

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ
ЗАВЕДЕНИЙ

Радиоэлектроника

ТОМ XX
8
1977

ИЗДАНИЕ
КИЕВСКОГО ОРДЕНА ЛЕНИНА
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
ИМЕНИ 50-ЛЕТИЯ ВЕЛИКОЙ
ОКТЯБРЬСКОЙ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ

$1/W_{\text{чр}}$, чем величины, пропорциональной $1/P_{\text{чр}}$. В этом смысле можно утверждать, что если симметрия системы допускает измерения в режиме полного рассогласования, то предпочтительнее измерения именно в этом режиме, а не в режиме бегущих волн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев И. В. Техника и приборы СВЧ. М., «Высшая школа», 1970, 1.

Поступило в редакцию
9 XII 1975 г.,
после переработки
27 I 1976 г.

УДК 621.391.2

А. И. КРЕМЕР, А. П. ТРИФОНОВ

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ АНТЕННЫ НА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИЕМА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО СИГНАЛА

В последнее время опубликованы работы по вопросам пространственно-временной обработки сигналов от источников, расположенных в зоне Френеля приемной антенны [1, 2]. В связи с этим представляет интерес анализ зависимости отношения сигнал/шум на выходе оптимального приемника от размеров и структуры антенн, с учетом кривизны волнового фронта принимаемого сигнала.

Рассмотрим задачу приема сигнала, отраженного от малоразмерной цели, расположенной на произвольной дальности от приемной антенны. Полагая, что передающая антенна излучает сферическую волну, принимаемый сигнал запишем как

$$\alpha \dot{s}(t, \vec{r}) = \frac{\dot{\alpha}}{R\rho} \dot{u}\left(t - \frac{R+\rho}{c}\right) \exp\left\{j\left[\omega_0\left(t - \frac{R+\rho}{c}\right) - \varphi\right]\right\}, \quad (1)$$

где $\dot{u}(t)$ — комплексная огибающая сигнала; $\dot{\alpha} = \alpha \exp(-j\varphi \dots)$ — комплексный коэффициент отражения цели; ω_0 — несущая частота; c — скорость распространения электромагнитных колебаний; φ — начальная фаза; $R = |\vec{R}|$ — расстояние от излучателя до цели; $\rho = |\vec{R} - \vec{r}|$ — расстояние от цели до некоторой точки антенны с координатой $\vec{r} \in V$; V — область пространства, занятая антенной.

Реализацию данных, поступающих на вход приемной антенны, представим как $x(t, \vec{r}) = \dot{s}(t, \vec{r}) + n(t, \vec{r})$, где помеха $n(t, \vec{r})$ — пространственно-временной белый шум с функцией корреляции $K(\vec{r}_1, \vec{r}_2, t_1, t_2) = (N_0/2) \delta(\vec{r}_1 - \vec{r}_2, t_1 - t_2)$ [3]. Тогда, при известном коэффициенте отражения α , приемник, оптимальный в смысле какого-либо критерия, использующего отношение правдоподобия, должен вырабатывать величину [3]

$$Y = \left| \frac{2}{N_0} \int_0^T \int_V x(t, \vec{r}) \dot{s}^*(t, \vec{r}) dt d\vec{v} \right| = |\dot{S} + \dot{N}|, \quad (2)$$

где

$$\dot{S} = \frac{\alpha}{N_0 R^2} \int_0^T \int_V \rho^{-2} \dot{u}\left(t - \frac{R+\rho}{c}\right) \dot{u}^*\left(t - \frac{R+\rho}{c}\right) e^{-j(\varphi + \varphi_0)} dt d\vec{v},$$

$$\dot{N} = \frac{2}{N_0 R} \int_0^T \int_V \rho^{-1} n(t, \vec{r}) \dot{u}(t, \vec{r}) \exp \left[j\omega_0 \left(t - \frac{R+\rho}{c} \right) - j\varphi \right] dt dv$$

— полезный сигнал и шум на выходе оптимального приемника. Понимая под отношением сигнал/шум отношение квадрата максимального значения выходного сигнала к средней мощности выходного шума, получаем

$$z^2 = \frac{2|\dot{S}|^2}{\langle \dot{N}\dot{N}^* \rangle} = \frac{2\alpha^2 E_0 V_0}{N_0 R^2}, \quad (3)$$

где $E_0 = (1/2) \int_0^T |\dot{u}(t)|^2 dt$ — энергия зондирующего сигнала, а $V_0 = \int_V \rho^{-2} dv$. Используя

формулу (3), рассмотрим зависимость отношения сигнал/шум от размера антенны при использовании трех различных приемных антенн. При этом будем считать, что началом системы координат является центр симметрии антенны.

