

MS 75

ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ МВ и ССО СССР РАДИОЭЛЕКТРОНИКА

ТОМ 27 № 8

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

КИЕВ — 1984

В заключение отметим, что в задаче идентификации определение рандомизированной оценки в виде апостериорного распределения традиционным байесовским методом приводит к очень сложным вычислениям или вообще не позволяет получить ее в явном виде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценивание параметров движения маневрирующих объектов / Н. С. Гриценко, А. А. Кириченко, Т. А. Коломейцева и др. — Зарубежная радиоэлектроника, 1983, № 4, с. 3—29.
2. Зингер Р. А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью. — Зарубежная радиоэлектроника, 1971, № 8, с. 40—57.
3. Пузырев В. А., Гостюхина М. А. Алгоритмы оценивания параметров движения летательных аппаратов. — Зарубежная радиоэлектроника, 1981, № 4, с. 3—25.
4. Fraser D. A. S. The structure of inference. — New York: John Wiley, 1968.
5. Климов Г. П. Инвариантные выводы в статистике. — М.: МГУ, 1973, 186 с.
6. Климов Г. П., Кузьмин А. Д. Теория вероятностей и ее применения. Инвариантные оценки. — Радиотехника и электроника, 1975, т. 20, № 2, с. 309—331.
7. Закс Ш. Теория статистических выводов. — М.: Мир, 1975.—776 с.
8. Шлома А. М. Фидуциальный подход к теории фильтрации. — Радиотехника и электроника, 1981, т. 26, № 9, с. 1845—1857.
9. Шлома А. М. Стратегии стохастического управления при неполной информации. — Автоматика и телемеханика, 1981, № 10, с. 105—118.
10. Сейдж Э., Мелс Дж. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении. — М.: Связь, 1976.—495 с.

Поступила в редакцию 25.07.83.

УДК 621.391.2

ПРИЕМ СИГНАЛА С НЕИЗВЕСТНЫМИ АМПЛИТУДОЙ И ДЛИТЕЛЬНОСТЬЮ НА ФОНЕ БЕЛОГО ШУМА

ТРИФОНОВ А. П., БУТЕЙКО В. К.

Найдены вероятности ошибок при обнаружении прямоугольного импульса с неизвестными амплитудой и длительностью. Получены выражения для распределения и рассеяния совместных оценок максимального правдоподобия амплитуды и длительности сигнала. Приведены результаты математического моделирования.

В [1] рассмотрен прием прямоугольного импульса

$$s(t, A_0, \tau_0) = \begin{cases} A_0, & 0 \leq t \leq \tau_0, \\ 0, & t < 0, t > \tau_0 \end{cases} \quad (1)$$

на фоне белого шума $n(t)$ с односторонней спектральной плотностью N_0 . При этом предполагалось, что амплитуда A_0 сигнала (1) априори известна, а его неизвестная длительность τ принимает значения из априорного интервала $[T_1; T_2]$. Однако в ряде практических приложений мощность принимаемого сигнала оказывается неизвестной, в связи с чем рассмотрим прием сигнала (1) с неизвестными амплитудой A и длительностью τ . Полагаем, что для обнаружения сигнала (1) или для оценки его амплитуды и длительности используется приемник максимального правдоподобия (ПМП) [1—3]. ПМП выносит решение по максимуму логарифма функционала отношения правдоподобия (ЛФОП) $M(A, \tau)$ [1]. Максимизируя $M(A, \tau)$ по A , получаем, что ЛФОП достигает максимума, когда

$$A = A(\tau) = \int_0^{\tau} \chi(t) dt / \tau. \quad (2)$$

При этом

$$\max_A M(A, \tau) = M(\tau) = \left[\int_0^\tau \chi(t) dt \right]^2 / N_0 \tau, \quad (3)$$

где $\chi(t)$ — реализация принятой суммы сигнала и шума или только шума. ПМП принимает решение о наличии сигнала, когда $\max M(\tau) = M(\tau_m) > M_0$. Порог M_0 определяется заданным критерием оптимальности. При наличии сигнала (1) оценкой максимального правдоподобия (ОМП) его неизвестной длительности является τ_m , а ОМП амплитуды $A_m = A(\tau_m)$, где $A(\tau)$ определяется формулой (2).

