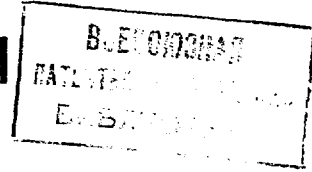




ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



- 1
- (21) 4315768/24-24
 (22) 12.10.87
 (46) 23.05.89. Бюл. № 19
 (71) Минский радиотехнический институт
 (72) В.М. Дашенков, Д.В. Кузьмицкий, В.Д. Тупиков, В.П. Шмерко и С.Н. Янушкевич
 (53) 681.3 (088.8)
 (56) Авторское свидетельство СССР № 1128263, кл. G 06 F 15/31, 1982. Авторское свидетельство СССР № 1277089, кл. G 06 F 7/04, 1985.
 (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ БУЛЕВЫХ ПРОИЗВОДНЫХ
 (57) Изобретение относится к автоматике и вычислительной технике и предназначено для аппаратной поддержки вычислений в системах анализа и синтеза цифровых автоматов, сжатия данных, синтеза топологии БИС, обра-

2

ботки изображений. Цель изобретения - расширение функциональных возможностей за счет вычисления смешанных булевых производных. Устройство содержит коммутатор, операционный блок, группу триггеров, демультимплексор, блок управления. В процессе работы исходные данные в виде отдельных композиций матрицы через информационный вход устройства и коммутатор заносятся на операционный блок, где происходит поразрядное суммирование исходного и сдвинутого векторов композиций матрицы. В зависимости от режима устройство позволяет по заданной системе векторов значений логических функций n переменных вычислять смешанную булеву производную по направлению диагонали между осями столбцов и строк. 1 з.п. ф-лы, 5 ил., 2 табл.

Изобретение относится к автоматике и вычислительной технике и предназначено для аппаратной поддержки вычислений в системах анализа и синтеза цифровых автоматов, сжатия данных, синтеза топологии БИС, обработки изображений.

Цель изобретения - расширение функциональных возможностей за счет вычисления смешанных булевых производных.

На фиг.1 изображена блок-схема устройства для вычисления булевых производных; на фиг.2 - блок-схема операционного блока; на фиг.3 - ва-

риант функциональной схемы блока управления; на фиг.4 - временная диаграмма для первого режима работы устройства; на фиг.5 - временная диаграмма для второго режима работы устройства.

Устройство содержит коммутатор 1, демультимплексор 2, операционный блок 3, группу 4 триггеров, блок 5 управления, информационный вход 6 устройства, три управляющих входа 7-9 устройства, выход 10 устройства, выход 11 коммутатора 1, выход 12 управления коммутацией, выход 13 разрешения сдвига влево, выход 14 управления

(19) **SU** (11) **1481793** **A1**

режимом коммутатора, выход 15 разрешения записи в сдвиговый регистр, выход 16 разрешения записи в регистр, выход 17 разрешения сдвига вправо, выход 18 разрешения записи. Операционный блок 3 содержит коммутатор 19, сдвиговый регистр 20, группу 21 элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ, демультимплексор 22, регистр 23, выход 24 блока, элементы ЗАПРЕТ 25 и 26, элементы И 27-35, элементы ИЛИ 36-41, счетчики 42-46, схемы 47-49 сравнения, регистры 50-52, триггеры 53 и 54, дешифраторы 55 и 56, генератор 57 импульсов, элементы 58-61 задержки.

Счетчик 42 предназначен для регламентирования работы устройства при дифференцировании матрицы R_{2^n} по переменной X m раз и представляет собой m -разрядный двоичный суммирующий счетчик. Исходное состояние счетчика 42 - нулевое.

Счетчик 43 предназначен для регламентирования работы устройства при дифференцировании результата $\partial^{(m)} R_{2^n} / \partial X^{(m)}$ по переменной B 1 раз и представляет собой 1-разрядный двоичный суммирующий счетчик. Исходное состояние счетчика 43 - нулевое.

Счетчик 44 предназначен для регламентирования работы устройства при дифференцировании матрицы R_{2^n} по переменным (X, B) g раз и представляет собой g -разрядный двоичный суммирующий счетчик. Исходное состояние счетчика 44 - нулевое.

Счетчик 45 - двухразрядный двоичный суммирующий счетчик. Исходное состояние счетчика 45 - нулевое.

