

УДК 535.853.6.001 2

ВЛИЯНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ АКУСТООПТИЧЕСКИХ КОРРЕЛЯТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

И. А. Водоватов, С. А. Рогов

Рассмотрено влияние случайного разброса амплитуд и фаз входных сигналов и случайных ошибок изготовления каналов акустооптического модулятора и опорного транспаранта в оптических корреляторах, работающих в реальном масштабе времени. Получены выражения для среднего светового поля и его дисперсии на выходе системы, на основе которых могут быть определены максимально допустимые величины возможных случайных ошибок

При работе систем оптической обработки информации случайные искажения выходного сигнала в значительной мере определяют чувствительность системы и точность обработки сигналов. Эти искажения определяются рядом причин. Прежде всего такими причинами являются ошибки в амплитудном и фазовом распределении входных сигналов, ошибки в изготовлении опорных транспарантов, с которых изготавливаются голограммические фильтры, а также разброс параметров отдельных каналов модулятора.

Искажения выходного сигнала могут быть обусловлены неоднородностями материала, из которого изготовлены оптические элементы системы, включая устройство ввода сигналов [1, 2], и шумами регистрирующей среды [3, 4]. Ниже рассматривается влияние случайных ошибок, обусловленных разбросом в амплитудах и фазах входных сигналов голограммического коррелятора, разбросом входных сопротивлений каналов многоканальных устройств ввода сигналов, а также неточностями в изготовлении каналов устройств ввода и опорных транспарантов. В качестве устройства ввода сигналов в систему оптической обработки рассматривается ультразвуковой модулятор света. При рассмотрении влияния случайных ошибок считается, что все они являются центрированными и независимыми между собой случайными величинами, плотность распределения которых известна. Строго говоря, амплитудные и фазовые искажения, обусловленные рассогласованием входных сопротивлений каналов модулятора, взаимосвязаны. Однако учет влияния таких амплитудных и фазовых ошибок может быть проведен через коэффициент отражения на входе n -го канала модулятора Γ_n , который рассматривается как функция двух независимых случайных величин, характеризующих разброс действительной и мнимой частей входного сопротивления n -го канала.

ПОСТАНОВКА И ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Рассматривается оптический коррелятор, работающий в реальном масштабе времени. В качестве входного устройства используется многоканальный акустооптический модулятор. В частотной плоскости коррелятора размещен пространственный фильтр, изготовленный голо-

графически с многоканального опорного транспаранта [5]. Исследуется случай обработки гармонических сигналов. Пусть входные сигналы, поступающие на модулятор, могут быть представлены в виде

$$u_{n \text{ вх}} = (1 + \Delta_{mn}) \exp(j \delta_{mn}) u_n^0, \quad (1)$$

где $u_n^0 = U_n \exp(j \varphi_n)$ — входной сигнал в n -м канале модулятора при отсутствии ошибок в амплитудном и фазовом распределении входных сигналов, n — номер канала, $-N \leq n \leq N$, Δ_{mn} , δ_{mn} — набор $2(2N+1)$ случайных независимых величин.

Рассматривая u_n как падающую волну и вводя в рассмотрение коэффициент отражения $\Gamma_n = (z'_{\text{вх } n} - 1)/(z'_{\text{вх } n} + 1)$, где $z'_{\text{вх } n}$ — приведенное входное сопротивление n -го канала модулятора, найдем, что сигналы, возбуждающие ультразвуковые волны в модуляторе, могут быть записаны следующим образом:

$$u_n = u_{n \text{ вх}} (1 - \Gamma_n) = (1 + \Delta_{mn}) \exp(j \delta_{mn}) (1 - \Gamma_n) u_n^0.$$

Положим $z'_{\text{вх } n} = 1 + \Delta R_n + j \Delta Y_n$, где ΔR_n , ΔY_n — набор $2(2N+1)$ независимых случайных величин, характеризующих уровень согласования каналов модулятора. Тогда, пренебрегая величинами второго порядка малости относительно ΔR_n и ΔY_n , получим*

$$u_n = (1 + \Delta_{mn}) \exp(j \delta_{mn}) u_n^0 [1 - (\Delta R_n/2) - (j \Delta Y_n/2)]. \quad (2)$$

Аналогично (1) амплитудные и фазовые искажения, обусловленные ошибками при изготовлении опорного транспаранта, могут быть учтены следующим образом:

$$v_m = (1 + \Delta_{tm}) \exp(j \delta_{tm}) v_m^0, \quad (3)$$

где v_m — комплексный коэффициент пропускания m -го канала опорного транспаранта при наличии ошибок, $v_m^0 = V_m \exp(j \psi_m)$ — комплексный коэффициент пропускания m -го канала идеального опорного транспаранта, Δ_{tm} , δ_{tm} — набор $2(2M+1)$ случайных независимых величин, $-M \leq m \leq M$, m — номер канала опорного транспаранта.

