

УДК 621.391.266

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-МАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ С НЕПРЕРЫВНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЯРИЗАЦИИ

П.В. АНИКИН, С.С. ЖАВОРОНКОВ, Д.Н. ЯМАНОВ

Статья представлена доктором технических наук, профессором Нечаевым Е.Е.

В статье проведен анализ спектральных характеристик поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением угла ориентации. Определены значения обобщенного коэффициента глубины модуляции и ширины энергетического спектра для данного вида сигналов при различных индексах поляризационной манипуляции.

Ключевые слова: спектральные характеристики, коэффициент модуляции, энергетический спектр.

Поляризационно-манипулированные сигналы с непрерывным изменением параметров поляризации (ПМН) являются одним из перспективных видов сигналов для систем передачи дискретной информации [4-7]. Запись ПМН сигнала в общем виде на двойной комплексной плоскости имеет следующий вид [1; 6]

$$\ddot{e}(t, \theta, \varphi) = \exp[-ij\theta(t, C_\theta)] \exp[i\varphi(t, C_\varphi)] \exp[j(\omega t)], \quad (1)$$

где $\theta(t, C_\theta)$, $\varphi(t, C_\varphi)$ – углы ориентации и эллиптичности соответственно;

$C_\theta = [C_{\theta_1}, C_{\theta_2}, \dots, C_{\theta_N}]$, $C_\varphi = [C_{\varphi_1}, C_{\varphi_2}, \dots, C_{\varphi_N}]$ – векторы информационных символов, определяющие законы изменения углов ориентации и эллиптичности соответственно.

Информационные символы в выражении (1) могут принимать значения $\pm 1, \pm 3, \pm 5 \dots$

Выражения для горизонтальной и вертикальной составляющих ПМН сигнала определяются из (1) следующим образом [1; 6]:

$$e_x(t, \theta, \varphi) = \operatorname{Re}_i \operatorname{Re}_j [\ddot{e}(t, \theta, \varphi)]; \quad e_y(t, \theta, \varphi) = \operatorname{Im}_i \operatorname{Re}_j [\ddot{e}(t, \theta, \varphi)]. \quad (2)$$

В выражении (2) Re_i , Im_i означают вещественную и мнимые части в пространственной комплексной плоскости (1, i), а Re_j – вещественную часть во временной комплексной плоскости (1, j) [1]. Как следует из (1), (2), у ПМН сигналов может быть как один информационный параметр (θ или φ), так и два (θ и φ). В данной статье рассматриваются ПМН сигналы с непрерывным изменением угла ориентации (ПМН $_\theta$).

В общем случае параметры поляризации могут изменяться по различному закону (линейному, гармоническому и др.), в случае линейного закона изменения угла ориентации горизонтальная и вертикальная составляющие ПМН $_\theta$ сигнала на k-м тактовом интервале с учетом (2) записываются в следующем виде [4]:

$$\begin{aligned} e_x(t, \theta) &= \cos\left[C_{\theta_k} \frac{\pi h_\theta}{T} t - C_{\theta_k} \pi h_\theta (k-1) + \pi h_\theta \sum_{i=1}^{k-1} C_{\theta_i}\right] \cos(\omega t); \\ e_y(t, \theta) &= \sin\left[C_{\theta_k} \frac{\pi h_\theta}{T} t - C_{\theta_k} \pi h_\theta (k-1) + \pi h_\theta \sum_{i=1}^{k-1} C_{\theta_i}\right] \cos(\omega t), \end{aligned} \quad (3)$$

где h_θ – индекс поляризационной манипуляции; T – длительность тактового интервала.

Электромагнитная волна с переменными параметрами поляризации определяется двумя проекциями на оси поляризационно-ортогонального базиса. Спектральный состав двумерных ПМН сигналов оказывается значительно сложнее, чем спектры манипулированных одномерных сигналов.

Для анализа спектральной эффективности ПМН сигналов целесообразно определить обобщенный коэффициент глубины модуляции m_0 , под которым понимают отношение энергии боковых полос модулированного колебания к энергии немодулированного колебания [2]. В связи с тем что при поляризационной манипуляции энергия сигнала остается неизменной, обобщенный коэффициент глубины модуляции можно представить в следующем виде

$$m_0 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} G_x(\omega)d\omega + \int_{-\infty}^{\infty} G_y(\omega)d\omega - I_{x_0}^2 - I_{y_0}^2}{I_n^2}, \quad (4)$$

где $G_x(\omega)d\omega$, $G_y(\omega)d\omega$ – энергетические спектры соответствующих боковых составляющих колебания в линейно-ортогональном базисе разложения; $I_{x_0}^2$, $I_{y_0}^2$ – энергии соответствующих нулевых гармоник составляющих колебания; I_n^2 – энергия несущего колебания.

Обобщенный коэффициент глубины модуляции представляет собой параметр, характеризующий перераспределение энергии по спектру двумерного сигнала. Чем выше коэффициент m_0 , т.е. чем ближе он приближается к единице, тем меньше энергии остается на нулевой гармонике.

