

УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАЦИЙ

В. В. Петров

Для управления системами автоматического регулирования и технологическими процессами иногда приходится строить сложные регуляторы или специализированные быстродействующие аналоговые управляющие машины. В таких управляющих машинах часто возникает задача реализации функций одной, двух, а иногда и более переменных.

Ниже описывается устройство, осуществляющее операцию вида $Z_{ij} = x_i f(x_j)$, и показывается, что его можно положить в основу устройств, реализующих функции одной, двух и более переменных.

1. Устройство для осуществления нелинейных операций. Рассмотрим такое устройство для работы в одном квадранте. Принципиальная схема его приведена на рис. 1. В качестве основного элемента применяются полупроводниковые ключи, показанные на том же рисунке. Устройство состоит из управляемого делителя напряжения с коэффициентом передачи

$$B = \frac{R_1 + R_2 + \dots}{R_0 + R_1 + R_2 + \dots},$$

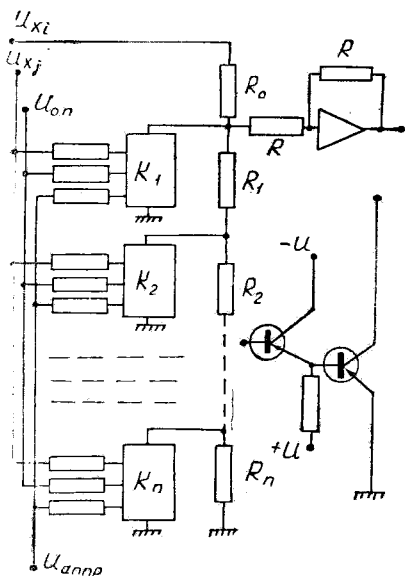


Рис. 1.

управляемым ключами $K_1, K_2, \dots$. Напряжение управления ключами получается суммированием на входах ключей опорного напряжения $U_{оп}$ входного напряжения U_{xi} и аппроксимирующего напряжения $U_{аппр}$. Рассмотрим сначала работу устройства без подключения аппроксимирующего напряжения. Пусть требуется аппроксимировать некоторую кривую 1, показанную на рис. 2. При входном напряжении $U_{xj} = 0$ все ключи открыты опорным напряжением $U_{оп}$, т. е. все сопротивления закорочены. Следовательно, коэффициент передачи управляемого делителя напряжения $B = 0$ и выходное напряжение $U = 0$. При входном напряжении U_{xj1} ключ K_1 закрывается и коэффициент передачи управляемого делителя напряжения становится

$$B_1 = \frac{R_1}{R_0 + R_1}, \quad \text{а} \quad U = \frac{U_{xi} \cdot R_1}{R_0 + R_1}.$$

При дальнейшем увеличении входного напряжения U_{xi} один за другим закрываются ключи K_2, K_3, K_4 и т. д., коэффициент передачи управляемого делителя напряжения B изменяется в функции напряже-

ния U_{xj} , т. е. $B = f(U_{xj})$ и, следовательно, выходное напряжение $U = f(U_{xj}) U_{xi}$. В итоге получается ступенчатая аппроксимация (кривая 2 рис. 2) некоторой заданной функции (кривая 1 рис. 2); для лучшего приближения к заданной функции можно применять линейную, параболическую или какую-либо другую аппроксимацию. В случае применения линейной аппроксимации на вход $U_{анпр}$ необходимо подать высокочастотное пилообразное или треугольное аппроксимирующее напряжение (кривая 3 рис. 2).

Ввиду того, что отношение напряжения коллектор-эмиттер триода в открытом состоянии к максимальному напряжению триода в закрытом состоянии у современных триодов менее 0,3 %, устройство может осуществлять операцию $Z_{ij} = x_i f(x_j)$ с погрешностью менее 1 %. Точность устройства можно повысить, если эмиттеры триодов в ключах подключить к напряжению равному, но противоположному остаточному напряжению триодов в открытом состоянии. Если на входе устройства x_i напряжение изменяет знак, нужно применять ключи, работающие при положительном и отрицательном входном напряжении, или вдвое больше устройств. Наиболее простым функциональный преобразователь получается в случае, если все входные переменные U_{xi} не изменяют знака. Это всегда можно достигнуть сдвигом переменных. Если этого не делать, то устройство, осуществляющее операцию $Z_{ij} = x_i f(x_j)$, усложняется.

2. Воспроизведение функций одной переменной. Поскольку само устройство осуществляет операцию $Z_{ij} = x_i f(x_j)$, то, приняв $x_i = \text{const}$, получим функцию одной переменной.

Более интересными свойствами будет обладать устройство, если принять $x_i = x_j$, — тогда оно осуществляет операцию $Z_{ii} = x_i f(x_i)$. В итоге получается функциональный преобразователь одной переменной, воспроизводящий функции, у которых производная угла наклона радиус-вектора функции по независимой переменной не изменяет знака при всех значениях входной независимой переменной.

В третьем случае, приняв $f(x_j) = x_j$, получим простой множитель $Z_{ij} = x_i x_j$.

3. Воспроизведение функций двух и более переменных. В настоящее время известно много способов осуществления функций двух и более переменных [1, 2, 3, 5].

