

3. G. E. Roe. An optical study of turbulence.—“J. Fluid Mech.”, 1970, vol. 43, pt. 3, p. 607—635.
4. В. И. Чайковский. Энергетический спектр суммы запаздывающих стохастических сигналов.—«Изв. высш. учебн. заведений. Радиотехника», 1965, т. 8, № 1, с. 87—89.
5. В. М. Латышев. О погрешностях измерения скорости течения жидкости оптическим спектральным методом.—Труды ВНИИФТРИ. «Метрология в гидродинамических измерениях». М., 1974, вып. 14 (44), с. 56—60.

*Поступила в редакцию 17 марта 1976 г.;  
окончательный вариант — 5 января 1976 г.*

УДК 681.33

**В. Б. СМОЛОВ**

(Ленинград)

### АНАЛОГО-ЦИФРОВОЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

1. При создании современных цифровых систем обработки информации актуальна задача разработки многофункциональных аналого-цифровых вычислительных устройств (МФАЦВУ), оперирующих аргументами, заданными в виде мгновенных  $U_k(t)$ , амплитудных  $U_{km}$  и фазовых  $\varphi_k(t)$  параметров синусоидальных напряжений  $U_k(t) = U_{km}(t) \sin[\omega t + \varphi_k(t)]$ , где  $k=1, n$ .

Подобные устройства необходимы для решения широкого круга практических задач в информационно-измерительных, управляющих, вычислительных и контрольно-диагностических системах, содержащих прецизионные индукционные датчики низкой частоты (50—500 Гц).

Так как в общем случае в указанных системах математической обработки могут подвергаться любые сочетания различных параметров синусоидальных напряжений, то несомненный интерес представляют аналого-цифровые вычислительные устройства с функциональной характеристикой общего вида

$$N = K_N F[U_k(t), U_{km}(t), \varphi_k(t)], \quad (1)$$

где  $K_N = N_{\max}/F_{\max} = \text{const}$  — масштаб устройства;  $F$  — заданная многомерная функция;  $N$  — выходной цифровой код.

Учитывая, что рассматриваемые МФАЦВУ являются вычислительными преобразователями формы представления информации [1], произведем анализ возможности автоматического решения некоторых зависимостей вида (1) в реальном масштабе времени при помощи схемы, содержащей только типовые, хорошо освоенные производством детали и узлы микроселекционной непрерывной и дискретной автоматики.

2. Рассматриваемый вариант схемы МФАЦВУ (рис. 1), отвечающий поставленному условию, содержит два аналоговых запоминающих устройства АЗУ1, АЗУ2, два преобразователя кода в напряжение ПКН1, ПКН2, два регистра Р1, Р2 для записи и хранения цифрового кода  $N$ , преобразователь напряжения в код (ПНК), двенадцать электронных ключей  $K_{л_j} (j=1, 12)$ , осуществляющих требуемую коммутацию вышеперечисленных узлов схемы устройства под воздействием соответствующей временной последовательности управляющих импульсов от устройства управления (УУ). Все элементы и узлы схемы, оперирующие непрерывной информацией (Кл, ПНК, ПКН, АЗУ), могут быть выпол-

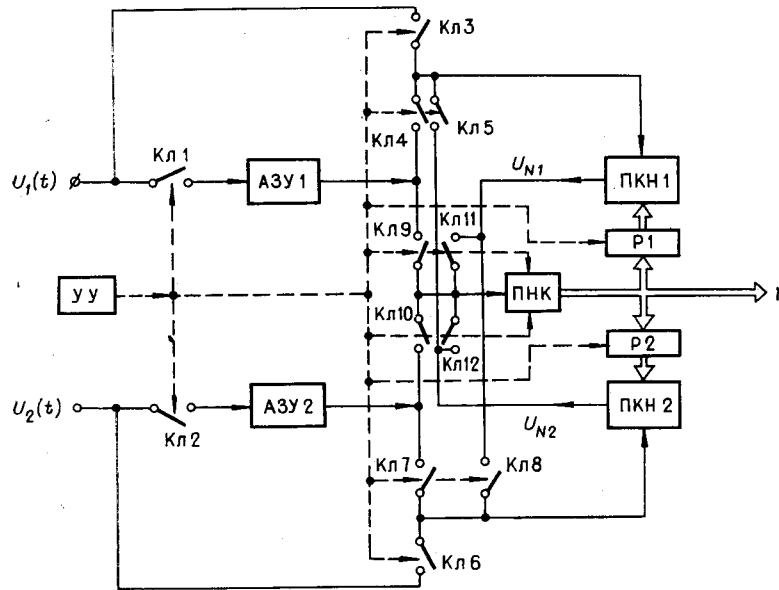


Рис. 1.

