

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 D , 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:

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

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

D_x, D_y — пространственный интервал интегрирования;

a — постоянная, учитывающая масштабные аппаратные коэффициенты.

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

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

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

Принципиально неустранимой погрешностью корреляции является ошибка, возникающая из-за конечности интервала осреднения D 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 σ_{pXY}^2 нецентрированных случайных процессов, имеющих аргументом время t , запишется

$$\sigma_{pXY}^2 \leq \frac{2\rho_h(0)}{H^2(0)} \left[\left(\frac{m_x}{\sigma_x} \right)^2 \theta_Y + \left(\frac{m_Y}{\sigma_Y} \right)^2 \theta_x + 2 \frac{m_x m_Y}{\sigma_x \sigma_Y} \theta_{XY} + \sqrt{\theta_{X_{KB}} \theta_{Y_{KB}} + \theta_{XY_{KB}}} \right], \quad (3)$$

где σ_{pXY}^2 — нормированная дисперсия выходного сигнала коррелятора;

ρ_h — автокорреляционная функция интегратора;

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

θ_x, θ_y — абсолютные интервалы корреляции;

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

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

m_x и m_y — математические ожидания;

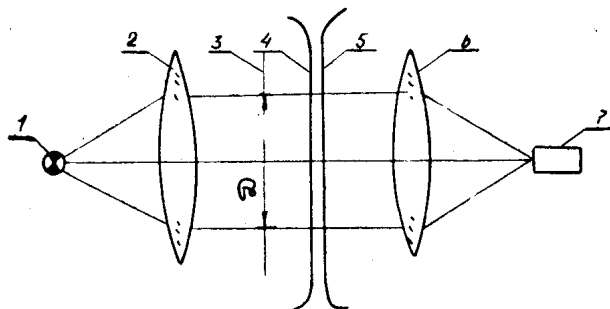


Рис. 1. Схема оптического коррелятора
1 — источник излучения, 2, 6 — конденсатор, 3 —
диафрагма, 4, 5 — оптический транспарант, 7 —
приемник излучения

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:

$$\sigma_{pX} \leq 2 \sqrt{\frac{Q}{D} \left[2 \left(\frac{m_x}{\sigma_x} \right)^2 \theta_x + \theta_{X_{KB}} \right]}, \quad (5)$$

где $D = QT$;

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 D :

$$D \approx \frac{4Q}{\sigma_{pX}^2} \left[2 \left(\frac{m_X}{\sigma_X} \right)^2 \theta_X + \theta_{X_{KB}} \right]. \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} \theta_X &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} |\rho_X(\Delta x)| dx; \\ \theta_{X_{KB}} &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_X^2(\Delta x) dx, \end{aligned} \quad (7)$$

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

При анализе интервалы корреляции θ_X и $\theta_{X_{KB}}$ 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:

$$f_{\min} D = V, \quad (8)$$

где V — скорость относительного перемещения транспарантов. Задавая значением f_{\min} , определяющим частотную разрешенность сигналов при корреляционном анализе, и рассчитав D 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:

$$f_{\max} = \frac{1}{\tau_n}. \quad (9)$$

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 $\langle n^2 \rangle$. 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]:

$$B = 10 \lg \frac{A}{\langle n^2 \rangle / M}, \quad (10)$$

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.