



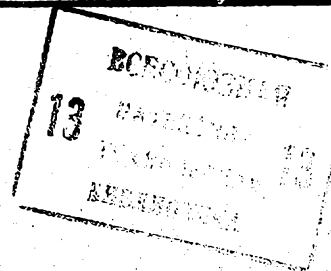
СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1125618 A

3 (5D) G 06 F 3/552

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ДЕЛАМ ИЗОБРЕТЕНИЙ И ОТКРЫТИЙ

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ



(61) 849209
(21) 3579488/24-24
(22) 15.04.83
(46) 23.11.84. Бюл. № 43
(72) Р.В.Коробков и В.Е.Золотовский
(71) Таганрогский радиотехнический институт им.В.Д.Калмыкова
(53) 681.325(088.8)
(56) 1. Авторское свидетельство СССР № 849209, кл. G 06 F 7/552, 1980.
(54)(57) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ КВАДРАТНОГО КОРНЯ по ав.св. № 849209, отличающееся тем, что, с целью повышения его точности, в него введены третий и четвертый счетчики, блок суммирования и сдвига, мультиплексор, четыре элемента ИЛИ, третий, четвертый и пятый элементы И, причем выход первого элемента И соединен с первым входом первого элемента ИЛИ, выход которого соединен с вычитающим входом третьего счетчика и первым входом второго элемента ИЛИ, выход которого соединен с входом младшего разряда блока суммирования и сдвига, остальные разрядные входы которого соединены соответственно с инверсными выходами третьего счетчика, выходы накапливающего сумматора, начиная с 8-го разряда по (+1)-й (где n - разрядность результата), соединены соответственно с информационными

входами мультиплексора, управляющие входы которого соединены соответственно с разрядными выходами четвертого счетчика, счетный вход которого соединен с входом сдвига блока суммирования и сдвига, и третьего счетчика и выходом третьего элемента ИЛИ, первый вход которого соединен с выходом второго элемента И, выход мультиплексора соединен с первым входом третьего элемента И и инверсным входом четвертого элемента И, первый вход которого соединен с инверсным входом третьего элемента И и выходом знакового разряда блока суммирования и сдвига, вторые входы третьего и четвертого и первый вход пятого элементов И соединены с управляющим входом устройства, выходы третьего и четвертого элементов И соединены соответственно с первым и вторым входами четвертого элемента ИЛИ и вторыми входами соответственно первого и третьего элементов ИЛИ, инверсный выход четвертого элемента ИЛИ соединен с вторым входом пятого элемента И, выход которого соединен с суммирующим входом третьего счетчика и вторым входом второго элемента ИЛИ, вход установки числа блока суммирования и сдвига соединен с входом начальной установки устройства.

(19) SU (11) 1125618 A

Изобретение относится к вычислительной технике и может быть использовано в вычислительных устройствах, в частности в цифровых интегрирующих машинах.

По основному авт.св. № 849209 известно устройство, содержащее два счетчика, три элемента И, делитель частоты, коммутатор и блок вычисления приращений, причем вход устройства 10 подключен к первому входу коммутатора и входу делителя частоты, выход которого соединен с вторым входом коммутатора, первый выход которого соединен с входом первого счетчика, вход сброса которого соединен с выходом первого элемента И и входом второго счетчика, выход которого соединен с управляющим входом коммутатора, второй выход которого соединен с первым входом второго элемента И, выход которого является выходом устройства, а второй вход соединен с выходом блока вычисления приращений, входы которого с первого по четырнадцатый соединены с разрядными прямыми и инверсными выходами первого счетчика, начиная с инверсного выхода первого разряда, седьмой и восьмой разрядные выходы которого соединены с первым и вторым входами первого элемента И соответственно, позволяющее 25 вычислять квадратный корень с помощью формирования приращений искомой величины. Формирование приращений производится специальной комбинационной схемой. Для упрощения устройства и повышения точности диапазона возможных значений переменной она разбивается на n зон. Причем комбинационная 30 схема формирования приращений во всех зонах остается одной и той же, меняется только вес приращений [1].

