

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-

ных векторах и которые будут присутствовать в формулах, описывающих проверочные символы кодовых слов полиномиальных кодов. У полиномиального кода, полученного при использовании порождающего полинома $y^2 + y + 1$, будет два проверочных символа g_1 и g_2 , определяемых по формулам:

$$\begin{cases} g_1 = x_1 \oplus x_3 \oplus x_4, \\ g_2 = x_2 \oplus x_3 \oplus x_5. \end{cases}$$

Используя полученные формулы, можно легко синтезировать кодер полиномиального кода в виде комбинационной схемы. В отличие от используемого ранее способа получения контрольных функций, требующего рассмотрения полного множества информационных векторов, расчета значений контрольных функций полиномиальных кодов на каждом из них и формирования по полученным значениям алгебраической формы записи контрольных функций, в предложенном авторами способе требуется рассмотрение всего m информационных векторов и не требуется анализа значений функций на каждом наборе аргументов при составлении алгебраического выражения для контрольных функций. С ростом значения m трудоемкость способа растет линейно.

Таблица 1 – Множество кодовых слов для получения контрольных функций полиномиального кода

x_i	$\langle x_5 x_4 x_3 x_2 x_1 \rangle$	$\langle g_2 g_1 \rangle$	x_i	$\langle x_5 x_4 x_3 x_2 x_1 \rangle$	$\langle g_2 g_1 \rangle$
x_1	00001	01	x_4	01000	01
x_2	00010	10	x_5	10000	10
x_3	00100	11			

Применение разработанного способа синтеза кодеров полиномиальных кодов в виде комбинационных схем позволяет упростить процедуру синтеза самопроверяемых дискретных устройств, в том числе установить условия обеспечения формирования полного множества тестовых комбинаций для кодеров в процессе их эксплуатации в составах схем встроенного контроля, а также выделить некоторые особые классы полиномиальных кодов, например, обладающих свойством самодейственности каждой контрольной функции [11, 12]. Это, в свою очередь, открывает пути использования полиномиальных кодов при синтезе самопроверяемых дискретных устройств с контролем вычислений по нескольким диагностическим признакам [13, 14], что может оказаться эффективным при реализации надежных систем управления ответственными технологическими процессами.

Список литературы

- 1 **Sellers, F. F.** Error Detecting Logic for Digital Computers / F. F. Sellers, M.-Y. Hsiao, L.W. Bearson. – New York : McGraw-Hill, 1968. – XXI + 295 p.
- 2 **Hamming, R. W.** Coding and information theory / R.W. Hamming. – 2nd ed. Englewood Cliffs. – NJ : Prentice-Hall, 1985. – 259 p.
- 3 **Fujiwara, E.** Code Design for Dependable Systems: Theory and Practical Applications / E. Fujiwara. – John Wiley & Sons, 2006. – 720 p.
- 4 **Сагалович, Ю. Л.** Введение в алгебраические коды / Ю. Л Сагалович ; Ин-т проблем передачи информации им. А. А. Харкевича Российской академии наук. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ИППИ РАН, 2010 – 302 с.
- 5 Novel Methods for Synthesizing Self-Checking Combinational Circuits by Means of Boolean Signal Correction and Polynomial Codes / D. V. Efanov, R. B. Abdullaev, D. G. Plotnikov [et al.] // Computation. – 2024. – № 12 (7). – P. 135.
- 6 Polynomial Code with Detecting the Symmetric and Asymmetric Errors in the Data Vectors / R. B. Abdullaev, D. V. Efanov, V. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13–16, 2019. – P. 157–161. – DOI: 10.1109/EWDTS.2019.8884451.
- 7 **Abdullaev, R.** Polynomial Codes Properties Application in Concurrent Error-Detection Systems of Combinational Logic Devices / R. Abdullaev, D. Efanov // Proceedings of 19th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2021), Batumi, Georgia, September 10–13, 2021. – P. 40–46. – DOI: 10.1109/EWDTS52692.2021.9580992.
- 8 **Сапожников, В. В.** Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 318 с.
- 9 **Согомонян, Е. С.** Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы / Е. С. Согомонян, Е. В. Слабаков. – М. : Радио и связь, 1989. – 208 с.

