

3. H. G. Kretzschmar. Über Verfahren zur direkten Anzeige des Phaseminkels.— Wissenschaftliche Zeitschrift Hochschule Elektronischen Ilmenau, 1962, № 3.
4. М. Е. Бушмин, Б. В. Смеляков и др. Цифровой инфранизкочастотный фазометр-частотомер. Авторское свидетельство № 189485.— ИПОТЗ, 1966, № 24.
5. H. Weinbaum and D. Muster (USA). A digital phaseangle meter. АСТА ИМЕКО, Budapest, 1964.
6. Н. П. Поляков. Цифровой фазометр. Авторское свидетельство № 123617.— БИ, 1959, № 21.
7. J. S. Elliot. A High-precision Direct-reading Loss and Phase Measuring Set for Carrier Frequencies.— Bell Sys. Tech. J., 1962, v. 41.
8. А. Е. Бартмер. Способ измерения сдвига фаз при помощи цифровых или импульсных фазометров. Авторское свидетельство № 132333.— БИ, 1960, № 19.
9. С. С. Кузнецкий, М. К. Чмых. Способ измерения сдвига фаз цифровым фазометром с постоянным измерительным временем. Авторское свидетельство № 231664.— ИПОТЗ, 1968, № 36.
10. В. Т. Смирнов. Цифровой фазометр с постоянным измерительным временем. Авторское свидетельство № 220361.— ИПОТЗ, 1968, № 20.
11. Л. А. Верецагин. Цифровой фазометр. Авторское свидетельство № 154948.— БИ, 1963, № 11.
12. Y. P. Yu. Purpose Digittes Choice of Phase Meter.— Electronic Design, 1965, may.
13. А. Е. Макиевский, И. А. Кемпе. Автокомпенсационный фазометр с цифровым отсчетом. Авторское свидетельство № 155865.— БИ, 1963, № 14.
14. А. Е. Макиевский, С. М. Маевский. Новые схемы высокочастотных цифровых фазометров.— Автоматический контроль и методы электрических измерений. Труды IV Всесоюзной конференции, т. I. Новосибирск, «Наука», 1965.
15. Б. Я. Лихтциндер. Дискретный компенсатор фазы типа ДАК-Ф1.— ПНТПО, вып. 3, тема 27, № 3-62-36/8. М., ЦИТИ, 1962.
16. Л. А. Гонохов. Способ непосредственного преобразования разности фаз в двоичный код.— Труды ТИРиЭТ, 5. Томск, 1967.

*Поступило в редакцию
10 октября 1969 г.*

УДК 681.333 : 53

В. Т. ТЕРТЫШНЫЙ, В. А. ТИХОНОВ, Ю. П. ЮРЧЕНКО

(Киев)

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ ИЗМЕРЕНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ СТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Проникновение статистических методов в технику электрических измерений ставит задачу построения специализированных измерительно-вычислительных устройств для определения корреляционных функций.

Существующие аппаратные способы измерения корреляционных функций не могут удовлетворить исследователя в случае, когда необходимо определить большое количество (порядка 100—200) точек оценки искомой функции либо произвести ее детализацию на некотором участке интервала корреляции.

Действительно, применение последовательного способа измерения большого количества точек оценки корреляционной функции приводит к значительному увеличению времени анализа.

Для реализации же параллельного способа необходимо усложнение аппаратуры, ибо в коррелографах параллельного анализа для вычисления каждой точки нужен, по сути, свой отдельный коррелятор.

В [1] предлагается измерять оценку в m точках на интервале τ_{\max} с грубым шагом $\Delta \tau_{\text{гр}}$. Таким образом получается грубый обзор течения корреляционной функции, который позволяет выбрать область, в которой желателен дальнейший детальный анализ. Такой анализ производится на интервале $2 \Delta \tau_{\text{гр}}$ тоже в m точках с шагом за-

держки $\Delta \tau_T = \frac{2 \Delta \tau_{гр}}{m}$. Полученная в результате двух измерений коррелограмма дает более детальную характеристику случайных процессов, чем коррелограмма с тем же количеством точек, но равным шагом квантования.

Недостатком описанного коррелометра является его сложность из-за наличия отдельного множительно-интегрирующего устройства для каждой измеряемой точки коррелограммы. Кроме того, использование линий задержки в качестве элемента задержки исключает возможность применения такого коррелометра в области низких и инфранизких частот.

В данной работе предлагается способ грубо-точного измерения оценки, причем точки оценки определяются по некоррелированным выборкам исследуемых процессов. Блок-схема коррелометра, реализующего этот способ, приведена на рис. 1, а сущность способа иллюстрирует рис. 2.