Счетчик 46 - 2^n -разрядный двоичный суммирующий счетчик. Исходное состояние счетчика 46 - нулевое.

Регистры 50-52 являются $m, 1$ и g -разрядными регистрами соответственно. Шифратор 55 кодирует входные сигналы в соответствии с табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сигналы на входе шифратора 55	Сигналы на выходе шифратора 55
00	00
01	01
10	00

Шифратор 56 кодирует входные сигналы в соответствии с табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Сигналы на входе шифратора 56	Сигналы на выходе шифратора 56
0...00	0...00
0...01	0...00
0...10	0...10
⋮	⋮
⋮	⋮
1...11	1...11

20 Смешанная булева производная первого типа системы булевых функций в матричном виде определяется следующим образом

25
$$\frac{\partial^2 R_{2^n}}{\partial X \partial B} = M_{2^n} R_{2^n} M_{2^n} \pmod{2}, \quad (1)$$

где R_{2^n} - матрица размерности $2^n \times 2^n$, образованная 2^n векторами значений X_{f_j} ($j = 0, 2^n - 1$), булевых функций $f_j(X)$ переменных, т.е.

$$R_{2^n} [X_{f_{2^n-1}} | X_{f_{2^n-2}} | \dots | X_{f_0}],$$

35 где X, B - координаты матрицы R_{2^n} соответственно строки и столбцы;

40 M_{2^n} - матрица размерности $2^n \times 2^n$, формируемая по правилу

45
$$M_{2^n} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & & & \\ & 1 & 1 & & \\ & & \cdot & \cdot & \\ & & & \cdot & \cdot \\ & & & & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

50 Поясним соотношение (1) на конкретном примере. Пусть $n = 2$ (булевы функции двух переменных) и матрица R_{2^2} задана в виде

55
$$R_{2^2} = [X_{f_3} | X_{f_2} | X_{f_1} | X_{f_0}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Эта матрица образована четырьмя булевыми функциями $f_j(X)$, где $(j = 0, 3)$, которые заданы своими векторами значений X_{ij} .

В соответствии с (1) смешанная булева производная первого типа имеет вид

$$\frac{\partial^2 R}{\partial X \partial B} = M_{2^2} \cdot R_{2^2} \cdot M_{2^2} =$$

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

В общем виде соотношение (1) можно записать следующим образом

$$\frac{\partial^{(m+l)} R_{2^2}}{\partial X^{(m)} \partial B^{(l)}} = \left[M_{2^n} \cdot R_{2^n} \right]^{[m]} \times$$

$$\times M_{2^n}^{[l]} \pmod{2}, \quad (2)$$

где операции в квадратных скобках повторяются m и l раз соответственно.

Выражение (2) может быть использовано для вычисления смешанной булевой производной первого типа любого порядка по координатам X и B . При этом следует учитывать важное свойство оператора булевого дифференцирования порядка m и l . Это свойство периодичности. Суть его заключается в том, что значения производных систем булевых функций повторяются с периодом 2^n , т.е.

$$\frac{\partial^{(m)} R_{2^n}}{\partial X^{(m)}} = \frac{\partial^{(m+2^n \cdot k)} R_{2^n}}{\partial X^{(m+2^n \cdot k)}},$$

$$\frac{\partial^{(l)} R_{2^n}}{\partial B^{(l)}} = \frac{\partial^{(l+2^n \cdot k)} R_{2^n}}{\partial B^{(l+2^n \cdot k)}}.$$

Для соотношения (2) это свойство выражается в виде формулы

$$\frac{\partial^{(l+m)} R_{2^n}}{\partial X^{(m)} \partial B^{(l)}} = \frac{\partial^{(l+m+2^{n+1} \cdot k)} R_{2^n}}{\partial X^{(m+2^n \cdot k)} \partial B^{(l+2^n \cdot k)}}. \quad (3)$$

Из соотношения (3) следует, что для матрицы R_{2^n} существует 2^n производных по каждой из осей i , кроме того, при $l, m = 2^n - k$ ($k = 0, 1, 2, \dots$) матрица R_{2^n} восстанавливается.

