

УДК 621.321.266

## СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-МАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

П.В. АНИКИН, Д.Н. ЯМАНОВ

**Статья представлена профессором доктором физ.-мат. наук Козловым А.И.**

Приведена методика анализа спектральных характеристик поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением угла эллиптичности. Определены особенности спектрального анализа таких сигналов. Рассмотрена необходимость полного спектрального анализа двумерных сигналов. Полученные результаты позволяют оценить перераспределение энергии между гармоническими составляющими (с учётом их поляризационной структуры) при изменении величины девиации угла эллиптичности.

**Ключевые слова:** полный спектральный анализ, поляризационно-манипулированные сигналы с непрерывным изменением угла эллиптичности, поляризационная структура сигналов.

Поляризационно-модулированный (манипулированный) сигнал является двумерным сигналом. Процесс модуляции параметров поляризационной структуры ( $\varphi$ -угла эллиптичности и  $\theta$ -угла пространственной ориентации эллипса поляризации) является смешанным видом модуляции, при котором модулируются как амплитуды поляризационно ортогональных составляющих, так и их фазы, при этом сумма квадратов амплитуд ортогональных составляющих остаётся постоянной в процессе модуляции. В результате спектральный состав поляризационно-манипулированного сигнала оказывается значительно сложнее, чем спектры одномерных сигналов [1,2,3].

Для оценки спектральной эффективности поляризационно-модулированных (ПМ) сигналов необходим полный спектральный анализ двумерных сигналов, т.е. анализ амплитудного и фазового спектра ортогональных составляющих и поляризационного спектра всего модулированного колебания.

При анализе поляризационно-модулированного сигнала его необходимо представить в одном из базисов разложения. Наиболее распространёнными базисами разложения являются ортогональное линейное разложение и разложение по двум круговым компонентам. Указанные базисы разложения эквивалентны и позволяют однозначно перейти к описанию поляризационной структуры из одного базиса в другой.

Гармонические составляющие двумерного сигнала являются в общем случае эллиптически поляризованными. Амплитуды ортогональных составляющих одной и той же частоты спектра и разность фаз между ними различны, следовательно, и параметры поляризационной структуры будут не одинаковы. В результате этого каждая из гармоник двумерного сигнала будет обладать определённой поляризационной структурой. В совокупности отдельные гармоники ПМ сигнала в определённой полосе частот образуют поляризационный спектр двумерного сигнала.

Следовательно, под поляризационным спектром в определённой полосе частот следует понимать совокупность поляризационных структур элементарных гармонических составляющих квазигармонического колебания.

Свойства ПМ сигналов отражают три вида спектров: амплитудный, фазовый и поляризационный [1,2].

Последовательность расчёта поляризационного спектра:

1. Временные реализации ортогональных линейно или кругополяризованных компонент двумерного сигнала с помощью преобразования Фурье представить в виде совокупности монохроматических составляющих.

2. Для каждой из ортогональных компонент членов с одинаковыми частотами определить амплитуду сигнала и фазу. Совокупность амплитуд коэффициентов разложения образуют амплитудный, а их фазы - фазовый спектры ортогональных линейно поляризованных компонент сигнала.

3. Определить параметры поляризационной структуры одноимённых гармоник, т.е.

угол пространственной ориентации эллипса поляризации и коэффициент эллиптичности волны.

4. Получить спектры, по которым оценить: полосу частот спектра; состав гармонических составляющих; распределение энергии по спектру; поляризационную структуру гармоник.

Определим спектральный состав ортогональных линейно поляризованных компонент поля при непрерывном изменении угла эллиптичности. Для упрощения задачи используем модуляцию синусоидальным колебанием. В дальнейшем указанный случай можно будет обобщить на более сложный - поляризационную манипуляцию с непрерывным изменением угла эллиптичности (ПМН<sub>φ</sub>) [4,5].

Спектр определим путём численного расчёта в среде LabView с использованием приведённой выше методики расчёта и рекомендаций приведённых в [1,2].

Компоненты поля при отсутствии модуляции по углу пространственной модуляции эллипса поляризации могут быть представлены следующими выражениями:

$$\begin{cases} e_x(t) = E_0(\cos X \cos \theta_0 \cos \omega t \mp \sin X \sin \theta_0 \sin \omega t) \\ e_y(t) = E_0(\cos X \sin \theta_0 \cos \omega t \pm \sin X \cos \theta_0 \sin \omega t) \end{cases} \quad (1)$$

где  $\theta_0$ - постоянное значение угла ориентации эллипса поляризации;  $\varphi_0$ - начальное значение угла эллиптичности;  $\Delta\varphi$ -девиация угла эллиптичности;  $\Omega_\varphi$ -частота модуляции угла эллиптичности.