В режиме грубого измерения оценки (см. рис. 2, а) с помощью запоминающего элемента ЗЭ в моменты времени t_j , разделенные интервалом τ_{max} , осуществляется отсчет значений процесса $y(t)$ и запоминание их на весь интервал τ_{max} . Подача запомненного значения $y(t_j)$ на вход множительного устройства МУ производится в моменты времени $t_{ji} = t_j + (i - 1) \Delta \tau_{гр}$ ($i = 1, 2, \dots, m$), причем $\Delta \tau_{гр} = \frac{\tau_{max}}{m}$.

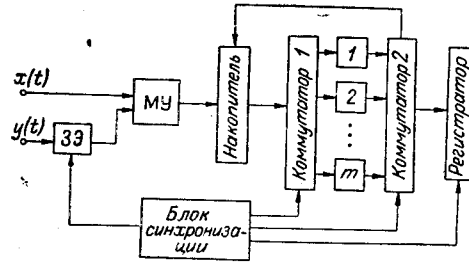


Рис. 1.

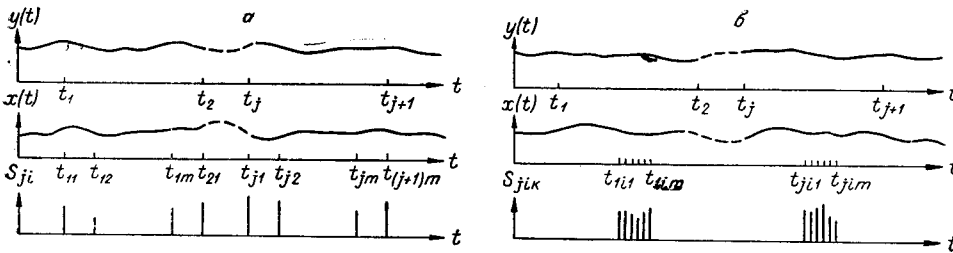


Рис. 2.

Второй сигнал $x(t)$ подается на вход МУ непрерывно. На выходе МУ в моменты t_{ji} появляются импульсы S_{ji} , амплитуда которых равна $x(t_{ji}) y(t_j)$. С помощью коммутаторов эти импульсы распределяются между ячейками накопителя: S_{j1} в ячейку 1, S_{j2} в ячейку 2, S_{jm} в ячейку m . Одновременно с накоплением частичных произведений происходит деление их на N . После выполнения $N = \frac{T}{\tau_{max}}$ циклов, где T — интервал наблюдения, в ячейках накопителя образуется m точек грубой оценки корреляционной функции

$$K^* [(i - 1) \Delta \tau_{гр}] = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x [t_j + (i - 1) \Delta \tau_{гр}] y(t_j) \quad (i = 1, 2, \dots, m),$$

которые выводятся на регистратор. После просмотра полученной коррелограммы выясняется интервал $\tau_{i+1} \div \tau_i$, на котором следует измерить оценку точно.

В режиме тонкого измерения оценки (см. рис. 2, б) выборка по процессу $y(t)$ производится с тем же шагом τ_{max} , что и при грубом измерении, однако подача запомненного значения $y(t_j)$ на МУ осуществляется в моменты времени $t_{jik} = t_{ji} + (k - 1) \Delta \tau_T$, где $k = 1, 2, \dots, m$, а i выбрано и постоянно для данного измерения. К концу измерения в накопителе хранится m точек тонкой оценки

$$K^* [i \Delta \tau_{гр} + (k - 1) \Delta \tau_T] = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x [t_{jik} + (k - 1) \Delta \tau_T] y(t_j) \quad (k = 1, 2, \dots, m).$$

При необходимости тонкого измерения оценки на интервале τ_{\max} перебираются все интервалы $\tau_{i+1} - \tau_i$ и через время mT получают оценку с дискретностью $\Delta \tau_T$.

Использование некоррелированных выборок влечет за собой увеличение интервала интегрирования для получения той же точности, что и при отсутствии дискретизации процессов по времени.

Дисперсия оценки $K^*(\tau)$ корреляционной функции $K(\tau)$ случайного процесса с нормальным законом распределения и нулевым математическим ожиданием при отсутствии дискретизации по времени для $\tau=0$ определяется по формуле [2]

$$D [K^*(0)] \approx \frac{4}{T} \int_0^{\infty} K^2(\tau) d\tau. \quad (1)$$

При использовании некоррелированных выборок та же дисперсия [2]:

$$D' [K^*(0)] \approx \frac{2}{N} K^2(0). \quad (2)$$

Рассмотрим соотношение между интервалом T' (режим некоррелированных выборок) и T (режим непрерывного интегрирования) для некоторых типовых корреляционных функций при равных погрешностях, обусловленных конечностью интервалов интегрирования.

