

**ОПИСАНИЕ  
ИЗОБРЕТЕНИЯ  
К ПАТЕНТУ**  
(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) **ВУ** (11) **16889**

(13) **С1**

(46) **2013.02.28**

(51) МПК

**H 03M 13/15** (2006.01)

(54) **УСТРОЙСТВО ПЕРЕДАЧИ И ПРИЕМА ИНФОРМАЦИИ С  
ВЛОЖЕННЫМ КОДИРОВАНИЕМ И ДЕКОДИРОВАНИЕМ  
ГРУППОВЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ КОДОВ**

(21) Номер заявки: а 20080773

(22) 2008.06.13

(43) 2010.02.28

(71) Заявитель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(72) Авторы: Королев Алексей Иванович; Конопелько Валерий Константинович; Аль-алем Ахмед Саид; Рыжиков Валентин Владимирович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Учреждение образования "Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники" (ВУ)

(56) КОРОЛЕВ А.И. Коды устройства помехоустойчивого кодирования информации. - Минск: Бестпринт, 2007. - С. 164, 166.

ВУ 3901 U, 2007.

ВУ 4093 U, 2007.

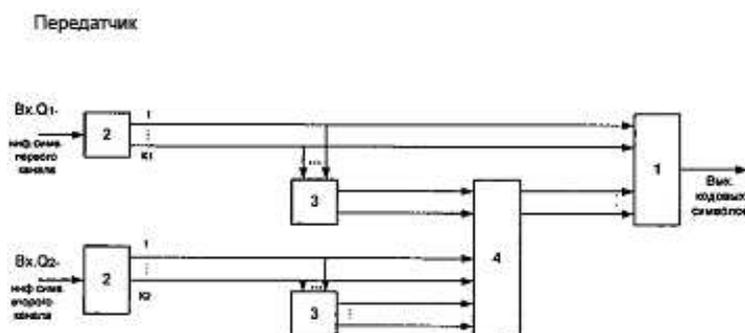
SU 1035819 A, 1983.

JP 7202718 A, 1995.

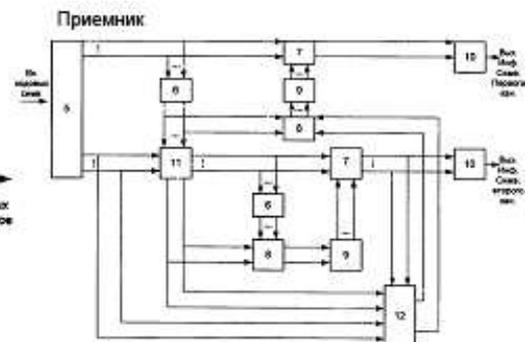
JP 7312560 A, 1995.

(57)

Устройство передачи и приема информации с вложенным кодированием и декодированием групповых циклических кодов, содержащее передатчик с первым каналом кодирования, состоящим из демультиплексора первого канала кодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами первой группы мультиплексора первого канала кодирования, выходом соединенного со входом канала связи, и с соответствующими входами формирователя проверочных символов первого канала кодирования; приемник с первым каналом декодирования, состоящим из демультиплексора первого канала декодирования, вход которого соединен с выходом канала связи, а выходы первой группы - с соответствующими входами формирователя проверочных символов первого канала



