

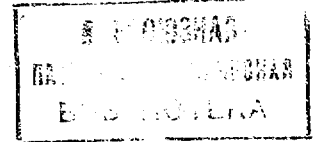


(51)4 G 06 F 15/332, 7/00

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГИИТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

## К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- 1
- (21) 4408885/24-24  
(22) 12.04.88  
(46) 30.12.89. Бюл. № 48  
(71) Минский радиотехнический институт  
(72) В.М. Дашенков, Д.В. Кузьмицкий, В.П. Шмерко и С.Н. Янушкевич  
(53) 681.32(088.8)  
(56) Авторское свидетельство СССР № 1124281, кл. G 06 F 5/00, 1984.  
Авторское свидетельство СССР № 1001107, кл. G 06 F 15/332, 1983.  
(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ БУЛЕВЫХ ФУНКЦИЙ  
(57) Изобретение относится к цифровой вычислительной технике и может быть использовано для аппаратной под-

2

держки вычислений в комплексах автоматизированного проектирования дискретных устройств, обработки изображений, сжатия данных, в системах синтеза топологии БИС и СБИС, фильтров на поверхностных акустических волнах. Цель изобретения - расширение класса решаемых задач за счет реализации преобразования булевых функций в арифметическую полиномиальную форму Хаара. Поставленная цель достигается за счет того, что в состав устройства введены коммутатор, блок нормировки, блок синхронизации и  $n-1$  блоков конъюнктивного преобразования ( $n$  - число переменных функций). 2 з.п. ф-лы, 11 ил., 5 табл.

Изобретение относится к цифровой вычислительной технике и может быть использовано для аппаратной поддержки вычислений в комплексах автоматизированного проектирования дискретных устройств, обработки изображений, сжатия данных, в системах синтеза топологии БИС и СБИС, фильтров на поверхностных акустических волнах.

Цель изобретения - расширение класса решаемых задач за счет реализации преобразования булевых функций в арифметическую полиномиальную форму Хаара.

В основу изобретения положены следующие математические модели компонентов устройств и их взаимодействия в процессе функционирования.

Спектр Хаара  $H_f = [h^{(0)} \dots h^{(2^n-1)}]$  булевой функции  $n$  переменных  $f(x_1, \dots, x_n) = f(x)$  определяется в виде

$$H_f = \frac{1}{2^n} \cdot H_{2^n} \cdot X_f, \quad (1)$$

где  $X_f = [x^{(0)} \dots x^{(2^n-1)}]^T$  - вектор размерности  $2^n$ , элементами которого являются значения булевой функции  $f(x)$  на упорядоченных в лексикографическом порядке наборах переменных (значения таблицы истинности);

$H_{2^n}$  - матрица преобразования Хаара, формируемая по рекуррентному соотношению

$$H_{2^k} = \begin{bmatrix} H_{2^{k-1}} \otimes [1 \ 1]^T \\ \sqrt{2^{k-1}} \cdot I_{2^{k-1}} \otimes [1 \ -1]^T \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$H_{2^1} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$

где  $k = \overline{2, n}$ ;

⊗ - символ кронекеровского произведения;

Γ - символ транспонирования;

$I_2^{k-1}$  - единичная матрица порядка  $2^{k-1}$ .

Используя свойства преобразования Хаара, можно показать, что спектр Хаара  $H_f$  булевой функцией  $f(x)$  записывается в аналитической форме следующим образом:

$$H_f(x) = \frac{1}{2^n} (h^{(0)} + (-1)^{x_1} h^{(1)} + \dots + \sqrt{2^z} (-1)^{x_{z+1}} \sum_{i=2^z}^{2^{z+1}} h^{(i)} [x_1]^{i_{n-z+1}} [x_2]^{i_{n-z+2}} \dots [x_z]^{i_{z+1}}); \quad (3)$$

$$[x_j]^{i_r} = \begin{cases} x_j, & i_r = 1 \\ \bar{x}_j, & i_r = 0, \end{cases}$$

где  $i_r$  - r-й разряд двоичного представления параметра  $i$  (нумерация разрядов начиная со старших, т.е. слева направо);

$Z=1, n-1$  - параметр, соответствующий номеру группы строк матрицы Хаара (фиг.1);

$X_j \in (0, 1)$  - j-я булева переменная булевой функции  $f(x)$ .

Особенностью выражения (3) является то, что  $H_f(x) \in (0, 1)$  на любых наборах логических переменных  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Причем на одинаковых наборах значения  $H_f(x)$  и  $X_f$  совпадают. Это означает, что выражение (3) является арифметико-логическим представлением булевой функции  $f(x)$ , поскольку в нем содержатся арифметические и логические операции. Другой важной особенностью выражения (3) является его взаимоднозначная связь с булевой функцией  $f(x)$ . Другими словами, любую булеву функцию  $f(x)$  можно единственным образом представить в виде (3), а по выражению (3) можно однозначно восстановить булеву функцию  $f(x)$ .

Рассмотрим пример. Пусть булева функция  $f(x_1, x_2)$  задана своим вектором значений  $X_f$ , т.е. таблицей истинности на наборах  $x_1^{01}, x_2^{01}$ :

$$X_f = [0110]^T.$$

Определим ее спектр Хаара  $H_f$

$$H_f = \frac{1}{2^2} \cdot H_{2^2} \cdot X_f = \frac{1}{4} \cdot \begin{bmatrix} 2 \\ 0 \\ -\sqrt{2} \\ \sqrt{2} \end{bmatrix}$$

Запишем форму Хаара  $H_f(x)$  булевой функции согласно (3)

$$H_f(x) = \frac{1}{4} [2 + 2(-1)^{x_2} (-\bar{x}_1 + x_1)].$$

В табл. 2 представлены спектры Хаара  $H_f$  некоторых булевых функций

5

15

20

25

30

35

40

45

50

55

$f(x)$ , заданных в табл. 1 своими векторами значений  $X_f$ .

Выражение (3) есть интерпретация спектра Хаара булевой функцией, причём такая интерпретация, что булева функция  $f(x)$  представлена в новой арифметико-логической форме. В схемотехническом плане это реализуется посредством известных устройств, выполняющих дискретное преобразование Хаара или быстрое дискретное преобразование Хаара с последующей интерпретацией результата (спектра) согласно выражению (3).

Новая арифметико-логическая форма булевых функций (3) обладает рядом достоинств арифметического и логического свойств спектра Хаара, обеспечивающих выявление поведения функции на отдельных или группах наборов, однако имеет и недостатки. Основной из них связан с неполиномиальным представлением, что существенно при анализе и синтезе, например, линейных форм булевых функций.

Полиномиальную форму Хаара  $PH_f(x)$  булевой функции  $f(x)$  определим в виде:

$$PH_f(x) = \frac{1}{2^n} (h^{(0)} + y_1 \cdot h^{(1)} + \dots + 2^{n-1} y_n A_{n-1}(x_1, x_2, \dots, x_{n-1})), \quad (4)$$

где  $y_j = (-1)^{x_j}$ ,

$$A_1(x_1) = a_1^{(0)} + a_1^{(1)} x_1;$$

⋮

⋮

⋮

⋮

$$A_{n-1}(x_1, \dots, x_{n-1}) = a_{n-1}^{(0)} + a_{n-1}^{(1)} x_{n-1} +$$

$$+ \dots + a_{n-1}^{(2^{n-1}-1)} x_1 x_2 \dots x_{n-1}.$$

Как видно из (4) полиномиальная форма Хаара  $PH_f(x)$  булевой функции

$f(x)$  представляет собой взвешенную сумму спектральных коэффициентов Хаара  $h^{(0)}$  и  $h^{(i)}$  и арифметических полиномов  $A_i(x_1, \dots, x_i)$  ( $i = \overline{1, n-1}$ ).