Использование модели сигнала (1) предполагает применение когерентной обработки. Однако известно [3], что при приеме сигнала с неизвестными энергетическими параметрами (амплитуда, длительность и др.) и больших отношениях сигнал/шум незнание начальной фазы радиосигнала не влияет на помехоустойчивость приема. Поэтому полученные ниже выражения для вероятности пропуска сигнала и характеристики ОМП амплитуды и длительности при больших отношениях сигнал/шум верны и в случае некогерентной обработки радиосигнала с огибающей (1).

Обнаружение сигнала. Найдем вероятности ошибок 1-го и 2-го рода при обнаружении сигнала (1). В отсутствие сигнала на входе ПМП для ЛФОП (3) имеем

$$M(\tau) = \left[\int_0^\tau n(t) dt \right]^2 / N_0 \tau. \quad (4)$$

Перейдем в этой формуле к новой переменной $\theta = \ln \tau$, причем $\theta \in [\theta_1; \theta_2]$ где $\theta_i = \ln T_i$, $i = 1, 2$. Согласно [4] функция $\tilde{M}(\theta) = M[\tau(\theta)]$ является, марковским случайным процессом, который удовлетворяет стохастическому дифференциальному уравнению: $d\tilde{M}(\theta) = -\tilde{M}(\theta) d\theta + \sqrt{2\tilde{M}(\theta)} d\omega(\theta)$. Это уравнение записано в симметризованной форме, а $\omega(\theta)$ — стандартный винеровский процесс [4]. В [5] показано, что с увеличением порога M_0 и длины интервала $[\theta_1; \theta_2]: P[\max \tilde{M}(\theta) < M_0] \rightarrow \exp[-(\theta_2 - \theta_1) \sqrt{M_0/\pi} \exp(-M_0)]$. Возвращаясь в этой формуле к исходной переменной $\tau = \exp \theta$, получаем, что для больших значений порога M_0 и отношения T_2/T_1

$$P[\max M(\tau) < M_0] \simeq (T_1/T_2)^{\sqrt{M_0/\pi} \exp(-M_0)}. \quad (5)$$

При обнаружении с помощью ПМП решение о наличии сигнала принимается, когда $\max M(\tau) > M_0$, $\tau \in [T_1, T_2]$. Следовательно, вероятность ложной тревоги $\alpha = P[\max M(\tau) > M_0] = 1 - P[M(\tau) < M_0]$, $\tau \in [T_1, T_2]$, где $M(\tau)$ определяется формулой (4). Поскольку вероятность (5) должна быть убывающей функцией M_0 , аналогично [2,5] для вероятности ложной тревоги можем записать приближенное выражение

$$\alpha = \begin{cases} 1 - (T_1/T_2)^{\sqrt{M_0/\pi} \exp(-M_0)}, & M_0 \geq 1/2, \\ 1, & M_0 < 1/2. \end{cases} \quad (6)$$

Перейдем к определению вероятности пропуска сигнала. При наличии на входе ПМП сигнала (1) ЛФОП (3) принимает вид

$$M(\tau) = z^2 [\min(1, l)]^2 / (2l) + z \min(1, l) \omega(l)/l + \omega^2(l)/(2l), \quad (7)$$

где $z^2 = 2A_0^2 \tau_0 / N_0$ — отношение сигнал/шум для принятого сигнала; $l = \tau/\tau_0$ — нормированная длительность сигнала, а $\omega(l)$ — стандартный винеровский процесс. Для не слишком малых значений отношения сигнал/шум последним слагаемым в (7) можно пренебречь и положить приближенно

$$M(\tau) \simeq z^2 [\min(1, l)]^2 / (2l) + z \min(1, l) \omega(l)/l. \quad (8)$$

Эта функция является марковским случайным процессом [4], коэффициенты сноса и диффузии которого при больших отношениях сигнал/шум определяются формулами:

$$K_1 \approx \frac{z^2}{2\tau_0} \begin{cases} 1, & \tau < \tau_0; \\ -1/l^2, & \tau > \tau_0; \end{cases} \quad K_2 = 2|K_1|. \quad (9)$$