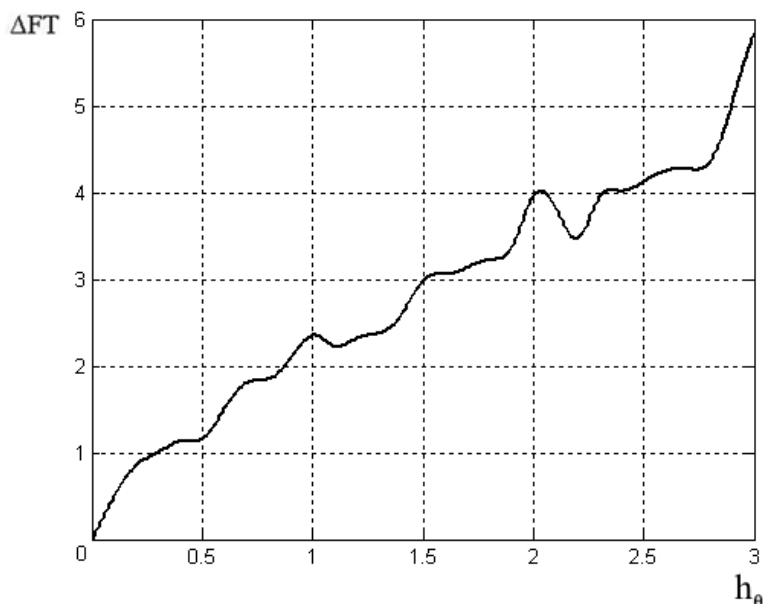


Рис. 1. Зависимость ширины энергетического спектра двухпозиционных ПМН_θ сигналов от индекса поляризационной манипуляции

Кроме оценки величины m_0 , необходимо учитывать ширину энергетического спектра ПМН_θ сигнала. Путем численного расчета по методике, изложенной в [2; 3; 5], был вычислен энергетический спектр ПМН_θ сигналов, содержащий 99,9% энергии сигнала. На рис. 1 приведены зависимости ширины спектра от индекса поляризационной манипуляции для двухпозиционных ПМН_θ сигналов с изменением угла ориентации по линейному закону. Как следует из приведенных зависимостей, с увеличением индекса поляризационной манипуляции спектр ПМН_θ сигналов расширяется.

В табл. 1 приведены значения обобщенного коэффициента глубины модуляции и ширины энергетического спектра ПМН_θ сигналов для различных индексов поляризационной манипуляции h_θ .

Таблица 1

Спектральная эффективность ПМН_θ сигналов

h_{θ}	m_0	ΔFT
0.3	0.072	1.01
0.6	0.264	1.51
0.9	0.513	2.09
1.2	0.746	2.32
1.5	0.91	2.99
1.8	0.988	3.23
2.1	0.998	3.83
2.4	0.976	4.02
2.7	0.956	4.27
3.0	0.956	5.85

Как следует из приведенных в табл. 1 данных, величина обобщенного коэффициента глубины модуляции существенно зависит от индекса поляризационной манипуляции. Однако, начиная со значения $h_{\theta}=1.8$, величина m_0 приближается к единице и практически не изменяется с увеличением h_{θ} . В этом случае у ПМН_θ сигнала значительно уменьшается энергия на нулевой гармонике, что можно использовать для повышения помехоустойчивости приема ПМН_θ сигналов на фоне узкополосных помех фиксированной поляризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев К.Г., Филатов А.Д., Сополев А.П. Поляризационная модуляция. - М.: Сов. радио, 1974.
2. Гусев К.Г. Поляризационная модуляция. - Харьков: ХВКИУ, 1968.
3. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования. - М.: Наука, 1976.
4. Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Многопозиционные сигналы с поляризационной манипуляцией // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Радиотехника и радиофизика. - 2007. - № 112. - С. 52-56.
5. Яманов Д.Н., Жаворонков С.С. Анализ спектральных характеристик сигналов с непрерывной поляризационно-частотной манипуляцией // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Радиотехника и радиофизика. - 2006. - № 98. - С. 51-54.
6. Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Поляризационная манипуляция с непрерывным изменением параметров поляризации по гармоническому закону // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2010. - № 158. - С. 133-136.
7. Яманов Д.Н., Жаворонков С.С. Помехоустойчивость поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением параметров поляризации по гармоническому закону // Научный Вестник МГТУ ГА, серия Радиотехника и радиофизика. - 2007. - № 112. - С. 47-51.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF SIGNALS
WITH CONTINUOUS POLARIZATION SHIFT KEYING

Anikin P.V., Zhavoronkov S.S., Jamanov D.N.

Results of the analysis of the spectral characteristics of signals with polarization shift keying with continuous sequential change of the angle of orientation are given. The values of the generalized coefficient of modulation depth and width of the energy spectrum for the polarized signals with different polarization index manipulation are dealt with.

Keywords: spectral characteristics, coefficient of modulation, energy spectrum.

Сведения об авторах

Аникин Павел Валерьевич, 1980 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), аспирант МГТУ ГА, автор 2 научных работ, область научных интересов – радиосвязь.

Жаворонков Сергей Сергеевич, 1982 г.р., окончил МГТУ ГА (2005), кандидат технических наук, автор 21 научной работы, область научных интересов – радиосвязь.

Яманов Дмитрий Николаевич, 1952 г.р., окончил МИИГА (1978), кандидат технических наук, профессор кафедры технической эксплуатации радиоэлектронного оборудования воздушного транспорта МГТУ ГА, автор 98 научных работ, область научных интересов – радиосвязь.