

ФАЗОВІ СПІВВІДНОШЕННЯ В ОКОЛІ ТОЧОК НУЛЬОВИХ АМПЛІТУД СИГНАЛІВ

Аналіз поведінки фази в околі точок нульових амплітуд сигналу проведено в термінах відповідного аналітичного сигналу. Наведено результати таких досліджень для сигналів, утворених адитивним та мультиплікативним способами.

The analysis of behavior of a phase in the neighborhood of points of zero signal amplitudes is carried out in terms of the associated analytical signal. The results of such research for signals formed by addition and multiplication are presented.

Фаза, як один із параметрів сигналів, широко використовується в інформаційних системах різного призначення [1]. Зокрема, це радіо і оптико-електронні фазові системи зв'язку, навігації, пеленгації і т. п. Для такого типу систем характерні висока завадостійкість та достовірність одержаних результатів. При цьому специфічною і актуальною була і залишається задача, пов'язана з дослідженням поведінки фази в околі точок сигналу, де його амплітуда зменшується до нульового рівня. Така ситуація може бути як наслідком цілеспрямованого формування сигналів із нулями амплітуд, так і наслідком дії завади. Загалом нулі амплітуд можуть бути результатом адитивних (інтерференційних) або мультиплікативних процесів.

У даній роботі досліджуються особливості поведінки фази стосовно саме цих двох випадків.

Поняття фази в інженерній практиці тісно пов'язане з вузькосмуговими процесами [2], що допускають математичний опис сигналу у вигляді

$$S(t) = S_0 \cos(2\pi ft + \Phi_0) = S_0 \cos \Phi(t), \quad (1)$$

де S_0 – амплітуда, $\Phi(t)$ – фаза сигналу (1).

Очевидно, що тут фаза є лінійною функцією часу.

$$\Phi(t) = 2\pi ft + \Phi_0, \quad (2)$$

де f – частота, Φ_0 – початкова фаза сигналу.

Останнім часом в інженерних і дослідницьких колах спостерігається тенденція зростання інтересу до шумоподібних, тобто широкосмугових сигналів [3]. При цьому користуються більш загальним означенням фази (2), беручи до уваги аналітичний сигнал [4]

$$\tilde{Z}(t) = S(t) + \hat{S}(t), \quad (3)$$

де $\hat{S}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S(\tau)}{t - \tau} d\tau$ – перетворення Гільберта

для сигналу $S(t)$, або його спряжене значення.

Тоді фаза визначається як

$$\Phi(t) = \arctan \frac{\hat{S}(t)}{S(t)}. \quad (4)$$

Таке визначення фази справедливе для довільних (вузько і широкосмугових) сигналів.

У даному випадку під амплітудою мають на увазі:

$$Z(t) = \sqrt{S^2(t) + (\hat{S}(t))^2}, \quad (5)$$

а частоту сигналу визначають як

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{(S(t))' \hat{S}(t) - S(t) (\hat{S}(t))'}{S^2(t) + (\hat{S}(t))^2}, \quad (6)$$

де штрихом позначено похідні за часом.

Враховуючи вищевказане, розглянемо поведінку фази сигналів утворених із двох простих гармонічних сигналів:

$$S_1(t) = S_{01} \cos(2\pi f_1 t),$$

$$S_2(t) = S_{02} \cos(2\pi f_2 t).$$

А саме:

$$S_a(t) = S_1(t) + S_2(t), \quad (7a)$$

утвореного в адитивний спосіб (рис. 1а), де $f_1 \geq f_2$; а

$$S_m(t) = S_{01} \cos(2\pi f_2 t) \cos(2\pi f_1 t), \quad (7б)$$

утвореного у мультиплікативний спосіб (рис. 1б), де $f_1 \gg f_2$.