Недостатком известного устройства является низкая точность для больших значений аргументов. При $x \geq 1/4$ устройство работает только в первой зоне и погрешность вычисления квадратного 35 корня оказывается не меньшей чем 2^{-9} , для $x \geq 1/16$ устройство может работать не более чем в двух зонах и погрешность вычисления квадратного корня 40 оказывается не меньшей чем 2^{-10} и т.д.

Целью изобретения является повышение точности устройства. 45

Поставленная цель достигается тем, что в устройство для вычисления квадратного корня введены третий и чет-

вертый счетчики, блок суммирования и сдвига, мультиплексор, четыре элемента ИЛИ, третий, четвертый и пятый 5 элементы И, причем выход первого элемента И соединен с первым входом первого элемента ИЛИ, выход которого соединен с вычитающим входом третьего счетчика и первым входом второго элемента ИЛИ, выход которого соединен с входом младшего разряда блока суммирования и сдвига, остальные разрядные входы которого соединены соответственно с инверсными выходами третьего 10 счетчика, выходы накапливающего сумматора, начиная с 8-го разряда по $(n+1)$ -й (где n - разрядность результата), соединены соответственно с информационными входами мультиплексора, управляющие входы которого соединены соответственно с разрядными выходами четвертого счетчика, счетный 15 вход которого соединен с входом сдвига блока суммирования и сдвига, и третьего счетчика и выходом третьего элемента ИЛИ, первый вход которого соединен с выходом второго элемента И, выход мультиплексора соединен с первым входом третьего элемента И и инверсным входом четвертого элемента И, 20 первый вход которого соединен с инверсным входом третьего элемента И и выходом знакового разряда блока суммирования и сдвига, вторые входы третьего и четвертого и первый вход пятого элементов И соединены с управляющим входом устройства, выходы 25 третьего и четвертого элементов И соединены соответственно с первым и вторым входами четвертого элемента ИЛИ и вторыми входами соответственно первого и третьего элементов ИЛИ, инверсный выход четвертого элемента ИЛИ соединен с вторым входом пятого элемента И, выход которого соединен с суммирующим входом третьего счетчика и вторым входом второго элемента ИЛИ, 30 вход установки числа блока суммирования и сдвига соединен с входом начальной установки устройства.

На чертеже представлена структурная схема устройства для вычисления квадратного корня.

Устройство содержит информационный вход 1 устройства, делитель 2 частоты, первый счетчик 3, коммутатор 4, второй счетчик 5, первый элемент И 6, блок 7 вычисления приращений, второй элемент И 8, первый элемент ИЛИ 9,

третий счетчик 10, второй элемент ИЛИ 11, третий элемент ИЛИ 12, блок 13 суммирования и сдвига, четвертый счетчик 14, мультиплексор 15, третий элемент И 16, четвертый элемент И 17, четвертый элемент ИЛИ 18, пятый элемент И 19, вход 20 начальной установки устройства, управляющий вход устройства 21.

Блок 13 суммирования и сдвига выполнен как накапливающий сумматор, в котором в качестве регистра хранения используется регистр сдвига.

Устройство работает следующим образом.

Первые 16 старших разрядов начального значения $(1-x)$ заносятся в блок суммирования и сдвига. Затем аргумент x в единичном коде поступает на вход 1, где преобразуется в поток единичных приращений $\Delta\sqrt{x}$. Этот поток через элемент ИЛИ 9 поступает на вычитающий вход счетчика 10, где формируется величина

$$y_{k+1} = y_k - \Delta\sqrt{x}, \quad k=0, 1, \dots$$

В первой зоне приращения $\Delta\sqrt{x}$ имеет вес 2^8 , поэтому длина слова величины y_k в первой зоне равна восьми разрядам. Отсюда, так как дробная часть величины y_k имеет восемь разрядов, остальные следует считать целыми, т.е. запятая фиксируется перед девятым разрядом. Поэтому для занесения $y_0=1$ необходимо девятый разряд счетчика перевести в единичное состояние. Эта операция выполняется при сбросе устройства в исходное состояние.