Вместо приведённого представления ПМ сигналов (1) в [2-5] используется комплексная форма этих сигналов на двойной комплексной плоскости, одна из которых является обычной, временной с осями  $1, j$ , а вторая (с осями  $1, i$ ) соответствует двумерному пространству, в котором существуют ПМ сигналы.

Запись на двойной комплексной плоскости ПМ сигнала имеет следующий вид [2]

$$\tilde{e}(t) = \exp(ij\varphi) \exp(i\theta) \exp[j(\omega t + \psi)]. \quad (2)$$

Такая форма представления волны позволяет в более простом виде производить многие математические выкладки, в том числе и при нахождении спектров ПМ сигналов.

При модуляции угла эллиптичности электромагнитная волна на двойной комплексной аналогичное представление имеет вид

$$\tilde{e}(t) = \exp[-ij(\varphi_0 + \Delta\varphi \sin \Omega_\varphi t)] \exp(i\theta) \exp(j\omega t). \quad (3)$$

В случае, если  $\varphi_0=0$ ,  $\theta_0=0$ , то сигнал ПМ<sub>φ</sub> примет вид:

$$\tilde{e}(t) = \exp(-ij\Delta\varphi \sin \Omega_\varphi t) \exp(j\omega t). \quad (4)$$

Компоненты поля для горизонтальной и вертикальной составляющих определяются следующим образом:

$$\begin{cases} e_x(t) = \text{Re}_i \text{Re}_j [\tilde{e}(t, \varphi)] \\ e_y(t) = \text{Im}_i \text{Re}_j [\tilde{e}(t, \varphi)] \end{cases} \quad (5)$$

В выражении (5)  $\text{Re}_i$ ,  $\text{Im}_i$  означают вещественную и мнимую части в пространственной комплексной плоскости  $(1, i)$ , а  $\text{Re}_j$ - вещественную часть во временной комплексной плоскости  $(1, j)$  [5].

Согласно приведённой методике расчёта получены поляризационные спектры (рис.1) для некоторых значений  $\varphi_0$ ,  $\Delta\varphi$  и  $\theta_0$ .

Из спектров, приведённых на рис.1 можно сделать следующие выводы:

1. Изменение девиации угла эллиптичности при модуляции приводит к перераспределению энергии между гармоническими составляющими.

2. Если  $\Delta\varphi=0,7$ , то практически ширина спектра определяется полосой частот  $\omega \pm \Omega_\varphi$ . Большая часть энергии сосредоточена на несущей частоте.

3. Если  $\Delta\varphi=1,6$ , то спектр расширяется и полоса определяется в основном как  $\omega \pm 2\Omega_\varphi$ . Большая часть энергии сосредоточена на гармониках.