Пусть прием производится на объемную сферическую антенну радиуса L и объект расположен на полярной оси сферической системы координат (r, θ, φ) . Тогда

$$V_0 = \pi R \left[a - \frac{4-a^2}{4} \ln \left(\frac{2+a}{2-a} \right) \right] = \pi R \chi_1(a),$$

где $a = 2L/R$ — отношение максимального размера антенны к расстоянию до цели. Соответственно, отношение сигнал/шум в этом случае равно

$$z_1^2 = \frac{2\pi\alpha^2 E_0}{N_0 R} \chi_1(a). \quad (4)$$

Зависимость $\chi_1(a)$ нанесена на рис. 1 сплошной линией. Эта кривая показывает изменение отношения сигнал/шум (4) при изменении размера раскрыва антенны.

Обычно считают, что сигнал (1) достаточно точно описывается приближением

Френеля, если в разложении величины $\rho = |\vec{R} - \vec{r}|$ по степеням $|\vec{r}|/R$ можно пренебречь слагаемыми, содержащими $|\vec{r}|/R$ в степени, выше второй [4]. Для сигнала, взятого во Френелевском приближении, отношение сигнал/шум также определяется из (4), но $\chi_1(a)$ заменяется на $\chi_1'(a) = (a^3/6)(1+a^2/20)$. Если в разложении ρ по степеням $|\vec{r}|/R$ удержать члены лишь первой степени, то получаем приближение дальней зоны, в котором волновой фронт принимаемого сигнала оказывается плоским. В таком случае в (4) надо $\chi_1(a)$ заменить на $\chi_1''(a) = a^3/6$. Зависимость $\chi_1''(a)$ нанесена на рис. 1 штриховой линией, а $\chi_1'(a)$ — штрих-пунктиром. Сравнение кривых на рис. 1 позволяет установить границы, в которых применение приближений Френеля и дальней зоны позволяет достаточно точно вычислять отношение сигнал/шум на выходе оптимального приемника (2) при приеме сигнала, отраженного от малоразмерной цели.

Рассмотрим прием на антенну с плоским круговым раскрывом радиуса L , совмещенную с экваториальной плоскостью сферической системы координат, полагая угловое положение цели произвольным в пределах $0 \leq \varphi_0 \leq 2\pi$, $0 \leq \theta_0 < \pi/2$. Тогда

$$V_0 = \pi \ln \frac{a^2/4 + \cos 2\theta_0 + \sqrt{a^4/16 + (a^2 \cos 2\theta_0)/2 + 1}}{1 + \cos 2\theta_0} = \pi \chi_2(a, \theta_0), \quad (5)$$

а отношение сигнал/шум определяется формулой $z_2^2 = (2\pi\alpha^2 E_0 / N_0 R^2) \chi_2(a, \theta_0)$. При изменении угла θ_0 в пределах, представляющих практический интерес [5], функция $\chi_2(a, \theta_0)$ остается постоянной при увеличении относительного размера антенны a

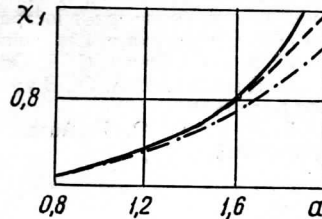


Рис. 1.

вплоть до значений $a \leq 1$. Рассмотрим функцию $\chi_2(a) = \chi_2(a, \theta_0=0) = \ln[1+a^2/4]$. При использовании френелевского приближения эта формула приобретает вид

$$\chi_2'(a) = (a^2/4) (1-a^2/8),$$

а в приближении дальней зоны $\chi_2''(a) = a^2/4$. Определяя границы применимости этих приближений как значения a , при которых $\chi_2(a)$ и $\chi_2''(a)$ отклоняются от $\chi_2(a)$ (5) не более чем на 10%, получаем, что волновой фронт принятого сигнала можно считать сферическим в приближении Френеля, если $0.9 \leq a \leq 1.53$, и достаточно ограничиться моделью сигнала с плоским фронтом, если $a \leq 0.9$.