Определим функцию нормировки  $S_q(h^{(i)})$ :

$$S_q(h^{(i)}) = \begin{cases} -1, & h^{(i)} < 0, \\ 0, & h^{(i)} = 0; \\ 1, & h^{(i)} > 0, \end{cases} \quad i = 2, 2^n - 1, \quad (5)$$

Эта запись означает, что каждому спектральному коэффициенту Хаара  $h^{(i)}$ , представленному  $m$ -разрядным числом со знаком, ставится в соответствие двухразрядное число со знаком  $S_q(h^{(i)})$ , формируемое по правилу (5). Таким образом, спектральные коэффициенты Хаара  $h^{(i)}$  нормируются по признаку знака, т.е. приводятся к величине  $S_q(h^{(i)})$ , принимающей только три значения  $\{-1, 0, 1\}$ .

Тогда с учетом нормировки в матричной записи связь коэффициентов полиномов  $A_1(x_1), \dots, A_{n-1}(x_1, \dots, x_{n-1})$  со спектральными коэффициентами Хаара булевой функции определяется через конъюнктивное преобразование

$$\begin{aligned} A_1 &= K_{2^1} \cdot S_q(h^{(M_1)}); \\ &\vdots \\ A_{n-1} &= K_{2^{n-1}} \cdot S_q(h^{(M_{n-1})}), \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$A_1 = [a_1^{(0)} \ a_1^{(1)}]^T;$$

$\vdots$

$$A_{n-1} = [a_{n-1}^{(0)} \ a_{n-1}^{(1)} \ \dots \ a_{n-1}^{(2^{n-1}-1)}]^T;$$

$$S_q(h^{(M_1)}) = [S_q(h^{(2^0)}) \cdot S_q(h^{(2^1)})]^T,$$

$\vdots$

$$S_q(h^{(M_{n-1})}) = [S_q(h^{(2^{n-1})}) \cdot \dots \cdot S_q(h^{(2^{n-1}-1)})]^T.$$

$K_{2^p}$  - матрица конъюнктивного преобразования, определяемая рекуррентным соотношением:

$$K_{2^p} = K_{2^1} \otimes K_{2^{p-1}}; \quad K_{2^1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}, \quad p = 2, n-1. \quad (7)$$

С учетом принятых обозначений математическая модель предлагаемого устройства (4) принимает вид:

$$PH_f(x) = \frac{1}{2^n} \left\{ h^{(0)} + \dots + 2^{n-1} y_n [K_{2^{n-1}} \times S_q(h^{(M_{n-1})})] \right\}. \quad (8)$$

Поясним математическую модель (8) на конкретном примере.

Пусть задана булевая функция  $f(x)$  своим вектором значений

$$X_f = [10011110]^T.$$

В результате преобразования Хаара вектора  $X_f$  получают вектор коэффициентов спектра Хаара  $H_f$

$$H_f = \frac{1}{2^3} [5 \ -1 \ 0 \ \sqrt{2} \ 2 \ -2 \ 0 \ 2]^T.$$

Находят полиномиальную форму Хаара (PH-форму) этой булевой функции.

Записывают векторы  $S_q(h^{(M_1)})$  и

$$S_q(h^{(M_2)}):$$

$$S_q(h^{(M_1)}) = [0 \ 1]^T;$$

$$S_q(h^{(M_2)}) = [1 \ -1 \ 0 \ 1]^T,$$

и выполняют конъюнктивное преобразование каждого из них

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix};$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ -2 \\ -1 \\ 3 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, в полиномиальную форму Хаара  $PH_f(x)$  булевой функции  $f(x)$  входят полиномы

$$A_1(x) = x_1;$$

$A_2(x_1, x_2) = 1 - 2x_2 - x_1 + 3x_1x_2$  и ее окончательный вид согласно (8):

$$PH_f(x) = \frac{1}{2^3} [5 - y_1 + 2^1 y_2 x_1 + 2^2 y_3 (1 - 2x_2 - x_1 + 3x_1x_2)].$$

Для булевых функций  $f(x)$ , заданных своими векторами значений

$$X_{f_1} = [1000011011100011]^T,$$

$$X_{f_2} = [0000111011101101]^T,$$

$$X_{f_3} = [0100011101110001]^T.$$

PH-форма имеет вид

$$PH_{f_1}(x) = \frac{1}{16} [8 - 2(-1)^{x_1} - (-1)^{x_2} + (-1)^{x_3} (1 - x_2 - x_1x_2) + (-1)^{x_4} (1 - x_3 - x_2x_3 - x_1 + 2x_1x_3 - x_1x_2x_3)];$$

$$PH_{f_2}(x) = \frac{1}{16} [9 - 3(-1)^{x_1} + (-1)^{x_2} + (-1)^{x_3} (x_2 + x_1 - x_1x_2) + (-1)^{x_4} x_1 (x_2x_3 + x_1x_3 - x_1x_2x_3)];$$

$$PH_{f_3}(x) = \frac{1}{16} [8 - (-1)^{x_2} x_1 + (-1)^{x_3} x_1 (1 - 2x_2 - 2x_1 - 2x_1x_2) + (-1)^{x_4} (-1 + x_3 - 2x_2 + 2x_2x_3 + x_1x_2 - 2x_1x_2x_3)].$$

Те же функции в форме полинома Жегалкина имеют вид

$$F_{f_1}(x) = 1 \oplus x_4 \oplus x_3 \oplus x_3 x_4 \oplus x_2 x_3 \oplus x_1 \oplus$$

$$\oplus x_1 x_4 \oplus x_1 x_2 x_4 \oplus x_1 x_2 x_3;$$

$$F_{f_2}(x) = x_2 \oplus x_2 x_3 x_4 \oplus x_4 \oplus x_1 x_3 x_4 \oplus x_1 x_2 \oplus x_1 x_2 x_3 \oplus x_1 x_2 x_3 x_4;$$

$$F_{f_3}(x) = x_4 \oplus x_3 x_4 \oplus x_2 x_3 \oplus x_1 x_3 \oplus x_1 x_2 x_4.$$

Результатом реализации математической модели (8) является арифметическая полиномиальная форма Хаара  $PH_f(x)$  булевой функции  $f(x)$ , характерная

- однозначным описанием исходной булевой функции,

- арифметическими операциями типа сложения и вычитания над ее членами (умножение на переменную  $x_j = (-1)^{x_j}$  есть операция модуляции знака, так как  $x_j \in \{1, -1\}$ , а умножение на константы вида  $2^k$  реализуется посредством сдвигов);

- композицией полиномов от булевых переменных, которые определяются через знаки коэффициентов Хаара.

Последнее обстоятельство является определяющим в пользу полиномиальной формы Хаара булевой функции, поскольку позволяет описать и численно определить локальные свойства булевой функции с помощью полиномиальных моделей: упрощает описание и вычисление булевых функций линейных по Хаару, что представляет новый класс булевых функций, имеющих удобное в представлении и реализации линейное описание (линейных в особом смысле), расширяющий множество булевых функций, представимых в том или ином смысле линейными формами, обеспечивает на этой основе представление систем булевых функций.

На фиг.1 представлена структурная схема устройства; на фиг.2 - схема блока нормировки; на фиг.3 - структурная схема  $i$ -го блока конъюнктивного преобразования; на фиг.4 и 5 - структурная схема и временная диаграмма работы  $i$ -го блока конъюнктивного преобразования для  $i = 2$ ; на фиг.6 и 7 - граф алгоритма и схема конъюнктивного преобразования в блоке конъюнктивного преобразования; на фиг.8 и 9 - структурная схема и временная диаграмма работы блока синхронизации; на фиг. 10 - временная диаграмма работы коммутатора; на фиг.11 - процесс формирования устройством РН-формы булевой функции  $f(x)$  четырех переменных.

Устройство содержит коммутатор 1, блок 2 нормировки,  $n-1$  блоков 3 конъюнктивного преобразования и блок 4 синхронизации.

Блок 2 нормировки обеспечивает преобразование спектральных коэффициентов Хаара  $h^{(j)}$  ( $j = 2, 2^n - 1$ ) в соответствии с математической моделью (5) его функционирования, т.е. преобразует  $m$ -разрядный спектральный коэффициент Хаара  $h^{(j)}$  в двухразрядное значение функции нормировки  $S_q(h^{(j)})$  в соответствии с табл. 3.