Данное свойство использовано в устройстве для восстановления исходной системы R_{2^n} векторов X_{ij} булевых функций $f_j(X)$. Для этого необходимо систему R_{2^n} , подвергшуюся обработке оператором дифференцирования по одной из координат X и B m и l раз соответственно, продифференцировать $2^n - m$ и $2^n - l$ раз соответственно.

Математическая модель (2) реализуется устройством в первом режиме работы.

Смешанная булева производная второго типа системы булевых функций по обоим координатам X и B одновременно определяется в матричном виде следующим образом

$$\frac{\partial R_{2^n}}{\partial(X, B)} = R_{2^n} \oplus L_{2^n} \cdot R_{2^n} \cdot L_{2^n}, \quad (4)$$

где L_{2^n} - матрица сдвига размерности $2^n \times 2^n$, формируемая по правилу

$$L_{2^n} = \begin{bmatrix} 01 & & & \\ & 01 & & \\ & & \dots & \\ & & & \dots & \\ & & & & 01 \end{bmatrix}$$

Поясним соотношение (4) на примере вычисления $\partial R_{2^2} / \partial(X, B)$ матрицы

$$R_{2^2} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

В соответствии с (4) получим

$$\frac{\partial R_{2^2}}{\partial(X, B)} = R_{2^2} \oplus L_{2^2} \cdot R_{2^2} \cdot L_{2^2} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \oplus \begin{bmatrix} 0 & 1 & & \\ & 0 & 1 & \\ & & 0 & 1 \\ & & & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 1 & & \\ & 0 & 1 & \\ & & 0 & 1 \\ & & & 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

В общем виде соотношение (4) можно записать следующим образом

$$\frac{\partial^{(4)} R_{2^n}}{\partial(X, B)^{(4)}} = \left[R_{2^n} \oplus L_{2^n} \cdot R_{2^n} \cdot L_{2^n} \right]^{(4)}. \quad (5)$$

Данный оператор также обладает свойством периодичности, которое может быть записано в виде

$$\frac{\partial^{(4)} R_{2^n}}{\partial (X, B)^{(4)}} = \frac{\partial^{(4+2^n \cdot k)} R_{2^n}}{\partial (X, B)^{(4+2^n \cdot k)}}, \quad (6)$$

причем при $r = 2^n \cdot K$ ($K = 0, 1, 2, \dots$) матрица R_{2^n} восстанавливается. Соответственно, для восстановления исходной системы R_{2^n} векторов X_{ij} , булевых функций $f_j(X)$ необходимо систему, подвергшуюся обработке оператором дифференцирования по (X, B) r раз, продифференцировать по (X, B) $(2^n - r)$ раз.

Таким образом, оператор вида (5) позволяет вычислить производную системы булевых функций по диагонали с направлением возрастания значений отсчетов координат X и B .

Математическая модель (5) реализуется устройством при работе его во втором режиме.

Таким образом, математические модели (2) и (5), положенные в основу функционирования устройства, реализуются в двух режимах.

Первый режим позволяет по заданной системе R_{2^n} векторов значений X_{ij} ($j = 0, 2^{-1}$) логических функций $f_j(X)$ n переменных вычислять смешанную булеву производную первого типа $\partial^{(m+1)} R_{2^n} / \partial X^{(m)} \partial B^{(l)}$ по направлению осей координат X и B (столбцов и строк соответственно), т.е. по направлению возрастания переменной $X = (X^{(0)}, X^{(1)}, \dots, X^{(m)})$ и переменной "весов" векторов X .

Второй режим позволяет по заданной системе R_{2^n} векторов значений X_{ij} логических функций $f_j(X)$ n переменных вычислять смешанную булеву производную второго типа по (X, B) вида $\partial^{(r)} R_{2^n} / \partial (X, B)^{(r)}$ т.е. по направлению диагонали между осями X и B .

Работу устройства рассмотрим на примере реализации математической модели вида $\partial R_{2^n} / \partial X$. Выходные параметры этой модели имеют следующие значения: $r = 0$, $m = 1$, $l = 0$. Исходная матрица

$$R_{2^n} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

передается по столбцам с информационного входа устройства через ком-

мутатор 1 на вход операционного блока 3.

