

УДК 681.325

## ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ МАТРИЦЫ ВЕКТОРНОГО СООБЩЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

© Л.Г. Журавин, Р.Я. Канчан

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Поступила в редакцию 10 января 1998 г.

Рассматривается принцип построения нового класса измерительных средств — многомерных коррелометров — на основе многоканальной вероятностной меры. Реализация таких приборов позволит успешно решать задачи идентификации и технической диагностики многомерных объектов.

Если объект научного исследования или технический объект является многомерным, то его выходные сигналы можно рассматривать как векторное измерительное сообщение. В этом случае задача идентификации [1, 2] объекта сводится к обработке векторных сообщений, в частности, к многомерному корреляционному анализу. Так, например, знание корреляционной матрицы выходных процессов многомерной линейной системы может быть основой для идентификации многомерной передаточной функции этой системы. Известно также применение корреляционных матриц для классификации систем, в частности, систем П-типа [3]. Таким образом, определение матрицы взаимокорреляционных связей является фундаментом для решения многих актуальных задач, что позволяет считать многомерные корреляционные измерения весьма важной разновидностью динамических измерений. В то же время необходимо отметить, что стандартных приборов для таких измерений нет. Ниже рассмотрен один из возможных вариантов построения многомерных коррелометров, предназначенных для измерения всех элементов многомерной корреляционной матрицы.

Корреляционная матрица  $[K_{ij}(\tau)]$ ,  $i, j \in [1, N]$ , содержит автокорреляционные функции на главной диагонали (при  $i = j$ ) и взаимокорреляционные функции вне ее [4]. С учетом равенства  $K_{ij}(\tau) = K_{ji}(-\tau)$  следует измерять  $M = (N+1)N/2$  различных функций, составляющих корреляционную матрицу. При экспериментальном определении корреляционной матрицы желательно получать все ее элементы на одном интервале времени анализа  $T_a$ , в противном случае из-за изменения условий может нарушиться степень стационарности, адекватность модели и т. п.

Если последовательно пользоваться традиционным двухканальным коррелометром (на основе одного множительного устройства), то следует

обеспечить стационарность ансамбля (или один и тот же вид нестационарности) в течение  $M$  интервалов анализа, что практически нереализуемо для низкочастотных процессов; например, при длительности интервала корреляции  $\tau_k = 1$  с,  $T_a = 1000$   $\tau_k$  (минимально необходимая длительность) и  $N = 32$  имеем  $T_\Sigma = M T_a = 1000 (32+1)32/2$  с = 146 час.

Если измерительный эксперимент организован на основе запоминания отсчетов всех  $N$  компонент на одном интервале анализа с последующей обработкой отсчетов в ЭВМ, то могут быть другие трудности:

— слишком большой массив промежуточных данных при больших  $N$  и сравнительно большой длительности интервала анализа, например, при  $N = 64$ ,  $T_a = 10000 \tau_k$  и шаге дискретизации по времени  $t_d = 0,1 \tau_k$  число отсчетов составляет 6,4 млн;

— сложность работы на повышенных частотах (начиная с десятков МГц), например, при частоте дискретизации  $F_d = 50$  МГц и  $N = 16$  мы имеем суммарную информативность для 16 АЦП (необходим свой АЦП на каждую компоненту ансамбля)  $S_\Sigma = 800$  Мбайт/с, что затрудняет работу с буферным запоминающим устройством (БЗУ).

Свободен от указанных недостатков метод измерения элементов корреляционной матрицы, основанный на использовании  $N$ -мерной (по числу компонент измерительного сообщения) вероятностной меры (рис. 1).

Элементы вероятностной меры, формируемые на выходах генератора меры (ГМ) и представляющие собой независимые случайные последовательности с равновероятными плотностями распределения в диапазоне измерения, с помощью сравнивающих устройств  $SU_1 — SU_N$  сравниваются с соответствующими измерительными сообщениями. Результаты сравнения в виде двоичных последовательностей  $a_{is}$ ,  $i = 1, \dots, N$ ,  $s = 1, \dots, R$ , запоминаются в БЗУ (в течение одного интервала анализа), а затем в процессоре Пр попарно подвергаются множительно-интегрирующему преобразованию

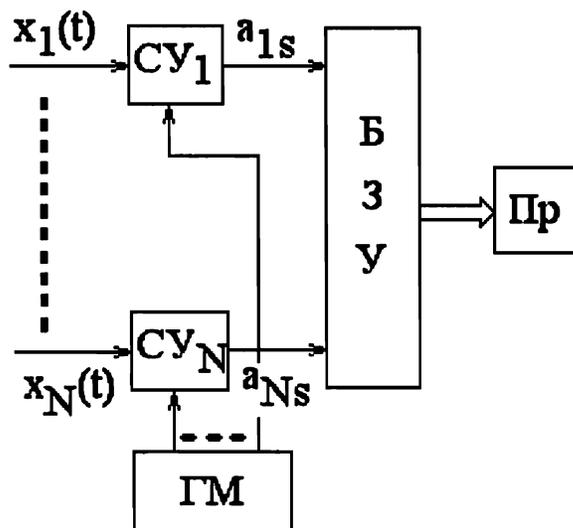


Рис. 1. Структурная схема многомерного коррелометра на основе вероятностной меры

с целью оценивания функций  $K_{ij}(\tau)$ :

$$K_{ij}^*(lt_D) = \frac{X_m^2}{R-l} \times \sum_{s=1}^{R-l} a_{is} \otimes a_{j,s+l}, \quad (1)$$

где  $\otimes$  — логический оператор: результат равен +1 или -1 в зависимости от равенства или неравенства двоичных переменных  $a_{is}$  и  $a_{j,s+l}$ ;  $+/-X_m$  — диапазон изменения измерительных сообщений и вероятностной меры;  $l = 0, \dots, L$ ,  $Lt_D \approx \tau_k$ .