10 **Абдуллаев, Р. Б.** Синтез полностью самопроверяемых схем встроенного контроля на основе полиномиальных кодов для комбинационных логических устройств / Р. Б. Абдуллаев // Автоматика на транспорте. – 2021. – Т. 7, № 3. – С. 452–476. – DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-3-452-476.

11 **Ефанов, Д. В.** Организация контроля вычислений на выходах самодвойственных цифровых устройств с применением циклических избыточных кодов / Д. В. Ефанов, Д. В. Пивоваров // Материалы XIV Всероссийского совещания по проблемам управления (ВСПУ-2024) ; под общ. ред. акад. РАН Д. А. Новикова, Москва, 17–20 июня 2024 г. – С. 2395–2399.

12 **Ефанов, Д. В.** Синтез самопроверяемых дискретных устройств на основе полиномиальных кодов с контролем вычислений по нескольким диагностическим признакам / Д. В. Ефанов, Д. В. Пивоваров // Автоматика и телемеханика. – 2025. – № 5. – С. 39–60. – DOI: 10.31857/S0005231025050036. – EDN: AXPIOQ.

13 **Ефанов, Д. В.** Особенности реализации самопроверяемых структур на основе метода инвертирования данных и линейных кодов / Д. В. Ефанов // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2023. – № 65. – С. 126–138. – DOI: 10.17223/19988605/65/13.

14 **Ефанов, Д. В.** Особенности использования кодов Хэмминга при синтезе самопроверяемых цифровых устройств на основе метода инвертирования данных / Д. В. Ефанов // Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2024. – Т. 29, № 3. – С. 379–392. – DOI: 10.24151/1561-5405-2024-29-3-379-392.

УДК 656.25

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОМЕРНОЙ МАТРИЦЫ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОТВЕТСТВЕННЫХ КОМАНД В СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

В. В. КАМЕНСКИЙ

*Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону,
Российская Федерация*

Среди всех видов транспорта железнодорожный транспорт занимает особое место. Автомобильный, авиационный и речной транспорт не может сравниться с железнодорожным транспортом ни по количеству пассажиров, ни по объему перевезенных грузов.

Управление движением поездов на участке железнодорожных линий осуществляется поездной диспетчер [1, 2]. Старший диспетчер осуществляет управление движением в регионе управления на нескольких диспетчерских участках.

Несмотря на достигнутые успехи в повышении надежности технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики, иногда происходят отказы, техника выходит из строя, и это приводит к необходимости осуществлять управление движением поездов в режиме наличия неисправности.

В этом режиме работник службы движения – поездной диспетчер, используя все доступные каналы информации (информацию от машинистов, электромонтеров, монтеров пути и других работников, обеспечивающих функционирование инфраструктуры железнодорожного транспорта), собирает картину произошедшего отказа.

При неисправности напольных устройств или систем электрической централизации используется аварийный режим работы. В этом режиме поездной диспетчер всю ответственность за безопасность движения поездов берет на себя и управляет движением с помощью ответственных команд. Ответственные команды реализуются без выполнения каких-либо условий безопасности.

В системе диспетчерской централизации ДЦ-ЮГ с РКП [3] ответственная команда задается двумя агентами службы движения (поездным диспетчером и старшим диспетчером). Затем ответственная команда передается по двум независимым каналам связи на два независимых исполнительных устройства.

Выходы исполнительных устройств подключены к релейной матрице ответственных команд. Каждое исполнительное устройство выдает на матрицу 8 сигналов. Половину сигналов составляют 1, а другую половину – 0. Например, могут быть комбинации 11110000, 10101010. Количество возможных вариантов сигналов с кодовым расстоянием 4, состоящим из 8 бит, составляет 14 (варианты 00000000 и 11111111 исключаются). Поэтому применяется квадратная матрица ответственных команд из 7 строк и 7 столбцов. Общее количество ответственных команд, которое можно реализовать через матрицу 7 на 7, составляет 49. Сигналы с 1 по 7 используются как указатель строки, а сигналы с 8 по 14 – как указатель столбца.