

ки; клавиши управления затенением экрана У0; основную и функциональную клавиатуру для отыскания необходимых унифицированных поверхностей, контуров на микрофильме; клавишу автоматического ввода координат поля описательного символа.

Использование всех этих элементов в комплексе позволяет улучшить организацию работы оператора.

Технические характеристики устройства: скорость поиска микрофильмированной информации 0,5 м/с; время смены кадра при просмотре менее 1 с; емкость кассет с микрофильмом 512 кадров; питание устройства: напряжение 220 В; частота 50 Гц; потребляемая мощность 1800 Вт; занимаемая площадь 1,8 м<sup>2</sup>.

Поступило в редакцию 12 мая 1974 г.

УДК 681.3.053

В. Р. ВОЗНЮК, Б. М. ГЛИНСКИЙ, В. М. ИВАНОВ

(Новосибирск)

### ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВОИЧНЫХ ЧИСЕЛ С ПЛАВАЮЩЕЙ ЗАПЯТОЙ В ДВОИЧНО-ДЕСЯТИЧНУЮ ФОРМУ

При проведении различных физических экспериментов, связанных с измерением, преобразованием и обработкой сигналов в широком динамическом диапазоне, используются специализированные процессоры. Очень часто сигнал, поступающий в процессор после усиления и преобразования в АЦП, представляется в виде двоичного числа с плавающей запятой и отрицательным порядком  $\pm A_2 2^{-a_2}$ , где  $A_2$  — двоичная мантисса, получаемая с АЦП;  $a_2$  — двоичный порядок, отражающий коэффициент усиления предварительного бинарного усилителя.

Например, в электроразведке по методу становления поля в ближней зоне [1] требуется регистрировать кривую переходного процесса с динамическим диапазоном более 120 дБ. Причем на дальних временах сигнал соизмерим с помехами естественного и промышленного происхождения, и поэтому необходимы специальные методы выделения сигнала из помех (накопление, исключение промышленных и импульсных помех и т. д.). Электроразведочную аппаратуру для этого метода строят по следующей схеме: бинарный усилитель с автоматическим выбором коэффициента усиления, аналого-цифровой преобразователь, устройство выравнивания порядков, двоичный сумматор мантисс, счетчик числа накоплений. Очевидно, что при этом конечный результат получается в виде двоичного числа с плавающей запятой  $\pm A_2 2^{-a_2}$ , которое нужно вывести в десятичной форме либо на цифropечатающее устройство, либо на визуальные индикаторы. Аналогичная форма представления сигнала используется также в отечественных сейсмических станциях ССЦ-3 и ССУ-3А и сейсмических регистраторах фирмы «Sergel».

В универсальных ЦВМ преобразование чисел осуществляется с помощью программ [2] либо с помощью универсальных устройств преобразования чисел с плавающей запятой [3]. Как то, так и другое оказывается неприемлемым для специализированных процессоров. Основная трудность при преобразовании чисел с плавающей запятой состоит в переводе порядков из двоичной формы в десятичную.

Предлагается осуществлять перевод отрицательных порядков из двоичной формы в десятичную с использованием следующего тождества:

$$\pm A_2 2^{-a_2} \equiv \pm (1,25)^n A_2 2^{-a_2+3n} \cdot 10^{-n},$$

где  $n$  — целое число.

Преобразование двоичного числа начинается с уменьшения двоичного порядка  $a_2$  на три по абсолютной величине (предполагается, что  $a_2 \geq 3$ ), при этом десятичный порядок увеличивается на единицу. Для того чтобы полученный результат удовлетворял приведенному тождеству, необходимо увеличить мантиссу в 1,25 раза. Действительно, для  $n=1$  тождество имеет следующий вид:

$$\pm A_2 2^{-a_2} \equiv \pm 1,25 A_2 2^{-a_2+3} \cdot 10^{-1}.$$

Увеличение мантиссы в 1,25 раза можно выполнить путем сдвига ее на два разряда вправо и сложения с исходной. На следующих шагах перевода порядков повторяются