Фиг. 1



Фиг. 2

ВУ 16889 С1 2013.02.28

декодирования и через корректор ошибок первого канала декодирования с соответствующими входами мультиплексора первого канала декодирования, причем выходы формирователя проверочных символов первого канала декодирования соединены через формирователь синдромных символов первого канала декодирования с соответствующими входами дешифратора синдрома первого канала декодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами второй группы корректора ошибок первого канала декодирования, причем вход демультимплексора первого канала кодирования является первым информационным входом устройства, а выход мультиплексора первого канала декодирования является первым информационным выходом устройства, причем передатчик содержит второй канал кодирования и формирователь псевдослучайных последовательностей, выходы которого соединены с соответствующими входами второй группы мультиплексора первого канала кодирования, а входы первой группы - с соответствующими выходами формирователя проверочных символов первого канала кодирования, входы второй группы - с соответствующими выходами формирователя проверочных символов второго канала кодирования, входы которого объединены с соответствующими входами третьей группы формирователя псевдослучайных последовательностей и соединены с соответствующими выходами демультимплексора второго канала кодирования; приемник содержит второй канал декодирования с формирователем кодовых символов и формирователь принятых проверочных символов первого канала декодирования, входы первой группы которого объединены с соответствующими входами первой группы формирователя кодовых символов и соединены с соответствующими выходами второй группы демультимплексора первого канала декодирования, выходы формирователя принятых проверочных символов первого канала декодирования соединены с соответствующими входами первой группы формирователя синдромных символов первого канала декодирования, входы второй группы которого объединены с соответствующими входами второй группы формирователя кодовых символов, выходы первой группы которого соединены с соответствующими входами первой группы корректора ошибок второго канала декодирования и с соответствующими входами формирователя проверочных символов второго канала декодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами первой группы формирователя синдромных символов второго канала декодирования, входы второй группы которого объединены с соответствующими входами второй группы формирователя принятых проверочных символов первого канала декодирования и соединены с соответствующими выходами второй группы формирователя кодовых символов, а выходы формирователя синдромных символов второго канала декодирования соединены через дешифратор синдрома второго канала декодирования с соответствующими входами второй группы корректора ошибок второго канала декодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами третьей группы формирователя принятых проверочных символов первого канала декодирования и с соответствующими входами мультиплексора второго канала декодирования, причем вход демультимплексора второго канала кодирования является вторым информационным входом устройства, а выход мультиплексора второго канала декодирования является вторым информационным выходом устройства.

---

Изобретение относится к технике электросвязи и может быть использовано при передаче видеоданных и оцифрованных речевых сигналов по космическим и спутниковым каналам связи.

Известно устройство, содержащее на передающей стороне последовательно соединенные кодопреобразователь циклического кода, основной рекуррентный преобразователь и блок изменения порядка следования выходных комбинаций рекуррентного преобразователя, а на приемной стороне - последовательно соединенные блок восстановления порядка

следования кодовых комбинаций, дополнительный рекуррентный преобразователь, блок обнаружения ошибок первой кодовой комбинации, накопитель и схемы сравнения [1].

Однако известному устройству присущи следующие недостатки: высокая задержка информации при декодировании, которая определяется использованием двух рекуррентных преобразователей и накопителя кодовых комбинаций, и высокая избыточность передаваемой информации, которая определяется использованием двух рекуррентных преобразователей информационных символов.

Известно устройство для кодирования и декодирования, содержащее на передающей стороне регистр кодирования-декодирования и выходной коммутатор с сумматором по модулю два, а на приемной стороне - последовательно соединенные выходной коммутатор, схему преобразователя, схему сравнения кодов и схему округления, причем выходы дешифратора ошибки соединены с входами схемы преобразователя, выход которого соединен с регистром кодирования-декодирования через схему округления [2].

Однако известному устройству присущи следующие недостатки: низкая корректирующая способность и высокая задержка информации при декодировании, которые определяются используемым алгоритмом синдромного декодирования.

Известно устройство кодирования и декодирования групповых циклических кодов [3], содержащее на передающей стороне один канал кодирования, состоящий из коммутатора распределения информации (демультиплексора), формирователя проверочных символов кодера и коммутатора объединения информации (мультиплексора), а на приемной стороне - один канал декодирования, состоящий из коммутатора распределения информации (демультиплексора), формирователя проверочных символов декодера, формирователя синдромных символов, дешифратора синдрома, корректора ошибок и коммутатора объединения информации (мультиплексора).

Недостатками известного устройства кодирования и декодирования групповых циклических кодов являются высокая избыточность и низкая помехоустойчивость передаваемой информации, которые определяются параметрами используемого группового циклического кода и синдромного алгоритма декодирования.

Задача изобретения - уменьшение избыточности и повышение помехоустойчивости передаваемой кодовой информации.