При поступлении каждого импульса с выхода элемента И 6 содержимое счетчика 10 уменьшается на 1 и происходит выдача инверсии полученного значения на блок суммирования и сдвига. Это дополнительный код предыдущего значения счетчика 10. Выходы счетчика 10 соединены с входами блока 13 суммирования и сдвига со сдвигом на один разряд в сторону старших разрядов. В освобождающийся разряд поступает само приращение с выхода элемента ИЛИ 11.

На блоке 13 суммирования и сдвига реализуется выражение

$$y_{k+1} = y_k + 2y_k \Delta\sqrt{x} + (\Delta\sqrt{x})^2, \quad k=0, 1, \\ y_0 = (1-x).$$

Разрядная сетка блока 13 суммирования и сдвига первоначально должна

иметь длину 17 разрядов. Это вытекает из следующего.

Вес младшего разряда равен $(\Delta\sqrt{x})^2$, а так как $(\Delta\sqrt{x}) = 2^{-8}$, то $(\Delta\sqrt{x})^2 = 2^{-16}$. Поэтому слово y_k в сумматоре должно содержать 16 дробных разрядов и один знаковый.

Операция повторяется каждый раз, когда происходит приращение $(\Delta\sqrt{x})$.

При переходе из одной зоны в другую вес приращения $(\Delta\sqrt{x})$ изменяется, он уменьшается вдвое. Это уменьшение следует учесть. Для этого сдвигают содержимое счетчика 10 на один разряд в сторону старших разрядов, тем самым вес младшего разряда уменьшается в два раза. С другой стороны, $(\Delta\sqrt{x})^2$ при изменении веса $\Delta\sqrt{x}$ в два раза изменяется вес в четыре раза, поэтому содержимое блока суммирования и сдвига необходимо сдвинуть на два разряда. При этом следует иметь сетку блока 13 суммирования и сдвига в два раза большей, чем счетчика 10, однако, учитывая, что точность вычисления квадратного корня при переходе из одной зоны в другую увеличивается, поэтому старшие разряды невязки равны нулю и их потеря при сдвиге не влияет на вычисления. Сигнал перехода из зоны в зону, кроме того, наращивает содержимое счетчика 14. Необходимость этого поясняется ниже. Затем поступившие с выхода элемента И 6 приращения обрабатываются аналогично.

После этого, если обработаны все единичные приращения x и заданная точность не достигнута, по сигналу w , поступившему на входы элементов И 16, 17 и 19 извне, начинается процесс коррекции.

Коррекция осуществляется следующим образом.

В зависимости от состояния счетчика 10 на элементы И 16 и 17 поступает информация из одного из старших разрядов блока 13 суммирования и сдвига. Соответствие между состоянием счетчика 14 и номером разряда, подключаемого к элементам И 16 и 17, показано в таблице. Таблица построена для $n=16$.

Состояние счетчика	Номер разряда
0	8
1	9

Продолжение таблицы

Состояние счетчика	Номер разряда
2	10
3	12
4	12
5	13
6	14
7	15

Предположим, что обработано j зон тогда счетчик 14 находится в состоянии $(j-1)$ и номер разряда, подключаемого к элементам И 16 и 17, $i = j+8$. При этом анализируется информация $(8-j)$ -го разряда. Действительно, при переходе из первой зоны во вторую счетчик 14 переходит в первое состояние. Информация снимается из 9-го разряда, но при этом содержимое блока суммирования и сдвига сдвигается на два разряда в сторону старших разрядов и в 9-ом разряде оказывается информация 7-го разряда. При переходе в третью зону счетчик 14 переходит во второе состояние. Анализируется 10-й разряд с учетом двух сдвигов, так оказывается 6-й разряд разности и т.д. до N зоны. При сдвиге содержимого блока суммирования и сдвига освобождающиеся два младших разряда блока суммирования и сдвига заполняются младшими разрядами невязки, хранимыми вне устройства.

