

МЕТОД СИНТЕЗА САМОПРОВЕРЯЕМЫХ ДИСКРЕТНЫХ УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ РАВНОВЕСНЫХ КОДОВ «1 из 4» и «3 из 4»

Д. В. ЕФАНОВ

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Е. И. ЕЛИНА

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация
Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Российская Федерация*

При использовании дискретных устройств в системах критического применения важнейшими показателями являются показатели надежности и безопасности их функционирования. Требуется обеспечивать реализацию заданных алгоритмов работы с требуемой вероятностью, а также безопасное поведение при отказах [1]. Центральное место в этой связи занимают технические средства, позволяющие своевременно зафиксировать отказы компонентов дискретных устройств, что, в свою очередь, открывает и пути к эффективному парированию их проявлений [2]. Целый класс дискретных устройств, неисправности в которых обнаруживаются в процессе их нормального функционирования, составляют самопроверяемые дискретные устройства [3, 4].

Теория синтеза самопроверяемых дискретных устройств развивается примерно с 60-х годов прошлого столетия, и известно большое число методов синтеза полностью и частично самопроверяемых дискретных устройств. Во всем мире широко применяют методы дублирования и контроля вычислений по паритету [5]. Естественно, они имеют свои достоинства и недостатки. Основным недостатком дублирования является невозможность и даже бессмысленность учета особенностей структуры объекта диагностирования и различных моделей неисправностей для покрытия вызываемых ими ошибок на выходах. Основным недостатком же метода паритета является невозможность покрытия полного множества ошибок на выходах устройств и пропуск любой ошибки с четной кратностью. Поэтому во всем мире разработаны и разрабатываются методы синтеза самопроверяемых дискретных устройств, в основе которых лежат помехозащищенные блочные коды с малой избыточностью, позволяющие вносить невысокую структурную избыточность в схемы встроенного контроля (СВК) и парировать требуемые ошибки на выходах объектов диагностирования.

Одним из классов равномерных блочных кодов, широко используемых при синтезе самопроверяемых дискретных устройств, является класс равновесных кодов [3–5]. Множество кодовых слов равновесных кодов образуется путем объединения всех кодовых слов заданной длиной n с одинаковым весом $r \leq n$. Число кодовых слов равновесных кодов равно C_n^r . Равновесные коды обозначают как коды « r из n », или просто как r/n -коды.

В [6] описан метод синтеза СВК для дискретных устройств, подразумевающий использование свойств равновесных кодов. Он заключается в том, что информационные символы, формируемые на выходах объекта диагностирования, дополняются контрольными символами таким образом, чтобы итоговое кодовое слово, формируемое на параллельных выходах объекта диагностирования и контрольного блока при подаче на входы каждого из наборов значений аргументов, принадлежало выбранному r/n -коду. Для кодового вектора из m разрядов, формируемого на выходах объекта диагностирования, определяются значения r_{\min} и r_{\max} – минимальное и максимальное значения веса кодовых слов. Тогда при синтезе СВК потребуется дополнительно вычислить $(r_{\max} - r_{\min})$ контрольных функций. На практике это приводит, порой, к использованию r/n -кодов с большими значениями n , имеющими сложные тестеры и, как следствие, к более сложным процедурам обеспечения их полной проверки при эксплуатации. В ряде случаев не удастся добиться подачи полного множества тестовых комбинаций на тестеры.

Исследования авторов настоящей работы показали, что при синтезе самопроверяемых дискретных устройств могут использоваться сразу же два и более равновесных кодов, что позволяет добиться сокращения числа дополнительных сигналов, использования более простых тестеров и снижения показателей структурной избыточности конечных устройств. О таких кодах, названных

