциалов истока и стока для всех проводящих МОП-транзисторов.

Для вывода новых ограничений используется следующее правило резолюции:

$$a \cdot B = 0, \bar{a} \cdot C = 0 \rightarrow B \cdot C = 0,$$

где B, C – произведения литералов.

Синтез схемы кодирования

Метод синтеза схемы кодирования зависит от:

1. Выбора образующего многочлена $g(x)$;
2. Размерности выходного вектора (числа информационных разрядов k);
3. Схемы коммутации, позволяющей обеспечить формирование соответствия между выходом исходной схемы и входом синтезируемой схемы кодирования.

Синтез схемы кодирования

В качестве примера будет рассмотрена комбинационная схема с пятью выходами

$$y = y_1, \dots, y_5.$$

В качестве образующего выбран примитивный многочлен

$$g^3(x) = x^3 + x + 1.$$

| | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| y_1 | y_2 | y_3 | y_4 | y_5 | z_1 | z_2 | z_3 | 1 0 1 1 |
| y_1 | 0 | y_1 | y_1 | | | | | $y_1 A1 B1 C1 D1$ |
| \oplus | $A1$ | $A2$ | $A3$ | y_5 | | | | |
| | $A1$ | 0 | $A1$ | $A1$ | | | | |
| | \oplus | $B1$ | $B2$ | $B3$ | z_1 | | | |
| | | $B1$ | 0 | $B1$ | $B1$ | | | |
| | | \oplus | $C1$ | $C2$ | $C3$ | z_2 | | |
| | | | $C1$ | 0 | $C1$ | $C1$ | | |
| | | | \oplus | $D1$ | $D2$ | $D3$ | z_3 | |
| | | | | $D1$ | 0 | $D1$ | $D1$ | |
| | | | | $E1$ | $E2$ | $E3$ | | |

Функциональная схема деления вектора, состоящего из вектора выходных сигналов схемы и вектора выходных сигналов схемы контроля, на образующий многочлен

Метод оптимизации схем кодирования с учетом логических корреляций

Данная схема обладает тремя выходами e, f, g .

В качестве образующего многочлена возьмем полином второй степени

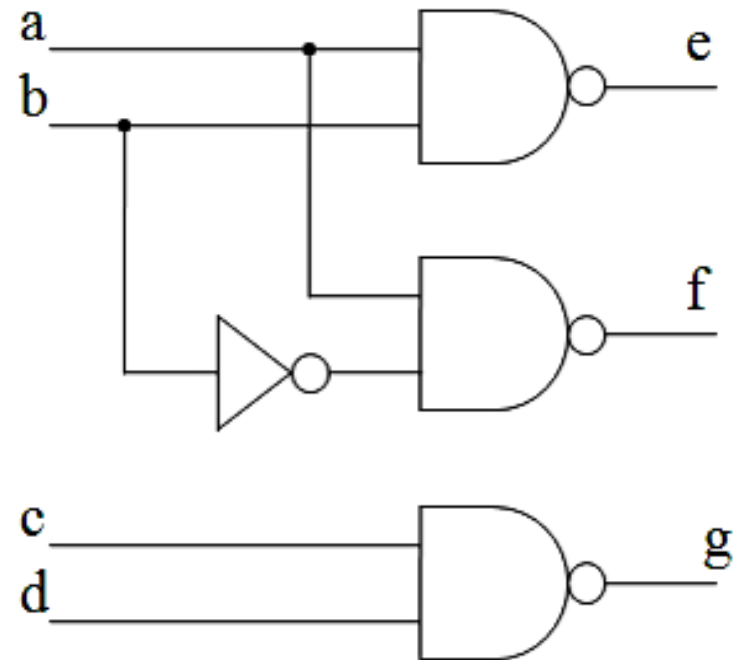
$$(x^2 + x + 1).$$

В результате схема кодирования будет выглядеть следующим образом:

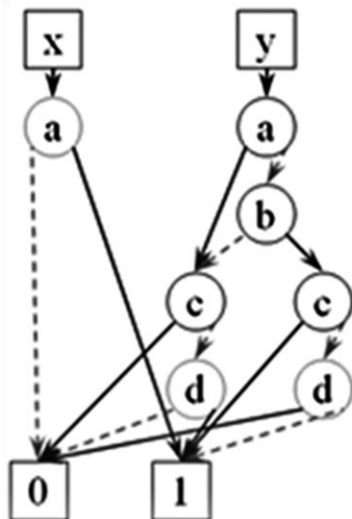
$$y = x_1 \oplus x_2,$$

$$z = x_2 \oplus x_3,$$

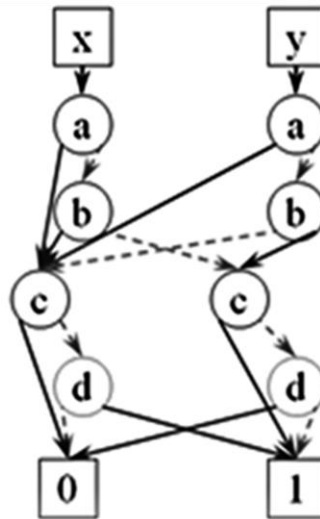
где \oplus – сложение по модулю два.