Блок 2 нормировки содержит  $n-1$  регистров 5 и  $n-1$  элементов ИЛИ 6. Первый блок 3 конъюнктивного преобразования содержит  $i$  вычислительных узлов, каждый из которых состоит из вычитателя 7, коммутатора 8 и регистра 9, и счетчик 10.

Рассмотрим работу  $n-1$  блоков конъюнктивного преобразования 3 на примере  $i$ -го блока конъюнктивного преобразования 3 ( $i = 2$ ) (табл. 4). Предварительно счетчик 10 установлен в состоянии 00. Введем обозначение  $x_j = S_q(h^{(j)})$  ( $j = 2, 2^n - 1$ ).

Первым рабочим тактом блока 3 конъюнктивного преобразования является пятый такт работы устройства (табл. 4). На пятом такте значение элемента  $S_q(h^{(4)})$  поступает на информационный вход первого вычислительного узла, т.е. на вход вычитателя 7. С выхода вычитателя 7 (на другом входе вычитателя 7 - значение нуля), значение элемента  $S_q(h^{(4)})$  поступает на вход регистра 9. Счетчик 10 переходит из состояния 00 в счетчике 01.

На шестом такте на вход вычитателя 7 поступает значение элемента  $S_q(h^{(5)})$  (на другом входе вычитателя 7 - значение нуля), с выхода вычитателя 7 значение элемента  $S_q(h^{(5)})$  поступает на вход регистра 9. Счетчик 10 переходит из состояния 01 в состояние 10. Таким образом, по окончании шестого такта в регистре 9 оказываются записанными значения  $S_q(h^{(4)})$  и  $S_q(h^{(5)})$ .

На седьмом такте на вход вычитателя 7 поступает элемент  $S_q(h^{(6)})$ ; на другой вход вычитателя поступает с выхода коммутатора 8 значение элемента  $S(h^{(4)})$  (на втором (управляющем) входе коммутатора 8 - высокий логический уровень).

На восьмом такте на вход вычитателя 7 поступает элемент  $S_q(h^{(7)})$ ; на другой вход вычитателя поступает с выхода коммутатора 8 значение элемента  $S(h^{(5)})$  (на втором (управляющем) входе коммутатора 8 - высокий логический уровень).

На девятом такте на вход вычитателя 7 поступает элемент  $S_q(h^{(8)})$ ; на другой вход вычитателя поступает с выхода коммутатора 8 значение элемента  $S(h^{(6)})$  (на втором (управляющем) входе коммутатора 8 - высокий логический уровень).

ческий уровень), а на его вход передается значение элемента  $S_q(h^{(4)})$  с выхода регистра 9. Значение разности элементов  $S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)})$  с выхода вычитателя 7 поступает на вход регистра 9.

Кроме того, значение элемента  $S_q(h^{(4)})$  передается на выход первого вычислительного узла и далее на вход вычитателя 7 второго вычислительного узла (фиг. 4). С выхода вычитателя 7 значение элемента  $S_q(h^{(4)})$  поступает на вход регистра 9 (на другом входе вычитателя 7 - значение нуля). Счетчик 10 переходит из состояния 10 в состояние 11.

На восьмом такте значение элемента  $S_q(h^{(7)})$  поступает на вход вычитателя 7, на другой вход последнего с выхода коммутатора 8 передается значение элемента  $S_q(h^{(5)})$  (на втором (управляющем) входе коммутатора 8 - высокий логический уровень). С выхода вычитателя 7 значение разности  $S_q(h^{(7)}) - S_q(h^{(5)})$  поступает на вход регистра 9. При этом значение элемента  $S_q(h^{(5)})$  с выхода регистра 9 передается на вход второго вычислительного узла и далее на вход вычитателя 7. На другой вход вычитателя 7 с выхода коммутатора 8 поступает значение элемента  $S_q(h^{(4)})$  (на втором (управляющем) входе коммутатора 8 - высокий логический уровень, а на первом - значение элемента  $S_q(h^{(4)})$ ) с выхода регистра 9. С выхода вычитателя 7 значение разности  $S_q(h^{(5)}) - S_q(h^{(4)})$  поступает на вход регистра 9. При этом значение элемента  $S_q(h^{(4)})$ , являющееся коэффициентом  $a_2^{(6)}$  полинома  $A_2(x_1, x_2)$ , с выхода регистра 9 передается на выход устройства. Счетчик 10 переходит из состояния 11 в состояние 00.

В результате на девятом такте на вход вычитателя 7 с выхода первого вычислительного узла поступает значение разности  $S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)})$  (на другом входе вычитателя 7 - значение нуля). С выхода вычитателя 7 значение разности  $S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)})$  передается на вход регистра 9. При этом коэффициент  $a_2^{(1)} = S_q(h^{(5)}) - S_q(h^{(4)})$  с выхода регистра 9 поступает на выход устройства. Счетчик 10 переходит из состояния 00 в состояние 01.

На десятом такте на вход вычитателя 7 с выхода первого вычислительного узла поступает значение разности  $S_q(h^{(7)}) - S_q(h^{(6)})$ . На другой вход вы-

читателя 7 поступает с выхода коммутатора 8 разность  $S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)})$  (на втором (управляющем) входе коммутатора 8 - высокий логический уровень). С выхода вычитателя 7 разность  $S_q(h^{(7)}) - S_q(h^{(5)}) - [S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)})]$  поступает на вход регистра 9, с выхода которого коэффициент  $a_2^{(2)} = S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)})$  поступает на выход устройства. Счетчик 10 переходит из состояния 01 в состояние 10.

На одиннадцатом такте с выхода регистра 9 коэффициент  $a_2^{(3)} = S_q(h^{(7)}) - S_q(h^{(5)}) - (S_q(h^{(6)}) - S_q(h^{(4)}))$  передается на выход устройства.

Таким образом, на выход устройства в тактах с восьмого по одиннадцатый поступают значения коэффициентов  $a_2^{(0)}$ ,  $a_2^{(1)}$ ,  $a_2^{(2)}$ ,  $a_2^{(3)}$  (табл. 4).

Блок синхронизации 4 (фиг. 7) для  $n = 4$  содержит генератор 11 тактовых импульсов, демультиплексор 12, регистр сдвига 13, первый 14, второй 15, третий 16 элементы ИЛИ, счетчик 17, первый 18, второй 19, третий 20, четвертый 21 элементы И, первый 22 и второй 23 триггеры.

Рассмотрим работу блока 4 синхронизации для  $n = 4$ . Первоначально регистр 13 сдвига, счетчик 17, первый 22 и второй 23 триггеры установлены в нулевое состояние.

На первом такте импульс с выхода генератора 11 тактовых импульсов поступает на первый (информационный) вход демультиплексора 12. С первого выхода демультиплексора 12 сигнал (высокий логический уровень) поступает на регистр 13 сдвига и записывается в его первом разряде (на втором (управляющем) входе демультиплексора 12 - низкий логический уровень). Первый 20 и второй 21 триггеры находятся в нулевом состоянии и на первом выходе блока синхронизации сформирован адресный код 00. На втором выходе блока 4 синхронизации находится низкий логический уровень, так как на первом входе четвертого элемента И 21 имеется низкий логический уровень.

На втором такте импульс с выхода генератора 11 тактовых импульсов поступает на первый (информационный) вход демультиплексора 12. С первого выхода демультиплексора 12 (на его втором (управляющем) входе - низкий логический уровень) высокий логический уровень сигнала поступает на регистр 13 сдвига, в котором произво-

дится сдвиг в сторону старших разрядов. С первого выхода регистра 13 сдвига высокий логический уровень сигнала передается на второй (управляющий) вход демультиплексора 12 и на второй вход первого элемента ИЛИ 14. С выхода последнего сигнал поступает на счетный вход счетчика 17, в результате счетчик 17 переходит из состояния 0000 в состояние 0001. Таким образом, триггеры 22 и 23 остаются в исходном состоянии и на первом выходе блока синхронизации 4 имеется адресный код 00. На втором выходе блока управления присутствует низкий логический уровень, так как на первом входе четвертого элемента И 21 находится низкий логический уровень.