Используя результаты работы [6], запишем амплитудную прозрачность многоканального модулятора и опорного транспаранта соответственно в первом дифракционном порядке в виде

$$T_m(x, y) = \sum_{n=-N}^N P_{Dm}(y) P_{Wmn}(x - l_{mn}) u_n \exp(-j 2\pi y/\lambda_{\text{вн}}),$$

$$T_t(x, y) = \sum_{m=-M}^M P_{Dt}(y) P_{Wtm}(x - l_{tm}) v_m \exp(-j 2\pi y/\lambda_t),$$

где введены следующие обозначения:

$$P_Y(y) = \begin{cases} 1 & (|y| \leq Y/2) \\ 0 & (|y| > Y/2) \end{cases}$$

— прямоугольная функция, $W_{mn} = W_0 + \Delta W_{mn}$, $W_{tm} = W_0 + \Delta W_{tm}$ — ширина n -го канала модулятора и m -го канала опорного транспаранта соответственно, $l_{mn} = nl_0 + \Delta l_{mn}$, $l_{tm} = ml_0 + \Delta l_{tm}$ — расстояние от центра нулевого квадра до центра n -го канала модулятора и m -го канала опорного транспаранта соответственно, W_0 , l_0 — ширина канала

* Подсчет показывает, что ошибка принятого приближения при ΔR_n , $\Delta Y_n \leq 0,5$ не превышает 2%.

и расстояние между центрами каналов соответственно модулятора и опорного транспаранта при отсутствии ошибок, ΔW_m , ΔW_t , Δl_m , Δl_t —независимые случайные величины, характеризующие ошибки в геометрических параметрах каналов модулятора и опорного транспаранта, x , y —координаты входной плоскости коррелятора, $\lambda_{\text{зв}}$, λ_t —длина волны ультразвука в звукопроводе модулятора и шаг дифракционной решетки опорного транспаранта.

В дальнейшем для упрощения выкладок будем полагать $\lambda_{\text{зв}} = \lambda_t$ и $D_t = D_m = D$. Следует отметить, что число каналов в опорном транспаранте определяется конкретной задачей, выполняемой системой обработки. Обычно число каналов транспаранта равно или больше числа каналов модулятора.

С точностью до увеличения системы поле на выходе коррелятора можно представить следующим образом:

$$E(\xi, \eta) = \iint_{-\infty}^{\infty} T_m(x, y) T_t^*(x + \xi, y + \eta) dx dy = \\ = \Lambda_D(\eta) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M u_n v_m^* J_{mn}(\xi), \quad (4)$$

где

$$\Lambda_D(\eta) = \begin{cases} D - |\eta| & (|\eta| \leq D) \\ 0 & (|\eta| > D) \end{cases}$$

— треугольная функция, $J_{mn}(\xi) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{Wmn}(x - l_{mn}) P_{Wtm}(x - l_{tm} + \xi) dx$, ξ, η —координаты в выходной плоскости коррелятора. Проведя для $J_{mn}(\xi)$ интегрирование и положив $\xi = \tau + sl_0$ ($|\tau| < l_0$, $|s| = 0, 1, 2, \dots$), получим

$$J_{mn}(\tau + sl_0) = \delta(s + n - m) I_{mn}(\tau),$$

где

$$\delta(s + n - m) = \begin{cases} 1 & (s + n - m = 0) \\ 0 & (s + n - m \neq 0) \end{cases},$$

$$I_{mn}(\tau) =$$

$$= \begin{cases} \min \left\{ \frac{W_{mn}}{W_{tm}} \right\} (0 \leq |\tau + \Delta l_{mn} - \Delta l_{tm}| \leq |\Delta W_{tm} - \Delta W_{mn}|/2), \\ W_0 + (1/2)(\Delta W_{mn} + \Delta W_{tm}) - |\tau + \Delta l_{mn} - \Delta l_{tm}|, \quad \text{когда} \\ \left(\frac{|\Delta W_{tm} - \Delta W_{mn}|}{2} \leq |\tau + \Delta l_{mn} - \Delta l_{tm}| \leq \frac{\Delta W_{mn} + \Delta W_{tm}}{2} + W_0 \right), \\ 0 \quad (|\tau + \Delta l_{mn} - \Delta l_{tm}| \geq (1/2)(\Delta W_{mn} + \Delta W_{tm}) + W_0). \end{cases} \quad (5)$$