Марковские свойства процесса (8) позволяют найти вспомогательную функцию

$$F(u, v, T) = P[M(\tau) < u, M(\tau) < v], \quad (10)$$

$$T_1 \leq \tau \leq T, \quad T < \tau \leq T_2,$$

через которую легко выражается вероятность пропуска сигнала. Действительно, при обнаружении сигнала с помощью ПМП, решение об отсутствии сигнала принимается, когда $\max M(\tau) < M_0$. Следовательно, вероятность пропуска

$$\beta(\tau_0, A_0) = P[\max M(\tau) < M_0] = F(M_0, M_0, T_2). \quad (11)$$

где при больших z ЛФОРП $M(\tau)$ определяется формулой (8). Так как $M(\tau)$ (8) представляет собой марковский случайный процесс, для функции (10) можем записать: $F(u, v, T) = \int_{-\infty}^v W(x, T_2) dx$. Здесь $W(x, T_2) = W(x, \tau)|_{\tau=T_2}$, а $W(x, \tau)$ — решение уравнения Фоккера — Планка — Колмогорова [4]

$$\frac{\partial W(x, \tau)}{\partial \tau} = -\frac{\partial}{\partial x} [K_1 W(x, \tau)] + \frac{1}{2} \frac{\partial^2}{\partial x^2} [K_2 W(x, \tau)] \quad (12)$$

с коэффициентами (9), при граничных условиях $W(x, \tau)|_{x=u} = 0$, $\tau \in [T_1, T]$; $W(x, \tau)|_{x=v} = 0$, $\tau \in (T, T_2]$; $W(x, \tau)|_{x=-\infty} = 0$, $\tau \in [T_1, T_2]$ и заданном начальном условии $W(x, \tau)|_{\tau=T_1} = W_1(x)$. Решая уравнение (12) методом отражения с переменной знака [4], получаем при $T \leq \tau_0$

$$F(u, v, T) = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3 W_1(u - \xi)}{2\pi z^2 \sqrt{(1-L)(L-l_1)}} \times \quad (13a)$$

$$\times \exp \left\{ -\frac{[\xi_1 + u - v - \xi + z^2(L-l_1)/2]^2}{2z^2(L-l_1)} - \frac{[\xi_2 - \xi + z^2(1-L)/2]^2}{2z^2(1-L)} \right\} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{2\xi_1(v-u-\xi_1)}{z^2(L-l_1)} \right] \right\} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-2\xi_1\xi_2}{z^2(1-L)} \right] \right\} \Psi(\xi_2),$$

а при $T > \tau_0$

$$F(u, v, T) = \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3 W_1(u - \xi)}{2\pi z^2 \sqrt{(1-1/L)(1-l_1)}} \times \quad (13b)$$

$$\times \exp \left\{ -\frac{[\xi_1 - u + v - \xi_2 + z^2(1-1/L)/2]^2}{2z^2(1-1/L)} - \frac{[\xi_1 - \xi + z^2(1-l_1)/2]^2}{2z^2(1-l_1)} \right\} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{2\xi_1(v-u-\xi_2)}{z^2(1-1/L)} \right] \right\} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-2\xi_1\xi_2}{z^2(1-l_1)} \right] \right\} \Psi(\xi_2).$$

Здесь

$$\Psi(\xi) = \Phi \left(\frac{z^2(1-1/l_2)/2 + \xi}{z\sqrt{1-1/l_2}} \right) - \exp(-\xi) \Phi \left(\frac{z^2(1-1/l_2)/2 - \xi}{z\sqrt{1-1/l_2}} \right),$$

а $l_i = T_i/\tau_0$, $i = 1, 2$, $L = T/\tau_0$, а $\Phi(\cdot)$ — интеграл вероятности [3].