авторами композициями равновесных кодов, можно дополнительно почитать в [7]. Авторами настоящей работы образованы композиции равновесных кодов, наиболее простой из которых является композиция кодов 1/4 и 3/4. Ее использование позволяет синтезировать СВК для дискретных устройств по структуре, приведенной на рисунке 1. Она организуется для группы из трех выходов объекта диагностирования $F(X) - f_1(X), f_2(X)$ и $f_3(X)$, где $\langle X \rangle$ обозначает набор значений аргументов. Так как во множество кодовых слов композиции кодов 1/4 и 3/4 входят кодовые слова с весом $r = 1$ и $r = 3$, достаточно дополнить сигналы, формируемые на выходах объекта диагностирования, всего одним сигналом $g(X)$, вычисляемым блоком контрольной логики $G(X)$. Любой вектор $\langle f_3(X) f_2(X) f_1(X) \rangle$ преобразуется в кодовое слово, принадлежащее композиции кодов 1/4 и 3/4, с использованием всего одного дополнительного сигнала. Для контроля принадлежности кодового слова $\langle g(X) f_3(X) f_2(X) f_1(X) \rangle$ композиции кодов 1/4 и 3/4 устанавливается тестер данной композиции, имеющий простейшую структуру (рисунок 2, на рисунке $\langle Y \rangle = \langle y_4 y_3 y_2 y_1 \rangle$), требующую для полной проверки всего четырех комбинаций из множества $\{1000, 0010, 1101, 0111\}$ или $\{0001, 1011, 0100, 1110\}$.

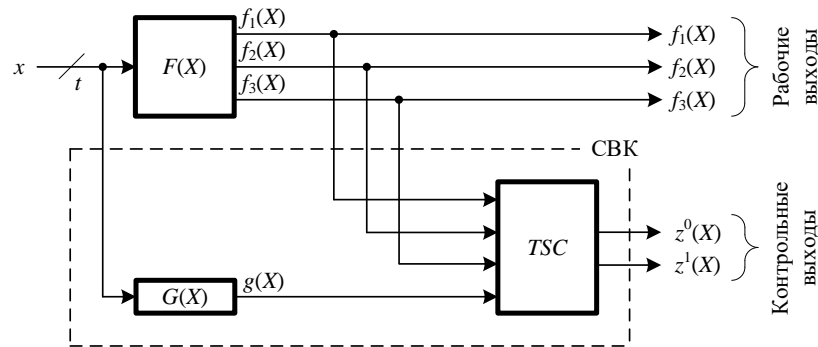


Рисунок 1 – Базовая структура организации СВК

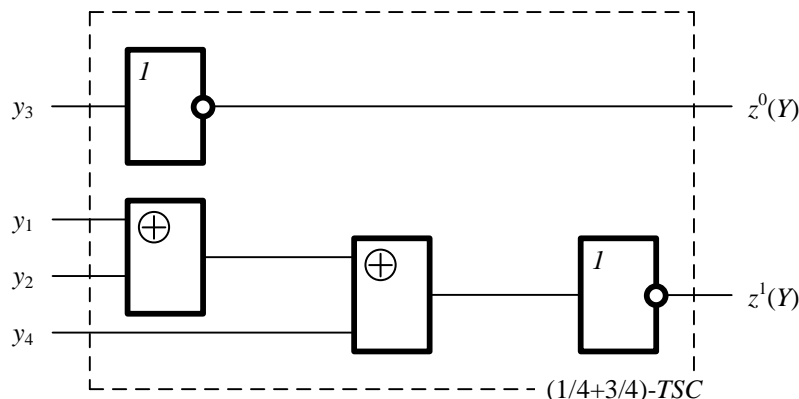


Рисунок 2 – Простейшая структура тестера композиции кодов 1/4 и 3/4

Использование структуры, приведенной на рисунке 1, и композиции равновесных кодов 1/4 и 3/4 позволяет на практике синтезировать более простые самопроверяемые дискретные устройства, чем при использовании дублирования и отдельных равновесных кодов. Поэтому следование такому методу синтеза самопроверяемых дискретных устройств может оказаться эффективным при построении высоконадежных систем критического применения.

