цитность (стоимость) и токсичность составляющих входящего и выходящего потоков, тем более детализированным должен быть экобаланс. В перечень веществ и их химических соединений, которые оказывают значительное негативное влияние на здоровье людей и подлежат жесткому контролю, в первую очередь включаются: алюминий, бериллий, ванадий, железо, кадмий, кобальт, марганец, молибден, медь, никель, ртуть, свинец, селен, серебро, стронций, цезий, цинк, соединения азота, нефтепродукты.

Расчет экологических балансов решает задачи экологического контроллинга по выявлению узких мест в сфере материало- и энергопотребления, улучшению характеристик экологичности продукции или производственных процессов, поиску управленческих решений относительно уменьшения общей нагрузки на окружающую природную среду в виде сокращения отходов (выбросов в атмосферу, сбросов в водные объекты, загрязнения земельных ресурсов, теплового загрязнения) и т. д.

Снижение техногенной нагрузки возможно в ходе замены стратегии «конца трубы» на стратегию «чистого производства», которая представляет собой использование интегрированной превентивной экологической стратегии в процессах, продуктах, услугах для повышения общей эффективности и уменьшения ущерба, нанесенного человечеству и окружающей природной среде.

В промышленности концепция «чистого производства» достигается за счет комбинации таких методов, как рациональное использование сырья, материалов, энергоносителей; избежание использования токсичных и вредных материалов; уменьшение объема и токсичности всех видов загрязнений и отходов на уровне источника возникновения перед тем, как они покинут производственный процесс.

В жизненном цикле продукции она направлена на уменьшение экодеструктивного влияния продукции на протяжении всего жизненного цикла, включая стадии проектирования, добычи сырья, производства, потребления, конечного использования и утилизации.

Таким образом, экологический контроллинг, являясь информационно-аналитическим инструментом экоменеджмента предприятия, направлен на внутреннее фиксирование и анализ эколого-экономических результатов производства для обеспечения процесса принятия управленческих решений. В свою очередь экологические, и, как следствие, экономические характеристики деятельности предприятия зависят от эффективности управления экологическими аспектами, которая определяется на основании системы показателей экологической результативности. Формировать такую контрольно-информационную систему рекомендуется с использованием процессного подхода, изучающего входящие потоки, зону функционирования и выходящие потоки, с учетом специфики производственно-хозяйственных процессов. На основании показателей экологической результативности выявляются узкие места в сферах управления и производства, принимаются соответствующие решения по повышению экологической чистоты промышленного производства.

Литература

1. Шляго Н.Н. Экологически ответственное поведение фирмы в свете системной концепции контроллинга Green Controlling / Сборник трудов III Международного конгресса по контроллингу, Санкт-Петербург, 17-18 мая, 2013 г. 322 с. С. 303–308.

2. Кожухова О.С. Экологический учет и экологический контроллинг: взаимосвязь и интеграция [Электронный ресурс] / Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2012. № 3. URL: http://www.uecs.ru/ (дата обращения: 05.04.2017).

3. Лыкова Е.Е. Экологизация учетной системы как новое направление реформирования бухгалтерского учета в России [Электронный ресурс] / Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2015. № 4. С. 100–102. URL: www.gramota.net/materials/1/2015/4/24.html (дата обращения: 05.04.2017).

УДК 519.725, 625.7, 681.3

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОДОВ БЧХ И КОДОВ РИДА-СОЛОМОНА

Дяченко Олег Николаевич, Дяченко Валерий Олегович
Донецкий национальный технический университет,
Донецк, Донецкая Народная Республика

Аннотация

Рассматриваются вопросы аппаратной реализации кодов БЧХ и Рида-Соломона, исправляющих одиночные и двойные ошибки. Показаны общие принципы построения декодеров, а также различия используемых элементов. Рассмотренные варианты имеют простой способ декодирования – именно для кодов БЧХ и Рида-Соломона, исправляющих одиночные и двойные ошибки (пакетов ошибок), возможен синдромный метод декодирования.

