

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ЗСУВУ ФАЗ КВАЗІГАРМОНІЙНИХ СИГНАЛІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація. Розглянуто параметричний метод вимірювання фази гармонійного сигналу, який, на відміну від існуючих, може застосовуватись для зашумлених сигналів з нестабільною частотою.

Ключові слова: частота сигналу, квазіперіодична функція, огинаюча сигналу.

Abstract. A parametric method for measuring the phase of a harmonic signal is considered, which, in contrast to the existing ones, can be used for noisy signals with an unstable frequency.

Keywords: signal frequency, quasiharmonic function, signal envelope.

Необхідність вимірювання різниці фаз сигналів виникає при вирішенні задач радіолокації, побудови характеристик фазованих антенних решіток, а також у широкому спектрі сучасних засобів вимірювання і контролю параметрів об'єктів і технологічних операцій. Існує велика кількість відомих методів вимірювання різниці фаз сигналів – метод компенсації фази, метод перетворення часового інтервала в напругу, метод с перетворення частоти [1], цифровий метод підрахунку імпульсів [1], ряд кореляційних методів, серед яких метод дотичних [2]. Однак, дані методи можливо застосовувати за умови сталості частоти, а точність вимірювання значною мірою залежить від рівня адитивних завад. В роботі [3] запропоновано методику вимірювання різниці фаз, яка може застосовуватись для обробки зашумлених сигналів зі змінними за час вимірювання параметрами.

Розглянемо два гармонічних сигнала з однаковими частотами, різними фазами і різними огинаючими [3]:

$$x_1(t) = a_1(t) \sin[\theta(t)], \quad x_2(t) = a_2(t) \sin[\theta(t) + \varphi_0].$$

Нехай параметри даних сигналів змінюються повільно:

$$\omega(t) = \dot{\theta}(t), \quad \dot{\omega}(t) = \ddot{\theta}(t) \sim \mu \omega^2(t), \quad \dot{a}_1(t) \sim \mu a_1(t) \omega(t), \quad \dot{a}_2(t) \sim \mu a_2(t) \omega(t), \quad 0 < \mu \ll 1,$$

де $a(t)$ – огинаюча, $\omega(t) = \dot{\theta}(t)$ – миттєва частота.

Нехай Δ – деякий часовий інтервал, такий, що $\omega(t)\Delta < \pi/2$. При дискретизації сигналу з кроком Δt інтервал Δ може містити декілька інтервалів Δt , тобто $\Delta = Q\Delta t$.

Візьмемо значення сигналів в точках $(t - i\Delta)$, $(i = 0, \dots, 4)$ і розкладемо їх в ряд біля центральної точки $(t - 2\Delta)$ з кроком Δ і 2Δ

$$x_1(t - i\Delta) = (a_1(t - 2\Delta) + \dot{a}_1(t - 2\Delta)\Delta(2 - i) + o(\mu)) \cdot \sin\left(\theta(t - 2\Delta) + \omega(t - 2\Delta)\Delta(2 - i) + \frac{\dot{\omega}(t - 2\Delta)}{2}((2 - i)\Delta)^2 + o(\mu^2)\right),$$

$$x_2(t - i\Delta) = (a_2(t - 2\Delta) + \dot{a}_2(t - 2\Delta)\Delta(2 - i) + o(\mu)) \cdot \sin\left(\theta(t - 2\Delta) + \omega(t - 2\Delta)\Delta(2 - i) + \frac{\dot{\omega}(t - 2\Delta)}{2}((2 - i)\Delta)^2 + o(\mu^2) + \varphi_0\right).$$

Для простоти введемо позначення

$$a_1(t - 2\Delta) = a_1, \quad a_2(t - 2\Delta) = a_2, \quad \theta(t - 2\Delta) = \theta, \quad \omega(t - 2\Delta) = \omega.$$

Розглянемо дві комбінації відліків сигналу [3]

$$A_1(t) = x_1(t - 4\Delta)x_2(t) - x_1(t)x_2(t - 4\Delta) \approx a_1 a_2 [\sin(\theta - 4\omega\Delta)\sin(\theta + \varphi_0) - \sin(\theta)\sin(\theta - 4\omega\Delta + \varphi_0)] =$$

$$= \frac{a_1 a_2}{2} [\cos(4\omega\Delta + \varphi) - \cos(4\omega\Delta - \varphi)] = -a_1 a_2 \sin(4\omega\Delta)\sin(\varphi_0), \quad (1)$$

$$A_2(t) = x_1(t-3\Delta)x_2(t-\Delta) - x_1(t-\Delta)x_2(t-3\Delta) \approx a_1a_2[\sin(\theta-3\omega\Delta)\sin(\theta-\omega\Delta+\varphi_0) - \sin(\theta-\omega\Delta)\sin(\theta-3\omega\Delta+\varphi_0)] = \\ = \frac{a_1a_2}{2}[\cos(2\omega\Delta+\varphi_0) - \cos(2\omega\Delta-\varphi_0)] = -a_1a_2\sin(2\omega\Delta)\sin(\varphi_0). \quad (2)$$

Відношення даних величин дає вираз для оцінки частоти

$$2\cos(2\omega\Delta) \approx \frac{x_1(t-4\Delta)x_2(t) - x_1(t)x_2(t-4\Delta)}{x_1(t-3\Delta)x_2(t-\Delta) - x_1(t-\Delta)x_2(t-3\Delta)} = \frac{A_1(t)}{A_2(t)}, \quad (3)$$

яка відповідає моменту часу $(t-2\Delta)$.