Поставленная задача достигается тем, что в устройство передачи и приема информации с вложенным кодированием и декодированием групповых циклических кодов, содержащее передатчик с первым каналом кодирования, состоящим из демультиплексора первого канала кодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами первой группы мультиплексора первого канала кодирования, выходом соединенного со входом канала связи, и с соответствующими входами формирователя проверочных символов первого канала кодирования; приемник с первым каналом декодирования, состоящим из демультиплексора первого канала декодирования, вход которого соединен с выходом канала связи, а выходы первой группы - с соответствующими входами формирователя проверочных символов первого канала декодирования и через корректор ошибок первого канала декодирования - с соответствующими входами мультиплексора первого канала декодирования, причем выходы формирователя проверочных символов первого канала декодирования соединены через формирователь синдромных символов первого канала декодирования с соответствующими входами дешифратора синдрома первого канала декодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами второй группы корректора ошибок первого канала декодирования, причем вход демультиплексора первого канала кодирования является первым информационным входом устройства, а выход мультиплексора первого канала декодирования является первым информационным выходом устройства, причем передатчик содержит второй канал кодирования и формирователь псевдослучайных последовательностей, выходы которого соединены с соответствующими входами второй группы мультиплексора первого канала кодирования, а входы первой

группы - с соответствующими выходами формирователя проверочных символов первого канала кодирования, входы второй группы - с соответствующими выходами формирователя проверочных символов второго канала кодирования, входы которого объединены с соответствующими входами третьей группы формирователя псевдослучайных последовательностей и соединены с соответствующими выходами демультимплексора второго канала кодирования; приемник содержит второй канал декодирования с формирователем кодовых символов и формирователь принятых проверочных символов первого канала декодирования, входы первой группы которого объединены с соответствующими входами первой группы формирователя кодовых символов и соединены с соответствующими выходами второй группы демультимплексора первого канала декодирования, выходы формирователя принятых проверочных символов первого канала декодирования соединены с соответствующими входами первой группы формирователя синдромных символов первого канала декодирования, входы второй группы которого объединены с соответствующими входами второй группы формирователя кодовых символов, выходы первой группы которого соединены с соответствующими входами первой группы корректора ошибок второго канала декодирования и с соответствующими входами формирователя проверочных символов второго канала декодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами первой группы формирователя синдромных символов второго канала декодирования, входы второй группы которого объединены с соответствующими входами второй группы формирователя принятых проверочных символов первого канала декодирования и соединены с соответствующими выходами второй группы формирователя кодовых символов, а выходы формирователя синдромных символов второго канала декодирования соединены через дешифратор синдрома второго канала декодирования с соответствующими входами второй группы корректора ошибок второго канала декодирования, выходы которого соединены с соответствующими входами третьей группы формирователя принятых проверочных символов первого канала декодирования и с соответствующими входами мультиплексора второго канала декодирования, причем вход демультимплексора второго канала кодирования является вторым информационным входом устройства, а выход мультиплексора второго канала декодирования является вторым информационным выходом устройства.

На фиг. 1 приведена структурная схема передающей части; на фиг. 2 - структурная схема приемной части устройства, реализующего заявляемое устройство вложенного кодирования и декодирования групповых циклических кодов. На фиг. 3-8 приведены функциональные электрические схемы канальных кодера (фиг. 3), декодера (фиг. 6), проверочные матрицы циклических кодов  $(n_1; k_1; d_{01}) = (12; 6; 4)$  и  $(n_2; k_2; d_{02}) = (6; 3; 3)$  (фиг. 4), алгоритм формирования символов псевдослучайных последовательностей (фиг. 5) и схема дешифраторов синдромов первого (фиг. 7) и второго (фиг. 8) каналов декодирования.