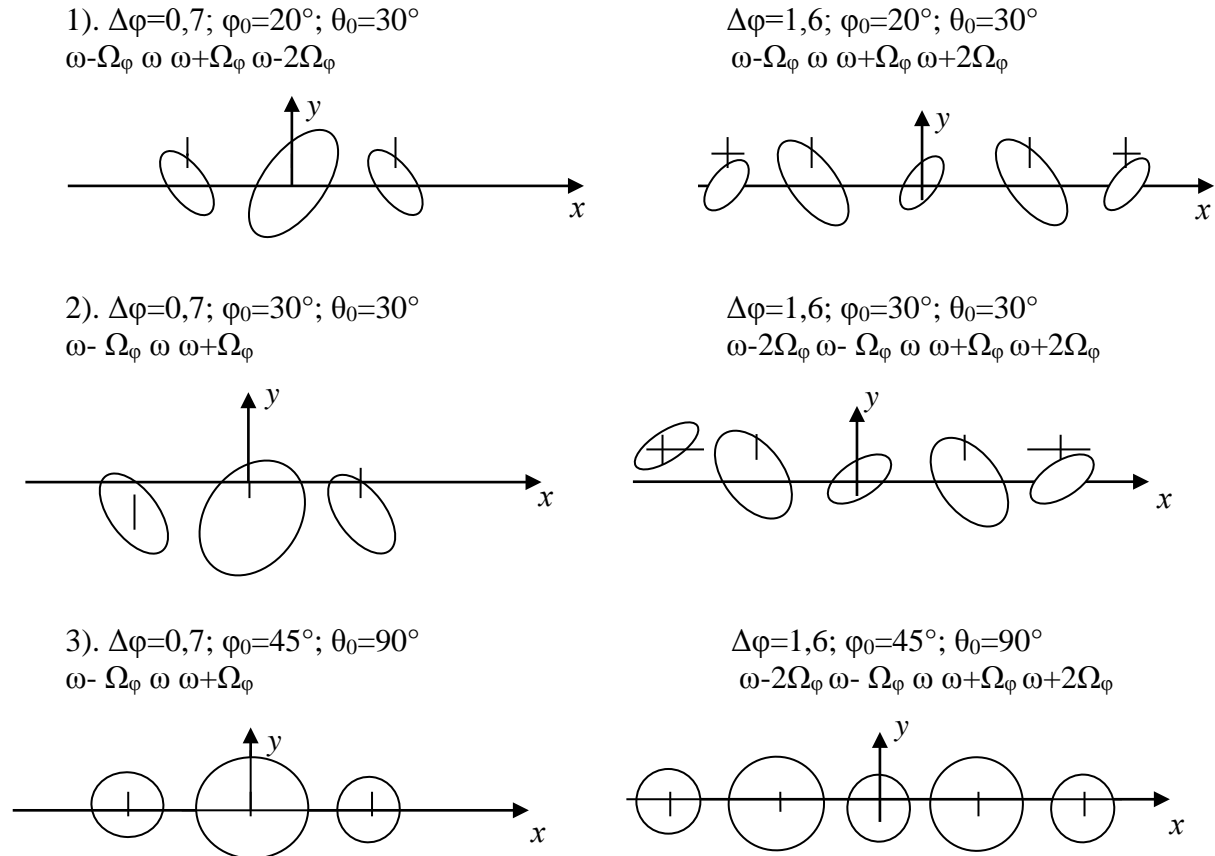


Рис.1. Поляризационные диаграммы ПМ<sub>φ</sub> сигнала ( $\Delta\varphi=0,7$ ;  $1,6$ )

4. Угол эллиптичности всех гармонических составляющих одинаков и совпадает с углом эллиптичности несущего колебания.

5. Эллипс поляризации чётных гармоник ортогонален эллипсу нечётных.

Указанные выводы полностью согласуются с результатами работы [5].

Следует также отметить, что рассмотренная методика позволяет оценить не только поляризационную структуру сигнала, но и помехи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев К.Г. Поляризационная модуляция.- Харьков: ХВКИУ,1968.
2. Гусев К.Г. , Филатов А.Д., Сополев А.П. Поляризационная модуляция.-М.: Сов.радио, 1974.
3. Козлов А.И., Ловин А.И., Сарычев В.А. Поляризация радиоволн., кн.3. Радиополяриметрия сложных по структуре сигналов. М.: Радиотехника, 2008, с. 696.
4. 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.
5. Аникин П.В., Жаворонков С.С., Яманов Д.Н. Спектральные характеристики поляризационно-манипулированных сигналов с непрерывным изменением параметров поляризации // Научный Вестник МГТУ ГА.-2014.-№209. С.108-110.

#### *Spectral characteristics of the polarization-manipulated signals*

*Anikin P.V., Jamanov D.N.*

The article describes the method of analysis of the spectral characteristics of the polarization- manipulated signals with a continuous change in the angle of ellipticity .

Features of the spectral analysis of such signals are defined. Need of the full spectral analysis of two-

dimensional signals is considered. The received results allow to estimate redistribution of energy between harmonious components (taking into account their polarizing structure) at change of size of deviation of a corner of ellipticity. **Keywords:** full spectral analysis, the polarizing manipulated signals with continuous change of a corner of ellipticity, polarizing structure of signals.

#### REFERENCES

1. Gusev K.G. Polyarizacionnaya modulyaciya.- Har'kov: HVKIU,1968.
2. Gusev K.G. , Filatov A.D., Sopolev A.P. Polyarizacionnaya modulyaciya.-M.: Sov.radio, 1974.
3. Kozlov A.I., Lovin A.I., Sarychev V.A. Polyarizaciya radiovoln., kn.3. Radiopolyarimetriya slozhnyh po strukture signalov. M.: Radiotekhnika, 2008, s. 696.
- 4.YAmanov D.N., ZHavoronkov S.S. Analiz spektral'nyh harakteristik signalov s nepreryvnoj polyarizacionno-chastotnoj manipulyaciej//Nauchnyj Vestnik MGTU GA, seriya radiotekhnika i radiofizika.-2006.-№98.-s.51-54.
- 5.Anikin P.V., ZHavoronkov S.S., YAmanov D.N. Spektral'nye harakteristiki polyarizacionno-manipulirovannyh signalov s nepreryvnym izmeneniem parametrov polyarizacii // Nauchnyj Vestnik MGTU GA.-2014.-№209. S.108-110.

#### Сведения об авторах

**Аникин Павел Валерьевич**, 1980 г.р., окончил МГТУ ГА (2007), аспирант кафедры ТЭРЭО ВТ, область научных интересов-радиосвязь, адрес электронной почты- Anikin\_Pasha@mail.ru.

**Яманов Дмитрий Николаевич**, 1952 г.р., окончил МИИГА (1978 г.), кандидат технических наук, профессор МГТУ ГА, опубликовал 99 работ, область научных интересов – радиосвязь, адрес электронной почты- d.yamanov@mstuca.aero.