Рассматривая (4) как поле на выходе конкретной реализации системы, проведем усреднение по ансамблю. Тогда среднее поле на выходе системы примет вид

$$\overline{E(\tau + sl_0, \eta)} = \Lambda_D(\eta) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M \bar{u}_n \bar{v}_m^* \overline{J_{mn}(\tau + sl_0, \eta)}.$$

Или с учетом (2) и (3), считая случайные величины центрированными, получим следующее выражение для среднего поля:

$$\overline{E(\tau + sl_0, \eta)} = \Lambda_D(\eta) \overline{\exp(j\delta_m)} \overline{\exp(j\delta_t)} \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M u_n^0 v_m^{0*} \overline{J_{mn}(\tau + sl_0, \eta)}. \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что невозмущенное поле на выходе коррелятора может быть представлено в виде:

$$E^0(\tau + sl_0, \eta) = \Lambda_D(\eta) \Lambda_{W_0}(\tau) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M u_n^0 v_m^{0*} \delta(s + n - m). \quad (7)$$

Для определения дисперсии поля найдем его интенсивность:

$$EE^* = \Lambda_D^2(\eta) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M u_n v_m^* J_{mn} \sum_{l=-N}^N \sum_{k=-M}^M u_l^* v_k J_{kl}.$$

Последовательно выделяя члены с $n = l$ и $m = k$ и учитывая характер зависимости J_{mn} от m и n , представим выражение для интенсивности поля в виде

$$EE^* = \Lambda_D^2(\eta) \left[\sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M u_n v_m^* J_{mn} \right] + \Lambda_D^2(\eta) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M |u_n|^2 |v_m|^2 J_{mn}^2, \quad (8)$$

где двойные штрихи перед суммами означают, что в них отсутствуют члены с $n = l$ и $m = k$.

Усредняя (8) по всем случайным величинам, найдем

$$\begin{aligned} \overline{EE^*} &= \overline{E}\overline{E^*} + \Lambda_D^2(\eta) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M U_n^2 V_m^2 \delta(s + n - m) \times \\ &\times [(1 + \overline{\Delta_m^2})(1 + \overline{\Delta_t^2})(1 + (\overline{\Delta R^2}/4) + (\overline{\Delta Y^2}/4)) \overline{I_{mn}^2(\tau)} - \\ &- (\overline{\exp(j\delta_m)} \overline{\exp(j\delta_t)})^2 \overline{I_{mn}(\tau)^2}]. \end{aligned}$$

Следовательно, дисперсия выходного поля коррелятора может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_E^2(\tau + sl_0, \eta) &= \overline{|E|^2} - |\overline{E}|^2 = \Lambda_D^2(\eta) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M U_n^2 V_m^2 \times \\ &\times \delta(s + n - m) [(1 + \overline{\Delta_m^2})(1 + \overline{\Delta_t^2})(1 + (\overline{\Delta R^2}/4) + (\overline{\Delta Y^2}/4)) \times \\ &\times \overline{I_{mn}^2(\tau)} - (\overline{\exp(j\delta_m)} \overline{\exp(j\delta_t)})^2 \overline{I_{mn}(\tau)^2}]. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассматривая флуктуации поля на выходе системы обработки как результат действия большого числа независимых случайных величин, так же как при рассмотрении полей антенных решеток со случайнм размещением элементов [7, 8], будем полагать закон распределения флуктуаций поля нормальным. Тогда можно утверждать, что флуктуации поля с вероятностью 95% не превосходят величины $2\sigma_E$, т. е. $|E - \overline{E}| < 2\sigma_E$.