Ключевые слова: *поле Галуа, циклические коды, двойственный полином, порождающий полином, пакет ошибок.*

HARDWARE IMPLEMENTATION OF BCH CODES AND REED-SOLOMON CODES

Dyachenko Oleg, Dyachenko Valery
Donetsk national technical university
Donetsk People's Republic

Abstract

It is discussed the issues of hardware implementation of BCH and Reed-Solomon codes correcting single and double errors. Shows the general principles of construction of decoders, as well as the differences of used elements. The considered variants have a simple way of decoding – BCH and Reed-Solomon codes correcting single and double errors (burst errors), and possible to use syndrome decoding method.

Keywords*: Galois field, cyclic codes, generator polynomial, error burst.*

Введение

Наша планета постепенно и неуклонно оказывается в своеобразном информационном "коконе". Всемирная паутина разрастается стремительными темпами: если в 2000 году было 359 млн. пользователей сети Интернет, то в марте 2017 года их количество уже 3732 млн. – это половина населения земного шара. Увеличение количества передаваемой, хранящейся и обрабатываемой информации приводит к требованиям обеспечения ее достоверности и надежности используемых аппаратных и программных средств. От успешного решения этих задач, с одной стороны, зависит процветание нынешней цивилизации, или, с другой стороны, ее саморазрушение, например, из-за случайного или намеренного сбоя в военных приложениях. Поэтому для устранения последствий возможных ошибок или дефектов аппаратных средств используется весь арсенал методов и средств помехоустойчивого кодирования, встроенного самотестирования.

Для обнаружения и исправления ошибок в запоминающих устройствах используются циклические коды: Хэмминга, БЧХ, Рида-Соломона, Файра и др. [1-3]. В данной работе проводится анализ особенностей аппаратной реализации кодов БЧХ и кодов Рида-Соломона.

Аппаратная реализация кодов БЧХ

Порождающий полином кода БЧХ, исправляющего S ошибок, должен содержать 2S корней. Множество этих корней: $\{\alpha^{j0}, \alpha^{j0+1}, \alpha^{j0+2},\ldots, \alpha^{j0+2S-1}\}$, где j0 – конструктивный параметр. Как правило, j0 = 1, тогда множество корней имеет вид $\{\alpha, \alpha^2, \alpha^3\ldots \alpha^{2S}\}$.

Для вычисления этого полинома используют минимальные полиномы, полученные для некоторого поля Галуа. Размер поля Галуа выбирается в зависимости от необходимой длины и корректирующих возможностей кода. Если для построения кода выбрать поле Галуа GF(16), то длина неукороченного кода будет равна 15 для любой (до семи для этого поля) кратности исправляемых ошибок [3-7].

Пусть M_i – минимальный полином для элемента α^i. Поскольку α^i является корнем M_i, то порождающий полином кодов БЧХ имеет следующий вид.

Для кода БЧХ, исправляющего одиночные ошибки $B(x) = \text{НОК}\ \{M_1(x), M_2(x)\} = M_1(x) = (x^4 + x + 1)$ - (15, 11)-код Хэмминга.

Порождающий полином кода БЧХ, исправляющего двойные ошибки:

$B(x) = \text{НОК}\ \{M_1(x), M_2(x), M_3(x), M_4(x)\} = \text{НОК}\ \{M_1(x), M_3(x)\} =$

$(x^4 + x + 1)*(x^4 + x^3 + x^2 + x + 1) = x^8 + x^7 + x^6 + x^4 + 1$

Таблица 1. Поле Галуа GF(16) построенное по полиному $p(z) = z^4 + z + 1$.