В качестве начального условия для уравнения (12) воспользуемся плотностью вероятности ЛФОП (7) при $\tau = T_1 > 0$. В результате из (11), (13) получаем приближенное выражение для вероятности пропуска сигнала

$$\beta(\tau_0, A_0) \simeq \int_0^{\infty} d\xi_1 \int_0^{M_0} \frac{d\xi \operatorname{ch}(z \sqrt{2l_1(M_0 - \xi)})}{\pi z \sqrt{2(1-l_1)(M_0 - \xi)}} \exp \left\{ \xi - M_0 - z^2 l_1 / 2 - \frac{[\xi_1 - \xi + z^2(1-l_1)/2]^2}{2z^2(1-l_1)} \right\} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-2\xi\xi_1}{z^2(1-l_1)} \right] \right\} \Psi(\xi_1). \quad (14)$$

Кроме ПМП, для обнаружения сигнала с неизвестными амплитудой и длительностью можно использовать различные квазиоптимальные системы. В частности, один из подходов к построению таких систем развит в [6] для обнаружения сигналов с неизвестным временным положением и применен в [1] для обнаружения сигнала с неизвестной длительностью. Положим согласно [1, 6], что квазиоптимальный приемник формирует величину

$$M(\hat{\tau}) = \left[\int_0^{\hat{\tau}} \chi(t) dt \right]^2 / N_0 \hat{\tau}, \quad (15)$$

где $\hat{\tau}$ — некоторая точка из интервала $[T_1; T_2]$. Решение о наличии сигнала принимается, когда $M(\hat{\tau}) > M_0$. В отсутствие сигнала на входе приемника $M(\hat{\tau}) = \omega^2(\hat{l})/2\hat{l}$, $\hat{l} = \hat{\tau}/\tau_0$. Следовательно, вероятность ложной тревоги при использовании квазиоптимального приемника (15) имеет вид: $\hat{\alpha} = 2[1 - \Phi(\sqrt{2M_0})]$, $M_0 \geq 0$. При наличии сигнала $M(\hat{\tau}) = [z \min(\hat{l}, 1) + \omega(\hat{l})]^2/2\hat{l}$, так что вероятность пропуска может быть найдена из формулы $\hat{\beta}(\tau_0, A_0) = \Phi(\sqrt{2M_0} - z \min(\hat{l}, 1)/\sqrt{\hat{l}}) + \Phi(\sqrt{2M_0} + z \min(\hat{l}, 1)/\sqrt{\hat{l}}) - 1$, $M_0 \geq 0$.

В качестве примера рассмотрим характеристики обнаружения сигнала (1), когда его неизвестная длительность $\tau_0 = T_2/2$, а порог M_0 определяется по критерию Неймана — Пирсона. На рис. 1 приведены зависимости вероятности пропуска сигнала (1) от отношения сигнал/шум z . Сплошные кривые рассчитаны для уровня ложной тревоги $\alpha = 10^{-2}$, а штриховые — для $\alpha = 10^{-4}$. Кривые 1 описывают вероятность пропуска сигнала (1) с априори известными амплитудой и длительностью [7], кривые 2 — сигнала с неизвестной длительностью [1], кривые 3 — сигнала с неизвестными амплитудой и длительностью (6), (14), а кривые 4 — вероятность пропуска сигнала (1) с неизвестными амплитудой и длительностью при использовании квазиоптимального алгоритма (15) и $\hat{\tau} = 3\tau_0/2$. Кривые 2—4 рассчитаны при $T_2/T_1 = 5$.

Из рассмотрения кривых рис. 1 следует, что для $\tau_0 = T_2/2$ потери в эффективности обнаружения за счет незнания амплитуды сигнала относительно невелики при использовании ПМП и уменьшаются с ростом отношения сигнал/шум z . Применение квазиоптимального приемника (15) приводит к заметно большим потерям.

Оценка амплитуды и длительности. Рассмотрим характеристики ОМП длительности τ_m и амплитуды A_m сигнала (1), предполагая, что он присутствует на входе ПМП. Найдем вначале совместную плотность вероятности $W_m(\tau, A)$ для ОМП τ_m и A_m . С этой целью обозначим $\mu = \max M(\tau)$, где ЛФОП $M(\tau)$ описывается приближенной формулой (8). Поскольку ОМП амплитуды $A_m = A(\tau_m)$, а $A(\tau)$ определяется из (2), то, подставляя в (2) реализацию наблюдаемых данных, с помощью (8) можно записать

$$A_m = A_0 \{ \mu \tau_0 / [z^2 \min(\tau_m, \tau_0)] + \min(\tau_m, \tau_0) / (2\tau_m) \}. \quad (16)$$