Для ускорения сходимости оценки  $K_{ij}^*$  следует применять модифицированный алгоритм вероятностного перемножения [5]

$$K_{ij}^*(lt_D) = \frac{X_m^2}{R-l} \times \sum_{s=1}^{R-l} (a_{is} \otimes a_{j,s+l} + a_{is} y_{j,s+l} + a_{j,s+l} y_{is}), \quad (2)$$

где  $y_{is}$  и  $y_{j,s+l}$  — значения вероятностной меры на соответствующем такте формирования массива элементов  $a_{is}$  и  $a_{j,s+l}$ , величины  $y_{is}$  и  $y_{j,s+l}$  нормированы в диапазоне  $[1; -1]$ , а элементы  $a_{is}$  и  $a_{j,s+l}$  принимают значения 1 или -1. Очевидно, что реализация алгоритма (2) возможна тогда, когда в качестве вероятностной меры используются псевдослучайные последовательности, которые сравнительно просто повторно генерировать в процессе при обработке массива элементов  $a_{is}$ .

Отметим некоторые свойства реализуемых данным способом коррелометров:

— сравнительно малый объем БЗУ, так как для каждой компоненты измерительного сообщения запоминаются однобитовые слова;

— расширение информационной полосы частот измерительного сообщения до нескольких сотен МГц, так как быстродействие определяется сравнивающими устройствами и цифро-аналоговыми преобразователями — сравнительно малоинерционными элементами аналоговой интегральной техники. Например, в операционных усилителях фирмы "Analog Devices" (AD8001 и др.) достигнута максимальная частота преобразования 880 МГц; очевидно, что для сравнивающих устройств и ЦАПов данная технология позволит работать на частотах 1 ГГц и более.

В заключение отметим возможность распространения многомерного корреляционного анализа на задачи определения неисправностей многомерных объектов, решаемые системами технической диагностики [6].

В качестве примера рассмотрим, какие дополнительные возможности для поиска неисправностей предоставляет корреляционная матрица напряжений трехфазного двигателя.

Очевидно, что главная диагональ этой матрицы содержит информацию о средних квадратах напряжений, а все остальные элементы (после нормирования) определяются косинусами фазовых сдвигов между всеми возможными парными комбинациями напряжений. Очевидно также, что любые неисправности, приводящие к искажению соотношений между средними квадратами и фазовыми сдвигами, легко диагностируются. В частности, при обрыве фазного провода потеря напряже-

ния одной из фаз может быть не замечена, так как два оставшихся фазных напряжения через обмотки двигателя, соединенные треугольником, имитируют напряжение фазы. Если учесть элементы корреляционной матрицы вне основной диагонали, то обнаружится, что они принимают значения 0,5; 0,5 и -0,5, в то время как при исправных фазных напряжениях эти значения составляют только -0,5 (косинус фазового сдвига 120 угловых градусов).

Таким образом, с помощью многомерной вероятностной меры можно эффективно измерять элементы корреляционной матрицы векторных сообщений, что позволяет говорить о возможности выпуска нового класса измерительных приборов — многомерных коррелометров. Такие приборы могут найти широкое применение в автоматизированных системах для научных исследований, а также при идентификации и технической диагностике сложных технических объектов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ./ Под. ред. Я.З. Цыпкина. 1991. М. Наука. 432 с.
2. *Цыпкин Я.З.* Основы информационной теории идентификации. 1984. М. Наука. 450 с.
3. *Ковбаса С.И.* Разработка вопросов теории и построения процедур измерения характеристик систем бинарного типа с отношением эквивалентности. Автореферат докторской диссертации. 1988. Л.
4. *Быков В.В.* Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. 1973. М. Сов. радио. 328 с.
5. *Билинский И.Я., Микелсон А.К.* Стохастическая цифровая обработка непрерывных сигналов. 1983. Рига. Зинатне. 400 с.
6. Основы технической диагностики. Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза. Т.1 / Под ред. П.П. Пархоменко. 1976. М. Энергия. 464 с.

## MEASUREMENT OF ELEMENTS OF THE CORRELATION MATRIX OF A VECTOR MESSAGE FOR IDENTIFICATION OF MULTIDIMENSIONAL OBJECTS

L. G. Zhuravin, R. J. Kanchan

*St. Petersburg State Electrotechnical University, St. Petersburg*

The principle of construction of a new class of measuring means – multidimensional correlometers – is considered on the basis of a multichannel stochastic measure. The realization of such devices will allow one to successfully solve the tasks of identification and technical diagnostics of multidimensional objects.