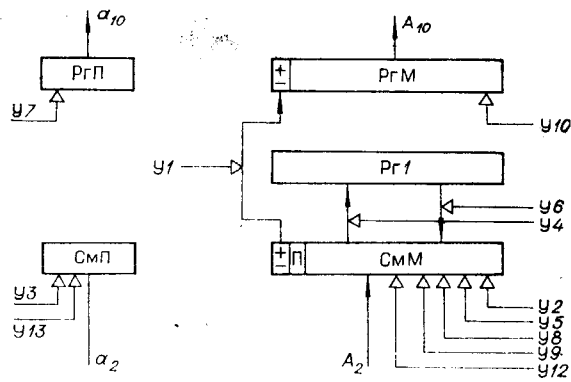


Рис. 1

аналогичные процедуры до тех пор, пока не выполнится неравенство  $a_2 < 3(n+1)$ . В этом случае процесс преобразования порядков заканчивается, а двоичная мантисса сдвигается вправо на величину остатка  $a_2 - 3n$ . Перевод двоичной мантиссы в двоично-десятичную не вызывает особых затруднений и может быть выполнен одним из нескольких известных способов, например путем вычитания единицы из сумматора и добавления ее в двоично-десятичный счетчик.

Описанный перевод двоичного числа в десятичную систему может производиться на устройстве, схема которого приведена на рис. 1. Для простоты рассмотрим перевод

целых двоичных чисел. В состав этого устройства входят: двоичный сумматор мантиссы (СмМ); сумматор порядков (СмП); регистр Рг1 для хранения промежуточных результатов (в качестве этого регистра может быть также использована ячейка памяти процессора, из которой берется преобразуемое число, если нет необходимости более хранить двоичное изображение числа, либо свободная ячейка памяти); двоично-десятичный регистр-счетчик порядков (РгП) и двоично-десятичный регистр-счетчик мантиссы (РгМ).

При выполнении операции перевода числа на устройстве реализуются следующие микрооперации:

- У1 : sign РгМ : = sign СмМ;
- У2 : СмМ : = (СмМ)<sub>обр</sub>;
- У3 : СмП : = (СмП) - 3;
- У4 : Рг1 : = СмМ;
- У5 : СмМ : = R2(СмМ);
- У6 : Сложение на СмМ;
- У7 : РгП : = (РгП) + 1;
- У8 : Рг1 : = 0;
- У9 : СмМ : = R[СмП](СмМ);
- У10 : СмМ : = (СмМ) - 1;
- У11 : РгМ : = (РгМ) + 1;
- У12 : СмМ : = R1(СмМ);
- У13 : СмП : = (СмП) - 1.

Выполнение микрооперации У2 необходимо для того, чтобы представить преобразуемое число в прямом коде (предполагается, что положительные числа представляются в процессоре в прямом коде, отрицательные — в обратном). В дальнейшем, при преобразовании мантисс, смена знака при циклическом вычитании единиц служит признаком окончания работы программы.

Микрооперации вычитания порядка У3 и У13, засылки числа У4, сдвига вправо У5, У9, У12, сложения У6, очистки У8, вычитания мантисс У10, используемые в программе перевода чисел, обычно имеются в специализированных процессорах.

Для выполнения программы перевода необходимы также команды засылки единиц в двоично-десятичные регистры-счетчики порядка РгП и мантиссы РгМ (У7), (У11). Регистры РгП и РгМ используются в качестве буферных запоминающих устройств, хранящих двоично-десятичное представление числа. С этих регистров уже можно выводить число либо на индикаторные лампы, либо на цифропечатающее устройство.

Программа перевода чисел приведена на рис. 2. В начале операции проводится очистка устройств, используемых при переводе, — СмП, СмП, РгМ. Затем проводится засылка двоичного числа  $a^2 \rightarrow$  СмП,  $A_2 \rightarrow$  СмМ. Определяется знак числа и заносится в РгМ. В следующем такте, если число отрицательное, оно переводится в прямой код. Затем проверяется величина порядка двоичного числа. Если  $a_2 < 3$ , то проводится один или два сдвига (в зависимости от величины  $a_2$ ) и на следующем этапе работы программы начинается циклический перевод мантиссы. В каждом цикле перевода содержимое сумматора уменьшается на единицу, а содержимое двоично-десятичного счетчика РгМ увеличивается на единицу. Выход из цикла и конец работы программы осуществляются при условии СмМ < 0.