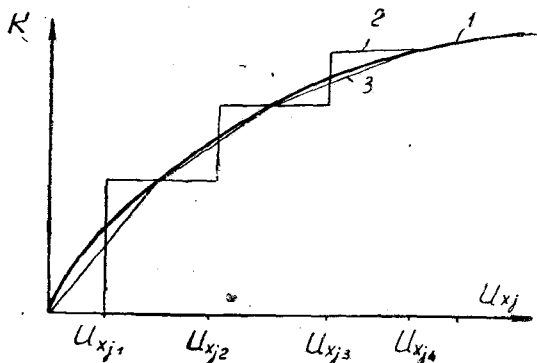


Рис. 2.

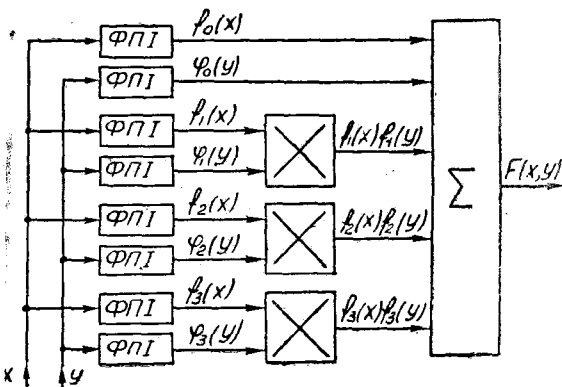


Рис. 3.

Очевидно, наиболее приемлемым способом воспроизведения функций двух и более переменных является способ, основанный на представлении функций двух и более переменных в виде комбинации функций одной переменной, например, в виде ряда

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n f_0(x_i) + \sum_{k=1}^m f_k(x_1)f_k(x_2) \dots f_k(x_n) a_k.$$

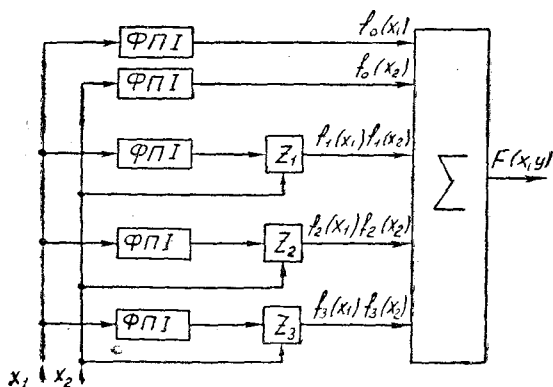


Рис. 4.

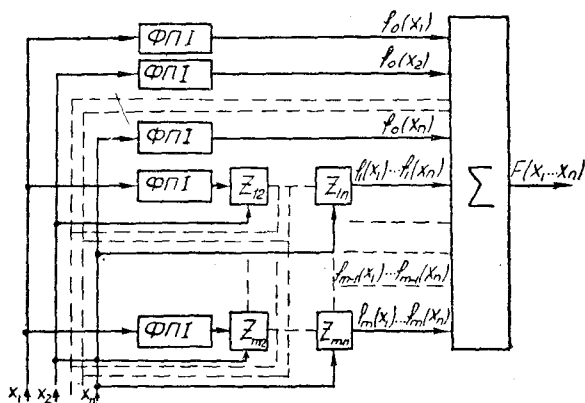


Рис. 5.

Вычислять входящие в ряд функции одной переменной можно любым из известных способов [1—5].

$F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ — функция нескольких переменных;

$x_1, x_2, \dots, x_n$ — входные независимые переменные;

n — число входных независимых переменных;

$f_0(x_i)$ — функция, получающаяся в результате первого приближения функции нескольких переменных суммой функций одной переменной;

$f_k(x_i)$ — функция, получающаяся в результате приближения функции нескольких переменных произведениями функций одной переменной;

m — число произведений функций одной независимой переменной.

По данному ряду легко строится структурная схема, например, для функции двух независимых переменных ($m = 3$), структурная схема имеет вид, показанный на рис. 3 [3, 5]. Поскольку имеется устройство, осуществляющее операцию $Z_{ij} = x_i f(x_j)$, эту структурную схему можно преобразовать к виду, показанному на рис. 4.

Аналогично можно построить структурную схему для функций нескольких переменных (рис. 5). Применение устройств, осуществляющих операцию вида $Z_{ij} = x_i f(x_j)$, позволяет при воспроизведении функций двух и более переменных уменьшить количество блоков аналоговых машин в два раза и соответственно уменьшить количество решающих усилителей.

4. Частотные свойства устройства. Описываемое устройство может работать с полосой частот, максимально возможной для устройств, работающих на время-импульсном принципе, и ограничиваемой лишь предельной частотой переключения применяемых в нем транзисторов и полосой пропускания операционных усилителей. Так как современные транзисторы могут работать с частотой переключения, равной нескольким мегагерцам, можно утверждать, что устройство для реализации нелинейных операций с успехом можно использовать в качестве основного элемента при воспроизведении функций нескольких переменных в современных быстродействующих аналоговых машинах, применяемых для управления производственными процессами или для решения математических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. В. Пайк, Т. Р. Силверберг. Проектирование механизмов для осуществления функций нескольких переменных. Сб. переводов «Прикладная механика и машиностроение», № 2, ИЛ, 1953.

2. Б. Я. Коган. Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования. Физматгиз, 1959.

3. И. И. Этерман. Математические машины непрерывного действия. Машгиз, 1957.

4. М. Р. Шура-Бура. Представление функций нескольких переменных комбинацией функций одной переменной. Сб. «Вычислительная математика», № 2, АН СССР 1957.

5. В. В. Петров. Аналоговое представление функций нескольких переменных. Сб. «IV Всесоюзная конференция-семинар по теории и методам математического моделирования», «Наукова думка», Киев, 1964.