Устройство вложенного кодирования и декодирования групповых циклических кодов содержит на передающей стороне мультиплексор 1 и два канала кодирования, каждый из которых содержит демультимплексор 2, формирователь 3 проверочных символов и формирователь 4 псевдослучайных последовательностей, а на приемной стороне содержит демультимплексор 5 и два канала декодирования, каждый из которых содержит формирователь 6 проверочных символов, корректор 7 ошибок, формирователь 8 синдромных символов, анализатор 9 синдрома, мультиплексор 10, формирователь 11 кодовых символов второго канала декодирования и формирователь 12 принятых проверочных символов первого канала декодирования.

Устройство работает следующим образом.

Информационные символы входных потоков  $Q_1$  и  $Q_2$ , передаваемые со скоростью соответственно  $V_1$  и  $V_2 = V_1/2$  бит/с, в демультимплексорах 2 разделяются соответственно на  $k_1$  и  $k_2$  параллельных подпотоков, символы которых далее кодируются групповыми кода-

ми с параметрами соответственно  $(n_1; k_1; d_{01})$  и  $(n_2; k_2; d_{02})$ , при этом  $n_2 = l_1 = n_1 - k_1$ ;  $k_1$  и  $k_2$  - количество одновременно кодируемых информационных символов;  $n_1$  и  $n_2$  - количество кодовых символов каналов кодирования,  $l_1 = n_1 - k_1$  и  $l_2 = n_2 - k_2$  - количество формируемых проверочных (контрольных) символов каналами кодирования,  $R = k_1/n_1$ ,  $R_2 = k_2/n_2$  - скорости передачи используемых групповых кодов  $r_1 = (1 - R_1) \cdot 100\%$  и  $r_2 = (1 - R_2) \cdot 100\%$  - относительная избыточность кодов.

Передаваемые информационные символы первого канала кодирования  $k_1$  поступают одновременно на соответствующие входы мультиплексора 1 и формирователя 3 проверочных символов, который формирует  $l_1$  проверочных символов, поступающих на соответствующие входы формирователя 4 псевдослучайных последовательностей, а информационные символы второго канала кодирования  $k_2$  поступают на соответствующие входы формирователя 4 псевдослучайных последовательностей и формирователя 3 проверочных символов, который формирует  $l_2$  проверочных символов, поступающих на соответствующие входы формирователя 4 псевдослучайных последовательностей, который формирует  $n_2 = l_1$  псевдослучайных последовательностей по правилу:

$$\Pi_1 = b_1^1 \oplus a_1^2, \Pi_2 = b_2^1 \oplus a_2^2, \dots, \Pi_{k_2} = b_{l_1}^1 \oplus a_{k_2}^2, \dots, \Pi_{n_2} = b_{l_1}^1 \oplus a_{l_2}^2,$$

где  $b_1 - b_{l_1}$ , - проверочные символы первого канала кодирования;

$a_1^2 - a_{k_2}^2, b_1^2 - a_{l_2}^2$  - информационные и проверочные символы второго канала кодирования.

Данный алгоритм формирования символов кодовой последовательности получил название алгоритма вложенного кодирования групповых циклических кодов.

Сформированные символы  $n_2 = l_1$  псевдослучайных последовательностей поступают на соответствующие входы мультиплексора 1.

В результате суммирования по модулю два кодовых символов второго канала кодирования и  $l_1 = n_2$  проверочных символов первого канала кодирования общая относительная избыточность  $r_{\text{общ}}$  кодируемой информации будет определяться произведением относительных избыточностей используемых групповых кодов, т.е.  $r_{\text{общ}} = r_1 \cdot r_2$ . Так как  $r_1$  и  $r_2$  меньше единицы, то их произведение будет меньше наименьшего из  $r_1$  и  $r_2$ , а  $R_{\text{общ}} = (1 - r_{\text{общ}})$ , будет больше наибольшей скорости передачи используемого группового кода. Таким образом, достигается уменьшение избыточности информации, поступающей в канал связи с выхода мультиплексора 1.