В виде степени	В виде полинома	В двоичном виде	Минимальный полином
0	0	0000	
α^0	1	0001	$x+1$
α^1	z	0010	x^4+x+1
α^2	z^2	0100	x^4+x+1
α^3	z^3	1000	$x^4+x^3+x^2+x+1$
α^4	$z+1$	0011	x^4+x+1
α^5	z^2+z	0110	x^2+x+1
α^6	z^3+z^2	1100	$x^4+x^3+x^2+x+1$
α^7	z^3+z+1	1011	x^4+x^3+1
α^8	z^2+1	0101	x^4+x+1
α^9	z^3+z	1010	$x^4+x^3+x^2+x+1$
α^{10}	z^2+z+1	0111	x^2+x+1
α^{11}	z^3+z^2+z	1110	x^4+x^3+1
α^{12}	z^3+z^2+z+1	1111	$x^4+x^3+x^2+x+1$
α^{13}	z^3+z^2+1	1101	x^4+x^3+1
α^{14}	z^3+1	1001	x^4+x^3+1

Так как поле GF(16) содержит 15 ненулевых элементов, то длина кода $n = 15$: количество проверочных символов $p = \deg B(x) = 8$, количество информационных символов $k = n-p= 7$.

Получили код БЧХ (15, 7), исправляющий двойные ошибки.

Аппаратная реализация кодов Рида-Соломона

Для кода Рида – Соломона, исправляющего s ошибок, порождающий полином представляет собой произведение:

$RS(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)(x - \alpha^3)\ldots(x - \alpha^{2s})$.