В первом такте в сдвиговый регистр 20 и регистр 23 заносятся значения элементов первого столбца X_{i_0} матрицы R_{2^n} . В сдвиговом регистре 20 происходит сдвиг содержимого на один разряд в сторону младших разрядов, под управлением ствола с выхода 17 разрешения сдвига вправо, и далее поразрядное суммирование по модулю два содержимого сдвигового регистра 20 и содержимого регистра 23 (в группе 21 элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ), т.е. исходного и сдвинутого векторов. Результат $(\partial X_{i_0} / \partial X)$ заносится в группу 4 триггеров.

Во втором такте в сдвиговый регистр 20 и в регистр 23 заносятся значения элементов второго вектора X_{i_1} , матрицы R_{2^n} и далее повторяются процедуры, аналогичные процедурам первого такта.

После завершения последнего такта результат $\partial R_{2^n} / \partial X$ записывается в группу 4 триггеров.

Рассмотрим реализацию математической модели вида $\partial R_{2^n} / \partial (X, B)$. Входные параметры этой модели имеют следующие значения: $r = 1$, $m = 0$, $l = 0$.

Исходная матрица

$$R_{2^2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

по столбцам подается на информационный вход операционного блока 3. В первом такте на регистр 23 заносятся значения элементов вектора X_{i_0} , а в сдвиговый регистр 20 - значения элементов вектора X_{i_1} , которые затем сдвигаются на один разряд вправо в сторону разрядов. Группа 21 элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ выполняет операцию сложения по модулю два содержимых сдвигового регистра 20 и регистра 23, а результат $\partial X_{i_0} / \partial (X, B)$ записывается в группу 4 триггеров.

Во втором такте происходит сдвиг содержимого сдвигового регистра 20 в сторону старших разрядов под управлением сигнала с выхода 13 разрешения сдвига влево, далее происходит запись результата в регистр 23, а затем в сдвиговый регистр 20 записывается следующий вектор X_{i_2} и происходит сдвиг на один разряд вправо в сторону младших векторов X_{i_2} . Группа 21

элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ осуществляет операцию сложения по модулю два содержимого сдвигового регистра 20 и регистра 23, и результат вычисления записывается в группу 4 триггеров.

В четвертом такте в группу 4 триггеров записывается вектор X_{f_3} .

Таким образом, в группе 4 триггеров формируется результат дифференцирования $\partial R_{2n} / \partial (X, B)$.

Теперь рассмотрим работу устройства в общем, выделив два режима.

В первом режиме реализуется математическая модель (2) вида $\partial^{(m+l)} R_{2n} / \partial X^{(m)} \partial B^{(l)}$. При этом можно выделить два этапа.

На первом этапе первого режима устройство реализует вычисления вида $\partial^{(m)} R_{2n} / \partial X^{(m)}$.

В начальных тактах на второй и третий управляющие входы 8 и 9 устройства подаются значения параметров m и l соответственно. В операционный блок 3 с информационного входа 6 через коммутатор 1 записывается вектор - столбец X_{f_j} ($j = 1, 2^n$) матрицы $R_{2n} = [X_{f_{2^{n-1}}}, \dots, X_{f_1}, X_{f_0}]$, начиная с вектора X_{f_0} , и осуществляется обработка вектора X_{f_j} в соответствии с математической моделью вида $\partial^{(m)} X_{f_j} / \partial X^{(m)}$.

Под управлением сигнала низкого уровня с выхода 18 разрешения записи полученный в операционном блоке 3 результат $(\partial^{(m)} X_{f_j} / \partial X^{(m)})$ записывается в группу 4 триггеров.

На втором этапе первого режима устройство реализует вычисления вида $\partial^{(l)} (\partial^{(m)} R_{2n} / \partial X^{(m)}) / \partial B^{(l)}$.

На этапе по высокому логическому уровню сигнала с выхода 18 разрешения записи (признак считывания информации по строкам) результат вычисления первого этапа дифференцирования $\partial^{(m)} R_{2n} / \partial X^{(m)}$ из группы 4 триггеров через демultipлексор 2 и коммутатор 1 (под управлением сигнала с выхода 12 управления коммутацией) передается в операционный блок 3. Операционный блок 3 выполняет обработку матрицы $\partial^{(m)} R_{2n} / \partial X^{(m)}$ в соответствии с математической моделью $\partial^{(l)} (\partial^{(m)} R_{2n} / \partial X^{(m)}) / \partial B^{(l)}$. Результат в виде матрицы $\partial^{(m+l)} R_{2n} / \partial X^{(m)} \partial B^{(l)}$ записывается в группу 4 триггеров и далее через демultipлексор 2 поступает на выход 10 устройства.