На приемной стороне принятые символы кодовой последовательности поступают на вход демультиплексора 5 первого канала декодирования, где распределяются на  $k_1$  информационных подпотоков первого канала декодирования и  $l_1 = n_2$  кодовых подпотоков второго канала декодирования. Символы  $k_1$  информационных подпотоков поступают одновременно на соответствующие входы первой группы корректора 7 ошибок и формирователя 6 проверочных символов первого канала декодирования, который формирует  $l_1$  проверочных символов  $(\hat{b}_1^1, \hat{b}_2^1, \dots, \hat{b}_{l_1}^1)$ , которые поступают одновременно на соответствующие входы первой группы формирователя 8 синдромных символов первого канала декодирования и на соответствующие входы второй группы формирователя 11 кодовых символов второго канала декодирования, а символы  $l_1 = n_2$  кодовых подпотоков с  $l_1 = n_2$  выходов демультиплексора 5 поступают одновременно на соответствующие входы первой группы формирователя 12 принятых проверочных символов  $(\hat{b}_1^1, \hat{b}_2^1, \dots, \hat{b}_{l_1}^1)$ , первого канала декодирования и на соответствующие входы первой группы формирователя 11 кодовых символов второго канала декодирования, который формирует символы  $k_2$  информационных подпотоков  $l_2$  проверочных подпотоков по правилу:  $\Pi_1 \oplus \hat{b}_1^1 = b_1^1 \oplus a_1 \oplus \hat{b}_1^1 = a_1, \dots, \Pi_{n_2} \oplus \hat{b}_{l_1}^1 = b_{l_1}^1 \oplus b_{l_2}^2 \oplus \hat{b}_{l_1}^1 = b_{l_2}^2$ .

Информационные символы второго канала декодирования поступают одновременно на соответствующие входы первой группы корректора 7 ошибок и на соответствующие

входы формирователя 6 проверочных символов второго канала декодирования, который из принятых символов  $k_2$  информационных подпотоков формирует  $l_2$  проверочных символов  $(\hat{b}_1^2, \hat{b}_2^2, \dots, \hat{b}_{l_2}^2)$ , поступающие на соответствующие входы первой группы формирователя 8 синдромных символов второго канала декодирования, на входы второй группы которого поступают с выхода второй группы формирователя 12 принятых проверочных символов первого канала декодирования принятые проверочные символы  $(b_1^2, b_2^2, \dots, b_{l_2}^2)$  второго канала декодирования.

Формирователь 8 синдромных символов второго канала декодирования формирует  $l_2$  синдромных символов по правилу:  $S_1^2 = b_1^2 \oplus \hat{b}_1^2, S_2^2 = b_2^2 \oplus \hat{b}_2^2, \dots, S_{l_2}^2 = b_{l_2}^2 \oplus \hat{b}_{l_2}^2$ .

Сформированные синдромные символы поступают на соответствующие входы дешифратора 9 синдрома второго канала декодирования, формирующего сигналы коррекции информационных символов второго канала декодирования, для чего выходы дешифратора 9 синдрома подключены к соответствующим входам второй группы корректора 7 ошибок. Данный алгоритм декодирования кодовых символов второго канала получил название алгоритма вложенного декодирования групповых циклических кодов.

Скорректированные информационные символы второго канала декодирования поступают одновременно через мультиплексор 10 на выход второго канала декодирования и на соответствующие входы третьей группы формирователя 12 принятых проверочных символов первого канала декодирования. Формирование принятых  $l_1$  проверочных символов осуществляется по правилу

$$\Pi_1 \oplus a_1 = (b_1^1 \oplus a_1) \oplus a_1 = b_1^1 \oplus a_1 \oplus a_1 = b_1^1, \dots, \Pi_{l_1} = (b_{l_1}^1 \oplus b_{l_2}^2) \oplus \hat{b}_{l_2}^2 = b_{l_1}^1 \oplus b_{l_2}^2 \oplus \hat{b}_{l_2}^2 = b_{l_1}^1.$$

Сформированные принятые проверочные символы  $b_1^1, \dots, b_{l_1}^1$  поступают на соответствующие входы второй группы формирователя 8 синдромных символов первого канала декодирования, который формирует синдромные символы по правилу:  $S_1^1 = b_1^1 \oplus \hat{b}_1^1, S_2^1 = b_2^1 \oplus \hat{b}_2^1, \dots, S_{l_1}^1 = b_{l_1}^1 \oplus \hat{b}_{l_1}^1$ .