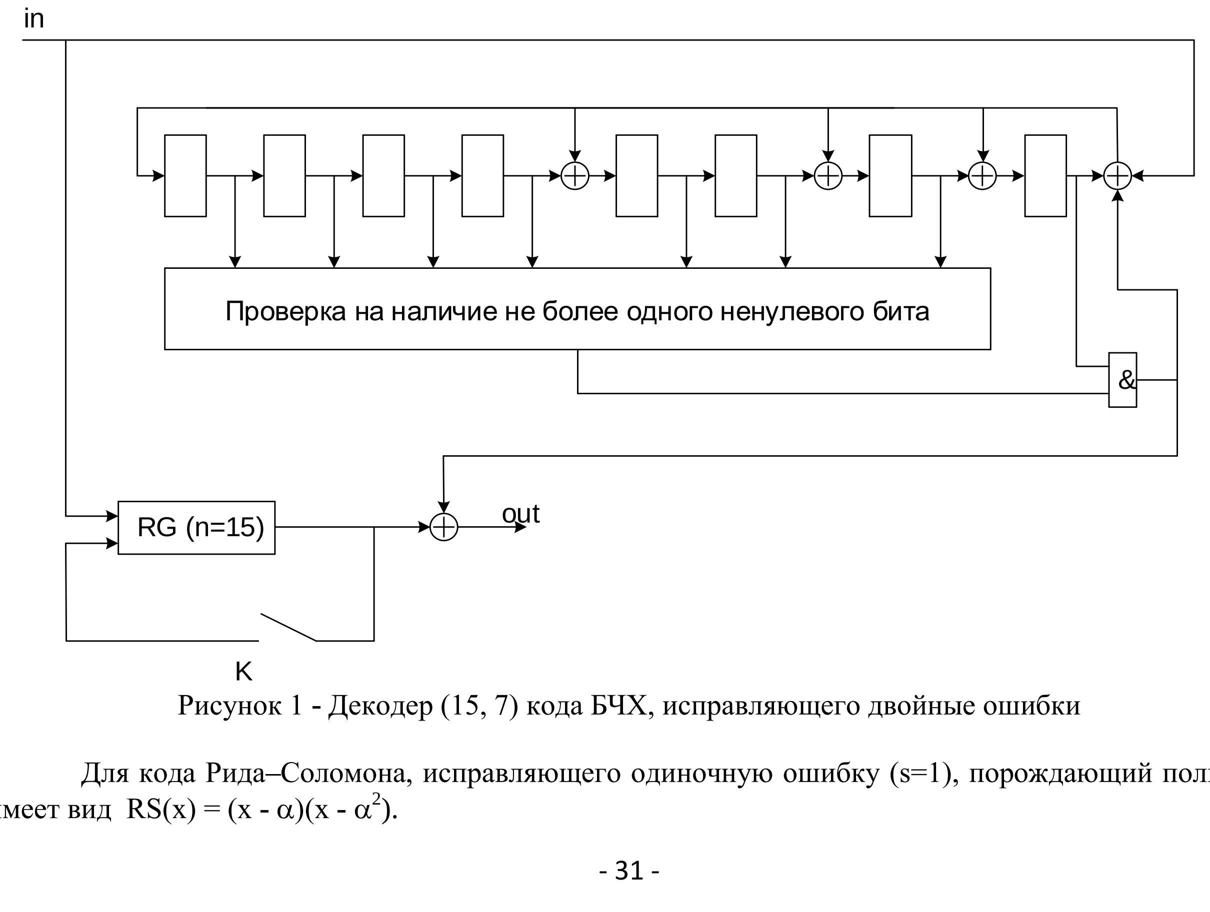

Рисунок 1 - Декодер (15, 7) кода БЧХ, исправляющего двойные ошибки

Для кода Рида–Соломона, исправляющего одиночную ошибку (s=1), порождающий полином имеет вид $RS(x) = (x - \alpha)(x - \alpha^2)$.

Возможно несколько форм записи порождающего полинома для кодов Рида–Соломона. Как правило, для построения кодов Рида–Соломона используют расширения поля GF(2) над примитивным полиномом p(z). В этом случае, в соответствии с определением примитивного полинома, элемент поля z является примитивным. Поэтому вместо обозначения примитивного элемента α можно использовать z:

$RS(x) = x^2 + (\alpha + \alpha^2)*x + \alpha^3 = x^2 + (z + z^2)*x + z^3$.

Другая форма будет зависеть от того, какое именно поле используется для построения кода Рида-Соломона. Поэтому эту форму рассмотрим на примере.

Пример. Построим поле Галуа GF(8) как расширение поля GF(2) над примитивным полиномом $p(z) = z^3 + z + 1$. Элементы поля могут быть представлены в различном обозначении [6-7].

Таблица 1. Поле Галуа GF(8), построенное по полиному $p(z) = z^3 + z + 1$.

В виде степени	В виде полинома	В двоичном виде	Минимальный полином
0	0	000	-
α^0	1	001	x+1
α^1	z	010	x^3+x+1
α^2	z^2	100	x^3+x+1
α^3	z + 1	011	x^3+x^2+1
α^4	$z^2 +z$	110	x^3+x+1
α^5	$z^2 + z + 1$	111	x^3+x^2+1
α^6	$z^2 + 1$	101	x^3+x^2+1

Поскольку $RS(x) = x^2 + (z + z^2)*x + z^3$, а $(z + z^2)$ для рассматриваемого поля GF(8) в степенном обозначении α^4, z^3 - α^3, то порождающий полином можно представить в следующей форме: $RS(x) = x^2 + \alpha^4x + \alpha^3$.

Если поле Галуа строится над примитивным полиномом p(z), то возможна другая форма записи порождающего полинома – в качестве примитивного элемента α можно использовать элемент поля z [6-7].

$RS(X)=(X-\alpha)(X-\alpha^2)(X-\alpha^3)(X-\alpha^4)=X^4+X^3(z^4+z^3+z^2+z)+X^2(z^7+z^6+z^4+z^3)+ X(z^9+z^8+z^7+z^6)+z^{10}$.

для поля $GF(2^8)$:

$RS(X) = X^4 + X^3(z^4+z^3+z^2+z) + X^2(z^7+z^6+z^4+z^3) + X(z^7+z^6+z^5+z^2+z+1) + \quad + (z^6+z^5+z^4+z^2)$.

Декодер кода Рида – Соломона аналогичен декодеру кода БЧХ (рис. 1).

Разница заключается в интерпретации элементов: памяти – триады, тетрады, пентады, гексады, гептады, огдоады, эннеады, декады; умножителей на константу, сумматоров.