$$1. K(\tau) = C e^{-\beta \tau} \quad (\tau \geq 0).$$

Используя (2), найдем $D [K^*(0)] \approx \frac{2 C^2}{\beta T}$. Максимальный интервал корреляции определим из условия

$$K(\tau_{\max}) = 0,05 K(0). \quad (3)$$

Тогда $\tau_{\max} = \frac{3}{\beta}$. Среднеквадратичная погрешность определения корреляционной функции из-за конечности интервала T равна

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{D [K^*(0)]}{K^2(0)}} \approx \sqrt{\frac{2 \tau_{\max}}{3 T}}. \quad (4)$$

При использовании некоррелированных выборок при условии $N \tau_{\max} = T'$ среднеквадратичная погрешность составляет

$$\delta_2 = \sqrt{\frac{D' [K^*(0)]}{K^2(0)}} = \sqrt{\frac{2 \tau_{\max}}{T'}}. \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует, что при равных погрешностях δ_1 и δ_2 необходимо, чтобы выполнялось соотношение $T' = 3T$.

$$2. K(\tau) = C (1 + \beta \tau) e^{-\beta \tau} \quad (\tau \geq 0); \quad D [K^*(0)] \approx \frac{5 C^2}{\beta T}.$$

Из (4) следует, что $\beta = \frac{4,5}{\tau_{\max}}$; поэтому

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{5 \tau_{\max}}{4,5 T}}. \quad (6)$$

При $\delta_1 = \delta_2$ из (5) и (6) следует

$$T' = 1,8 T.$$

$$3. K(\tau) = \frac{\sin b \tau}{b \tau} \quad (\tau \geq 0); \quad D [K^*(0)] = \frac{2 \pi C^2}{b^2 T}. \quad (7)$$

Максимальный интервал корреляции составляет $\tau_{\max} = \frac{20}{b}$. Среднеквадратичная погрешность равна

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{\pi \tau_{\max}}{10 T}}. \quad (8)$$

При $\delta_1 = \delta_2$ из (5) и (8) следует

$$T' = \frac{20 T}{\pi}. \quad (9)$$

Проведенный анализ показывает, что применение предложенного метода измерения оценки корреляционной функции, несмотря на некоторое увеличение интервала интегрирования, оправдано благодаря существенному упрощению аппаратуры по сравнению с многоканальными коррелометрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. Winkler. Ein Simultan — Korrelator. — Elektronische Rundschau, 1963, № 4.
2. Г. Я. Мирский. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М.—Л., «Энергия», 1967.

Поступило в редакцию
8 апреля 1969 г.,
окончательный вариант —
24 декабря 1969 г.

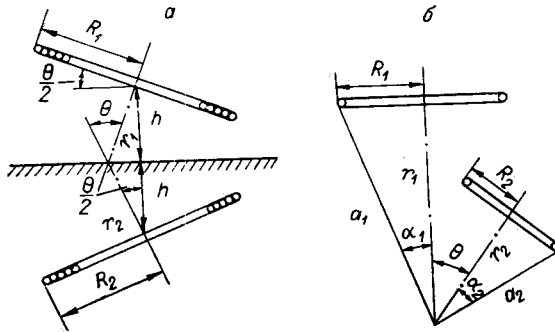
УДК 621.3.011.3

Н. Н. КАРИМОВ
(Подольск)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ НЕМАГНИТНОЙ ПОДЛОЖКИ НА ИНДУКТИВНОСТЬ ДАТЧИКА С ПЛОСКОЙ ОДНОСЛОЙНОЙ НАМОТКОЙ

Вопросу влияния непараллельности на индуктивность плоского датчика до настоящего времени уделялось мало внимания.

Необходимость такого анализа вытекает из специфики применения индуктивного датчика с плоской намоткой для бесконтактного контроля толщины диэлектрических покрытий на металлической подложке. Приведенные в [1] экспериментальные кривые для цилиндрического датчика с ферритовым сердечником не могут быть применены для индуктивного датчика с плоской намоткой. Ниже приводится анализ влияния непараллельности металлической подложки на индуктивность датчика с плоской однослойной намоткой, причем предполагается, что h — расстояние между датчиком и поверхностью металлической подложки, — остается неизменным для различных углов θ (см. рисунок, а).



Зависимость индуктивности плоского накладного датчика от угла θ (см. рисунок) можно получить, используя метод зеркальных отображений и приведенные в [2] формулы для расчета взаимной индуктивности круговых контуров, оси которых пересекаются в произвольной точке (см. рисунок, б). Эти формулы выведены для расчета контуров (витков), а не катушек. Однако, пользуясь методом эквивалентных круговых контуров или методом ряда Тейлора [2], можно с их помощью рассчитать взаимную индуктивность катушек. Сущность метода заключается в том, что для расчета взаимной индуктивности каждая катушка заменяется несколькими эквивалентными круговыми контурами, диаметр и положение которых определяются так, чтобы при соответствующей магнитодвижущей силе, т. е. при