Поступивший на элемент И 16 и 17 разряд анализируется, и в зависимости от его содержимого и содержимого знакового разряда формируется либо сигнал Z^+ (положительное приращение), либо сигнал Z (сигнал сдвига), либо сигнал Z^- (отрицательное приращение). Эти сигналы вырабатываются в соответствии с уравнениями

$$Z^+ = Wx_{3n}\bar{x}_i,$$

где W - разрешающий сигнал;

x_{3n} - значение знакового разряда;

x_i - значение анализируемого разряда,

$$Z^- = Wx_{3n}\bar{x}_i, Z = W(Z^+ \vee Z^-).$$

При получении сигнала Z^+ устройство выполняет действия аналогичные действиям, выполняемым при поступлении приращений с выхода элемента И 6. Сигнал Z^+ вырабатывается до тех пор, пока значение анализируемого разряда не станет равным нулю. Тогда вырабатывается сигнал Z и устройство выполняет действия, аналогичные действиям, выполняемым при переходе из зоны в зону. Эта операция выполняется до тех пор, пока не изменится содержание анализируемого разряда.

При этом может сформироваться сигнал Z^- . Это приращение поступает на суммирующий вход счетчика 10 и вход элемента ИЛИ 11. При этом сначала происходит выдача содержимого счетчика 10 на блок суммирования и сдвига, где происходит суммирование и запоминание результата и лишь после окончания сложения и запоминания, содержимое счетчика 10 увеличивается на 1.

Эта операция повторяется до тех пор, пока содержимое анализируемого разряда не станет равным нулю. Далее вырабатывается сигнал сдвига, и так далее пока не будет достигнута требуемая точность. В этом случае сигнал W на входе устройства становится равным нулю и прекращается выработка сигналов. В счетчике 10 фиксируется результат. Выход счетчика 10 есть выход устройства.

Рассмотрим работу устройства на примере вычисления корня квадратного величины $x=0,0156819$. Точное значение корня $y=0,1252273$. Начальное значение невязки

$$(1-x) = (0,9843181)_{10} = (0,767761053)_8.$$

В блоке 13 суммирования и сдвига заносятся 16 старших разрядов

$$y = (0,9843139)_{10} = (0,767760)_8.$$

Так как $0,015625 \leq x \leq 0,0625$, то устройство работает в трех зонах. Число приращений вычисляют по формуле

$$x \approx x_{12} - N \cdot 2^{-12},$$

где x_{12} - левая граница первой зоны ($x_{12}=1$). Тогда

$$N = [(1-x)2^{12}]_{цел} = 4031.$$

В первую зону поступит 192 приращения Δx весом 2^{-8} , во вторую зону - 192

приращений Δx весом 2^{-10} и в третью зону - 191 приращение Δx весом 2^{-12} . В каждой зоне вырабатывается по 128 приращений $\Delta\sqrt{x}$ соответственно с

17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1

Счетчик 14 находится в состоянии 2, поэтому анализируется 10-й разряд. Так как он нулевой проис-

весами 2^{-8} , 2^{-9} , 2^{-10} . Таким образом, в счетчике 10 имеем

$$y^* = 1 - 128 \cdot 2^{-8} - 128 \cdot 2^{-9} - 128 \cdot 2^{-10} - 125$$

В сумматоре имеем

ходит сдвиг в сторону старших разрядов и наращивание счетчика 14 на 1.

17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1

0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1

0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1

0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0

0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1

Сдвиг производится до тех пор, пока в анализируемом разряде не появится 1.