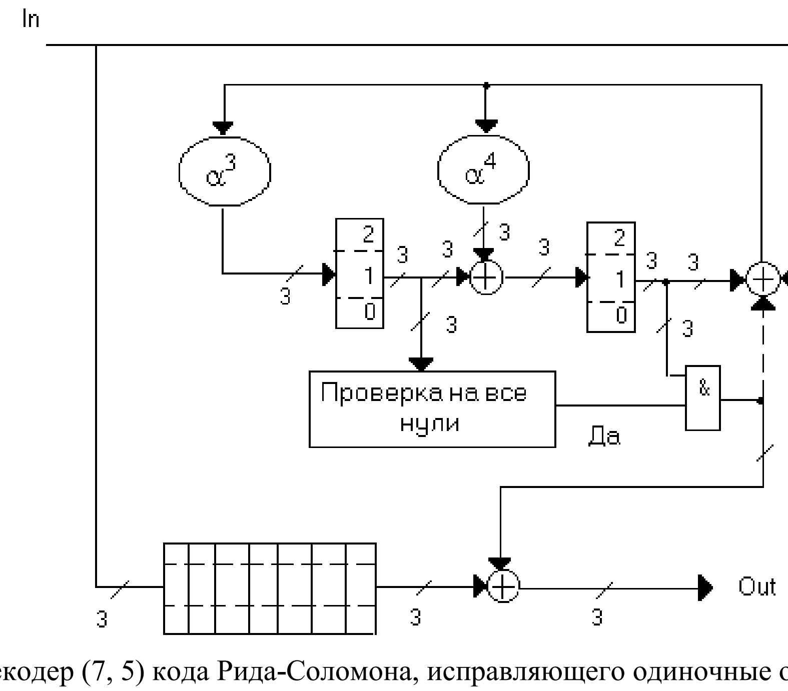

Рисунок 2 - Декодер (7, 5) кода Рида-Соломона, исправляющего одиночные ошибочные триады

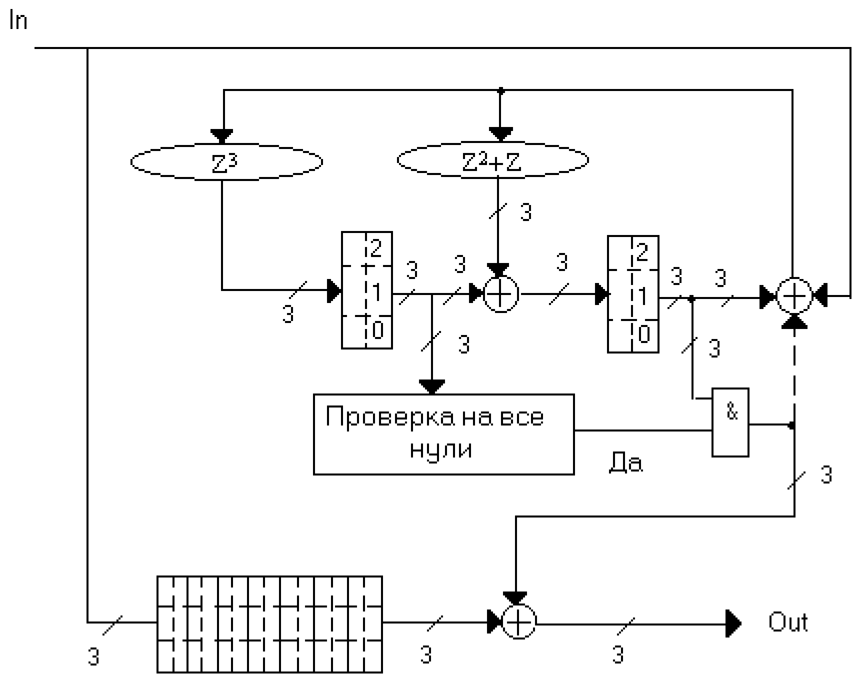

Рисунок 3 - Декодер для посимвольно перемеженного (7,5) кода Рида-Соломона с параметром перемежения j=2

