

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-

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 самодвойственности 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. Bearnson. – 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 осуществляет 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 использует 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.