Выражения (6), (7), (9) представляют решение задачи в общем виде. Дальнейшее решение заключается в вычислении средних значений величин, входящих в (6) и (9), для конкретных законов распределения плотности вероятности случайных величин.

| Источники случайных ошибок | Принятые допущения | Среднее поле $E(\tau + sl_0, \eta)$ |
|--|--|--|
| Разброс амплитуд и фаз в каналах модулятора и опорного трансформатора и разброс входных сопротивлений в каналах модулятора | $\Delta W_m = \Delta W_t = 0;$ $\Delta l_m = \Delta l_t = 0$ | $E^0(\tau + sl_0, \eta) \overline{\exp(j\delta_m)} \overline{\exp(j\delta_t)}$ |
| Разброс в ширине каналов модулятора и опорного трансформатора | $\Delta_m = \Delta_t = 0,$ $\delta_m = \delta_t = 0,$ $\Delta l_m = \Delta l_t = 0,$ $\Delta W_{m \max} = \Delta W_{t \max} = \Delta W_{\max};$ $2\Delta W_{\max} < l_0 - W_0$ | $E^0(\tau + sl_0, \eta) \times$ $\times \begin{cases} 1 - \frac{\Delta W}{3} \quad (\tau = 0) \\ 1 \quad (\Delta W < \tau < 1 - \Delta W) \\ \frac{W_0}{\Lambda_{W_0}(\tau)} \left(\frac{\Delta W}{6} + \frac{1 - \tau }{2} + \frac{(1 - \tau)^2}{2 \Delta W} - \right. \\ \left. - \frac{(1 - \tau)^3}{6 \Delta W^2} \right) \quad (1 - \Delta W < \tau < 1 + \Delta W) \end{cases}$ |
| Разброс в положении каналов модулятора и опорного трансформатора | $\Delta_m = \Delta_t = 0;$ $\delta_m = \delta_t = 0;$ $\Delta W_m = \Delta W_t = 0;$ $\Delta l_{m \max} = \Delta l_{t \max} = \Delta l_{\max};$ $2\Delta l_{\max} < l_0 - W_0$ | $E^0(\tau + sl_0, \eta) \times$ $\times \begin{cases} \frac{W_0}{\Lambda_{W_0}(\tau)} \left(1 - \frac{2}{3} \Delta l - \frac{ \tau ^2}{2 \Delta l} + \frac{ \tau ^3}{12 \Delta l^2} \right) \quad (0 < \tau < 2\Delta l) \\ 1 \quad (2\Delta l < \tau < 1 - 2\Delta l) \\ \frac{W_0}{\Lambda_{W_0}(\tau)} \frac{(1 + 2\Delta l - \tau)^3 - 2(1 - \tau)^3}{24 \Delta l^2} \quad (1 - 2\Delta l < \tau < 1) \\ \frac{W_0}{\Lambda_{W_0}(\tau)} \frac{(1 + 2\Delta l - \tau)^3}{24 \Delta l^2} \quad (1 < \tau < 1 + 2\Delta l) \end{cases}$ |

Дисперсия поля $\sigma_E^2(\tau + sl_0, \eta)$

$$\text{также } \Phi_1 \Delta_D^2(\eta) \Delta_{W_0}^2(\tau) \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M U_n^2 V_m^2 \delta(s+n-m),$$

где

$$\Phi_1 = \left(1 + \frac{\Delta}{\Delta W}\right) \left(1 + \frac{\Delta}{\Delta \tau}\right) \left(1 + \frac{1}{4} \frac{\Delta R^2}{\Delta \tau^2} + \frac{1}{4} \frac{\Delta Y^2}{\Delta \tau^2}\right) - [\exp(j \Delta \tau) \overline{\exp(j \Delta \tau)}]^2$$

$$\Delta_D^2(\eta) \left[\overline{I_{mn}^2} - \overline{I}_{mn}^2 \right] \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M U_n^2 V_m^2 \delta(s+n-m),$$

где

$$= \begin{cases} W_0 \left(1 - \frac{\Delta W}{3}\right) & (|\tau| = 0) \\ W_0 (1 - |\tau|) & (\Delta W \ll |\tau| \ll 1 - \Delta W) \\ W_0 \left[\frac{\Delta W}{6} + \frac{(1 - |\tau|)}{2} + \frac{(1 - |\tau|)^2}{2 \Delta W} - \frac{(1 - |\tau|)^3}{6 \Delta W^2} \right] & (1 - \Delta W \ll |\tau| \ll 1 + \Delta W) \end{cases} = \begin{cases} W_0^2 \left(1 - \frac{2}{3} \Delta W + \frac{\Delta W^2}{3}\right) & (|\tau| = 0) \\ W_0^2 \left[(1 - |\tau|)^2 + \frac{\Delta W^2}{6} \right] & (\Delta W \ll |\tau| \ll 1 - \Delta W) \\ \frac{W_0^2}{12 \Delta W^2} [(1 - |\tau| + \Delta W)^4 - 2(1 - |\tau|)^4] & (1 - \Delta W \ll |\tau| \ll 1) \\ \frac{W_0^2}{12 \Delta W^2} (1 - |\tau| + \Delta W)^4 & (1 \ll |\tau| \ll 1 + \Delta W) \end{cases}$$