нены по интегральной или гибридной технологии и обладают достаточными точностными и динамическими характеристиками [2].

В зависимости от номера включенного ключа Кл преобразователь ПНК осуществляет за время преобразования  $t_{пр}$  выработку кода  $N$ , пропорционального одному из входных ( $U_1$ ,  $U_2$ ) или выходных ( $U_{N1}$ ,  $U_{N2}$ ) напряжений, а преобразователь ПКН — умножение входного напряжения ПКН на код  $N$ .

Вид функциональной характеристики (1) обеспечивается выбором момента  $t_{ф}$  фиксации мгновенного значения синусоидального напряжения  $U_k(t)$  на АЗУ и выбранной последовательностью состояний «Включено» или «Выключено» определенной группы электронных ключей Кл<sub>г</sub>.

Рассмотрим требования к быстродействию отдельных элементов и узлов схемы рис. 1, считая, что для каждого из них заданы максимальная приведенная относительная ошибка  $\delta_{j\max} = \Delta_j U_k(t) / U_{k\max}$  и частота  $f_k$  синусоидального напряжения. Аналоговые запоминающие устройства (АЗУ) должны обеспечить время записи  $t_3$ , по истечении которого синусоидальное напряжение  $U_k(t) = U_{km} \sin \omega t$  изменится не более чем на заданную ошибку записи  $\Delta_3 U_k$  (рис. 2). Поэтому

$$t_3 \leq \Delta t' = \frac{\Delta_3 U_k}{\left(\frac{dU_k}{dt}\right)_{\max}} = \frac{\delta_3 U_k}{2\pi} T_k, \quad (2)$$

где  $T_k$  — период синусоидального напряжения. Считая, например, что  $\delta_3 U_k = 10^{-3}$ ,  $T_k = 1/f = 0,02$  с, имеем

$$t_3 \leq 3 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

Так как напряжение с АЗУ поступает либо на ПКН, либо на ПНК, то максимальное время  $t_{xp}$  хранения информации с заданной ошибкой  $\delta_{xp}$  должно выбираться из условия

$$t_{xp} \geq t_{пр} \quad (3)$$

( $t_{пр}$  — время преобразования ПНК). Считая, что за время хранения

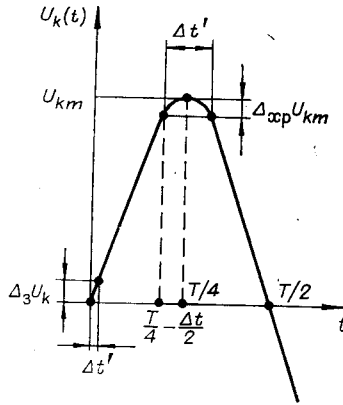


Рис. 2.

$t_{xp} = \Delta t''$  (см. рис. 2) амплитудное значение не должно измениться более чем на заданную ошибку  $\Delta_{xp} U_k$ , имеем

$$\Delta_{xp} U_k = U_{km} [1 - \sin 2\pi f (T/4 - \Delta t''/2)],$$

откуда

$$\Delta t'' = t_{xp} = (T/\pi) \arccos (1 - \delta_{xp}) \dots, \quad (4)$$

$$\delta_{xp} = (\Delta_{xp} U_k) / U_{km}.$$

Полученные значения  $t_3$ ,  $t_{xp}$  совместно с заданными значениями  $\delta_3 U_k$  и  $\delta_{xp} U_k$  используются для выбора и расчета конкретного АЗУ.

Построение активных емкостных АЗУ с  $\delta_3 U_k = \delta_{xp} U_k = 0,05\%$  при  $t_3 = 3-5$  мкс и  $t_{xp} = 10-100$  мкс на базе типовых операционных усилителей не вызывает технических

трудностей [3]. Электронные ключи Кл<sub>3</sub>, выполненные на основе интегральной схемотехники, обеспечивают точностные и временные характеристики приблизительно на порядок лучше аналогичных характеристик АЗУ, ПНК и ПКН.

К дискретным узлам (УУ, Р) схемы рис. 1 особых требований не предъявляется, и они могут быть изготовлены на базе типовых интегральных дискретных подсем.

3. Рассмотрим различные режимы работы схемы рис. 1.

3.1. Масштабное кодирование мгновенного значения синусоидального напряжения

$$N = K_N U_1(t) \quad (5)$$

обеспечивается коммутацией от УУ ключей Кл1 и Кл9, все остальные ключи выключены.