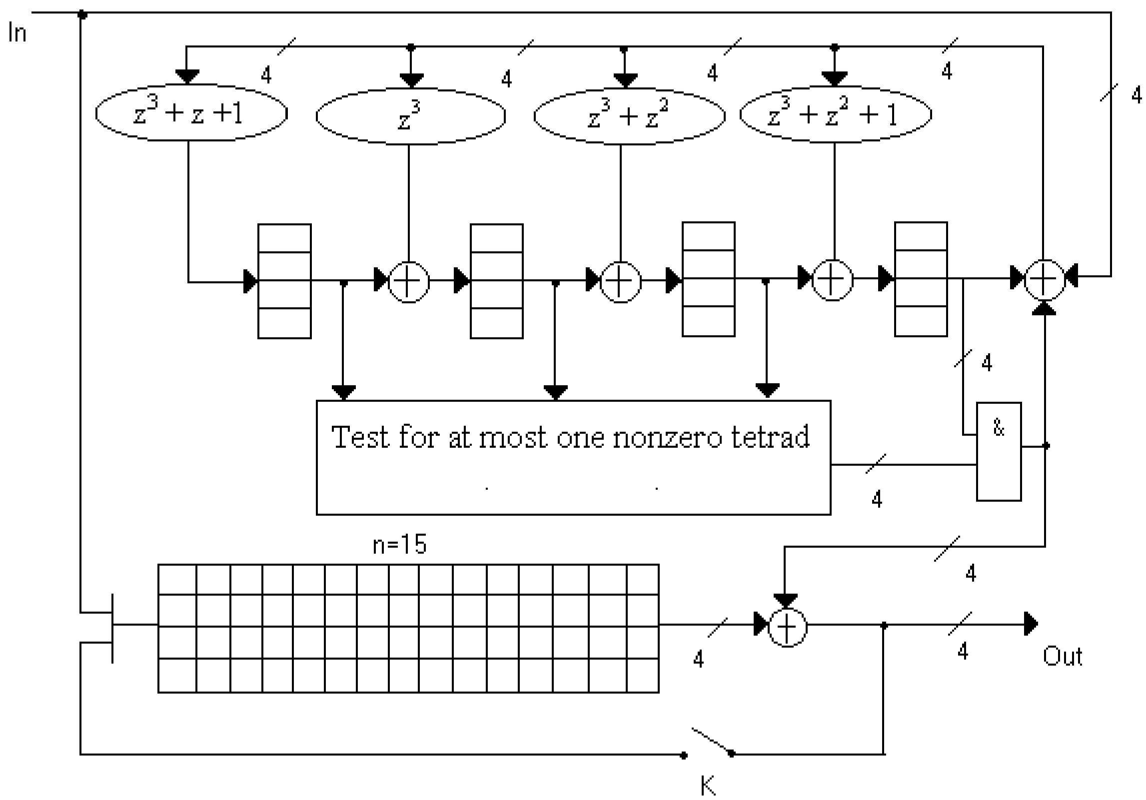

Рисунок 4 - Декодер (15, 11) кода Рида-Соломона, исправляющего двойные ошибочные тетрады

