

ставлена на рис. 3. Алгоритм обучения рекуррентный. Рис. 4 иллюстрирует процесс настройки искомого параметра  $c$  и сходимости к оптимальному значению.

Введение пороговой функции незначительно усложняет алгоритм адаптации и его реализацию в специализированном устройстве, но позволяет оптимизировать разделяющую поверхность из условия минимума ошибок распознавания.

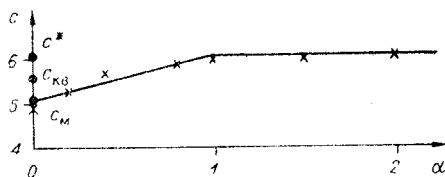


Рис. 2.

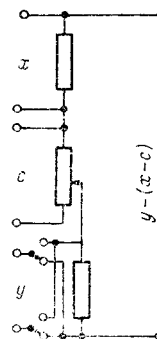


Рис. 3.

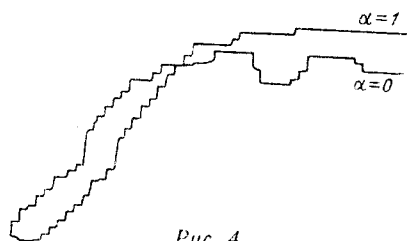


Рис. 4.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Я. З. Цыпкин. Адаптация и обучение в автоматических системах. М., «Наука», 1968.
2. Б. Д. Борисов, М. И. Могильницкий, А. Г. Сенин. К анализу работы классификатора шумов. — Автометрия, 1970, № 3.

Поступило в редакцию  
26 февраля 1970 г.

УДК 621.317.3 : 531.717

А. С. БЕРШТЕЙН, Н. Н. КАРИМОВ, С. Ф. КОРНДОРФ  
(Москва)

#### ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ СОКРАЩЕНИЯ ОБЪЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Сущность разработанного метода [1, 2], позволяющего существенно сокращать объем измерительной информации, можно проиллюстрировать на примере бесконтактного измерения толщины диэлектрических покрытий на металлической подложке. В этом случае могут быть использованы различные типы датчиков: емкостные, индуктивные, оптические, радиоактивные, ультразвуковые. При контроле толщины покрытия, нанесенного на движущуюся немагнитную металлическую подложку, на выходные параметры датчиков кроме контролируемой толщины  $x_1$  влияют:  $x_2$  — величина воздушного зазора между датчиком и поверхностью покрытия, которая может изменяться при движении подложки как вследствие неравномерности толщины последней, так и вследствие загрязнения поверхности опоры, по которой перемещается подложка;  $x_3$  — перекос поверхности подложки относительно датчика, изменяющийся при ее перемещении;  $x_4$  — толщина подложки, изменяющаяся в пределах допуска. Поэтому при составлении уравнений,

описывающих работу датчиков, необходимо учитывать влияние этих величин, когда оно соизмеримо с влиянием  $x_1$ . При этом уравнения для емкостного и индуктивного датчиков соответственно примут вид:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2); \quad (1)$$

$$y_2 = f_2(x_1, x_2). \quad (2)$$

В этих уравнениях влияние перекоса не учтено, поскольку для таких датчиков [2] это влияние при небольших углах перекоса ( $2-3^\circ$ ) настолько мало, что практически им можно пренебречь. Влияние толщины подложки на индуктивный датчик также не учтено, поскольку, как это показано там же, им можно пренебречь для подложек, толщина которых больше  $5-6$  мк.

Из приведенных уравнений видно, что емкостный и индуктивный датчики описываются системой двух независимых уравнений с двумя неизвестными  $x_1$  и  $x_2$ , что позволяет использовать их совместно для двухпараметровых измерений. Так как емкостный датчик представляет собой емкостный двухслойный конденсатор [3], а индуктивный датчик [4] измеряет расстояние до металлической подложки ( $x_1$  и  $x_2$ ), то систему уравнений для этих датчиков можно представить так:

$$y_1 = \frac{k_{10}}{k_{11} x_1 + k_{12} x_2}; \quad (3)$$

$$y_2 = k_{20} \ln(k_{21} x_1 + k_{22} x_2). \quad (4)$$

Для совместного решения уравнений (3) и (4) необходимы сравнительно сложные аналоговые или цифровые устройства. Однако эта система уравнений может быть упрощена. Так как в уравнении (4)  $k_{21} \cong k_{22} = k$  (индуктивность практически не зависит от свойств диэлектрического покрытия), то

$$y_2 = k_{20} \ln(kx), \quad (5)$$

где  $x = x_1 + x_2$ . Уравнения (3) и (5) показывают, что в рассматриваемом случае емкостный и индуктивный датчики можно описывать системой уравнений:

