

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Валитов, В. П. Вихров. Погрешность цифровых измерителей интервалов времени и повышение их точности методом статистического усреднения.— «Измерительная техника», 1963, № 4.
2. М. К. Чмых, А. С. Глинченко. Цифровой фазометр с оптимальным квантованием.— Авт. свид-во № 468189, Бюл. изобрет., 1975, № 15.
3. М. К. Чмых, В. М. Мусонов. Цифровой фазометр с постоянным измерительным временем.— Авт. свид-во № 366419, Бюл. изобрет., 1973, № 7.
4. А. С. Глинченко, М. К. Чмых. Фазометрические приставки на интегральных схемах.— «Изв. высш. учеб. заведений. Приборостроение», 1974, № 5.
5. А. С. Глинченко, М. К. Чмых, С. С. Кузнецкий, Л. Е. Логинова. Результаты экспериментального исследования флюктуационных характеристик цифровых фазометров.— В кн.: Радиотехника, тонкие магнитные пленки, вычислительная техника, т. 1. Красноярск, Изд. ИФ СО АН СССР, 1973.

*Поступило в редакцию
14 октября 1974 г.*

УДК 681.34 : 681.3.058

Т. Ф. БЕКМУРАТОВ, О. Н. ДОРОШЕНКО, М. М. МУСАЕВ

(Ташкент)

ЦИФРОАНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ФУНКЦИЙ ДВУХ ПЕРЕМЕННЫХ

Применение в гибридных вычислительных системах устройств, выполняющих одновременно функции преобразования формы представления информации и некоторые вычислительные функции, позволяет оптимально распределить задачи между отдельными устройствами систем, ускорить процесс обработки информации, упростить структуру систем. При разработке одного из типов таких устройств — функциональных преобразователей, реализующих функции двух и более переменных, важное значение имеет выбор метода воспроизведения, поскольку от его универсальности во многом зависит универсальность самого функционального преобразователя (выбранный метод определяет структуру преобразователя и его возможности). Перспективным при проектировании преобразователей является применение математических методов представления функций двух и более переменных в виде совокупности функций одной переменной. При этом немаловажную роль играют простота нахождения структуры представления и простота ее аппаратной реализации с требуемой точностью. Данная работа посвящена рассмотрению способа построения цифроаналогового преобразователя функций (ЦАПФ), в котором используется метод воспроизведения функций двух переменных, основанный на отображении области определения заданной функции на выбранную числовую ось [1]. Суть метода состоит в следующем [2].

Исходная функция $z = F(x, y)$, заданная в некоторой области, разбивается на MN квадратов, где M и N — число интервалов разбиения соответственно по x и y . С каждым квадратом связывается соответствующее значение исходной функции либо некоторая элементарная аппроксимирующая функцию поверхность. Таким образом, заданная функция сводится к функции одной переменной — номера квадрата. Квадраты нумеруются в порядке возрастания x при фиксированных значениях $y = y_j$ ($j = 1, 2, \dots, s$). Номера квадратов для фиксированных y_j образуют семейство, состоящее из последовательностей номеров квадратов одного ряда. В порядке возрастания номеров квадраты отображаются на некоторую произвольную числовую ось L в виде

$$L = \varphi(x) + \psi(y). \quad (1)$$

При этом функции $\varphi(x)$ и $\psi(y)$ выбираются как суммы линейной и ступенчатой функций, дающих непосредственную связь с номером интервала разбиения переменных x и y , т. е.

$$\begin{cases} \varphi(x) = kx + an_x, & n_x = 0, 1, 2, \dots, M; \\ \psi(y) = ky + bn_y, & n_y = 0, 1, 2, \dots, N, \end{cases}$$

где $a = \text{const}$; $b = (2M - 1)a$; n_x, n_y — номера интервалов разбиения по x и y ; $k = a/\Delta$, Δ — сторона квадрата разбиения.