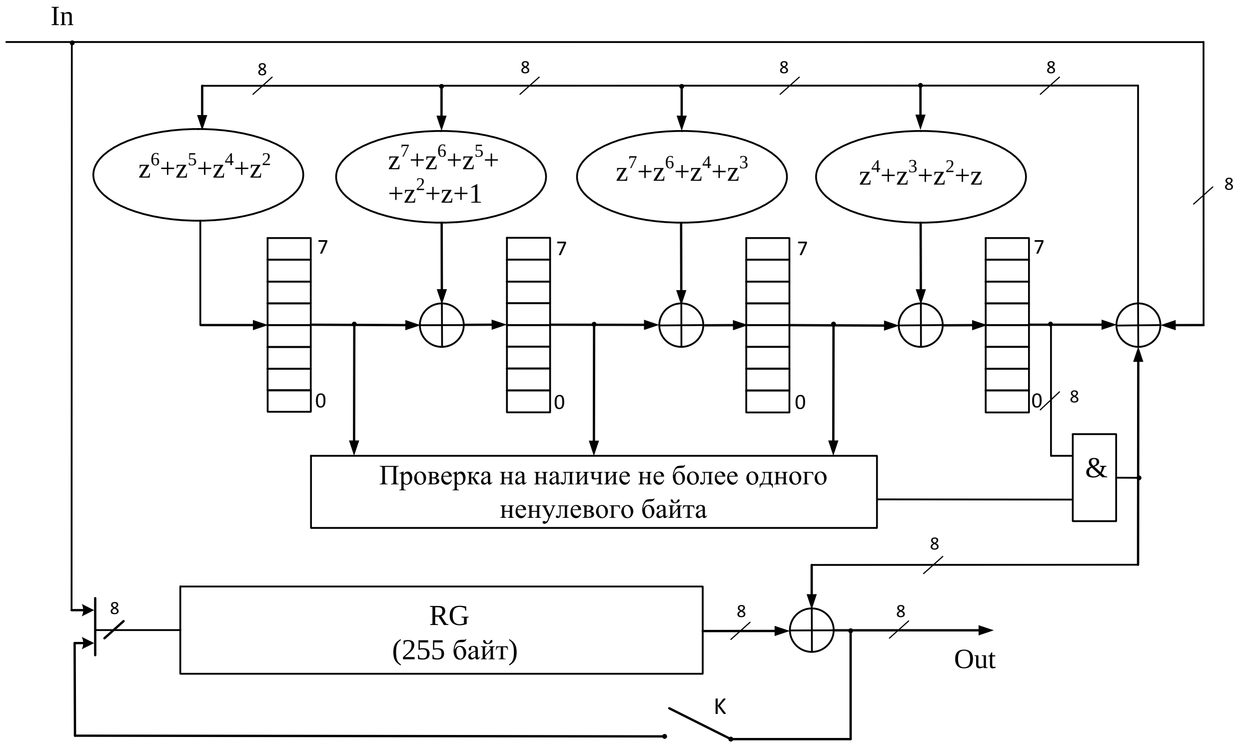

Рисунок 5 - Декодер (255, 251) кода Рида-Соломона, исправляющего двойные ошибочные байты

Заключение

В работе рассмотрены особенности реализации кодов БЧХ и Рида-Соломона. Проиллюстрированы общие черты и различия аппаратной реализации. Рассмотренные варианты имеют простой способ декодирования (вылавливание ошибок), поэтому и в настоящее время они широко распространены как в аппаратной, так и в программной реализации. Кроме того, рассмотренные варианты можно использовать для метода посимвольного перемежения. Многие вопросы, связанные с построением кодов Рида-Соломона и с алгеброй полей Галуа, становятся более понятными при иллюстрации их конкретными примерами реализации.

Литература

1. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования - методы, алгоритмы, применение. — М.: Техносфера, 2005. — 320 с.

2. Richard E.Blahut. Algebraic Codes for Data Transmission/ Cambridge University Press, 2012. – 498 p.

3. Питерсон У., Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. – 595 с.: ил.

4. Дяченко В.О., Зинченко Ю.Е., Дяченко О.Н. Исследование способов проектирования кодов Рида-Соломона// Інформаційні управляючі системи та комп'ютерний моніторинг (ІУС КМ-2014): V Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, 22-23 квітня 2014 р., м. Донецьк : зб. доп./ Донец. національ. техн. ун-т; редкол. В.А.Світлична. – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – в 2 тт. – т.2. – С. 72-78.

5. Дяченко О.Н., Дяченко В.О. Укорачивание циклических кодов на основе альтернативного деления полиномов // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы III Международной научно-практической конференции (Азов, 25 мая 2016 г.). / Азов: Изд-во: ООО "АзовПечать", 2016. – С. 45-50.

6. Дяченко В.О., Дяченко О.Н. Циклическое кодирование цифровой информации на основе двойственных полиномов // Современные тенденции развития и перспективы внедрения инновационных технологий в машиностроении, образовании и экономике: материалы II Международной научно-практической конференции (Азов, 19 мая 2015 г.) [Электронный ресурс]. – Ростов н/Д, ДГТУ, 2015. – С. 71-76.

7. Дяченко О.Н., Дяченко В.О. Альтернативный метод укорачивания циклических кодов // Электронные информационные системы. 2017. № 1 (12). С. 94–100.