

С. М. ШИРОКОВ

МНОГОМЕРНЫЕ АВТОКОМПЕНСАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ СОВОКУПНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Одной из актуальных задач современной информационно-измерительной техники является создание многомерных автоматических устройств, предназначенных для обработки совокупностей сигналов. Это обусловлено непрерывным усложнением объектов контроля и технологических процессов и тесно связано с внедрением и развитием многосвязных систем управления.

Если вся информация об объекте измерения поступает от электрических измерительных преобразователей, то он может рассматриваться как некоторый многополюсник, характеризующийся (при условии его линейности) двумя многомерными величинами: матрицей неавтономных параметров (например, Z или Y) и вектором внутренних автономных источников энергии (\bar{E} или \bar{J}). В последние годы разрабатываются вопросы теории многомерных измерительных цепей, предназначенных для определения параметров объектов такого рода методами сравнения [1, 2].

Разработаны, в частности, многомерные компенсационные цепи, позволяющие измерять автономные параметры объектов [2]. В такую цепь наряду с объектом измерения X включается некоторый эталонный многополюсник, K , автономные параметры которого изменяются до достижения равновесия цепи, т. е. до обращения в нуль напряжений в определенных точках цепи, или токов в определенных ее ветвях. При равновесии параметры объекта и эталона связаны простым матричным соотношением:

$$\bar{E}_x = K\bar{E}_k, \quad (1)$$

где $\bar{E}_x = (E_{x1}, E_{x2}, \dots, E_{xn})^t$, $E_k = (E_{k1}, E_{k2}, \dots, E_{kn})^t$ — векторы автономных параметров, (здесь — э. д. с.) соответственно объекта и эталона, K — некоторая матрица, зависящая от параметров измерительной цепи, t — знак транспонирования.

Равенство (1) является матричной записью системы линей-

ных алгебраических уравнений, связывающей параметры объекта и эталона. Как известно, во многих случаях физические величины, отражающие наиболее важную информацию об объекте, не могут быть измерены непосредственно, и возникает необходимость в применении совокупного метода измерений: искомые параметры определяются через сигналы, поступающие от первичных преобразователей, посредством решения системы уравнений [3]. Чаще всего возникает необходимость в решении системы линейных уравнений, так как нелинейные системы обычно поддаются линеаризации. Многомерные компенсационные цепи позволяют реализовать совокупный метод измерений без применения каких-либо дополнительных вычислительных устройств. (В этом случае сама измерительная цепь выполняет функции аналогового вычислительного устройства). Так, например, если производится измерение концентраций компонент раствора и \vec{E}_x есть вектор сигналов датчиков электропроводности, плотности и др. свойств раствора, то после уравнивания цепи и при надлежащем выборе матрицы K элементы вектора параметров эталона \vec{E}_k пропорциональны искомым концентрациям компонент смеси.

Практическая схема многомерного устройства для совокупных измерений должна обеспечивать простую и удобную реализацию произвольной матрицы K (как симметричной, так и несимметричной, как с положительными, так и с отрицательными коэффициентами и т. п.) и допускать быструю перестройку с одной матрицы на другую. Этим требованиям удовлетворяет трансформаторная схема многомерной компенсационной цепи (рис. 1). Для простоты на рисунке представлена схема для ре-

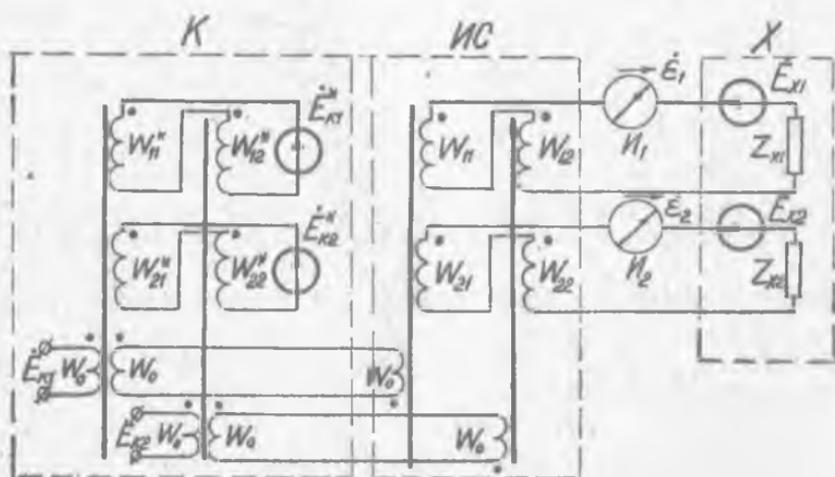


Рис. 1.