Таким образом, в первом режиме устройство реализует математическую модель вида $\partial^{(m+l)} R_{2n} / \partial X^{(m)} \partial B^{(l)}$.

Во втором режиме реализуется математическая модель (5) вида $\partial^{(4)} R_{2n} / \partial (X, B)^{(4)}$.

В начальных тактах на первый управляющий вход 7 устройства подается значение параметра r . В операционный блок 3 с информационного входа 6 через коммутатор 1 записывается вектор X_{f_j} ($j = 1, 2^n$) матрицы $R_{2n} [X_{f_{2^{n-1}}}, \dots, X_{f_1}, X_{f_0}]$ начиная с вектора X_{f_0} .

Операционным блоком 3 выполняется обработка матрицы R_{2n} (каждого из ее векторов X_{f_j}) в соответствии с математической моделью (5) вида $\partial R_{2n} / \partial (X, B) (\partial X_{f_j} / \partial (X, B))$. Результат обработки поступает на группу 4 триггеров. Полученный результат через демultipлексор 2 и коммутатор 1 поступает в операционный блок 3 (по векторам $\partial X_{f_j} / \partial (X, B)$ $r - 1$ раз. После обработки результат в виде матрицы $\partial^{(r)} R_{2n} / \partial (X, B)^{(r)}$ поступает через демultipлексор 2 на выход 10 устройства.

Таким образом, во втором режиме устройство реализует математическую модель вида $\partial^{(r)} R_{2n} / \partial (X, B)^{(r)}$.

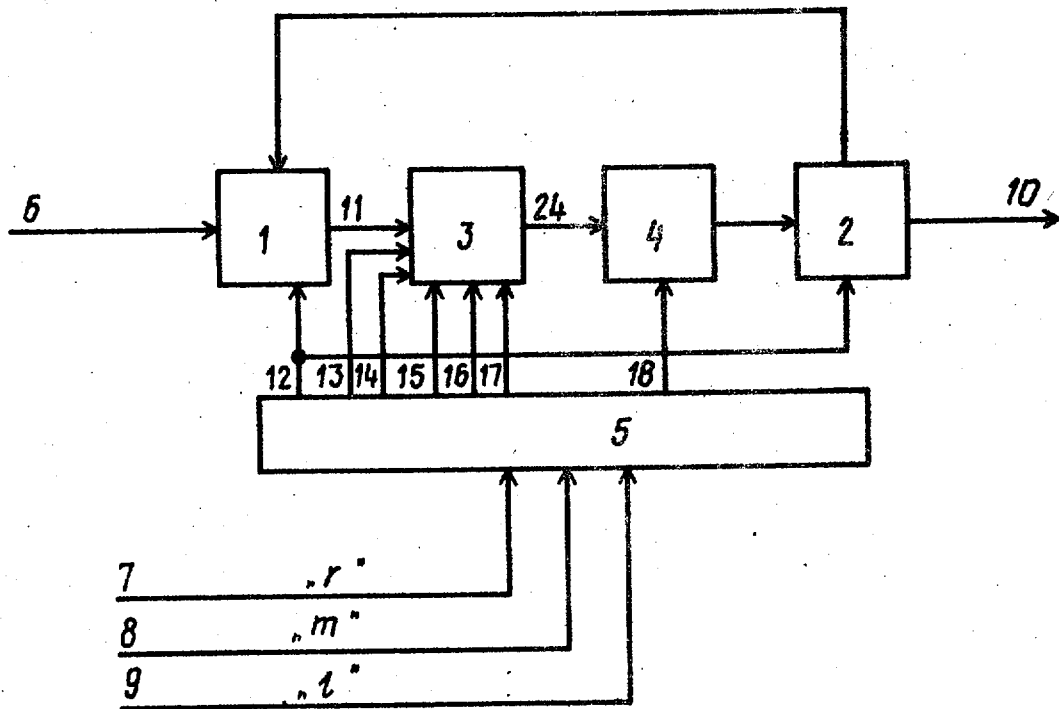
Для восстановления исходной системы по результату дифференцирования $\partial^{(m+l)} R_{2n} / \partial X^{(m)} \partial B^{(l)}$ первого режима достаточно подать на второй и третий управляющие входы 8 и 9 устройства параметры $(2^n - m)$ и $(2^n - l)$ соответственно. В результате обработки в соответствии с математической моделью (2) и свойством (3) исходная матрица R_{2n} восстановится. Аналогично для восстановления исходной системы по результату дифференцирования $\partial^{(r)} R_{2n} / \partial (X, B)^{(r)}$ второго режима необходимо на первый управляющий вход 7 устройства подать параметр $(2^n - r)$, и в результате обработки в соответствии с математической моделью (5) и свойством (6) исходная матрица R_{2n} восстановится.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