$$\Delta_D^2(\eta) \left[\overline{I_{mn}^2} - \overline{I}_{mn}^2 \right] \sum_{n=-N}^N \sum_{m=-M}^M U_n^2 V_m^2 \delta(s+n-m),$$

также

$$= \begin{cases} W_0 \left(1 + \frac{2 \Delta l}{3} - \frac{|\tau|^2}{2 \Delta l^2} + \frac{|\tau|^3}{12 \Delta l^2}\right) & (0 \ll |\tau| \ll 2 \Delta l) \\ W_0 (1 - |\tau|) & (2 \Delta l \ll |\tau| \ll 1 - 2 \Delta l) \\ W_0 \left[\frac{\Delta l}{3} + \frac{1 - |\tau|}{2} + \frac{(1 - |\tau|)^2}{4 \Delta l} - \frac{(1 - |\tau|)^3}{24 \Delta l^2} \right] & (1 - 2 \Delta l \ll |\tau| \ll 1) \\ W_0 \frac{(1 + 2 \Delta l - |\tau|)^3}{24 \Delta l^2} & (1 \ll |\tau| \ll 1 + 2 \Delta l) \end{cases} = \begin{cases} W_0^2 \left(1 - \frac{4}{3} \Delta l + \frac{2}{3} \Delta l^2 - \frac{|\tau|^2}{\Delta l^2} + \frac{|\tau|^3}{6 \Delta l^2}\right) & (0 \ll |\tau| \ll 2 \Delta l) \\ W_0^2 \left[(1 - |\tau|)^2 + \frac{2}{3} \Delta l^2 \right] & (2 \Delta l \ll |\tau| \ll 1 - 2 \Delta l) \\ \frac{W_0^2}{48 \Delta l^2} [(1 - |\tau| + 2 \Delta l)^4 - 2(1 - |\tau|)^4] & (1 - 2 \Delta l \ll |\tau| \ll 1) \\ \frac{W_0^2}{48 \Delta l^2} (1 - |\tau| + 2 \Delta l)^4 & (1 \ll |\tau| \ll 1 + 2 \Delta l) \end{cases}$$

ЧАСТНЫЕ СЛУЧАИ

Нами были рассмотрены два случая: случайная величина x_l распределена по равновероятному закону с плотностью распределения вероятности $1/2x_{l\max}$ и случайная величина x_l распределена по нормальному закону с $\sigma_{xl} = x_{l\max}/2,6$, т. е. с вероятностью превышения величиной x_l значения $x_{l\max}$, равной 1%. С целью упрощения выкладок влияние разброса в ширине и положении каналов модулятора и опорного транспаранта рассматривалось отдельно, в предположении, что все остальные случайные ошибки в системе отсутствуют. При этом влияние разброса этих параметров исследовалось только для равновероятного закона. Результаты проведенных расчетов приведены в табл. 1. Для сокращения записей в табл. 1 введены следующие обозначения:

$$\Delta W_{\max}/W_0 = \hat{\Delta} W, \quad \Delta l_{\max}/W_0 = \hat{\Delta} l, \quad \tau/W_0 = \hat{\tau}.$$

Из полученных выражений можно сделать следующие выводы. Среднее поле на выходе системы определяется фазовыми ошибками и разбросом геометрических параметров каналов модулятора и опорного транспаранта. Амплитудные ошибки в каналах модулятора и опорного транспаранта и разброс входных сопротивлений каналов модулятора в рассматриваемом приближении на среднее поле не влияют. Зависимость среднего поля, отнесенного к максимальной величине невозмущенного поля, от величины τ для случая разброса в положении каналов модулятора и опорного транспаранта при различных Δl_{\max} и $\eta = 0$ показана на рис. 1. Из приведенных кривых видно, что случайный разброс в положении каналов приводит к снижению максимального значения поля и некоторому увеличению поля вблизи $\tau = W_0$. Аналогичный вид имеют зависимости среднего поля и при разбросе в ширине каналов.