Если двоичный порядок  $a_2 \geq 3$ , то начинается операция перевода двоичного порядка в десятичный. На этом этапе работы программы перевода содержимое СмП умень-

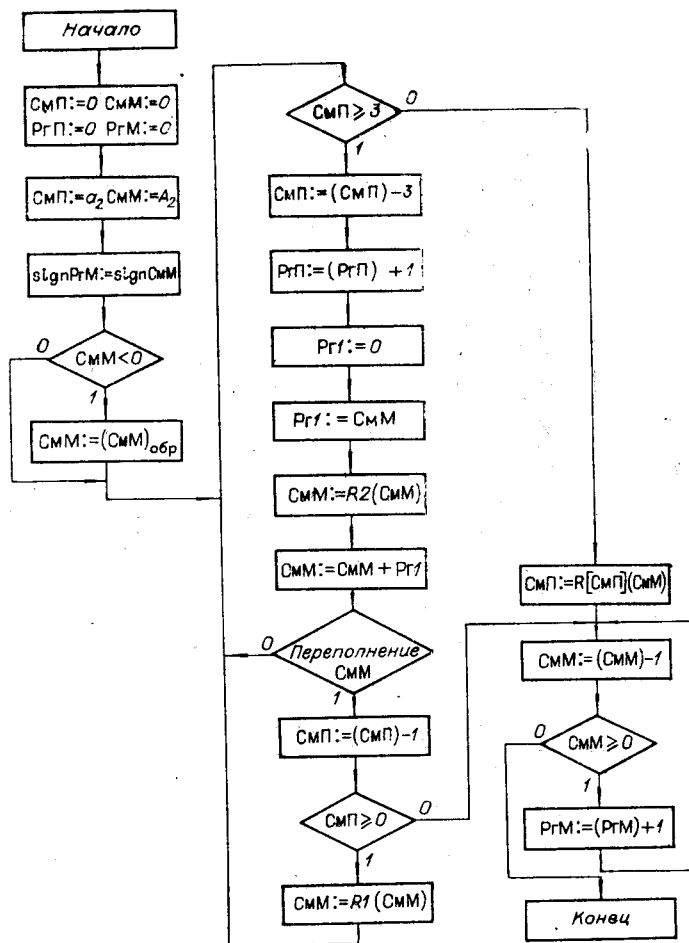


Рис. 2.

шается на три, а содержимое двоично-десятичного счетчика порядков  $PrП$  увеличивается на единицу, затем мантисса из сумматора засылается в предварительно очищенный регистр  $Pr1$ , а на следующем шаге двоичное число в сумматоре сдвигается на два разряда вправо. В результате сдвига на сумматоре  $СмМ$  представляется значение  $0,25A_2$ . Сложением кода  $A_2$ , записанного на регистре  $Pr1$ , и кода  $0,25A_2$ , хранимого на сумматоре, определяется значение  $1,25A_2$ . Если в результате сложения сумматор оказался переполнен, то содержимое сумматора порядков уменьшается на единицу (поскольку порядки всегда отрицательны) и проверяется условие  $СмП \geq 0$ . При выполнении последнего условия проводится сдвиг мантиссы вправо на единицу и вышеописанная процедура перевода двоичных порядков повторяется. Когда содержимое сумматора порядков станет меньше трех  $СмП < 3$ , начинается этап перевода двоичной мантиссы. Следует отметить, что на этом этапе работы программы возможен следующий вариант: на некотором шаге после вычитания тройки содержимое  $СмП$  станет равным нулю, а после сложения сумматор будет переполнен и после вычитания единиц из сумматора порядков окажется, что  $СмП < 0$ . В этом случае содержимое сумматора порядков больше не учитывается, сдвиг вправо на единицу блокируется, а программа переходит непосредственно к переводу двоичной мантиссы.

Данный способ перевода двоичных чисел с плавающей запятой был реализован в электроразведочных станциях «Зонд-1» и «Зонд-2». Результаты измерений выводились программой в диапазоне напряжений от  $2,55$  до  $10^{-6}В$  с погрешностью, не превышающей  $1\%$ . Для работы программы использовался 12-разрядный двоичный сумматор (в том числе разряды знака и переполнения). Для сохранения той же точности представления числа в двоично-десятичном счетчике с учетом варианта переполнения потребовалось 14 разрядов (три полных десятичных разряда и один неполный). Порядок представлялся одним десятичным разрядом.