Далее синдромные символы  $(S_1^1, S_2^1, \dots, S_{l_1}^1)$  поступают на соответствующие входы дешифратора 9 синдрома, формирующего сигналы коррекции, которые поступают на соответствующие входы второй группы корректора 7 ошибок первого канала декодирования. Скорректированные символы  $k_2$  информационных подпотоков поступают через мультиплексор 10 на выход первого канала декодирования.

Корректирующая способность способа и устройства вложенного кодирования и декодирования групповых циклических кодов определяется корректирующей способностью каждого используемого группового циклического кода.

Максимальная кратность корректируемых ошибок равна сумме ошибок исправляемых в каждом канале декодирования и равна:  $t_{\max} = t_1 + t_2 = \frac{d_{01} - 1}{2} + \frac{d_{02} - 1}{2} = \frac{d_{01} + d_{02} - 2}{2}$  дво-

ичных символов, что в  $\frac{t_{\max}}{t_1}$  или  $\frac{t_{\max}}{t_2}$  раз больше, чем при использовании одного канала

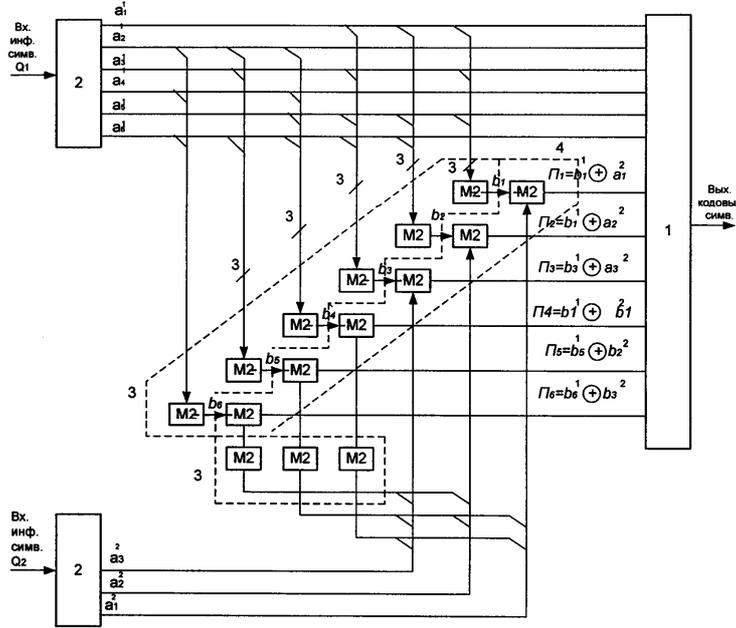
кодирования и декодирования группового циклического кода, что обеспечивает повышение помехоустойчивости передаваемой информации. Кроме того, повышение помехоустойчивости передаваемой информации обеспечивается разделением канальных ошибок на два канала декодирования, что уменьшает количество (кратность) ошибок на входе канальных декодеров и тем самым уменьшает вероятность ошибочного декодирования принятой информации.

Минимальная кратность корректируемых ошибок определяется минимальной корректирующей способностью одного из используемых групповых циклических кодов.

Источники информации:

# BY 16889 C1 2013.02.28

1. SU 508949 A1, 1976.
2. SU 429424 A1, 1974.
3. Королев А.И. Коды и устройства помехоустойчивого кодирования информации. - Минск: Бестпринт, 2007. - С. 164-166.