На третьем такте импульс с выхода генератора 11 тактовых импульсов поступает на информационный вход демультиплексора 12. С второго выхода демультиплексора 12 (на его втором (управляющем) входе - высокий логический уровень) сигнал передается на первый вход первого элемента ИЛИ 14, с выхода которого сигнал поступает на счетный вход счетчика 17, последний переходит из состояния 0001 в состояние 0010. Сигнал с первого выхода счетчика 17 передается на первый вход первого элемента 18, а затем поступает с его выхода на первый вход второго элемента И 19 (на втором (инверсном) входе первого элемента И 18 - низкий логический уровень). С выхода второго элемента И 19 сигнал передается на первый вход второго элемента ИЛИ 15 (на втором (инверсном) входе второго элемента И 19 - низкий логи-

ческий уровень). С выхода второго элемента ИЛИ 15 сигнал поступает на первый вход первого триггера 22. В результате триггер переходит в единичное состояние. Таким образом, на первом выходе блока 4 синхронизации формируется адресный код 01. Кроме того, в регистре 13 сдвига производится сдвиг информации, с второго выхода регистра 13 сдвига высокий логический уровень поступает на первый вход четвертого элемента И 21. На первый вход последнего с выхода генератора 11 тактовых импульсов передается сигнал, который далее с выхода четвертого элемента И 21 поступает на второй выход блока 4 синхронизации. Таким образом, на первом выходе блока 4 синхронизации формируется последовательность тактовых импульсов; отстающая на два такта от последовательности на выходе генератора 11 тактовых импульсов (фиг.9).

На семнадцатом такте блок 4 синхронизации переходит в исходное состояние. Этот период происходит под действием сигнала переполнения счетчика 17. Сигнал переполнения с четвертого выхода счетчика 17 поступает на вторые входы (входы установки в нуль) первого 22 и второго 23 триггеров, а также регистра 13 сдвига.

Рассмотрим функционирование устройства в совокупности составляющих его компонентов на конкретном примере.

Пусть необходимо представить булеву функцию  $f(x)$  четырех переменных, заданную своим спектром Хаара  $H_f$

$$H_f = [8, 2\sqrt{2}\sqrt{2}, 4, -2, 0, 2, 0, 0, 2\sqrt{2}, 0, 2\sqrt{2}, 0, 2\sqrt{2}, -2\sqrt{2}, 2\sqrt{2}, 0]^T,$$

в полиномиальной форме Хаара  $PH_f(x)$ .

На первом такте значение спектрального коэффициента Хаара  $h^{(0)} = 8$  поступает на первый (информационный) вход коммутатора 1 (на втором (управляющем) входе которого - адресный код 00). С первого выхода коммутатора 1 значение  $h^{(0)} = 8$  поступает на первый выход устройства (фиг.1).

На втором такте значение спектрального коэффициента  $h^{(1)} = 2$  аналогично значению  $h^{(0)} = 8$  передается на первый выход устройства.

На тактах с 3-го по 16-й включительно значения спектральных коэффи-

циентов Хаара с  $h^{(2)}$  по  $h^{(16)}$  поступают на первый (информационный) вход коммутатора 1 и в соответствии с адресным кодом на втором (управляющем) входе последнего передаются на входы блока 2 нормировки, причем так, что на первый вход блока 2 нормировки поступают значения коэффициентов  $h^{(2)} = \sqrt{2}$  и  $h^{(3)} = \sqrt{2}$ . На второй вход блока 2 нормировки передаются значения коэффициентов  $h^{(4)} = 4$ ,  $h^{(5)} = -2$ ,  $h^{(6)} = 0$  и  $h^{(7)} = 2$  и на третий вход блока 2 нормировки поступают значения коэффициентов  $h^{(8)} = 0$ ,  $h^{(9)} = 0$ ,  $h^{(10)} = 2\sqrt{2}$ ,

$$h^{(14)} = 0, h^{(12)} = 2\sqrt{2}, h^{(13)} = 2\sqrt{2},$$

$$h^{(14)} = 2\sqrt{2} \text{ и } h^{(15)} = 0.$$

В блоке 2 нормировки формируются значения  $x_j$  ( $j = 2, 15$ ) функции  $S(h^{(j)})$  в соответствии с математической моделью (5):

$$S_g(h^{(j)}) = \begin{cases} -1, & h^{(j)} < 0; \\ 0, & h^{(j)} = 0; \\ 1, & h^{(j)} > 0; \end{cases}$$

т.е. формируются следующие значения  $x_2 = 1, x_3 = 1, x_4 = 1, x_5 = -1,$   
 $x_6 = 0, x_7 = 1, x_8 = 0, x_9 = 0,$   
 $x_{10} = 1, x_{11} = 0, x_{12} = 1, x_{13} = -1,$   
 $x_{14} = 1, x_{15} = 0.$

$$A_1 = K_{21} \cdot S_g(h^{(M_1)}) = K_{21} \cdot [x_2 x_3]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, полином  $A_1(x_1)$  имеет вид:  $A_1(x_1) = 1$

Во втором блоке 3 конъюнктивного преобразования формируются значения

$$A_2 = K_{22} \cdot S_g(h^{(M_2)}) = K_{22} \cdot [x_4 x_5 x_6 x_7]^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, полином  $A_2(x_1, x_2)$  имеет вид:  $A_2(x_1, x_2) = 1 + x_1 - x_1 x_2$

В третьем блоке 3 конъюнктивного преобразования формируются значения

$$A_3 = K_{23} \cdot S_g(h^{(M_3)}) = K_{23} \cdot [x_8 x_9 x_{10} x_{11} x_{12} x_{13} x_{14} x_{15}]^T =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \\ -1 \\ -2 \\ 1 \\ -2 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, полином  $A_3(x_1, x_2, x_3)$  имеет вид:

$$A_3(x_1, x_2, x_3) = x_2 - x_2 x_3 + x_1 - 2x_1 x_3 + x_1 x_2 - 2x_1 x_2 x_3.$$

Табл. 4 и 5 иллюстрируют вычислительный процесс в первом, втором и третьем блоках 3 конъюнктивного преобразования.

**Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я**

1. Устройство для преобразования булевых функций, содержащее первый

С первого выхода блока 2 нормировки значения  $x_2$  и  $x_3$  передаются на вход первого блока 3 конъюнктивного преобразования 3, с второго выхода блока 2 нормировки значения  $x_4, x_5, x_6$  и  $x_7$  поступают на вход второго блока 3 конъюнктивного преобразования и с третьего выхода блока 2 нормировки значения  $x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}$  и  $x_{15}$  поступают на третий блок 3 конъюнктивного преобразования (табл. 5).