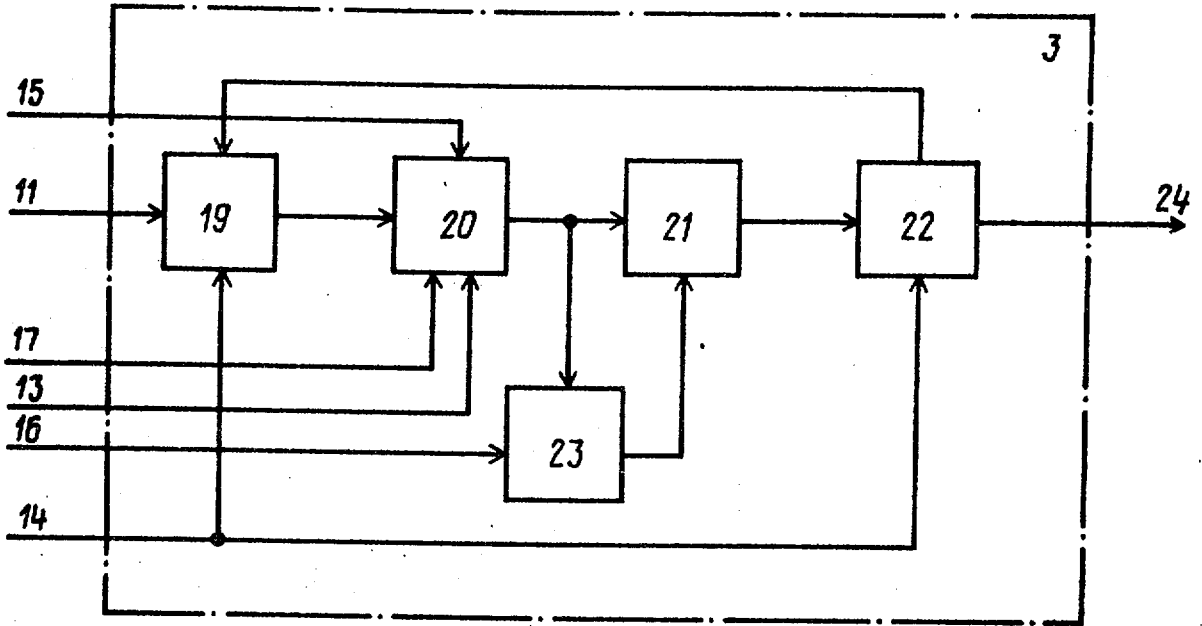
1. Устройство для вычисления булевых производных, содержащее группу триггеров, демultipлексор, причем вход демultipлексора соединен с выходом триггеров группы, о т л и ч а ю щ е е с я тем, что, с целью расширения функциональных возможностей за счет вычисления смешанных булевых

производных, оно содержит коммутатор, операционный блок и блок управления, причем информационный вход устройства соединен с первым информационным входом коммутатора, второй информационный вход которого соединен с первым выходом демультиплексора, а выход соединен с информационным входом операционного блока, выход которого соединен с информационным входом триггеров группы, первый, второй и третий управляющие входы устройства соединены соответственно с первым, вторым и третьим входами блока управления, выход управления коммутацией которого соединен с управляющими входами коммутатора и демультиплексора, выход разрешения сдвига влево, выход управления режимом коммутатора, выход разрешения записи в сдвиговый регистр, выход разрешения записи в регистр и выход разрешения сдвига вправо соединены соответственно с первым, вторым, третьим, четвертым и пятым управляющими входами операционного блока, выход разрешения записи соединен с управляющим входом триггеров группы, второй выход демультиплексора является выходом устройства.