лизации матрицы второго порядка. Компенсирующие напряжения \overline{E}_k^* эталонного многополюсника K изменяются до тех пор, пока напряжения ϵ_1, ϵ_2 на нуль-индикаторах I_1, I_2 не обратятся в нуль, т. е. э. д. с., наводимые в обмотках трансформаторов измерительной цепи (ИС) $\omega_{11}, \omega_{12}, \omega_{21}, \omega_{22}$ не уравновесят э. д. с. объекта:

$$W \frac{d\overline{\Phi}}{dt} = \overline{E}_x, \quad (2)$$

где $W = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} \\ \omega_{21} & \omega_{22} \end{bmatrix}$ — матрица чисел витков обмоток, $\overline{\Phi}$ — вектор магнитных потоков в сердечниках трансформаторов.

В реальном устройстве обмотки трансформаторов эталона $\omega_{11}^*, \omega_{12}^*, \omega_{21}^*, \omega_{22}^*$ располагаются на тех же сердечниках, что и обмотки измерительной цепи, поэтому обмоткам ω_0 , изображенным на схеме, приписываются свойства идеального короткозамкнутого витка, выполняющего функции передачи магнитного потока. При этом напряжения, индуцированные в обмотках ω_0 , равны э. д. с. на разомкнутых зажимах многополюсника K , т. е. его автономным параметрам \overline{E}_k :

$$W_0 \frac{d\overline{\Phi}}{dt} = \overline{E}_k. \quad (3)$$

Из (2) и (3) следует, что в момент равновесия имеет место равенство

$$\frac{1}{\omega_0} W \overline{E}_k = \overline{E}_x. \quad (4)$$

Сравнивая (4) с (1), нетрудно заметить, что в описываемом устройстве матрица K задается отношением чисел витков основных и выходных обмоток:

$$K = \frac{1}{\omega_0} W, \quad k_{pq} = \frac{\omega_{pq}}{\omega_0}. \quad (5)$$

В момент равновесия в обмотках измерительной цепи токи не протекают, отбора мощности от источников сигналов \overline{E}_x нет, и поэтому их внутренние сопротивления Z_{x1}, Z_{x2} не влияют на результат измерения, что является важным достоинством устройства.

Уравновешивание измерительной цепи осуществляется автоматически с помощью электронных усилителей (на схеме не показанных): ϵ_1, ϵ_2 — их входные напряжения, E_{k1}^*, E_{k2}^* — выходные напряжения. Устойчивость компенсационного устройства с усилителями существенно зависит от наличия перекрестных связей между указанными входными и выходными величинами усилителей. Для того чтобы свести к минимуму такие связи, компенсирующий многополюсник K построен по схеме, аналогич-

ной схеме измерительной цепи, и в процессе уравнивания изменяются не непосредственно его автономные параметры \bar{E}_k , а связанные с ними напряжения \bar{E}_k^* .

Общее уравнение многомерной компенсационной цепи, связывающее напряжения небаланса с параметрами многополюсников X и K [2], для анализируемого устройства, как нетрудно показать, принимает вид:

$$\bar{\epsilon} = -\bar{E}_x + S\bar{E}_k^* \quad (6)$$

$$S = WW^{*-1} [(1) + R^*(j\omega W^*Y_m W^{*t})^{-1}]^{-1}, \quad (7)$$

где $Y_m = \begin{bmatrix} y_{m1} & 0 \\ 0 & y_{m2} \end{bmatrix}$ — диагональная матрица магнитных проводимостей сердечников трансформаторов,

$R^* = \begin{bmatrix} r_{11}^* + r_{12}^* & 0 \\ 0 & r_{21}^* + r_{22}^* \end{bmatrix}$ — диагональная матрица активных сопротивлений обмоток;

t — знак транспонирования.

Активные сопротивления обмоток пренебрежимо малы по сравнению с их индуктивными сопротивлениями, поэтому

$$\|R^*(j\omega W^*Y_m W^{*t})^{-1}\| \ll 1, \text{ и } S \approx WW^{*-1}. \quad (8)$$

Как видно из (8), для того, чтобы сделать матрицу S диагональной и, таким образом, устранить перекрестные связи, достаточно выбрать обмотки компенсирующего многополюсника идентичными обмоткам измерительной цепи,

$$W = W^*. \quad (9)$$

Тогда $S = [1]$ и, как следует из (6), на вход каждого из усилителей оказывает влияние только выходное напряжение данного усилителя.

Как показывает теоретический расчет и подтверждают экспериментальные исследования, компенсационные устройства для совокупных измерений отличаются высокими метрологическими характеристиками, свойственными приборам сравнения. На кафедре информационно-измерительной техники Куйбышевского политехнического института разработано автокомпенсационное устройство описанного типа, предназначенное для обработки пяти сигналов, с регистрацией результата на бумажной ленте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтциндер Б. Я. Многомерные мостовые электроизмерительные цепи. Известия вузов СССР. «Приборостроение», 1969, т. XII, № 5.
2. Лихтциндер Б. Я., Широков С. М. Многомерные дифференциальные и компенсационные электроизмерительные цепи. Известия вузов СССР, «Приборостроение», 1970, т. XIII, № 8.
3. Розенблит А. Б. Некоторые вопросы автоматического контроля состава многокомпонентных сред косвенным методом. — «Автоматический контроль и методы электрических измерений» (Труды V конф.), т. II, Новосибирск, «Наука», 1966.