В первом блоке конъюнктивного преобразования 3 формируются значения коэффициентов  $a_2^{(0)}$  и  $a_1^{(1)}$  в соответствии с математической моделью (6)

коэффициентов  $a_2^{(0)}, a_2^{(1)}, a_2^{(2)}$  и  $a_2^{(3)}$  в соответствии с математической моделью (6):

коэффициентов  $a_3^{(0)}, a_3^{(1)}, a_3^{(2)}, a_3^{(3)}, a_3^{(4)}, a_3^{(5)}, a_3^{(6)}$  и  $a_3^{(7)}$  в соответствии с математической моделью (6):

блок конъюнктивного преобразования и блок синхронизации, отличающиеся тем, что, с целью расширения класса решаемых задач за счет реализации преобразования булевых функций в арифметическую полиномиальную форму Хаара, в него введены  $n-2$  ( $n$  - число переменных функции) блоков конъюнктивного преобразования, блок нормировки, коммутатор и первый выход блока синхронизации подключен к управляющему входу коммутатора, первый выход которого является пер-

вым информационным выходом устройства, информационным входом которого является информационный вход коммутатора,  $i$ -й ( $i = \overline{2, n}$ ) выход которого подключен к  $(i-1)$ -му информационному входу блока нормировки,  $(i-1)$ -й выход которого подключен к информационному входу  $(i-1)$ -го блока конъюнктивного преобразования, выход которого является  $i$ -м информационным выходом устройства, а второй выход блока синхронизации подключен к тактовым входам блока нормировки  $(i-1)$ -го блока конъюнктивного преобразования.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что блок нормировки содержит  $n-1$  регистр и  $n-1$  элемент ИЛИ, выход  $j$ -го ( $j = \overline{2, m}$ ;  $m$  - разрядность) разряда  $(i-1)$ -го регистра подключен к  $(j-1)$ -му входу  $(i-1)$ -го элемента ИЛИ, выход которого объединен с выходом первого разряда  $(i-1)$ -го регистра и образуют  $(i-1)$ -й выход блока нормировки,  $(i-1)$ -м информационным входом которого является информационный вход  $(i-1)$ -го регистра, тактовый вход которого подключен к тактовому входу блока нормировки.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что  $(i-1)$ -й блок конъюнктивного преобразования содержит счетчик и  $(i-1)$  вычислительный модуль, причем выход 1-го ( $l = \overline{1, i-1}$ ) разряда счетчика подключен к управляющему входу 1-го вычислительного узла, выход  $k$ -го ( $k = \overline{1, i-2}$ ) вычислительного узла подключен к информационному входу  $(k+1)$ -го вычислительного узла, выход  $(i-1)$ -го вычислительного узла является выходом блока конъюнктивного преобразования, тактовым и информационным входами которого являются соответственно счетный вход счетчика и информационный вход первого вычислительного узла, причем 1-й вычислительный узел содержит вычитатель, регистр и коммутатор, выход которого подключен к первому входу вычитателя, выход которого подключен к информационному входу регистра, выход которого является выходом вычислительного узла и подключен к информационному входу коммутатора, управляющий вход которого соединен с тактовым входом регистра и подключен к управляющему входу вычислительного узла.

Т а б л и ц а 1

$f(x)$	$X_1 \vee X_2$	$X_1 \wedge X_2$	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$X_1 \oplus X_2$	$X_1 \sim X_2$	$X_1 \uparrow X_2$	$X_1 \downarrow X_2$
$X_1, X_2$	$X_{f1}$	$X_{f2}$	$X_{f3}$	$X_{f4}$	$X_{f5}$	$X_{f6}$	$X_{f7}$	$X_{f8}$
0 0	0	0	1	1	0	1	1	1
0 1	1	0	1	0	1	0	0	1
1 0	1	0	0	1	1	0	0	1
1 1	1	1	0	0	0	1	0	0

Т а б л и ц а 2

$f(x)$	Коэффициенты спектра Хаара				Н-форма записи функции
	$h^{(0)}$	$h^{(1)}$	$h^{(2)}$	$h^{(3)}$	
$x_1 \vee x_2$	3	-1	$-\sqrt{2}$	0	$1/4 [3 - (-1)^{x_1} - 2(-1)^{x_2} x_1]$
$x_1 \wedge x_2$	1	-1	0	$-\sqrt{2}$	$1/4 [1 - (-1)^{x_1} - 2(-1)^{x_2} x_1 x_2]$
$\bar{x}_1$	2	2	0	0	$1/2 [1 + (-1)^{x_1}]$
$\bar{x}_2$	2	0	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$1/2 [1 + (-1)^{x_2} (x_1 + x_1 x_2)]$
$x_1 \oplus x_2$	2	0	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$1/2 [1 + (-1)^{x_2} (-x_1 + x_1 x_2)]$
$x_1 \sim x_2$	2	0	$\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$1/2 [1 + (-1)^{x_2} (x_1 - x_1 x_2)]$
$x_1 \uparrow x_2$	1	1	$\sqrt{2}$	0	$1/4 [1 + (-1)^{x_1} + (-1)^{x_2} x_1]$
$x_1 \downarrow x_2$	3	1	0	$\sqrt{2}$	$1/4 [3 + (-1)^{x_1} + 2(-1)^{x_2} x_1 x_2]$



Т а б л и ц а 3

$h^{(j)}$	$S_q(h^{(j)})$	Разряды $S_q(h^{(j)})$	
		1-й	2-й
$h^{(j)} < 0$	-1	1	1
$h^{(j)} = 0$	0	0	0
$h^{(j)} > 0$	1	0	1

Т а б л и ц а 4

Такт	Информационный вход	Информационный выход 1	Блок 3 <sub>1</sub> конъюнктивного преобразования			Блок 3 <sub>2</sub> конъюнктивного преобразования					Блок 3 <sub>3</sub> конъюнктивного преобразования	
			Регистр 9	Коммутатор 8	Информационный выход 2	Регистр 9	Коммутатор 8	Регистр 9	Коммутатор 8	Информационный выход 3		Регистр 9
1	$h^{(0)}$	$h^{(0)}$										
2	$h^{(0)}$	$h^{(0)}$										
3	$X_4$		$X_6$									
4	$X_5$		$X_5 - X_6$	$X_4$	$a_1^{(0)} = X_4$							
5	$X_4$				$a_2^{(0)} = X_5 - X_4$	$X_4$						
6	$X_4$					$X_5$						
7	$X_6$					$X_4$	$X_4$		$X_4$			
8	$X_7$					$X_6$						
9	$X_8$					$X_7 - X_6$	$X_5$	$X_5 - X_4$	$X_4$	$a_4^{(0)} = X_4$		
10	$X_9$					$X_8 - X_4$		$X_6 - X_4$		$a_5^{(0)} = X_5 - X_4$		$X_4$
11	$X_{10}$							$X_8 - X_4 - X_6 - X_4$	$X_4$	$a_6^{(0)} = X_6 - X_4$		$X_5$
12	$X_{11}$							$-X_7 + X_4$		$a_7^{(0)} = X_8 - X_4 - X_6 - X_4$		$X_6$
										$a_8^{(0)} = -X_7 + X_4$		$X_{10}$
										$a_9^{(0)} = -X_8 - X_4 - X_6 - X_4$		$X_9$
										$a_{10}^{(0)} = -X_8 - X_4 - X_6 - X_4$		$X_{11}$
										$a_{11}^{(0)} = -X_8 - X_4 - X_6 - X_4$		$X_{10}$
										$a_{12}^{(0)} = -X_8 - X_4 - X_6 - X_4$		$X_9$
										$a_{13}^{(0)} = -X_8 - X_4 - X_6 - X_4$		$X_6$

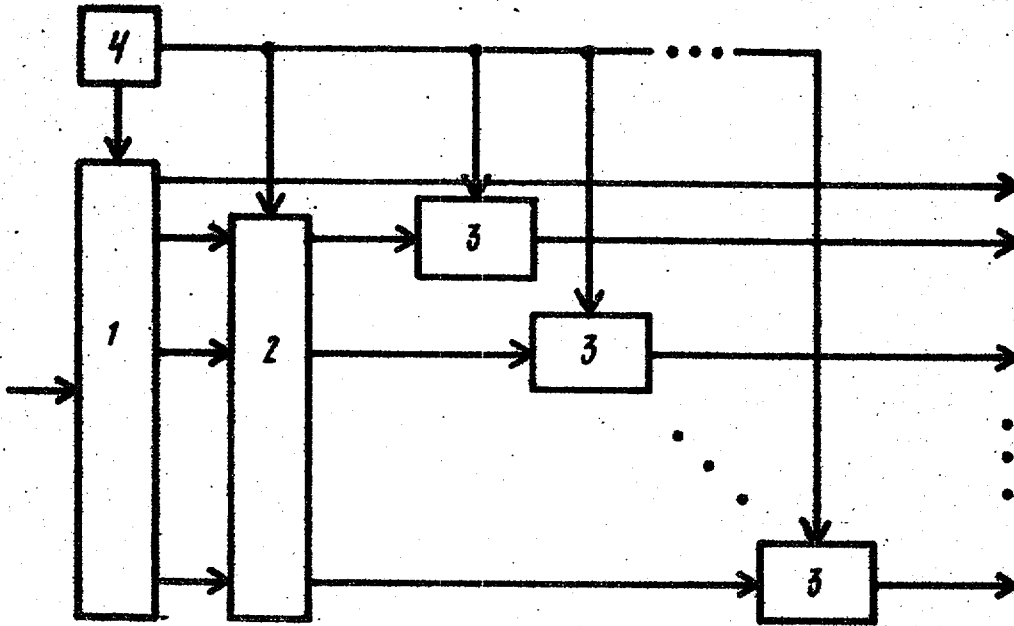
Примечание.  $X_j = S_q(h^{(j)})$  ( $j = 2, 2^n - 1$ ).