$$y_1 = f_1(x_1, x); \quad (6)$$

$$y_2 = f_2(x). \quad (7)$$

Датчики, описываемые такой системой уравнений, позволяют использовать упрощенный принцип измерения, являющийся частным случаем двухпараметрового метода измерения. Емкостный датчик, выходной параметр которого зависит как от  $x_1$ , так и от  $x$ , тарировается для измерения  $x_1$  при заданном значении  $x$ . Индуктивный датчик, выходной параметр которого зависит только от  $x$ , является базовым. Это значит, что его выходной сигнал используется для управления электронным ключом, так что измерительная система подключается к выходу емкостного датчика на короткие промежутки времени в моменты, когда вследствие сканирующего движения датчиков по их совместной оси, направленной перпендикулярно к поверхности контролируемого покрытия, величина  $x$  принимает то значение, при котором тарировался емкостный датчик. Таким образом, обеспечивается постоянство величины  $x$ , входящей в измерительную информацию, вследствие чего уравнения (6) и (7) принимают вид:

$$y_1 = f_1(x_1); \quad (8)$$

$$y_2 = \text{const}. \quad (9)$$

Следовательно, в разработанном устройстве устранена необходимость измерения изменяющейся величины  $x$  и внесения при переработке измерительной информации коррекции, учитывающей ее изменение, что существенно упрощает контрольно-измерительную аппаратуру.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Каримов, С. Ф. Корндорф. Индуктивно-емкостный датчик для бесконтактного измерения толщины. Авторское свидетельство № 180808.— ИПОТЗ, 1936, № 8.
2. Н. Н. Каримов. Разработка и исследование бесконтактного метода контроля толщины тонких диэлектрических покрытий на перемещающейся металлической подложке. Автореферат канд. дисс. М., 1938.

3. Г. И. Сканава. Физика диэлектриков. М.—Л., 1949.  
 4. П. Л. Калантаров и Л. А. Цейтлин. Расчет индуктивности. М.—Л., Госэнергоиздат, 1955.

Поступило в редакцию  
 27 января 1969 г.,  
 окончательный вариант —  
 23 июля 1969 г.

УДК 621.375 621.317

Л. И. ВОЛГИН  
 (Таллин)

### К АНАЛИЗУ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ВХОДОМ

Усилительные устройства с дифференциальным входом (ДУ) (дифференциальные усилители) находят широкое применение в контрольно-измерительной, в счетно-решающей и моделирующей технике. В связи с выпуском промышленностью интегральных кристаллических ДУ область применения дифференциальных усилителей непрерывно расширяется. Целью настоящей работы является вывод основных расчетных соотношений для операционных усилителей, построенных на базе ДУ.

В известных работах (см. например, [1]) анализ операционных усилителей проводится исходя из предположения, что коэффициенты усиления ДУ по фазоинверсному  $k_1$  и нефазоинверсному  $k_2$  входам равны. Практически всегда имеет место неравенство  $k_1 \neq k_2$ , т. е. [2]

$$E = k_2 U_2 - k_1 U_1 = K_- (U_2 - U_1) + K_+ \frac{U_1 + U_2}{2}, \quad (1)$$

где  $K_- = \frac{k_1 + k_2}{2}$ ;  $K_+ = k_2 - k_1$  — соответственно коэффициенты усиления полусуммы и разности сигналов  $U_1$  и  $U_2$ . Отношение  $Q = K_- / K_+$  называется коэффициентом режекции [3] (в зарубежной литературе — коэффициентом подавления синфазных сигналов) и характеризует способность ДУ выделять полезный (дифференциальный) сигнал на фоне синфазной помехи. При абсолютной симметрии ДУ  $k_1 = k_2 = k$ ,  $K_+ = 0$ ,  $K_- = k$ ,  $Q = \infty$ , т. е. выходное напряжение пропорционально только разности сигналов  $U_1$  и  $U_2$ .

Схема фазоинверсного операционного усилителя дана на рис. 1. Здесь входные сопротивления ДУ представлены в виде трехлучевой звезды. Так как входные дифференциальное и синфазные сопротивления ДУ отличаются примерно на два порядка и более, то в дальнейшем изложении влиянием сопротивления  $R_c$  будем пренебрегать (считаем, что  $R_c = \infty$ ). В отличие от операционного усилителя, построенного на базе не-дифференциального усилителя, здесь к инверсному входу ДУ подключен резистор  $R_1$ . Резистор  $R_1$  для ДУ без завала частотной характеристики в области низких частот выбирается исходя из условия компенсации влияния токовых составляющих дрейфа нулевого уровня, т. е.  $R_1 = (R_0 \parallel R_{0,c}) I_- / I_+$ , где  $I_-$  и  $I_+$  — токовые составляющие дрейфа, приведенные соответственно к инверсному и неинверсному входам ДУ (обычно полагают  $I_- = I_+$ ). Выходной сигнал эквивалентного источника напряжения  $E$  определяется выражением (1). Опуская промежуточные выкладки, для функции преобразования операционного усилителя (ОУ) найдем следующее выражение:

$$U_B = - \frac{R_{0,c}}{R_0} \frac{1 - \frac{1}{K_- \beta_1} + \frac{1}{2Q\gamma}}{1 + \frac{1}{K_- \beta_2} + \frac{1}{2Q\gamma}} U = - \frac{R_{0,c}}{R_0} U (1 \pm \Delta), \quad (2)$$