Положим далее, что прием производится на линейную антенну длиной $2L$, совмещенную с осью OX декартовой системы координат, а цель находится в плоскости XOZ . Угловое положение цели θ_0 произвольно в пределах $0 \leq \theta_0 < \pi/2$ (угол θ_0 отсчитывается от оси OZ). Тогда

$$V_0 = \frac{1}{R \cos \theta_0} \arctg \frac{4a \cos \theta_0}{4-a^2} = \frac{1}{R} \chi_3(a, \theta_0),$$

а отношение сигнал/шум определяется выражением

$$z_3^2 = (4E_0/N_0R^3) \chi_3(a, \theta_0).$$

Для линейной антенны функции $\chi_3(a, \theta_0)$ практически совпадают при разных величинах угла θ_0 для значений a вплоть до $a \leq 0.5$. Во френелевском приближении получим $\chi_3 = (a/2) (1-a^2/12)$, а в приближении дальней зоны $\chi_3 = a/2$. Подобно случаю приема на плоскую круговую антенну, получаем, что приближение Френеля сигнала применимо, если $1.13 \leq a \leq 1.78$ и приближение дальней зоны, если $a \leq 1.13$.

Таким образом, полученные соотношения позволяют найти величину отношения сигнал/шум для цели, находящейся на произвольном расстоянии от приемной антенны. Кроме того, из этих выражений можно найти границы применимости представления сигнала (1) в приближениях Френеля и дальней зоны для достаточно точного вычисления отношения сигнал/шум на выходе оптимального приемника.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ширман Я. Д. Разрешение и сжатие сигналов. М., «Советское радио», 1974.
2. Кремер И. Я., Понькин В. А. О потенциальной точности определения местоположения цели при пространственно-временной обработке сигналов в общем случае. — «Радиотехника и электроника», 1975, 20, № 6.
3. Фалькович С. Е. Оценка параметров сигнала. М., «Советское радио», 1970.
4. Драбкин А. Л., Зюзенко В. Л. Антенно-фидерные устройства. М., «Советское радио», 1961.
5. Вендик О. Г. Антенны с немеханическим движением луча. М., «Советское радио», 1965.

Поступило в редакцию
23 II 1976 г.,
после переработки
10 I 1977 г.

CONTENTS

Gudzenko A. I. Interconnection of two common-substrate parallel planar waveguides with periodic modulation of thickness	3
Kabakov L. T. Ferrite resonator in the section of evanescent waveguide	10
Minkin M. A., Zayentsev V. V. Multichannel power dividers-adders on the sections of lines with the standard characteristic impedance	19
Komarov S. A. Radiation of nonsymmetrical waves from circular waveguide with impedance flange	24
Kukushkin A. V., Rayevsky S. B. Calculation of non-uniformity parameters in the microwave transmission lines using Fourier transformation	31
Belichenko V. P., Goshin G. G. Radiation of dipole surrounded by spiral in the spherical conducting shell	36
Fal'ko A. I. Self-training spaced reception in the spectrum-lumped noise channels	40
Kozyrev V. B., Lavrushenkov V. G. Correction circuits of AF characteristic for broad-band transistor power amplifiers	45
Makarov V. A., Belov Yu. A., Donchenko V. F., Yermakov I. G. Modeling of the automatic control discrete system	53
Garnaker'yan A. A., Sosunov A. S. Space correlation of radio signals reflected from the sea surface	59
Kurilenko G. M. Radio-direction-finder optimal structure synthesis realizing of common operation for signal detection and measurement of wave angle of arrival	65
Popov D. I. Losses of digital recursive filters for selection of moving target	73
Krivosheikin A. V. Accuracy of calculation estimate using of Bode sensitivity function	78
Bubennikov A. N. Account displacement dynamical effect in the low-signal model of high-frequency transistor	83
Sosnitsky A. V., Shamin F. A. Limitation of position multitude for runs clamping under location problems decision of microcircuits printed couplings	91

BRIEF REPORTS

Vechkanov G. P., Vechkanova R. A. Computer method for determination of scattering effective surface for complex form bodies	96
Dubrovka F. F., Naidenko V. I. Measurement of coupling resistance in the regime of partial mismatching	99
Kremer A. I., Trifonov A. P. The effect of aerial sizes on reception noise stability of space-time signal	102
Ivanov V. A., Il'nitsky L. Ya., Sibruk L. V. Approximation of aerial directivity characteristics by Fourier's series	105
Krasnitsky Yu. A. Effect of side reception in the ferrite aerials	108
Semenko A. I. Phase automatic frequency control of BWT with automatic lock in synchronism	110
Samoilo K. A., Fedosova T. S., Khurtin Ye. A. Determination of capture band of PAFC with frequency divider	111
Kiryukhin A. M., Zhukov V. A., Rogachev V. I. Dispersion device with tuning of characteristic slope of group delay	114
Dimitraki P. N. Pulse generator with bridge timing circuits	117
Sokolov A. A., Kalkin I. V., Lobkov I. A. Circuits topological analysis with operational amplifier	120
Sadkov V. D. Calculation of rectangular resistor with slot	123
Kazyulin V. I. The effect of temperature on the photoelectric parameters of bipolar transistor with charge accumulation	125