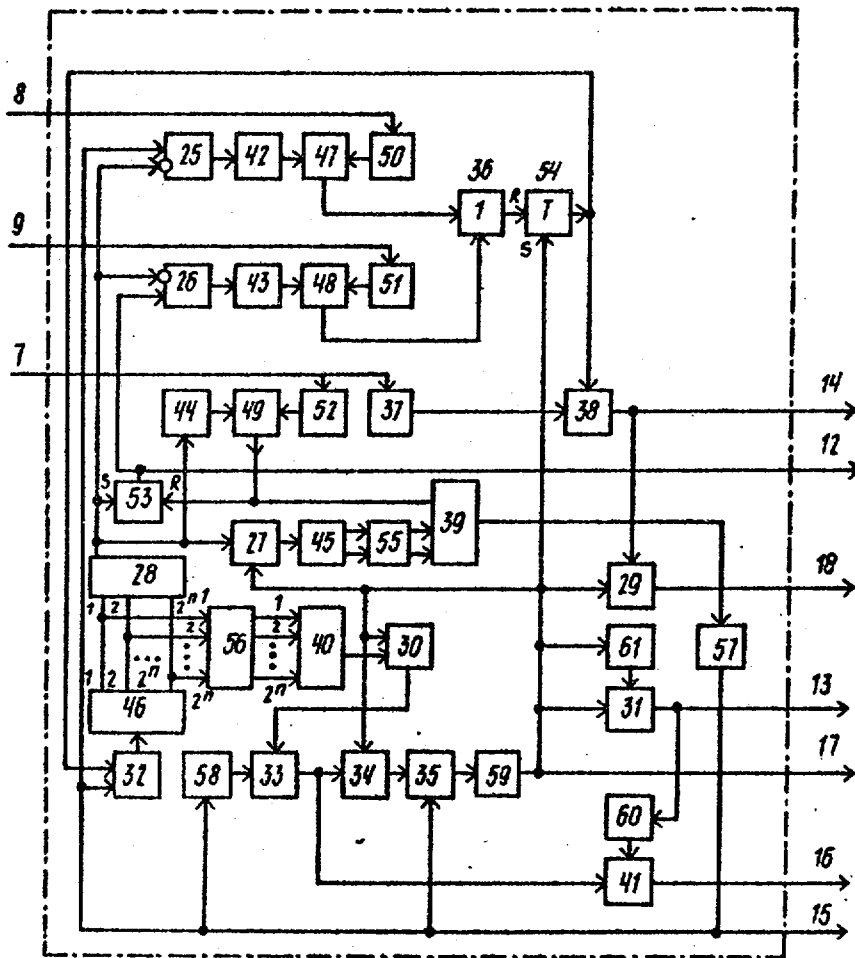
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что операционный блок содержит коммутатор, сдвиговый регистр, регистр, группу элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ, демультиплексор, причем информационный вход операционного блока соединен с первым информационным входом коммутатора, второй информационный вход которого соединен с первым выходом демультиплексора, а выход соединен с информационным входом сдвигового регистра, выход которого соединен с первым входом элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ группы и информационным входом регистра, выход которого соединен с входом элементов НЕРАВНОЗНАЧНОСТЬ группы, выход которой соединен с входом демультиплексора, первый, второй, третий, четвертый и пятый управляющие входы операционного блока соединены соответственно с первым входом разрешения сдвига сдвигового регистра, с управляющим входом коммутатора и демультиплексора, с управляющим входом сдвигового регистра, с управляющим входом регистра, с вторым входом разрешения сдвига сдвигового регистра, второй выход демультиплексора является выходом операционного блока.