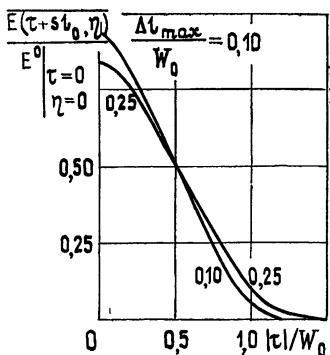


Рис. 1.

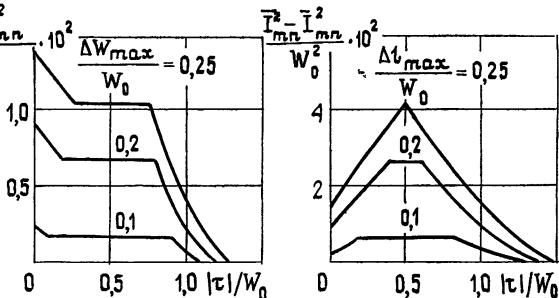


Рис. 2.

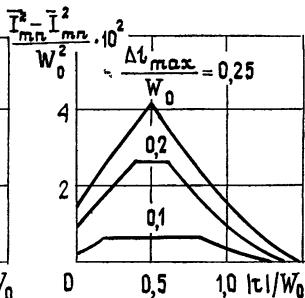


Рис. 3.

При фазовых ошибках в каналах модулятора и фазовых ошибках в каналах опорного транспаранта зависимость среднего поля от τ повторяет зависимость невозмущенного поля при общем уменьшении амплитуды в $\exp(j\delta_m)\exp(j\delta_r)$ раз. Нетрудно получить, что для равновероятного закона распределения плотности вероятности фазовых ошибок $\exp(j\delta) = \sin\delta/\delta$, а для нормального закона $\exp(j\delta) = \exp(-\delta^2/2 \cdot 2,6^2)$. Следовательно, при нормальном законе распределения влияние фазовых ошибок оказывается меньше, чем при равновероятном законе.

Полученные выражения для среднего поля позволяют по снижению уровня поля в максимуме (при $\tau = 0$) определить допустимые значения максимальных ошибок. Так, например, уменьшению среднего поля до

0,95 E_{\max}^0 соответствуют максимальные относительные ошибки $\Delta \hat{W} = 0,15$; $\Delta l = 0,075$, $\delta_{\max} = 22^\circ$ для равновероятного закона распределения фазовых ошибок (при $\delta_{m\max} = \delta_{t\max} = \delta_{\max}$) и $\delta_{\max} = 34^\circ$ — для нормального закона распределения.

Дисперсия поля на выходе системы зависит от всех случайных ошибок. На рис. 2 и 3 приведены зависимости величины $[\bar{I}_{mn}^2 - \bar{I}_{mn}] / W_0^2$ (пропорциональной квадрату дисперсии) от τ для случайных ошибок выходного сигнала, вызванных разбросом в ширине и положении каналов соответственно. Видно, что эти зависимости отличаются для разных видов случайных ошибок, в частности, максимум дисперсии достигается при разных значениях τ . Для сравнения влияния разных видов ошибок на величину дисперсии рассмотрим максимальную величину относительной дисперсии в частном случае, когда $U_n = V_m = 1$ и $M \geq N$.

При отсутствии разброса в геометрических параметрах каналов модулятора и опорного транспаранта имеем

$$\frac{\sigma_{E_{\max}}^2}{\bar{E}_{\max}^2} = \frac{\Phi_1}{(\exp(j\delta_m)\exp(j\delta_t))^2} \frac{1}{2N+1}. \quad (10)$$

Рассматривая сравнительно малые максимальные ошибки и ограничиваясь величинами второго порядка малости относительно максимальных значений случайных величин включительно, из (10) после усреднения найдем

$$\frac{\sigma_{E_{\max}}^2}{\bar{E}_{\max}^2} = \frac{\kappa}{2N+1} \left(\Delta_{\max}^2 + \delta_{\max}^2 + \frac{1}{4} \Delta z_{\max}^2 \right), \quad (11)$$

где введены обозначения: $\Delta_{\max}^2 = \Delta_{m\max}^2 + \Delta_{t\max}^2$, $\delta_{\max}^2 = \delta_{m\max}^2 + \delta_{t\max}^2$, $\Delta z_{\max}^2 = \Delta R_{\max}^2 + \Delta Y_{\max}^2$, $\kappa = 1/3$ — для равновероятного закона распределения плотности вероятности случайных величин, $\kappa = 1/2,6^2$ — для нормального закона распределения.