Таким образом, ОМП амплитуды определяется этой формулой как функция случайных величин μ и τ_m . Совместная плотность вероятности $W_2(\mu, \tau)$ случайных величин μ и τ_m может быть найдена с помощью вспомогательной функции (10) $W_2(\mu, \tau) = [\partial^2 F(u, v, T) / \partial u \partial T]$ при $u = v = \mu$, $T = \tau$. Ограничиваясь рассмотрением случая больших отношений сигнал/шум z , в качестве начального условия для уравнения (12)

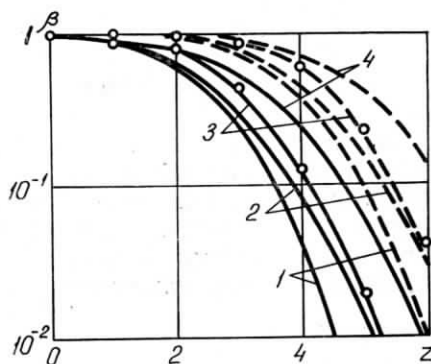


Рис. 1.

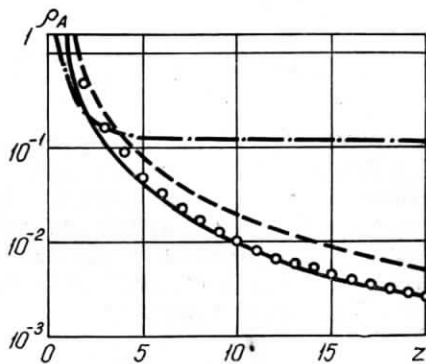


Рис. 2.

воспользуемся плотностью вероятности приближенного значения ЛФОП (8) при $\tau = T_1 > 0$. В результате получаем при $\tau \leq \tau_0$

$$W_2(\mu, \tau) = \frac{1}{\tau_0} \left\{ \sqrt{\frac{l_1}{2\pi(L-l_1)}} \exp\left[-\frac{\mu^2 - z^2 l_1 (\mu - z^2/4)}{2z^2 l_1}\right] + \right. \\ \left. + \frac{\mu}{z \sqrt{L}} \Phi\left(\frac{\mu}{z} \sqrt{\frac{L-l_1}{L l_1}}\right) \exp\left[-\frac{(\mu - z^2 L/2)^2}{2z^2 L}\right] \right\} \int_0^\infty \frac{\xi d\xi}{\pi z^3 L (1-L)^{3/2}} \times \\ \times \exp\left\{-\frac{[\xi + z^2(1-L)/2]^2}{2z^2(1-L)}\right\} \Psi(\xi), \quad (17a)$$

а при $\tau > \tau_0$

$$W_2(\mu, \tau) = \frac{1}{\tau_0} \left\{ \Phi\left(\frac{z}{2} \sqrt{\frac{l_2-L}{L l_2}}\right) + \frac{1}{z} \sqrt{\frac{2L l_2}{\pi(l_2-L)}} \times \right. \\ \left. \times \exp\left[-\frac{z^2(l_2-L)}{8L l_2}\right] \right\} \int_0^\infty \frac{\xi d\xi}{2\pi z^2 \sqrt{L} (L-1)^{3/2}} \exp\left\{-\frac{[\xi - \mu + z^2/2]^2}{2z^2} - \right. \\ \left. - \frac{[\xi + z^2(1-1/L)/2]^2}{2z^2(1-1/L)}\right\} \left[\Phi\left(\frac{\mu(1-l_1) + \xi l_1}{z \sqrt{l_1(1-l_1)}}\right) - \right. \\ \left. - \exp\left(-\frac{2\xi\mu}{z^2}\right) \Phi\left(\frac{\mu(1-l_1) - \xi l_1}{z \sqrt{l_1(1-l_1)}}\right) \right], \quad L = \frac{\tau}{\tau_0}. \quad (17b)$$