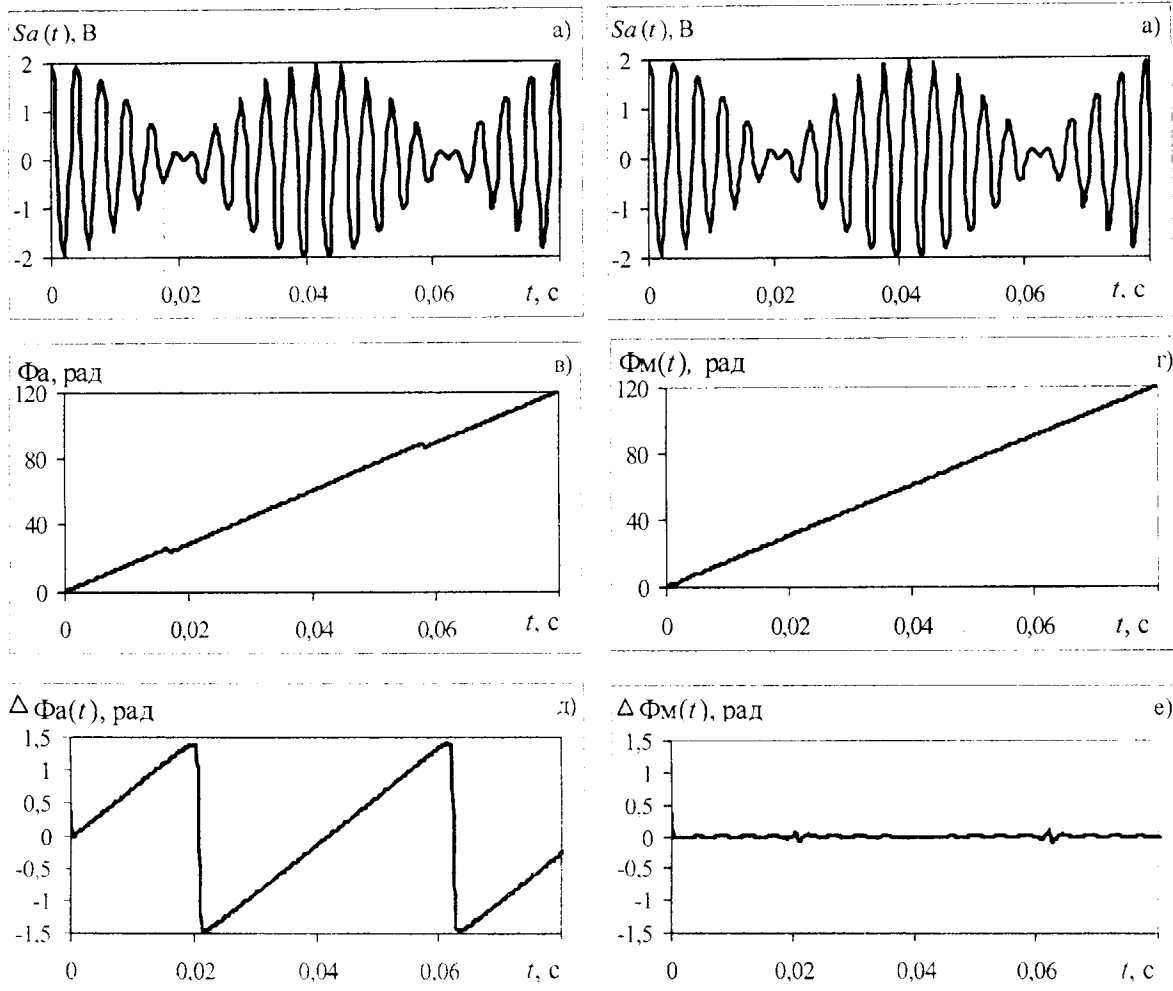


Рис.1. Осцилограми адитивного сигналу (а) при $S_{01}=1, S_{02}=1, f_1=264$ Гц, $f_2=240$ Гц та мультиплікативного сигналу (г) при $S_0=2, f_1=12, f_2=240$ і відповідних ім фаз (в, д) та їх змін (д, е).

Побіжний, візуальний аналіз осцилограм на рис.1а,б не дає підстав говорити про якусь суттєву відмінність між ними. Навпаки можна сказати, що це досить подібні між собою високочастотні сигнали, огинаючі яких сягають нульового значення. Такі ж результати впливають із аналізу поведінки фази (4), що графічно подано у вигляді зростаючих функцій часу (рис.1в,г). Для більш детального аналізу в подальшому до уваги бралися зміни фази

$$\Delta\Phi(t) = \Phi(t) - 2\pi f_0 t, \quad (8)$$

Тут вважалося, що $\Phi(t)$ описується виразом (2), а f_0 – середня частота, що є результатом апроксимації за методом лінійної регресії частоти (6). Зауважимо, що в даній роботі перетворення Гільберта знаходили через стандартну процедуру перетворення Фур'є, без використання (3).

Як видно, у випадку мультиплікативного сигналу (рис.1д) особливих змін у ході зміни фази $\Delta\Phi_M(t)$ не спостерігалося. Натомість $\Delta\Phi_A(t)$ у точках нульових амплітуд сигналу зазнає змін на π радіан (рис.1е).

У цілому поведінку амплітуди й фази сигналу можна наглядно подати годографом, побудованим у площині аналітичного сигналу (рис.2). При цьому біля початку координат (в околі нульових амплітуд) годографи сигналів матимуть вигляд "сердечка" (рис.2), в якому при адитивному сигналі (рис.2а,в) появиться "сльозинка".