Время на преобразование двоичного числа в десятичную систему счисления при  $a_2=29$  не превышало  $105$  мс.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В. Р. Вознюк, Б. М. Глинский. Особенности измерений при зондировании становлением поля в ближней зоне.— В кн.: Измерительная аппаратура для разведочной геофизики. Новосибирск, Изд. ИАЭ СО АН СССР, 1973.
2. С. А. Майоров, Г. И. Новиков. Структура цифровых вычислительных машин. Л., «Машиностроение», 1970.
3. М. А. Карцев. Арифметика цифровых машин. М., «Наука», 1969.

Поступило в редакцию 30 декабря 1974 г.

УДК 681.142.3

В. С. НОВИЧКОВ, И. И. ХОЛКИН

(Рязань)

### ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ КОД — ЧАСТОТА

При измерении сигналов частотных датчиков, в частности лазерных интерферометров, нередко используют преобразователи частоты в код замкнутого типа [1], основной частью которых является преобразователь код — частота (рис. 1), известный под названиями последовательного цифрового интегратора [2] или двоичного умножителя [3]. Точность работы данного элемента оказывает существенное влияние на точность всего измерительного устройства.

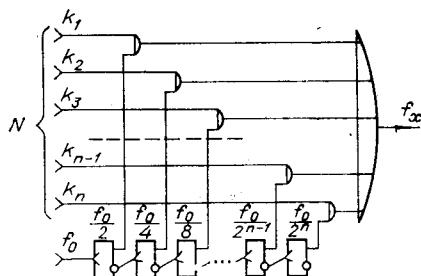


Рис. 1. Схема двоичного умножителя.

$F_x(t)$  имеет значение  $F_x[t_j]$ . При постоянном коде  $N$ , не кратном  $2^n$ , где  $n$  — число разрядов двоичного умножителя, сигнал  $F_x(t)$  колеблется относительно средней величины  $\bar{F}_x$  и может принимать два значения:

$$\begin{cases} F_{x1} = f_0 2^{-q+1}; \\ F_{x2} = f_0 2^{-q}, \end{cases} \quad (1)$$

где  $q = \text{ent} \left[ \log_2 \left( \frac{2^n}{N} \right) \right] + 1$  — номер старшего разряда преобразуемого кода  $N$ , значение которого отлично от нуля;  $f_0$  — опорная частота двоичного умножителя.

При этом интервал дискретности  $\tau_j$  также принимает два значения  $\tau'$  и  $\tau''$  (см. рис. 2, б). Колебания сигнала  $F_x(t)$  вызывают внутреннюю погрешность рассматриваемого преобразователя, обусловленную его структурой. Ниже определяется среднеквадратическое значение этой погрешности.

Из [3] известно, что число выходных импульсов двоичного умножителя за его полный цикл работы

$$T = 2^n / f_0 \quad (2)$$

равно

$$N = 2^n \sum_{i=1}^n k_i 2^{-i}, \quad (3)$$

где  $k_i$  — значения двоичных разря-

В статье определяется значение среднеквадратической погрешности двоичного умножителя, вызванной отклонением его выходной частоты от среднего значения.

Поток импульсов выходной частоты  $f_x$  преобразователя (рис. 2, а) можно рассматривать как решетчатую функцию  $F_x[t_j]$  с переменным интервалом дискретности  $\tau_j = t_j - t_{j-1}$  и амплитудой  $F_x[t_j] = 1/\tau_j$ , где  $t_j$  — момент появления  $j$ -го импульса.

В процессе преобразования решетчатой функции  $F_x[t_j]$  в непрерывный сигнал  $F_x(t)$  будем считать, что на интервале  $\tau_j$  функция

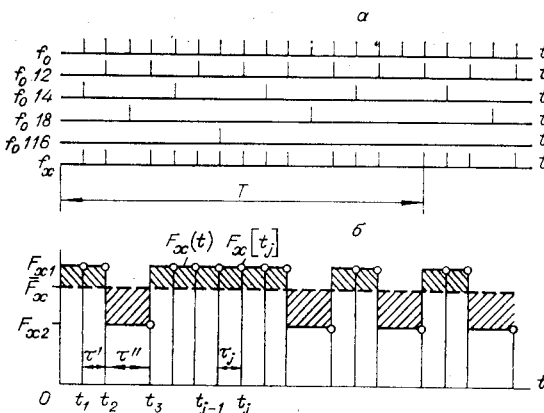


Рис. 2. Временные диаграммы.