$a_i^j$  - информационные символы;

$b_i^j$  - проверочные символы;

$\Pi_i = (b_i^{(j)} \oplus a_i^{(j)})$  - символы псевдослучайной последовательности

Фиг. 3

$$H_{6,12}(x) = \begin{bmatrix} 101010 & 100000 \\ 100111 & 010000 \\ 101011 & 001000 \\ 010111 & 000100 \\ 011001 & 000010 \\ 010101 & 000001 \end{bmatrix}; \quad H_{3,6}(x) = \begin{bmatrix} 101 & 100 \\ 111 & 010 \\ 011 & 001 \end{bmatrix}.$$

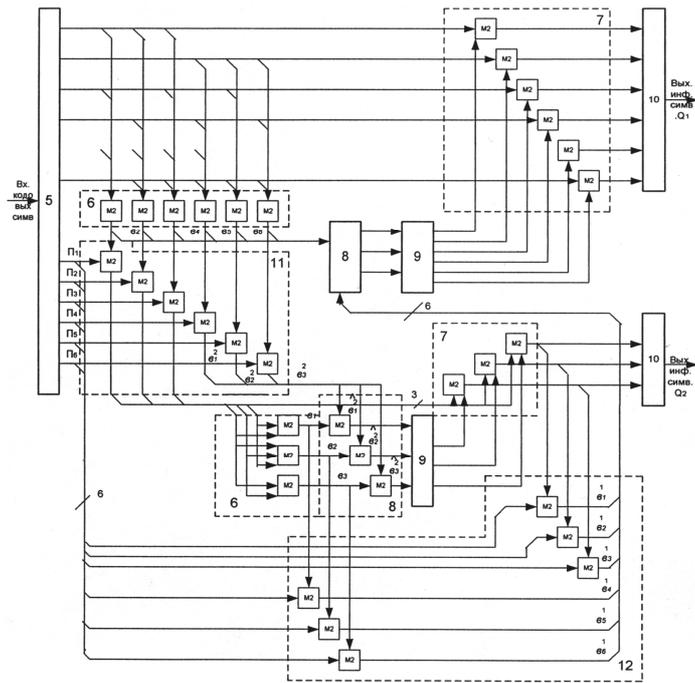
$(n_1; k_1; d_{01}) = (12; 6; 4)$ -код.

$(n_2; k_2; d_{02}) = (6; 3; 3)$ -код.

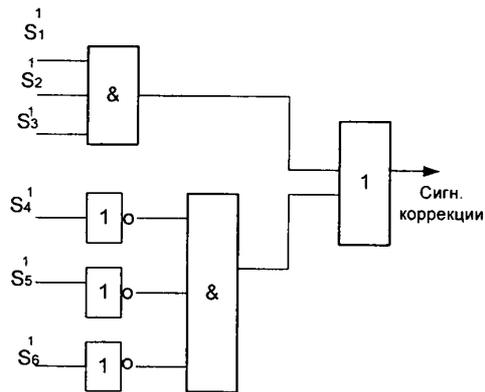
Фиг. 4

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= b_1^1 \oplus a_1^2 = a_1^1 \oplus a_3^1 \oplus a_5^1 \oplus a_1^2, \\ \Pi_2 &= b_2^1 \oplus a_2^2 = a_1^1 \oplus a_5^1 \oplus a_6^1 \oplus a_2^2, \\ \Pi_3 &= b_3^1 \oplus a_3^2 = a_1^1 \oplus a_3^1 \oplus a_5^1 \oplus a_6^2 \oplus a_3^2, \\ \Pi_4 &= b_4^1 \oplus b_1^2 = a_2^1 \oplus a_4^1 \oplus a_5^1 \oplus a_6^1 \oplus b_1^2, \\ \Pi_5 &= b_5^1 \oplus b_2^2 = a_2^1 \oplus a_3^1 \oplus a_6^1 \oplus b_2^2, \\ \Pi_6 &= b_6^1 \oplus b_3^2 = a_2^1 \oplus a_4^1 \oplus a_6^1 \oplus b_3^2, \end{aligned}$$

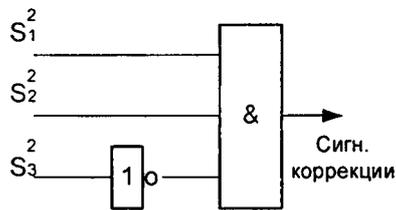
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8