Список литературы

- 1 Гавзов, Д. В. Методы обеспечения безопасности дискретных систем / Д. В. Гавзов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1994. – № 8. – С. 3–50.
- 2 Пархоменко, П. П. Основы технической диагностики (оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства) / П. П. Пархоменко, Е. С. Согомонян. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.
- 3 Согомонян, Е. С. Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.
- 4 Сапожников, В. В. Самопроверяемые дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.

5 New Methods of Concurrent Checking: Edition 1 / M. Göessel, V. Ocheretny, E. Sogomonyan, D. Marienfeld. – Dordrecht : Springer Science+Business Media B. V., 2008. – 184 p.

6 Слабаков, Е. В. Построение полностью самопроверяемых комбинационных устройств с использованием равновесных кодов / Е. В. Слабаков, Е. С. Согомонян // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 9. – С. 173–181.

7 Ефанов, Д. В. Композиции двух равновесных кодов с ортогональными по всем разрядам комбинациями для синтеза самопроверяемых дискретных устройств / Д. В. Ефанов // Проблемы управления. – 2025. – № 3. – С. 49–62.

УДК 004.052.32+681.518.5

СПОСОБ СИНТЕЗА КОДЕРОВ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ КОДОВ В ВИДЕ КОМБИНАЦИОННЫХ ЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

Д. В. ЕФАНОВ

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Российская Федерация
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Ташкентский государственный транспортный университет, Республика Узбекистан

Д. В. ПИВОВАРОВ

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,
Российская Федерация*

Полиномиальные, или алгебраические, коды широко применяются в сетях передачи данных, а также при построении дискретных устройств с обнаружением неисправностей и ошибок в вычислениях [1–5]. Существует большое разнообразие способов построения полиномиальных кодов с различными свойствами обнаружения ошибок различных видов (по числу сочетаний искажений нулевых и единичных разрядов) и кратностей в информационных символах кодовых слов [6, 7]. Характеристики обнаружения ошибок конкретным полиномиальным кодом определяются использованным при его построении порождающими полиномом.

При кодировании данных и получении кодовых слов полиномиальных кодов повсеместно применяются сдвиговые регистры, реализуемые на основе устройств, запоминающих сигналы (как правило, D-триггеры), функционирующих в несколько тактов [8]. Это обстоятельство усложняет применение данного класса кодов при синтезе самопроверяемых дискретных устройств, где требуется вычисление проверочных символов в схемах встроенного контроля в один такт работы [9]. В противном случае изменяются принципы тестирования устройств, и требуется использование не тестовых комбинаций, а тестовых последовательностей [10]. Поэтому возникает задача разработки способа реализации кодеров полиномиальных кодов в виде комбинационных схем.

Исследования авторов настоящей работы позволили установить, что функцию, описывающую каждый проверочный символ любого полиномиального кода с произвольным числом информационных символов, можно получить следующим образом [11, 12]:

1 Задаются числом m информационных символов, для которых требуется построить полиномиальный код, а также порождающим полиномом степени k (здесь есть одно ограничение – степень порождающего полинома должна быть меньше числа информационных символов: $k < m$).

2 Формируют полное множество кодовых слов равновесных кодов «1 из m » (его мощность равна $C_m^1 = m$), соответствующих информационным векторам, составленным из информационных символов.

3 Для каждого кодового слова кода «1 из m » определяются значения проверочных символов путем деления информационного вектора на порождающий полином.

4 Составляются формулы для контрольных функций, описывающих разряды проверочных символов кодовых слов: если значение проверочного символа равно 1, то в формулу включается i -й информационный символ, иначе не включается; информационные символы в формулах записываются через знак операции сложения по модулю 2 (XOR).

К примеру, получим формулы, описывающие разряды проверочных символов кодовых слов полиномиального кода с $m = 5$ и с порождающим полиномом $y^2 + y + 1$. В таблице 1 приведено множество кодовых слов равновесного кода «1 из 5», а также соответствующие им контрольные векторы, полученные путем деления информационных векторов на порождающий полином. В первой графе приведены указания на информационные символы, которые равны единице в информацион-