

А. И. НИКУШКИН  
(Ленинград)

### ПРИБЛИЖЕННАЯ КРИВОЛИНЕЙНАЯ АППРОКСИМАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ФУНКЦИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ЖИДКИХ СРЕД

Как показано в [1], всем физико-химическим методам анализа жидких сред свойственна зависимость выходного сигнала датчиков-преобразователей аналитических приборов от изменения температуры анализируемой среды. Изменение температуры среды вызывает систематическую дополнительную погрешность, которая в общем случае может быть компенсирована различными схемами и устройствами [2]. Для точной автоматической компенсации влияния температуры анализируемой среды, выражаемой некоторой функциональной зависимостью или температурной функцией  $f(t)$ , требуется такое устройство, которое обеспечивало бы выходной сигнал, аналитическое выражение которого было бы подобно аналитическому выражению функции  $f(t)$ . Этого можно достигнуть путем использования различных устройств счетно-решающей техники, воспроизводящих функции от одной и двух переменных [3]. Практическое использование таких устройств в аналитических приборах затруднено по причине сложного конструктивного исполнения, больших затрат на изготовление и низкой эксплуатационной надежности. В целом ряде случаев целесообразно функцию  $f(t)$  заменить функцией  $f_1(t)$  при условии, что разность  $\Delta f(t) = f(t) - f_1(t)$  и соответствующая ей погрешность компенсации будут практически приемлемы для целей эксплуатации. Подобная замена очень часто вполне оправдывается простотой конструкции аппроксимирующих устройств и дешевизной их изготовления. В настоящее время используется два вида приближенной аппроксимации нелинейных функций: криволинейная и кусочно-линейная [3].

Ниже рассматривается способ приближенной криволинейной аппроксимации температурных функций применительно к приборам анализа жидких сред, основанный на использовании полупроводниковых терморезисторов. Особенность температурных функций датчиков аналитических приборов, основанных, например, на кондуктометрическом и потенциометрическом методах анализа, состоит в том, что они могут быть описаны уравнением вида

$$f(t) = 1/(at^2 + bt + c), \quad (1)$$

график (кривая 1 на рисунке) которого зависит от величины  $\Delta = 4ac - b^2$  [4]. В практически используемом диапазоне изменения переменной  $t = 0 \div 150^\circ\text{C}$  это будет кривая (см. рисунок), монотонно убывающая с ростом температуры. На том же рисунке кривая

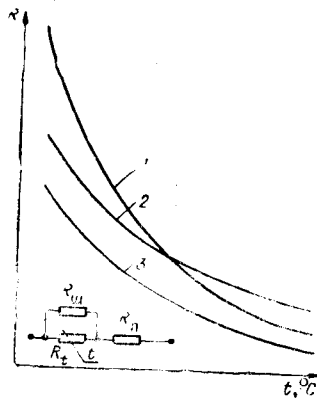
2 —  $f_1(t) = R_{20} e^{B \left( \frac{1}{273+t} - \frac{1}{T_{20}} \right)}$  — представляет графическую зависимость сопротивления терморезистора в функции от температуры. Форма и положение этой кривой в прямоугольной системе координат могут быть изменены путем подключения к терморезистору шунтирующего резистора  $R_{III}$ ; при этом получим новую функциональную зависи-

$$\text{мость } f_2(t) = \frac{f_1(t) R_{III}}{f_1(t) + R_{III}} \quad (\text{кривая 3}).$$

В общем случае две кривые второго порядка, произвольно расположенные в плоскости, называются конгруэнтными, если при наложении одной на другую они совмещаются. В частном случае кривые двух функций совмещаются друг с другом в некотором интервале изменения переменной при перемещении, параллельном оси ординат, если в том же интервале изменения переменной в сходственных точках первые производные функций равны, т. е. если

$$f'(t) = f_2'(t). \quad (2)$$

Принтегрировав это выражение, можно получить условие конгруэнтности кривой температурной функции, свойственной какому-либо методу физико-химического анализа, и видоизмененной кривой



сопротивления терморезистора в функции от температуры:

$$\int_{t_1}^{t_2} f'(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} f_2'(t) dt + c, \quad (3)$$

Из формулы (4) следует, что значение сопротивления резистора является функцией температуры. Практически выполнить резистор  $R_{ш}$ , сопротивление которого изменялось бы по закону, определяемому выражением (4), не представляется возможным. В этом случае целесообразно приближенно определить значения сопротивлений резисторов  $R_{ш}$  и  $R_n$ , при которых осуществляется оптимальное приближение аппроксимирующей функции к заданной и оценить при этом погрешность приближенного аппроксимирования.

По условиям задачи должно быть  $R_{ш} = \text{const}$ . В соответствии с этим определим, при каких условиях выражение для  $R_{ш}$  стремится к постоянному значению. Для этого возьмем первую производную от (4) и приравняем ее к нулю. После преобразований получим:

$$\frac{B}{(273+t)^2} [f(t) - R_n] = - \frac{f'(t)f_1(t)}{f(t) - R_n}, \quad (5)$$

откуда

$$R_n = f(t) - (273+t) \sqrt{-\frac{f'(t)f_1(t)}{B}}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (4), найдем

$$R_{ш} = \frac{f_1(t)(273+t) \sqrt{-\frac{f_1(t)f_1(t)}{B}}}{f_1(t) \sqrt{B} - (273+t) \sqrt{-f'(t)f_1(t)}}. \quad (7)$$

Более подробный анализ показывает, что для оптимального приближения аппроксимирующей функции к заданной расчет резисторов  $R_{ш}$  и  $R_n$ , согласно формулам (6) и (7), должен выполняться соответственно при  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  заданного диапазона изменения переменной  $t$ ; при этом выбор номинала терморезистора должен производиться из условия

$$R_{20} \approx B \left( \frac{1}{273+t} - \frac{1}{T_{20}} \right) = [f(t)]_{\max} \pm \Delta R_{\min}. \quad (8)$$

Произведенные расчеты для кондуктометрического метода анализа показывают, что погрешность приближенной криволинейной аппроксимации при правильно выбранном коэффициенте  $B$  терморезистора в диапазоне температур  $+(20 \div 80)^\circ \text{C}$  может составлять  $\pm 1\%$ .

Способ включения термокомпенсирующего устройства зависит от принятого физико-химического метода анализа и выбранной схемы измерения. При этом компенсация температурного влияния обеспечивается в случае, если преобразованный сигнал компенсирующей цепочки в общую передаточную функцию датчика при мостовых схемах измерения входит как множитель, при потенциометрических — как слагаемое.

Рассмотренный способ и устройство приближенной криволинейной аппроксимации температурных функций, состоящее из полупроводникового терморезистора с шунтирующим и последовательным резисторами, могут успешно применяться при кондуктометрическом и потенциометрическом методах анализа состава жидких сред, обеспечивая незначительную дополнительную погрешность термокомпенсации, снижение веса, габаритов и увеличение эксплуатационной надежности аналитических приборов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. С. Ляликов. Физико-химические методы анализа. М., «Химия», 1964.
2. А. М. Туричин. Электрические измерения неэлектрических величин. М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
3. А. Н. Лебедев. Счетно-решающие устройства. М., Машгиз, 1958.
4. И. Н. Бронштейн и К. А. Семендяев. Справочник по математике. М., Гостехиздат, 1955.

Поступило в редакцию 20 марта 1970 г.,  
окончательный вариант —  
9 февраля 1971 г.