

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 бессмыслица 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 блоковые 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 блоковых 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 « g 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 удается 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 $\{0001, 1011, 0100, 1110\}$.

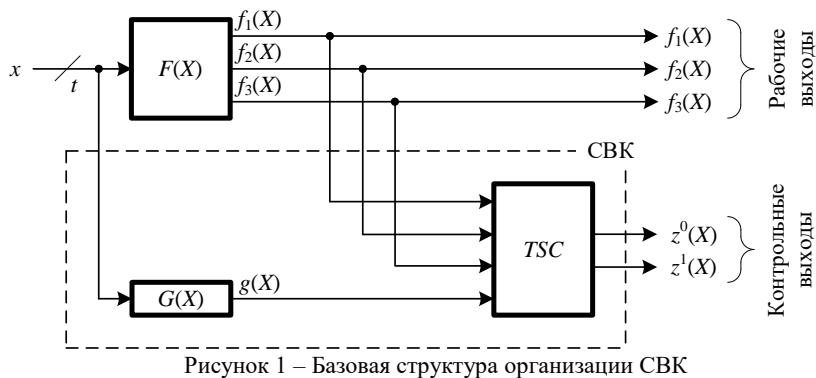


Рисунок 1 – Базовая структура организации СВК

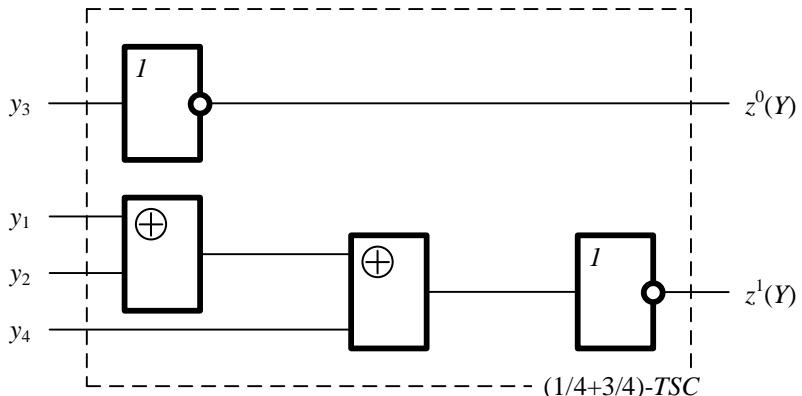


Рисунок 2 – Простейшая структура тестера композиции кодов 1/4 и 3/4

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, аппаратурные 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 порождающим 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-