Таким образом,

$$L = kx + an_x + ky + bn_y. \quad (2)$$

При таком представлении отображением i -го квадрата будет отрезок $[2ia, 2(i+1)a]$ на оси L . Каждому квадрату, отображенному в виде отрезка на оси L , ставится в соответствие определенная элементарная поверхность. При табличном задании исходной функции внутри квадратов будет иметь место ее кусочно-ступенчатая аппроксимация, т. е.

$$F(x, y) \approx \Phi(L),$$

где $\Phi(L)$ — ступенчатая функция. В предлагаемом устройстве для воспроизведения исходной функции в узлах используются ее табличные значения, а между узлами разбиения осуществляется линейная интерполяция.

Структурная схема, иллюстрирующая изложенный метод воспроизведения функции двух переменных, представлена на рис. 1. Она состоит из двух функционально-различных частей. Одна часть реализует зависимость (1), и на выходе суммирующего узла формируется сигнал, пропорциональный номеру квадрата разбиения в зависимости от текущих значений x и y . Вторая часть представляет собой нелинейный блок, который по значениям номеров квадратов воспроизводит значения самой заданной функции. Это функциональное различие обусловлено тем, что функция (1) не зависит от вида исходной функции $F(x, y)$, не требует перенастройки при ее изменении и может применяться для любых функций двух переменных.

Так как номера квадратов, принадлежащих одному ряду, образуют семейство для фиксированных $y = y_j$, то в узле, реализующем зависимость $\Phi(L)$, выбор значений $F(x, y)$ для квадратов различных рядов осуществляется с помощью второй переменной y .

Схема ЦАПФ, реализующего данный метод воспроизведения, приведена на рис. 2 [3]. Он состоит из четырех цифроаналоговых преобразователей ЦАП₁—ЦАП₄, суммирующего усилителя, аналогового нелинейного блока (НБ), состоящего из нескольких диодных функциональных преобразователей П₁—П_s, и дешифратора (Дш). Рассмотрим работу ЦАПФ.

Двоичные коды независимых переменных x и y поступают на входы ЦАП₁—ЦАП₄. Причем на входы ЦАП₁ и ЦАП₃ поступают все разряды кодов x и y для формирования на их выходе линейных функций kx и ky соответственно. На входы ЦАП₂ и ЦАП₄ поступают только старшие разряды кодов x и y для формирования ступенчатых функций an_x и bn_y соответственно. Количество разрядов в ЦАП₁ и ЦАП₃ определяется требуемой точностью формирования kx и ky . При достаточно большом количестве разрядов в ЦАП₁ и ЦАП₃ (8—10) их выходные напряжения можно считать линейными. Разрядность ЦАП₂ и ЦАП₄, формирующих an_x и bn_y , зависит от количества разбиений по переменным, т. е. соответственно от M и N . Выходные напряжения всех цифроаналоговых преобразователей поступают на суммирующий усилитель, напряжение на выходе которого соответствует выражению (2), т. е. номеру квадрата разбиения в соответствии с текущими значениями x и y . Это напряжение подается на вход НБ. Каждый из функциональных преобразователей П₁—П_s этого блока воспроизводит значения исходной функции, принадлежащие квадратам одного ряда для фиксированных $y = y_j$. Так как подключение того или иного П₁—П_s зависит от текущего значения y , коммутацию этих функциональных преобразователей в НБ осуществляет Дш, на вход которого поступают старшие разряды кода переменной y , по которым формируются ступенчатые функции перехода от одного ряда квадратов разбиения к другому. С общей выходной клеммы всех П₁—П_s, т. е. с выхода НБ, снимается напряжение U_2 , соответствующее значениям заданной функции двух переменных (см. таблицу).