Затем найдем из (16) значение $\mu = f(\tau, A)|_{\tau=\tau_m, A=A_m}$ как функцию ОМП амплитуды и длительности. Используя известные правила преобразования плотностей вероятности [7] из (16), (17), имеем совместную плотность вероятности ОМП амплитуды и длительности сигнала (1): $W_m(A, \tau) = W_2(\mu, \tau)|_{\mu=f(\tau, A)} |\partial f(\tau, A) / \partial A|$. Найденная совместная плотность вероятности ОМП амплитуды и длительности позволяет рассчитать рассеяния оценок

$$V(A_m | A_0, \tau_0) = \langle (A_m - A_0)^2 \rangle \simeq A_0^2 / z^2, \quad (18)$$

$$V(\tau_m | A_0, \tau_0) = \langle (\tau_m - \tau_0)^2 \rangle \simeq 26\tau_0^2 / z^4 \quad (19)$$

и их коэффициент корреляции

$$R(\tau_m, A_m | A_0, \tau_0) = \langle (A_m - A_0)(\tau_m - \tau_0) \rangle / \sqrt{\langle (A_m - A_0)^2 \rangle \langle (\tau_m - \tau_0)^2 \rangle} \approx (20)$$

$$\approx -\frac{\sqrt{13/2}}{z}$$

при $z \gg 1$.

Если при приеме сигнала (1) с неизвестными амплитудой и длительностью необходимо найти лишь оценку амплитуды, то можно ис-

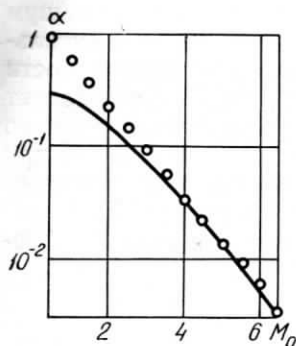


Рис. 3.

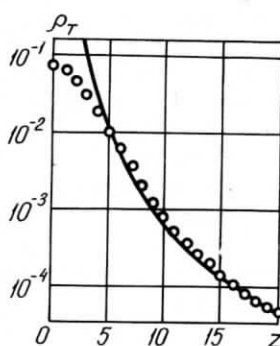


Рис. 4.

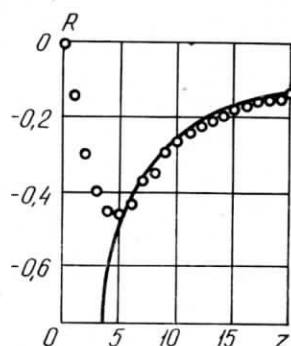


Рис. 5.

пользовать более простые, чем ПМП, квазиоптимальные алгоритмы. В частности, при получении квазиоптимальной оценки амплитуды сигнала (1) с неизвестной длительностью можно применить подход, развитый в [6], для обнаружения сигнала с неизвестным временным положением. Положим, что квазиоптимальный измеритель формирует величину

$$\hat{A} = A(\hat{\tau}) = \int_0^{\hat{\tau}} \chi(t) dt / \hat{\tau}, \quad (21)$$

где $\hat{\tau}$ — некоторая точка из интервала $[T_1, T_2]$. Квазиоптимальная оценка амплитуды \hat{A} является гауссовской случайной величиной, для которой $\langle \hat{A} \rangle = A_0 \min(1, \tau_0/\hat{\tau})$, $\langle (\hat{A} - \langle \hat{A} \rangle)^2 \rangle = A_0^2 \tau_0/\hat{\tau}z^2$. Следовательно, для рассеяния квазиоптимальной оценки амплитуды можно записать: $V(\hat{A} | A_0, \tau_0) = A_0^2 \{ \tau_0/\hat{\tau}z^2 + [\min(0, \tau_0/\hat{\tau} - 1)]^2 \}$.

На рис. 2 приведены зависимости нормированного рассеяния оценки амплитуды $\rho_A = V/A_0^2$ от отношения сигнал/шум z . Сплошной кривой нанесено нормированное рассеяние ОМП амплитуды, рассчитанное по формуле (18), штриховой линией — нормированное рассеяние квазиоптимальной оценки при $\hat{\tau} = \tau_0/2$, а штрихпунктирной линией — нормированное рассеяние квазиоптимальной оценки при $\hat{\tau} = 3\tau_0/2$. Как видно из кривых рис. 2, квазиоптимальный приемник (21), обладая более простой структурой чем ПМП, приводит к заметному проигрышу в точности оценки амплитуды сигнала (1).