Т а б л и ц а 5

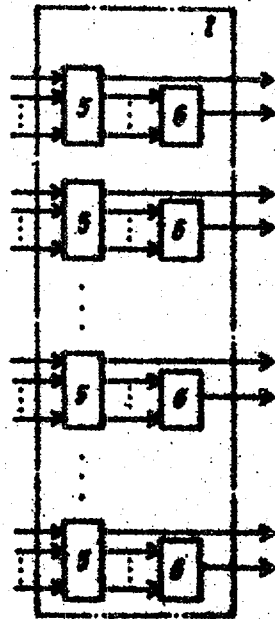
Такт	Информ. вход 1	Блок 3 <sub>3</sub> конъюнктивного преобразования						
		Регистр 9	Коммутатор 8	Регистр 9	Коммутатор 8	Регистр 9	Коммутатор 8	Информационный выход 4
13	$X_{12}$	$X_{12} - X_8$		$X_6$		$X_6$		
		$X_{11}$						
		$X_{10}$						
		$X_9$						
14	$X_{13}$	$X_{13} - X_6$				$X_9$		
		$X_{12} - X_8$		$X_9$			$X_8$	
		$X_{11}$						
		$X_{10}$						
15	$X_{14}$	$X_{14} - X_{10}$			$X_{10} - X_8$			
		$X_{13} - X_6$		$X_{10}$		$X_9$		$X_8$
		$X_{12} - X_8$						
		$X_{11}$						
16	$X_{15}$	$X_{15} - X_{11}$			$X_{11} - X_6$			
		$X_{14} - X_{10}$		$X_{11}$		$X_9$	$X_9 - X_8$	$X_8$
		$X_{13} - X_6$			$X_{10} - X_8$			$a_3^{(0)} = X_9$
		$X_{12} - X_8$						
		$X_{11}$						
17		$X_{15} - X_{11}$						
		$X_{14} - X_{10}$				$X_{10} - X_8$		$a_4^{(0)} = X_9 - X_8$
		$X_{13} - X_6$						
		$X_{12} - X_8$						
18		$X_{15} - X_{11}$			$X_{11} - X_6$			
		$X_{14} - X_{10}$			$X_{13} - X_6$		$X_{11} - X_9 - X_{10} + X_8$	$X_{10} - X_8$
					$X_{15} - X_6$			$a_5^{(0)} = X_{10} - X_8$

Продолжение табл. 5

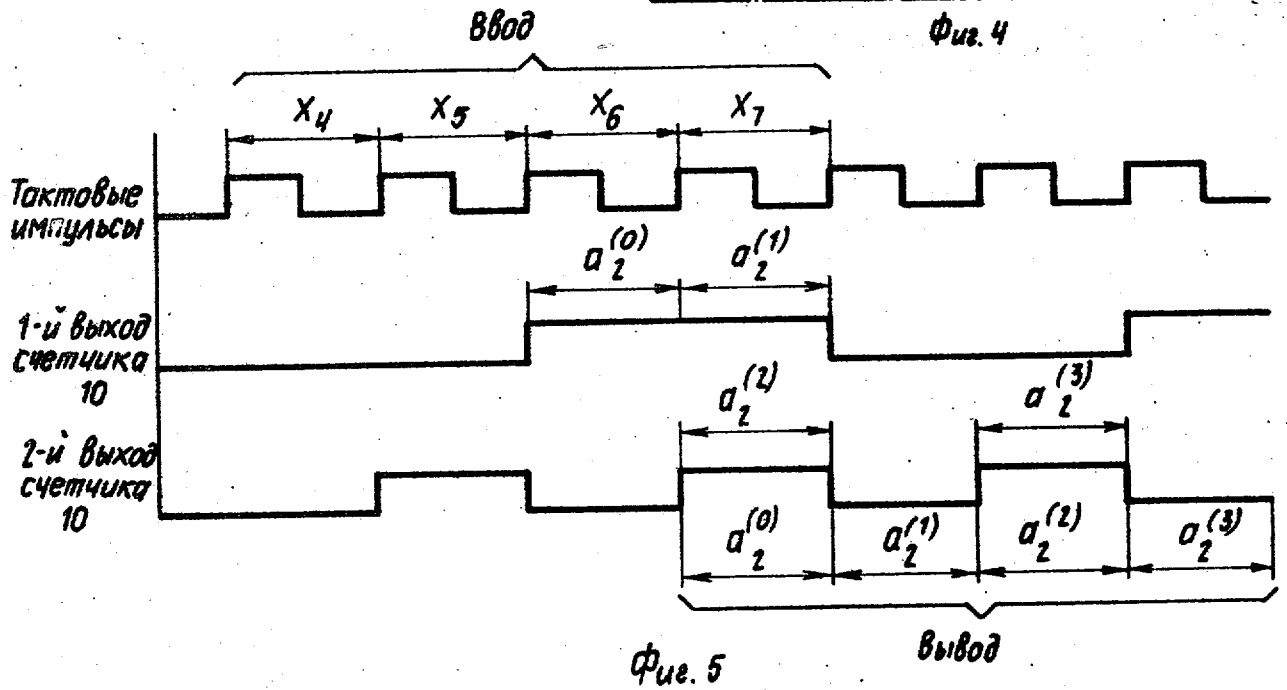
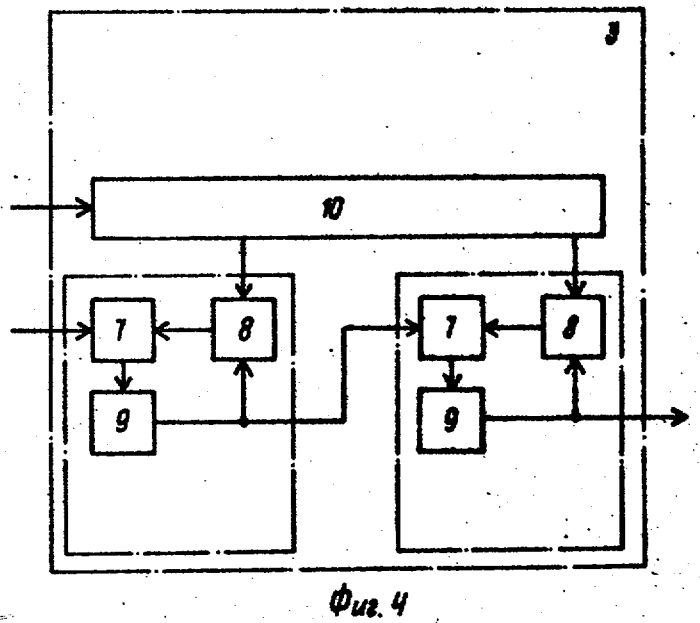
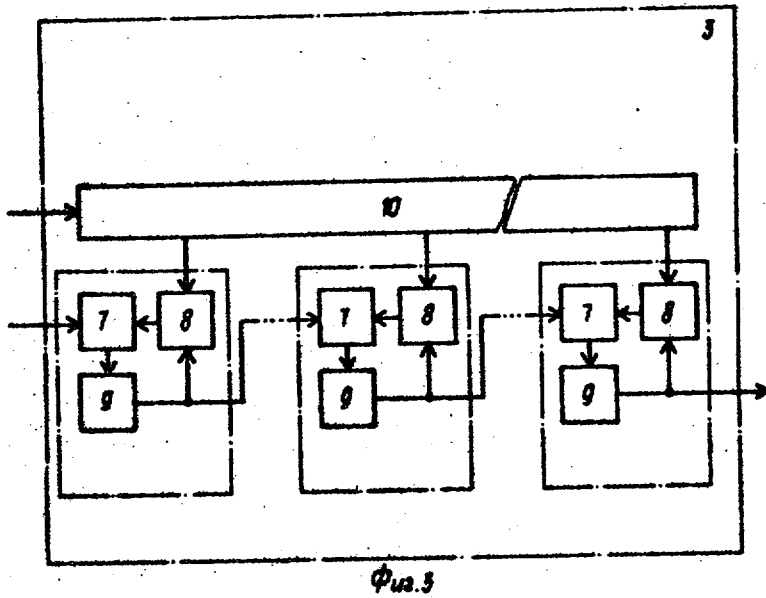
Такт	Информ. вход	Блок 3, коммутативного преобразования				Информационный выход
		Регистр 9	Коммутатор 8	Регистр 9	Коммутатор 8	
19	$X_{18}-X_{11}$		$X_{14}-X_{10}-X_{12}+X_8$	$X_{12}-X_8$	$X_{12}-X_8$	$a_3^{(1)} = X_{11}-X_9-X_{10}+X_8$
20			$X_{15}-X_9$	$X_{15}-X_9$	$X_{15}-X_9$	$a_3^{(2)} = X_{12}-X_8$
21			$X_{14}-X_{10}-X_{12}+X_8$	$X_{14}-X_{10}-X_{12}+X_8$	$X_{14}-X_{10}-X_{12}+X_8$	$a_3^{(3)} = X_{15}-X_9-X_{10}+X_8$
22			$X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}$	$X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}$	$X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}$	$a_3^{(4)} = X_{14}-X_{10}-X_{12}+X_8$
23			$X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}$	$X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}$	$X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}$	$a_3^{(5)} = X_{15}-X_{11}-X_{13}+X_9-X_{14}-X_{12}+X_8$

