ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА ИМ. С. М. КИРОВА

Том 277 1977

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ АНАЛОГОВЫХ И ОПТИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯТОРОВ

В. П. ИВАНЧЕНКОВ, А. М. КУВШИНОВ

(Представлена семинаром ЛВТА НИИЯФ)

В последнее время при вычислении корреляционных функций широкое применение находят оптические корреляторы. Достоинствами оптических корреляторов по сравнению с другими вариантами корреляторов аналогового и дискретного типа являются высокое быстродействие, двумерность осуществляемого анализа, простота реализации многоканальной обработки информации.

В [1] подробно исследованы методические погрешности мультипликационных и интерференционных корреляторов с временным интегрированием. Оценка погрешности еще на стадии выбора конкретной схемы и проектирования коррелятора дает возможность рассчитать его некоторые важнейшие конструктивные параметры. Рассмотрение такой возможности для оптических аналоговых корреляторов и составляет предмет настоящей статьи. К числу основных конструктивных параметров оптических корреляторов можно отнести: интервал интегрирования $Д$, скорость протяжки оптических транспарантов V, динамический диапазон устройства.

Достаточно общая схема оптического коррелятора аналогового типа приведена на рис. 1. Будем считать, что задача оптического коррелятора в данном случае состоит в получении функций вида:

$$R_{XU}(\Delta x, \Delta y) = a \int_0^{D_x} \int_0^{D_x} f_1(x, y)\, f_2(x+\Delta x+\Delta y)\, dx dy, \qquad (1)$$

где $f_1(x, y)$ и $f_2(x+\Delta x, y+\Delta y)$ — реализации стационарных случайных функций, описывающих прозрачность двух транспарантов; Δx, Δy—линейные смещения вдоль осей XX и YY одной реализации относительно другой:

$Д_x, Д_y$ — пространственный интервал интегрирования;

a — постоянная, учитывающая масштабные аппаратурные коэффициенты.

В случае использования координаты YY для осуществления многоканальной обработки выражение (1) примет вид:

$$R_X(\Delta x) = a_1 \int_0^{D_x} f_1(x) f_2(x+\Delta x)\, dx. \qquad (2)$$

Наиболее часто реализации сигналов задаются в виде записи на фотопленках, прозрачность которых меняется соответственно $f_1(x)$ и $f_2(x)$.

Принципиально неустранимой погрешностью корреляции является ошибка, возникающая из-за конечности интервала осреднения $Д$ в выражении (1). В случае интегрирования по времени выражения для расчета этих погрешностей приведены [1]. Для некогерентных оптических корреляторов при расчете необходимо учитывать влияние дополнительной погрешности, возникающей из-за наличия постоянной составляющей при записи биполярных сигналов на оптический транспарант. Выражения для нормированной дисперсии корреляционной функции $\sigma^2{}_{\rho XX}$ нецентрированных случайных процессов, имеющих аргументом время t, запишется

$$\sigma^2_{\rho XY} \leqslant \frac{2\rho_h(0)}{H^2(0)}\left[\left(\frac{m_x}{\sigma_x}\right)^2\theta_Y + \left(\frac{m_Y}{\sigma_Y}\right)^2\theta_x + 2\frac{m_x m_Y}{\sigma_x\theta_Y}\theta_{XY} + \sqrt{\theta_{X_{кв}}\theta_{Y_{кв}} + \theta_{XY_{кв}}}\right], \quad (3)$$

где $\sigma^2_{\rho XY}$ — нормированная дисперсия выходного сигнала коррелятора;

ρ_h — автокорреляционная функция интегратора;

$H(\omega)$ — передаточная функция интегратора;

θ_X, θ_Y — абсолютные интервалы корреляции;

$\theta_{X_{кв}}$, $\theta_{Y_{кв}}$ — квадратичные интервалы корреляции;

$\theta_{XY_{кв}}$ — квадратичный интервал взаимной корреляции;

m_X и m_Y — математические ожидания;

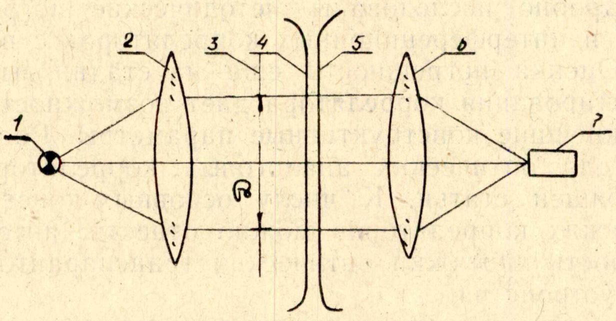

Рис. 1. Схема оптического коррелятора
1 — источник излучения, 2, 6 — конденсатор, 3 — диафрагма, 4, 5 — оптический транспарант, 7 — приемник излучения

σ_X и σ_Y — среднеквадратичное отклонение.