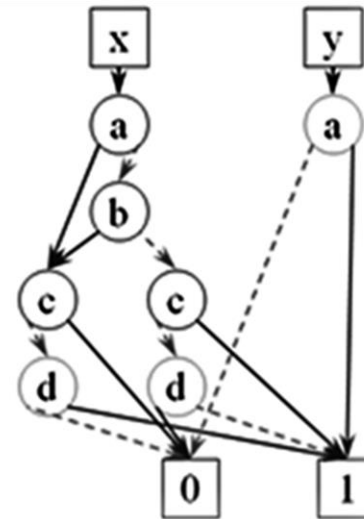
МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМ КОДИРОВАНИЯ С УЧЕТОМ ЛОГИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯЦИЙ



$x_1 = e,$
 $x_2 = f,$
 $x_3 = g;$



$x_1 = g,$
 $x_2 = e,$
 $x_3 = f;$



$x_1 = f,$
 $x_2 = g,$
 $x_3 = e.$

Для учета корреляций различных степеней предлагается следующая эвристическая формула:

$$S^*(o_i, o_j) = \sum_{k=1} n_k(o_i, o_j) \cdot 2^{-k},$$

где $S^*(o_i, o_j)$ - функция учета логических корреляций между i -м и j -м выходами схемы; n_k - число корреляций k -го порядка.

Результаты численных экспериментов для схем набора ISCAS

Оценка логических корреляций выходов схемы с17

| Выходы схемы с17 | Оценка логических корреляций |
|-------------------------|-------------------------------------|
| N22 | 7,875 |
| N23 | 7,25 |

Сравнение количества узлов в схеме кодирования с17, полученных после оптимизации на основе полинома 2-ой и 3-ей степеней

| Схема с17 | Количество узлов после оптимизации | |
|--|--|---|
| | 1011 ($x^3 + x + 1$) | 111 ($x^2 + x + 1$) |
| N22 \leftrightarrow F1 N23 \leftrightarrow F2 | 12 | 10 |
| N22 \leftrightarrow F2 N23 \leftrightarrow F1 | 13 | 13 |

Результаты численных экспериментов для схем набора ISCAS

Сравнение количества узлов после оптимизации при использовании метода мажорирования со схемой кодирования на основе полинома 2-ой степени

| Схема с432 | | Количество узлов после оптимизации | | Улучшение относительно мажорирования |
|------------|---|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| | | Мажорирование | 111 ($x^2 + x + 1$) | |
| 1 | N223 <-> F1 N329 <-> F4 N370 <-> F7 N421 <-> F2 N430 <-> F3 N431 <-> F5 N432 <-> F6 | 1836 | 1241 | 33,4% |
| 2 | N223 <-> F1 N329 <-> F2 N370 <-> F3 N421 <-> F4 N430 <-> F5 N431 <-> F6 N432 <-> F7 | | 1640 | 10,7% |
| 3 | N223 <-> F2 N329 <-> F3 N370 <-> F5 N421 <-> F1 N430 <-> F6 N431 <-> F4 N432 <-> F7 | | 1691 | 7,9% |

Результаты численных экспериментов для схем набора ISCAS

Сравнение количества узлов после оптимизации схемы кодирования на основе полинома 3-ой степени при разных вариантах коммутации

| Схема с432 | | | Количество узлов после оптимизации |
|------------|-------------|----------|------------------------------------|
| | | | $1011(x^3 + x + 1)$ |
| 1 | N223 <-> F5 | 13,5 - 2 | 1941 |
| | N329 <-> F6 | 13,5 - 3 | |
| | N370 <-> F7 | 12,5 - 2 | |
| | N421 <-> F1 | 2,25 - 1 | |
| | N430 <-> F4 | 6,56 - 2 | |
| | N431 <-> F2 | 3,56 - 1 | |
| | N432 <-> F3 | 3,06 - 1 | |
| 2 | N223 <-> F1 | 13,5 - 1 | 2010 |
| | N329 <-> F2 | 13,5 - 1 | |
| | N370 <-> F3 | 12,5 - 1 | |
| | N421 <-> F4 | 2,25 - 2 | |
| | N430 <-> F5 | 6,56 - 3 | |
| | N431 <-> F6 | 3,56 - 2 | |
| | N432 <-> F7 | 3,06 - 2 | |
| 3 | N223 <-> F1 | 13,5 - 1 | 2268 |
| | N329 <-> F2 | 13,5 - 1 | |
| | N370 <-> F3 | 12,5 - 1 | |
| | N421 <-> F5 | 2,25 - 3 | |
| | N430 <-> F4 | 6,56 - 2 | |
| | N431 <-> F6 | 3,56 - 2 | |
| | N432 <-> F7 | 3,06 - 2 | |

Выводы и результаты

- Показано, что на размер итоговой схемы влияет не только переупорядочивание входов, как в случае стандартной BDD, но и порядок коммутации выходов в схеме кодирования.
- Предложен метод оптимизации схем кодирования за счет выбора варианта коммутирования выходов дубликата основной схемы на основе результатов анализа логических корреляций.
- Получены результаты численных экспериментов для схем из набора ISCAS'85 при построении схемы кодирования.
- Проведено сравнение количества узлов после оптимизации при использовании метода мажорирования со схемой кодирования на основе полинома второй степени, выигрыш после оптимизации составляет от 8 до 33%.