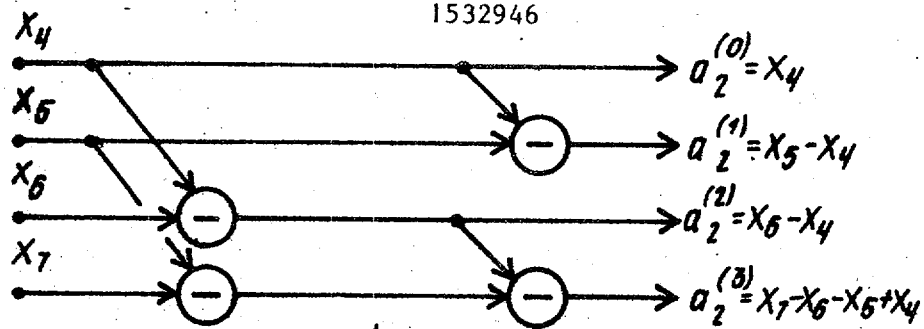


Фиг. 1

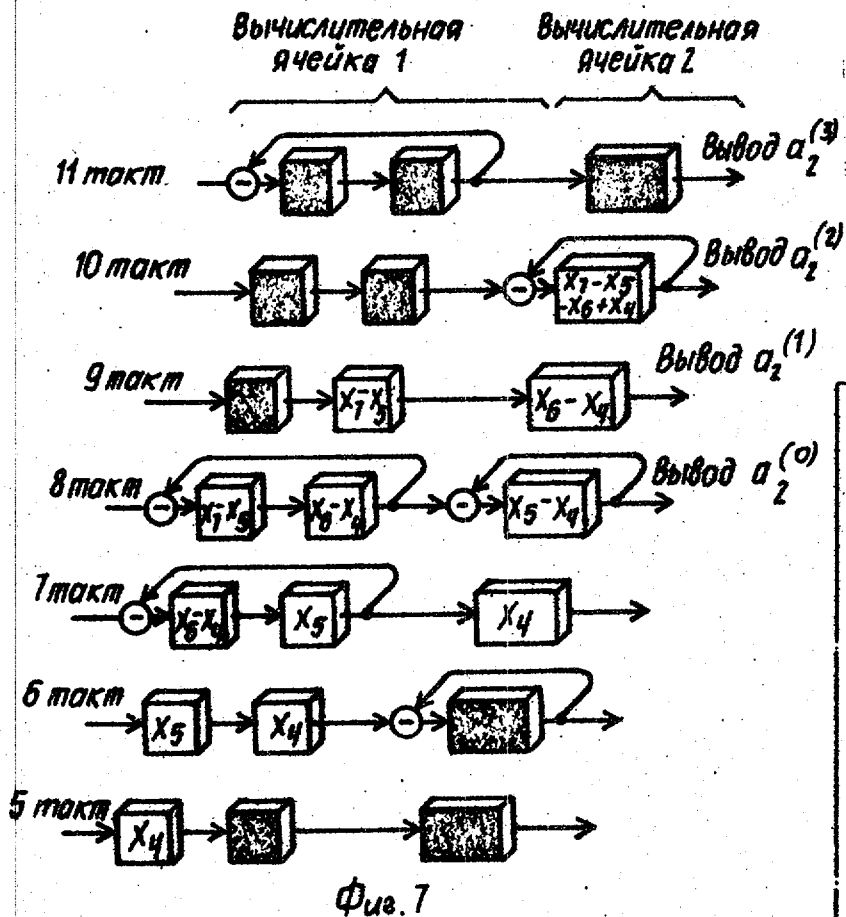


Фиг. 2

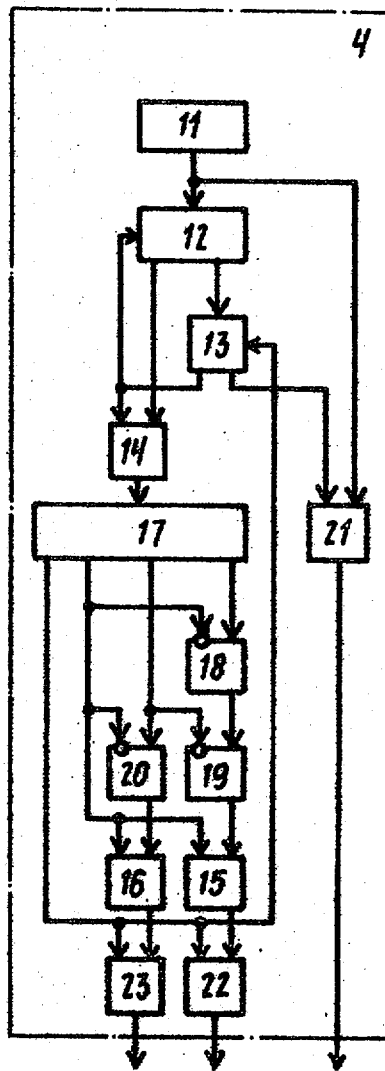




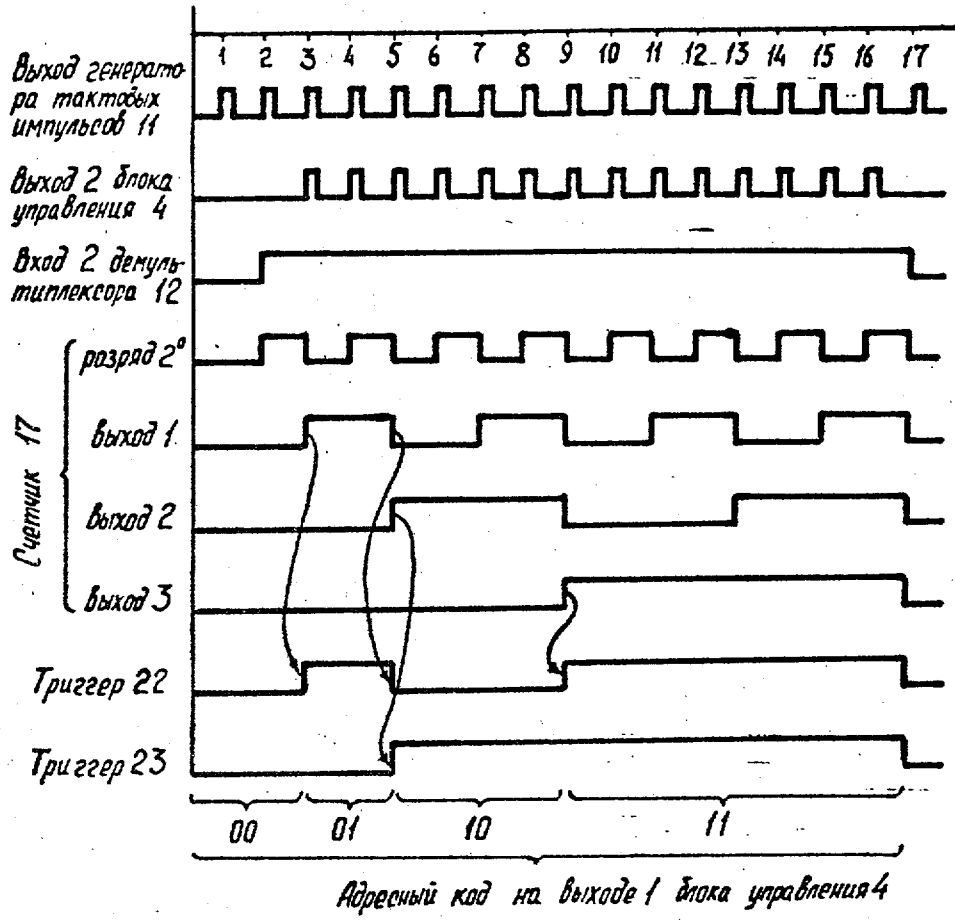
Фиг. 6



Фиг. 7

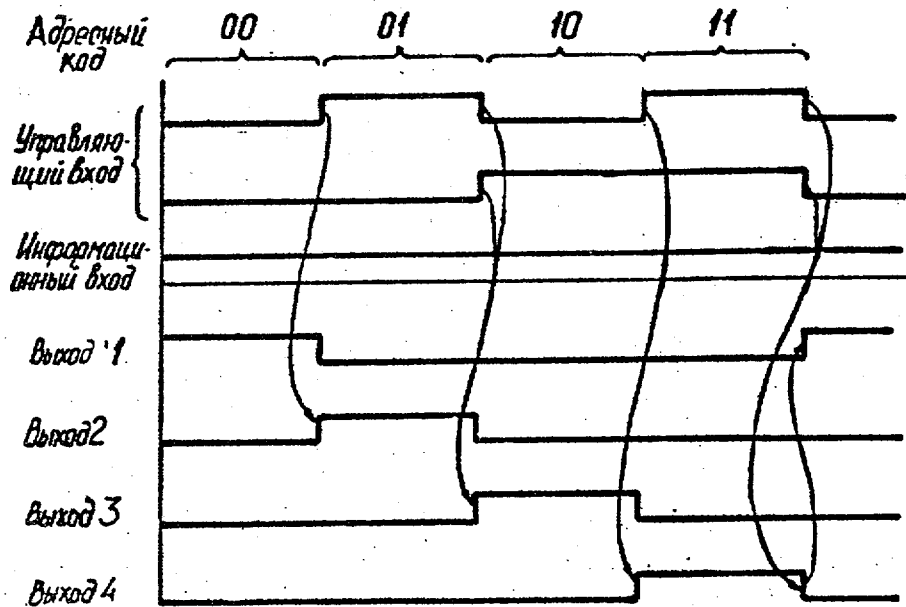


Фиг. 8

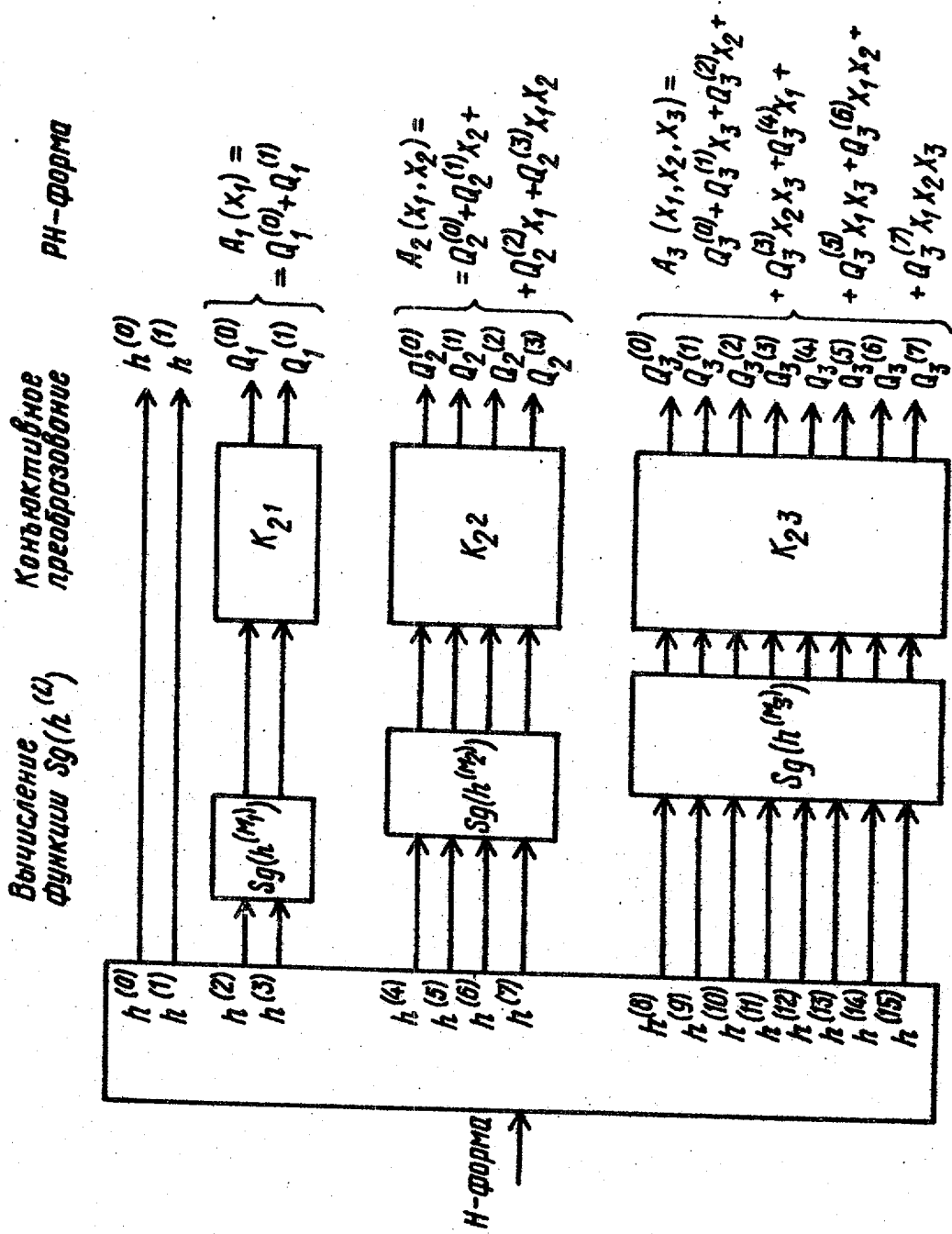


Адресный код на выходе 1 блока управления 4

Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

Редактор Л. Пчолинская      Составитель А. Баранов      Корректор С. Шекмар  
 Техред М. Ходанич

Заказ 8101/54      Тираж 668      Подписное

ВНИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР  
 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101