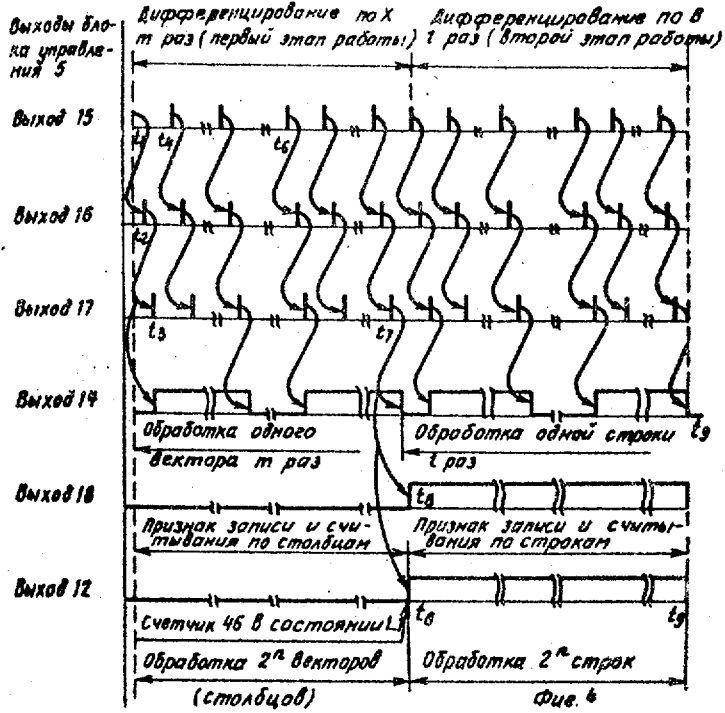
Фиг. 1



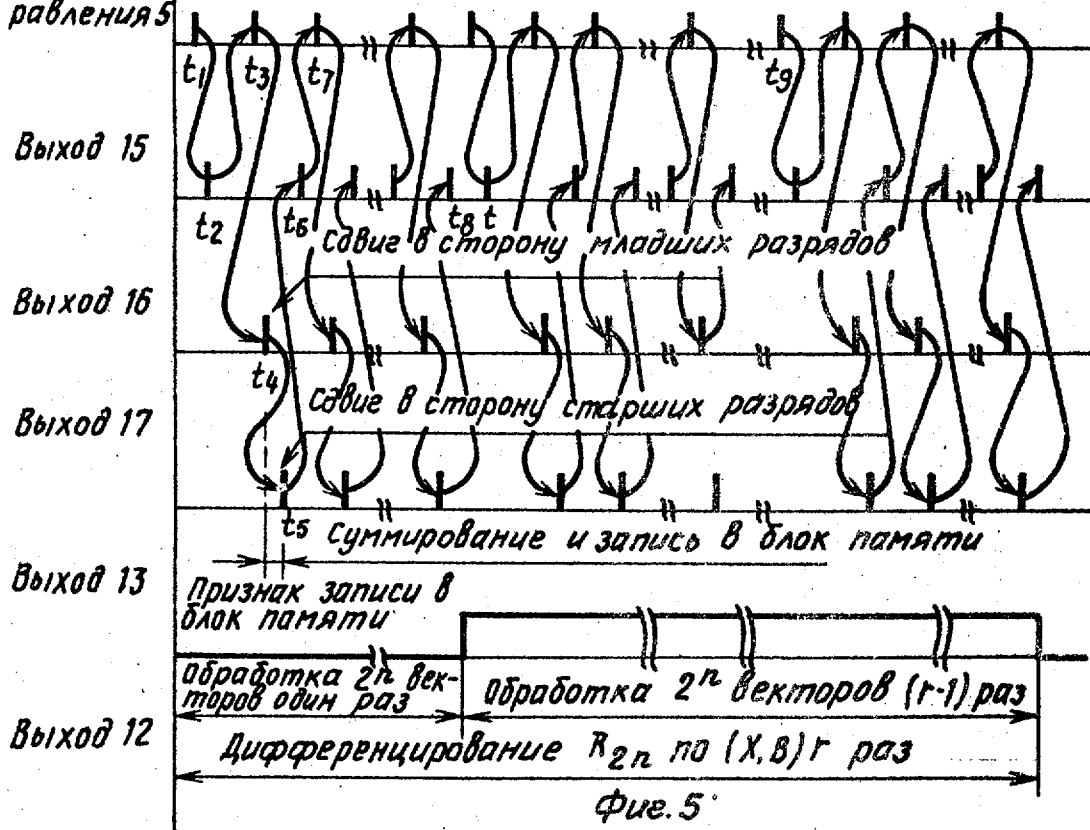
Фиг. 2



Фиг. 3



Выходы блока управления 5



Составитель В. Сорокин

Редактор В. Данко

Техред М. Ходанич

Корректор В. Гирняк

Заказ 2692/51

Тираж 669

Подписное

ВНИИПИ 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