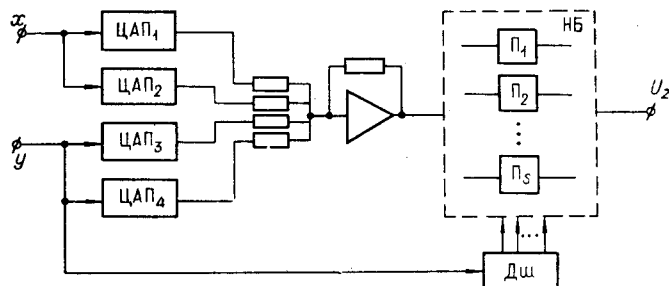


Рис. 2.

y	x																
	-48	-42	-36	-30	-24	-18	-12	-6	0	+6	+12	+18	+24	+30	+36	+42	+48
0	-40	-43	-44	-45	-44	-41	-37	-34	-32	-31	-30	-31	-34	-38	-41	-40	-35
6	-35	-33	-30	-25	-20	-15	-12	-11	-13	-18	-24	-28	-30	-27	-21	-17	-15
12	-20	-10	-1	+4	+6	+3	-5	-17	-22	-21	-15	-6	0	+6	+10	+13	+15
18	-10	+7	+15	+20	+22	+20	+5	+8	0	-8	-15	-19	-17	-11	-8	-6	-5
24	+20	+30	+35	+37	+36	+34	+28	+20	+10	+4	+6	+15	+23	+28	+30	+27	+20
30	+30	+38	+44	+48	+50	+49	+46	+44	+40	+34	+27	+20	+13	+12	+20	+35	+50
36	+50	+38	+33	+30	+29	+31	+34	+37	+40	+42	+38	+33	+27	+20	+16	+17	+20

Рассмотрим один из примеров аппаратурной реализации ЦАПФ. Исходная функция двух переменных была разбита на 119 квадратов (в таблице представлены значения функции в узлах после разбиения на квадраты). Для воспроизведения этой функции в ЦАПФ использовались: 8-разрядные ЦАП₁ и ЦАП₃ для формирования соответственно kx и ky , 4-разрядные ЦАП₂ и ЦАП₄ для формирования ступенчатых функций ap_x и bp_y , один суммирующий усилитель, семь диодных функциональных преобразователей П₁—П₇ в НБ с 9 линейными участками каждый, 3-разрядный Дш. Для электрической развязки и коммутации П₁—П₇ использовались электромеханические реле РЭС-10. Для рассматриваемой функции оказалось возможным без существенной потери точности воспроизведения аппроксимировать значения таблицы, принадлежащие нескольким квадратам разбиения, одним линейным участком. Поэтому количество линейных участков в каждом из П₁—П₇ выбрано меньше количества квадратов разбиения в соответствующем ряду. Общая погрешность воспроизведения при этом не превышала 2%.

С помощью рассмотренного ЦАПФ возможно осуществление равномерного приближения исходной функции, причем кусочно-линейная аппроксимация позволяет значительно уменьшить количество участков аппроксимации, необходимое для получения требуемой точности, по сравнению с количеством квадратов разбиения области определения функции. Изложенная методика воспроизведения и способ ее реализации могут быть распространены и на функции большего числа переменных. При этом объем оборудования возрастает пропорционально количеству переменных, а процесс настройки ЦАПФ сводится [как и при изменении вида функции $F(x, y)$] к настройке блока НБ. Отличительная особенность ЦАПФ — возможность его реализации с помощью стандартных узлов и элементов гибридной вычислительной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Кулаковский. Способ воспроизведения функции двух переменных.— Авт. свид-во № 181887, ИПОТЗ, 1966, № 10.
2. А. И. Кулаковский. Об одном методе построения функционального преобразователя с несколькими входами.— «Автоматика и телемеханика», 1966, № 11.
3. Т. Ф. Бекмуратов, М. М. Мусаев. Устройство для воспроизведения функций двух переменных.— «Авт. свид-во № 423145, ОИПОТЗ, 1974, № 13.

Поступило в редакцию
10 марта 1975 г.
окончательный вариант —
27 мая 1975 г.