Для случайных ошибок выходного сигнала, вызванных разбросом в ширине и положении каналов модулятора и опорного транспаранта, соответствующие формулы будут

$$\frac{\sigma_{E_{\max}}^2}{\bar{E}_{\max}^2} = \frac{1}{2N+1} \frac{2}{9} \left(\frac{\Delta W_{\max}}{W_0} \right)^2; \quad (12)$$

$$\frac{\sigma_{E_{\max}}^2}{\bar{E}_{\max}^2} = \frac{1}{2N+1} \frac{2}{9} \left(\frac{\Delta l_{\max}}{W_0} \right)^2. \quad (13)$$

Из выражений (11) — (13) следует, что амплитудные и фазовые ошибки одинаковым образом влияют на величину дисперсии. Влияние разброса входных сопротивлений каналов модулятора на величину дисперсии оказывается меньшим. При этом влияние ошибок, распределенных по нормальному закону, на величину дисперсии меньше влияния ошибок, распределенных по равновероятному закону. Разброс в положении центров каналов модулятора и опорного транспаранта приводит к такому же максимальному значению дисперсии, что и разброс в ширине каналов. Для всех видов случайных ошибок дисперсия уменьшается с ростом числа каналов.

Задаваясь величиной относительной дисперсии, с помощью полученных выражений можно определить допустимую величину той или иной случайной ошибки. Например, для $\sigma_{E_{\max}}^2 / \bar{E}_{\max}^2 = -30 \text{ dB}$, $N = 10$ и равновероятного закона распределения плотности вероятности

имеем: $\Delta z_{\max} = 0,5$, $\delta_{\max} = 0,25$, $\Delta_{\max} = 0,25$, $\Delta^{\wedge}W = 0,3$, $\Delta^{\wedge}l = 0,3$.

Таким образом, в результате проведенного рассмотрения получены математические выражения, позволяющие по допустимому уменьшению выходного сигнала оптического коррелятора и его дисперсии определить допустимый разброс геометрических параметров каналов акустооптического модулятора и опорного транспаранта, а также разброс амплитуд и фаз входных сигналов системы обработки и входных сопротивлений каналов акустооптического модулятора. Хотя выражения для среднего поля и его дисперсии были получены для гармонического сигнала, они могут быть обобщены на случай обработки сложных сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Престон К. Когерентные оптические вычислительные машины. — М.: Мир, 1974.
2. Кремер И. Я., Голуб Г. С., Нахмансон Г. С. — Изв. вузов — Радиофизика, 1979, 22, № 7, с. 848.
3. Кольер Р., Беркхарт К., Лин Л. Оптическая голограмия. — М.: Мир, 1973.
4. Брусин И. Я. — Оптика и спектроскопия, 1973, 34, вып. 4, с. 775.
5. Водоватов И. А., Высоцкий М. Г., Есепкина Н. А., Рогов С. А. — Труды ЛПИ, 1979, № 366, с. 62.
6. Ламберт, Арм, Аймет. — Зарубежная радиоэлектроника, 1968, № 8, с. 3.
7. Lo Y. T. — IEEE Trans., 1963, AP-11, № 4, р. 511.
8. Содин Л. Г. — В сб. Антенны. — М.: Связьиздат, 1972, вып. 15, с. 3.

Ленинградский политехнический
институт

Поступила в редакцию
8 октября 1980 г.,
после сокращения
3 августа 1981 г.

AN EFFECT OF RANDOM ERRORS ON CHARACTERISTICS OF ACOUSTOOPTICAL CORRELATORS OPERATING IN THE REAL TIME

I. A. Vodovatov, S. A. Rogov

An effect is considered of random spread of input signal amplitudes and phases and random errors of the channel manufacturing for the acoustical optical modulator and the reference transparant in optical correlators operating in the real time. Expressions have been derived for the mean light field and its dispersion at the output of the system on the basis of which the maximal permissible values of possible random errors may be defined.