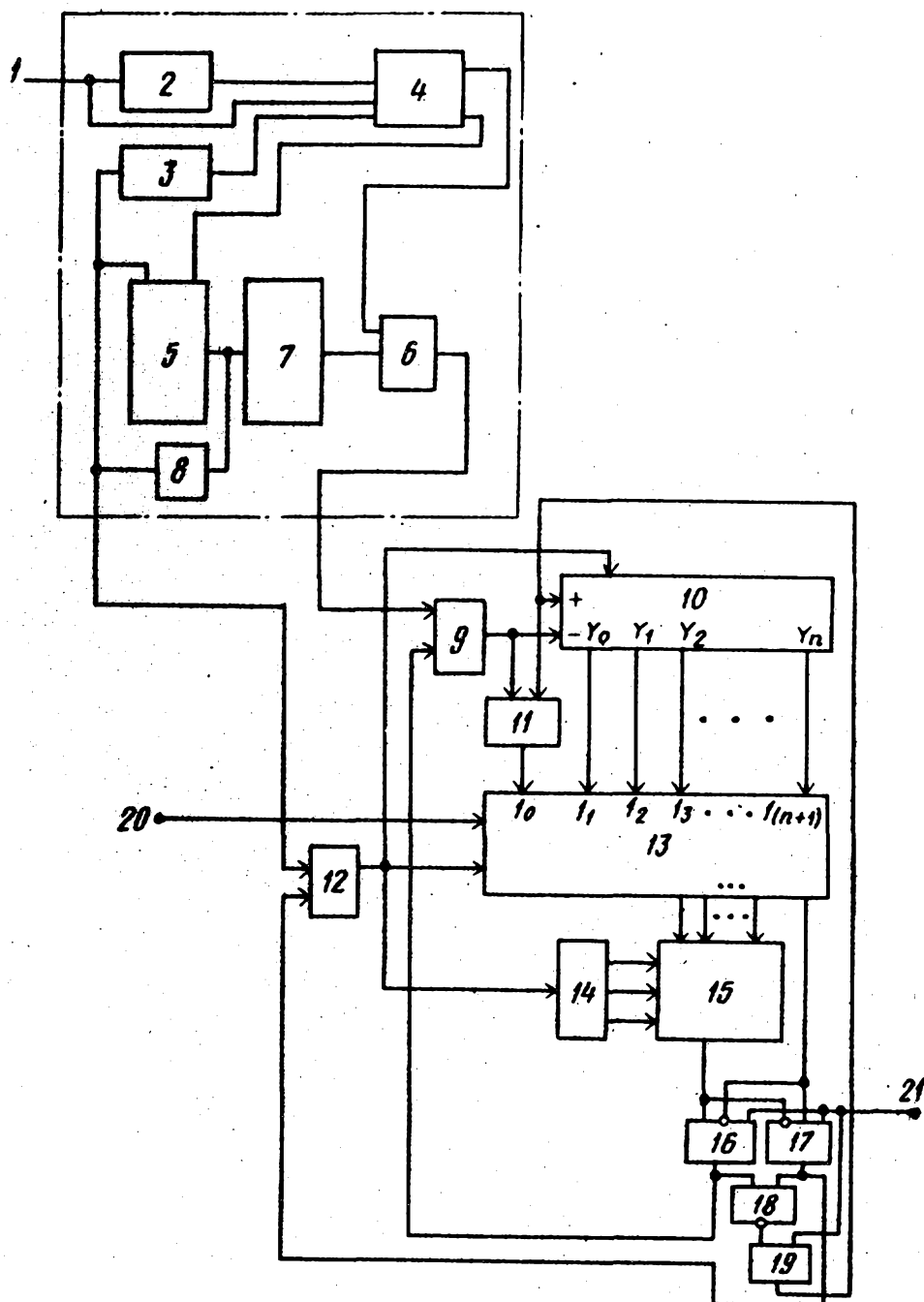
Эта операция повторяется в данном случае пять раз. Счетчик 10 находится в состоянии 7, поэтому анализируется 15-й разряд. После пяти сдвигов в этом разряде стоит 1, знаковый разряд положителен, поэтому вырабатывается положительное приращение с весом $2^{8-(i-1)}$, где i - номер зоны (определяется по числу сдвигов).

В нашем случае сдвигов было 7 (два сдвига при переходе из первой

зоны во вторую, из второй в третью и пять сдвигов за счет сигнала со схемы выработки приращения), поэтому устройство находится в восьмой зоне, следовательно, вес приращения $\Delta\sqrt{x} = 2^{-15}$. Таких приращений вырабатывается еще 7. Окончательно получаем

$$y = 12 \cdot 128 \cdot 2^{-8} - 128 \cdot 2^{-9} - 128 \cdot 2^{-10} - 7 \cdot 2^{-15} = 0,1252135$$

Ошибка $\varepsilon = 0,0000138 \cdot 2^{-16}$.



Составитель А. Казанский

Редактор И. Шулла Техред С. Легеза

Корректор Л. Пилипенко

Заказ 8541/37

Тираж 698

Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета СССР

по делам изобретений и открытий

113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5

Филиал ИПИ "Патент", г. Ужгород, ул. Проектная, 4