Дослідження, за допомогою апаратурно-програмного комплексу [5] низки сигналів, показали, що ймовірність появи нулів їх амплітуд дуже низька. Практично можна говорити про поведінку сигналі тільки в околі нуля його амплітуди. Така

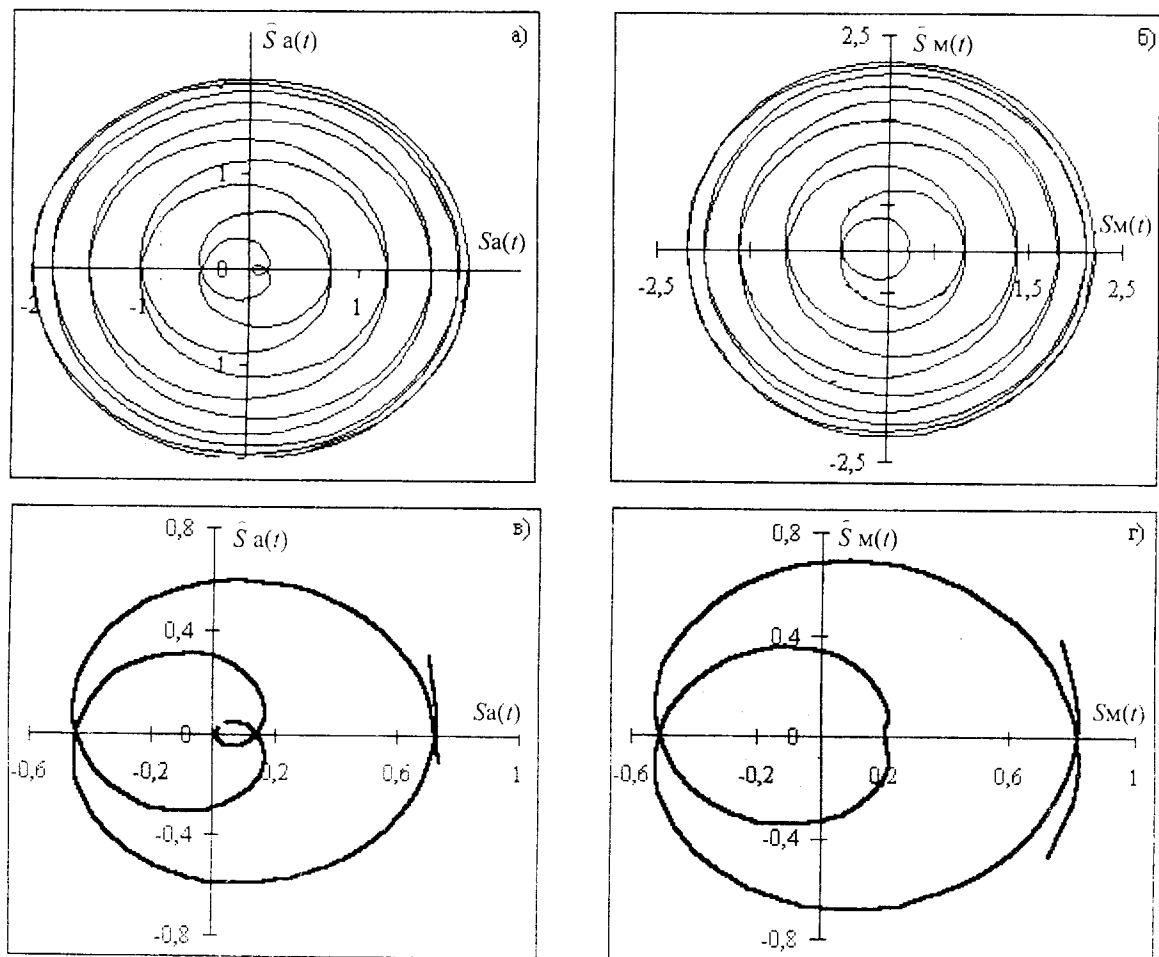


Рис.2. Голографи адитивного (а) і мультиплікативного (б) сигналів і відповідні їм ділянки біля початку координат (в,г).

ситуація характерна як для детермінованих, так і хаотичних сигналів. Зміна фази на π радіан спостерігалася для хаотичних сигналів, одержаних на виході генератора Чуа. Очевидно, що при формуванні таких сигналів, значний вплив мають адитивні процеси.

Отже, аналіз в області аналітичного сигналу дає можливість оцінити поведінку реального сигналу, зокрема його фази, в околі точок із нульовою амплітудою. А також появляється можливість ідентифікувати адитивний чи мультиплікативний характер утворення сигналу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пестряков В.Б. Фазовые радиотехнические системы (основы статистической теории). - М.: Сов. радио, 1968.
2. Асеев Б.П. Фазовые соотношения в радиотехнике. - М.: Связь и радио, 1959.
3. Дмитриев А.С., Каргинский Б.Е., Максимов Н.А., Пачас Н.А., Старков С.О. Перспектива создания прямо хаотических систем связи в радио- и СВЧ - диапазонах // Радиотехника. - 2000. - №3. - С.9-20.
4. Вакман Д. Е. Вайнштейн Л. А. Амплитуда, фаза, частота – основные понятия теории колебаний // УФН. - 1977. - 123, №4. - С.657-682.
5. Бучковський І.А., Горкавчук А.Г., Ломанець В.С., Максимяк П.П. Ідентифікація завод інформаційних сигналів // Науковий вісник ЧНУ. Вип.112: Фізика.Електроніка. - Чернівці: ЧНУ, 2001. - С.53-53.