Для идеального временного интегратора [1]:

$$\frac{\rho_h(0)}{H^2(0)} = \frac{1}{T}, \quad (4)$$

где T — временной интервал интегрирования.

При вычислении корреляционных функций с помощью оптического коррелятора можно получить хорошее приближение, близкое к идеальному интегрированию. Тогда выражение (3) для случая вычисления автокорреляционной функции можно записать в виде:

$$\sigma_{pX} \leqslant 2\sqrt{\frac{Q}{D}\left[2\left(\frac{m_X}{\sigma_X}\right)^2\theta_X + \theta_{X_{кв}}\right]}, \quad (5)$$

где $Д = QT$;

Q — скорость записи сигнала на оптический транспарант.

При заданной точности вычисления корреляционной функции и скорости записи сигнала на оптический транспарант Q из выражения (5) можно определить величину $Д$:

$$Д \approx \frac{4Q}{\sigma^2_{\rho X}}\left[2\left(\frac{m_X}{\sigma_X}\right)^2 \theta_X + \theta_{X_{кв}}\right]. \qquad (6)$$

Величины θ_X и $\theta_{X_{кв}}$ в выражении (6) вычисляются по формулам:

$$\theta_X = \frac{1}{2}\int\limits_{-\infty}^{+\infty} |\rho_X(\Delta x)|\, dx;$$

$$\theta_{X_{кв}} = \frac{1}{2}\int\limits_{-\infty}^{+\infty} \rho^2_X(\Delta x)\, dx, \qquad (7)$$

где $\rho_X(\Delta x)$ — нормированная корреляционная функция.

При анализе интервалы корреляции θ_X и $\theta_{X_{кв}}$ могут быть легко подсчитаны по графикам корреляционных функций.

При равномерном относительном перемещении двух транспарантов с записанными на них функциями $f_1(x)$ и $f_2(x)$ нижняя граница спектра сигнала на выходе коррелятора определяется как:

$$f_{мин}\, Д = V/, \qquad (8)$$

где V — скорость относительного перемещения транспарантов. Задаваясь значением $f_{мин}$, определяющим частотную разрешенность сигналов при корреляционном анализе, и рассчитав $Д$ по формуле (6), можно найти значение скорости V из (8).

Максимально возможная частота модуляции светового потока (максимальную частоту входного сигнала), которую может обработать коррелятор без существенных искажений, определяется постоянной времени фотоприемника:

$$f_{макс} = \frac{1}{\tau_n}. \qquad (9)$$

Требуемый динамический диапазон коррелятора определяется максимальной неравномерностью спектра анализируемого сигнала. В то же время максимальную неравномерность спектра сигнала ограничивает некоторый уровень шума, который появляется при записи сигнала на оптический транспарант. Шум характеризуется дисперсией $<n^2>$. В том случае, когда в качестве оптического транспаранта при записи используется фотопленка, можно считать шум равномерно распределенным по всем частотам. Тогда неравномерность спектра определяется отношением максимального отклика коррелятора на сигнал к отклику на шум [2]:

$$B = 10\lg\frac{A}{<n^2>/M}, \qquad (10)$$

где A — максимальная амплитуда сигнала на выходе коррелятора;

M — относительная ширина спектра сигнала.

Динамический диапазон коррелятора должен быть не меньше определяемого формулой (10), в противном случае результат измерения корреляционной функции будет искажен.

Динамический диапазон коррелятора определяется отношением максимального сигнала к уровню собственного шума. Следует отметить, что реальный динамический диапазон коррелятора будет иметь различное значение для разных частотных составляющих сигнала. При этом следует, однако, учитывать, что при изменении скорости протяжки транспарантов V величины $f_{\text{макс}}$ и $f_{\text{мн}}$ входного сигнала смещаются, но их отношение M, а следовательно, и величина требуемого динамического диапазона коррелятора остается постоянной.

Таким образом, используя выражения (6), (8), (10), можно при расчете осуществить оценку интервала усреднения, скорости протяжки транспарантов и требуемого динамического диапазона коррелятора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. А. Балл. Аппаратурный корреляционный анализ случайных процессов. М., «Энергия», 1968.

2. В. А. Зверев, Е. Ф. Орлов. Оптические анализаторы. М., «Советское радио», 1971.