Результаты математического моделирования. С целью определения возможности использования приближенных формул (6), (14), (18) — (20) производилось статистическое моделирование ПМП на ЭЦВМ. При моделировании воспроизводились отсчеты ЛФОП (4), (7) с шагом дискретизации $0,002 \tau_0$ при $T_2/T_1 = 5$ и $\tau_0 = T_2/2$. На рис. 3 приведена зависимость вероятности ложной тревоги от порога M_0 , рассчитанная по формуле (6) и экспериментальные значения α , полученные в результате моделирования. Экспериментальные значения вероятности

пропуска сигнала для двух значений вероятности ложной тревоги нанесены на рис. 1. При моделировании процесса обнаружения в ПМП объем выборки составлял $2 \cdot 10^4$ реализаций ЛФОР. Как следует из рис. 1 и 3, приближенные формулы (6) и (14) удовлетворительно описывают соответствующие экспериментальные зависимости.

Экспериментальные значения нормированного рассеяния ОМП амплитуды нанесены на рис. 2. На рис. 4 приведены зависимость нормированного рассеяния $\rho_r = V(\tau_m | A_0, \tau_0) / \tau_0^2$ ОМП длительности от отношения сигнал/шум z , рассчитанная по формуле (19), и экспериментальные значения рассеяния. На рис. 5 приведены зависимость коэффициента корреляции ОМП амплитуды и длительности от отношения сигнал/шум z , рассчитанная по формуле (20), и соответствующие экспериментальные значения. При моделировании ОМП амплитуды и длительности объем выборки составлял не менее 10^3 реализаций ЛФОР. Как следует из рис. 2, 4, 5, приближенные формулы (18) — (20) удовлетворительно аппроксимируют соответствующие экспериментальные зависимости при $z \geq 3-4$. Моделирование ПМП выполнялось так же для значений $T_2/T_1 = 10$ и $T_2/T_1 = 20$. При указанных значениях отношения T_2/T_1 получено удовлетворительное согласование расчетов по найденным формулам с экспериментальными характеристиками ПМП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трифонов А. П. Прием сигнала с неизвестной длительностью на фоне белого шума. — Радиотехника и электроника, 1977, т. 22, № 1, с. 90—98.
2. Маршаков В. К., Трифонов А. П. Теоретическое и экспериментальное исследования приемника максимального правдоподобия: — Радиотехника и электроника, 1974, т. 19, № 11, с. 2266—2275.
3. Куликов Е. И., Трифонов А. П. Оценка параметров сигналов на фоне помех. — М.: Сов. радио, 1978.—296 с.
4. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. — М.: Сов. радио, 1977.—488 с.
5. Трифонов А. П. Прием случайного сигнала с неизвестной частотой. — Радиотехника и электроника, 1980, т. 25, № 4, с. 749—757.
6. Горяинов В. Т. Требования к точности тактовой синхронизации в системах передачи двоичной информации. — Изв. вузов МВ и ССО СССР. Радиоэлектроника, 1970, т. 13, № 7, с. 787—798.
7. Тихонов В. И. Статистическая радиотехника. — М.: Сов. радио, 1966.—678 с.

Поступила в редакцию после переработки 30.11.83.

УДК 621.396.6

МОМЕНТНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ К АНАЛИЗУ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

ЖУЙКОВ В. Я., ПЕТРАШКО М., СТЖЕЛЕЦКИ Р.

Описан способ анализа линейных и линеаризованных на данном временном интервале электронных схем, основанный на применении моментного преобразования, не накладывающий ограничений на форму воздействующего сигнала и временной интервал. Приведены примеры анализа процессов в простейших схемах.

Решение современных научно-технических задач, связанных с проектированием радиоэлектронных устройств, основано на широком применении ЭВМ и требует алгебраизации дифференциальных уравнений, описывающих процессы в них. Существует ряд методов алгебраизации дифференциальных уравнений, среди которых одни описывают поведение функций в точке (например, преобразование Тейлора), другие —