В произвольный момент  $t_0 = t_\Phi$  фиксации напряжения  $U_1(t)$  на время  $t_3$  включается ключ Кл1 и выключается Кл9, при этом осуществляется запись на АЗУ напряжения  $U_1(t_\Phi)$ . Затем в момент  $t_1 = t_\Phi + t_3$  на время  $t_{xp}$  ключ Кл1 выключается, включается Кл9 и запускается ПНК, который вырабатывает код  $N = K_N U_1(t_\Phi)$ . В момент  $t_2 = t_1 + t_{xp}$  код  $N$  записывается в регистр Р1, и на этом заканчивается первый цикл работы преобразователя.

В зависимости от программы кодирования, записанной в программном запоминающем устройстве УУ, циклы работы преобразователя могут повторяться через произвольное время. Так, например, если  $t_0 = 0$ ,  $\varphi = \text{const}$ , а циклы повторяются через интервалы времени  $t_n = t_3 + t_{xp}$ , то код  $N$  будет изменяться по синусоидальному закону с частотой  $f$ . В этом случае схема рис. 1 работает в режиме цифрового генератора синусоиды.

3.2. Воспроизведение косинусоидальной зависимости вида

$$N_c = N_{\max} \cos \varphi \quad (6)$$

осуществляется в ранее рассмотренном режиме, если  $\varphi = \text{var}$ , а время фиксации  $t_\Phi$  выбирается из условия  $\omega t_\Phi = \pi/2 + 2n\pi$  ( $n=0, 1, \dots$ ), так как при этом

$$N = N_{\max} (\sin \omega t_\Phi \cos \varphi + \cos \omega t_\Phi \sin \varphi) = N_{\max} \cos \varphi.$$

Очевидно, что при  $\omega t_\Phi = 2n\pi$  ( $n=0, 1, \dots$ ) воспроизводится синусоидальная зависимость

$$N_s = N_{\max} \sin \varphi.$$

4. Умножение амплитудных значений синусоидальных напряжений  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$

$$N = K_N [U_1(t) U_2(t)]_{\max} \quad (7)$$

осуществляется схемой рис. 1, если в течение первого цикла происходит кодирование амплитуды  $U_1(t) \propto N^1$ , а во втором цикле преобразования ко входу ПНК ключом Кл12 подключается выходное напряжение  $U_{N2}$  ПKN2, равное произведению кода  $N^1$  на амплитудное значение напряжения  $U_{2\max}$ , подключаемого на время  $t_{пр}$  с выхода АЗУ2 на вход ПKN2 ключом Кл7:

$$U_{N2} = K_U N^1 U_{2\max} = K_U K_N U_{1\max} U_{2\max}.$$

Очевидно, что выработанный ПНК на втором цикле преобразования код  $N''$  пропорционален произведению  $U_{1\max} U_{2\max}$ .

Таким же образом могут быть образованы произведения вида  $N = K_N U_{1\max} U_{2\max} \sin \varphi$ ,  $N = K_N U_{1\max} U_{2\max} \cos \varphi$  и многие другие множително-тригонометрические зависимости.

Экспериментально работа схемы рис. 1 не проверялась.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Универсальные электронные преобразователи информации. Под ред. В. Б. Смоллова. Л., «Машиностроение», 1971.
2. А. И. Кондалев. Системные преобразователи формы информации. Киев, «Наукова думка», 1974.
3. А. Х. Мурсаев, В. Б. Смоллов, Е. П. Угрюмов. Точные ключи, операционные усилители и устройства запоминания напряжений на канальных транзисторах. Л., Изд. ЛДНТП, 1972.

Поступила в редакцию 9 января 1976 г.;  
окончательный вариант — 15 июня 1976 г.

УДК 681.335.8

Ю. В. КАШТАНОВ, Е. П. УГРЮМОВ

(Ленинград)

### МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО КОМПЕНСАЦИОННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Известны функциональные устройства время-импульсного типа, содержащие два управляемых ключами интегратора и блок сравнения [1, 2]. В этих устройствах результат двукратного интегрирования одного из напряжений сравнивается со вторым напряжением. Длительность интервала времени от начала последнего интегрирования до момента наступления равенства является функцией входных напряжений и времени интегрирования. При этом могут быть реализованы операции суммирования, умножения, деления, возведения в квадрат и извлечения из квадратного корня. Однако в таких устройствах результат функционального преобразования зависит от величины емкости интегрирующих конденсаторов, что снижает их точность.