Аналогічно співвідношенням (1) і (2), побудовано ще дві функції

$$A_3(t) = x_1(t-3\Delta)x_2(t-\Delta) - x_1(t-2\Delta)x_2(t-2\Delta) \approx a_1a_2[\sin(\theta-3\omega\Delta)\sin(\theta-\omega\Delta+\varphi_0) - \sin(\theta-2\omega\Delta)\sin(\theta-2\omega\Delta+\varphi_0)] = \\ = \frac{a_1a_2}{2}[\cos(2\omega\Delta+\varphi_0) - \cos(\varphi_0)] = -a_1a_2\sin(\omega\Delta+\varphi_0)\sin(2\omega\Delta), \quad (4)$$

$$A_4(t) = x_1(t-\Delta)x_2(t-3\Delta) - x_1(t-2\Delta)x_2(t-2\Delta) \approx a_1a_2[\sin(\theta-\omega\Delta)\sin(\theta-3\omega\Delta+\varphi_0) - \sin(\theta-2\omega\Delta)\sin(\theta-2\omega\Delta+\varphi_0)] = \\ = \frac{a_1a_2}{2}[\cos(2\omega\Delta-\varphi_0) - \cos(\varphi_0)] = -a_1a_2\sin(\omega\Delta-\varphi_0)\sin(2\omega\Delta) \quad (5)$$

і розглянемо співвідношення вида $\frac{A_3(t) - A_4(t)}{A_3(t) + A_4(t)} = \frac{\sin(\omega\Delta+\varphi_0) - \sin(\omega\Delta-\varphi_0)}{\sin(\omega\Delta+\varphi_0) + \sin(\omega\Delta-\varphi_0)} = \frac{\cos(\omega\Delta)}{\sin(\omega\Delta)} \operatorname{tg}(\varphi_0)$.

Звідки вираз оцінки зсуву фази

$$\operatorname{tg}(\varphi_0) \approx \pm \frac{A_3(t) - A_4(t)}{A_3(t) + A_4(t)} \sqrt{\frac{2A_2(t) - A_1(t)}{2A_2(t) + A_1(t)}}. \quad (6)$$

Якщо час вимірювання розбити на дискретні проміжки з однаковим кроком, тобто $t = n\Delta t$, $n = 0, \dots, N-1$, $\Delta = Q\Delta t$, то зміщення фаз сигналів, виражений тангенсом кута між ними $\operatorname{tg}(\varphi_0)$, може бути знайдено за допомогою метода найменших квадратів шляхом мінімізування похибки.

При цьому вираз для оцінки різниці фаз прийме вид

$$\operatorname{tg}(\varphi_0) \approx \pm \frac{\sum_{n=4Q}^{N-1} (A_3^2[n] - A_4^2[n]) \sqrt{4A_2^2[n] - A_1^2[n]}}{\sum_{n=4Q}^{N-1} ((A_3[n] + A_4[n]) \sqrt{2A_2[n] + A_1[n]})^2}. \quad (8)$$

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чмых М.К. Цифровая фазометрия. / Чмых М.К. – М.: Радио и связь. 1993. – 184 с.
2. O.V. Osadchuk, O.S. Zviyahin, O.P. Chervak, A.Yu. Savitskyi. Phase measurement of periodic signals // PROCEEDINGS of the Vth International Scientific-Practical Conference. PHYSICAL AND TECHNOLOGICAL PROBLEMS OF TRANSMISSION, PROCESSING AND STORAGE OF INFORMATION IN INFOCOMMUNICATION SYSTEMS. NOVEMBER 3-5, CHERNIVTSLI, UKRAINE, P. 142.
3. Квочкин А.И. Параметрический метод измерения разности фаз квазигармонических сигналов / Квочкин А.И., Никитин А.В., Игнатьев В.К. // Инженерный вестник Дона. – 2013. – №3. – С. 43-49.

Савицький Антон Юрійович — канд. техн. наук, доц. кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: Savitskyant@gmail.com.

Звягін Олександр Сергійович — канд. техн. наук, доц. кафедри радіотехніки, Вінницький національний технічний університет.

Savitskyi Anton - candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Vinnitsa National Technical University.

Zvyahin Alexander - candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Radio Engineering, Vinnitsa National Technical University.