

УДК 623.004.67

С.О. Чехута, В.А. Богомолов

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

### **АНАЛІЗ ОПЕРАТИВНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГАРМОНІЧНОГО СИГНАЛУ**

*У роботі проаналізовано оперативний метод вимірювання параметрів гармонічного сигналу.*

**Ключові слова:** *гармонічний сигнал, завадозахищеність.*

#### **Вступ**

**Постановка задачі.** Гармонічні сигнали останнім часом здобувають все більшого поширення в сис-

темах управління. Зменшення часу вимірювання з оптимальною завадозахищеністю при дослідженні відразу декількох параметрів ( $A$ ,  $f$ ,  $\varphi$ ) гармонічного сигналу є важливою науково-технічною задачею,

актуальність якої підтверджується створенням універсальних вимірювачів, які дозволяють забезпечити оперативний метод вимірювання параметрів гармонічного сигналу, враховуючи такі критерії як оперативність, висока швидкодія та завадозахищеність.

**Аналіз літератури.** В сучасних літературних джерелах [1 – 5] описані методи вимірювання параметрів цифрових сигналів. Однак, це питання потребує подальшого дослідження з більш детальним аналізом оперативного методу вимірювання параметрів гармонічного сигналу.

**Метою статті** є аналіз оперативного методу вимірювання параметрів гармонічного сигналу.

### Основний матеріал

Розглянемо оперативний метод вимірювання параметрів гармонічного сигналу. Цей метод дозволяє провести вимірювання всіх трьох параметрів гармонічних сигналів, на випадок коли в сигналі присутня постійна або повільно змінювана складова.

Припустимо, що досліджуваний сигнал, параметри якого вимірюються, описується виразом:

$$u(t) = u_0(t) + \xi(t), \quad (1)$$

причому

$$u_0(t) = A \cos(\omega t + \varphi) + a(t), \quad (2)$$

де  $A$ ,  $\omega$ ,  $\varphi$ , – амплітуда, кругова частота й початкова фаза гармонічного сигналу;  $a(t)$  – повільно змінна адитивна складова сигналу;  $\xi(t)$  – адитивна завада, некорельована з гармонічним сигналом.

Вираз для  $u_0(t)$  представимо в наступному вигляді:

$$u_0(t) = A_x \cos \omega t + A_y \sin \omega t + a(t), \quad (3)$$

де  $A_x = A \cos \varphi$ ,  $A_y = A \sin \varphi$  – відповідно синфазна й квадратурна складові амплітуди гармонічного сигналу. Визначимо характеристики гармонічного сигналу  $u_0(t)$  за високої завадозахищеності й за можливо малий час.

Представимо оперативний метод вимірювання параметрів гармонічного сигналу в аналоговому вигляді. Так як досліджуваний сигнал, параметри якого вимірюються, описується виразом (1), тому:

$$\begin{aligned} \bar{u}_c &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t) \cos \omega t dt; \\ \bar{u}_s &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t) \sin \omega t dt; \\ \bar{u} &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} u(t) dt; \end{aligned} \quad (4)$$

– усереднені за час  $T$  середні значення сигналу  $u(t)$ .

Вирішуючи систему рівнянь (4), знайдемо

$$\hat{A}_x = (\bar{u}_c - \bar{u}_s) / (\bar{c}^2 - \bar{s}^2);$$

$$\hat{A}_y = \bar{u}_s / \bar{s}^2.$$

По синфазній та квадратурній складовим знаходимо оцінку амплітуди гармонічного сигналу

$$\hat{A} = \sqrt{\hat{A}_x^2 + \hat{A}_y^2},$$

а далі початкову фазу відносно середини вимірювального інтервалу  $T$

$$\hat{\varphi} = \arctg \left( \hat{A}_y / \hat{A}_x \right).$$

Оперативний метод вимірювання параметрів гармонічного сигналу в цифровому вигляді.

При цьому час усереднення  $T$  сигналу  $u(t)$  поділяється на парне число інтервалів дискретизації  $2N$ . Тоді загальна кількість точок дискретизації миттєвих значень сигналу  $u(t)$  дорівнює  $(2N+1)$ , часовий інтервал дискретизації  $\Delta t = T/2N$ , а фазовий крок дискретизації  $\alpha = \omega \Delta t = \omega T/2N$ . У цьому випадку вирази для коефіцієнтів  $\bar{c}$ ,  $\bar{s}^2$ ,  $\bar{s}^2$  мають вигляд:

$$\begin{aligned} \bar{c}^2 &= \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N \cos^2 ka = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{\sin(2N+1)\alpha}{(2N+1)\sin \alpha} \right]; \\ \bar{s}^2 &= \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N \sin^2 ka = \frac{1}{2} \left[ 1 - \frac{\sin(2N+1)\alpha}{(2N+1)\sin \alpha} \right]; \\ \bar{c} &= \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N \cos ka = \frac{\sin[(2N+1)\alpha/2]}{(2N+1)\sin(\alpha/2)}, \end{aligned} \quad (5)$$

де  $\bar{c}$ ,  $\bar{c}^2$ ,  $\bar{s}^2$  – середні значення функцій  $\cos^2 \omega t$ ,  $\sin^2 \omega t$ ,  $\cos \omega t$  за час  $T$ . З урахуванням цих рівностей (5) знайдемо:

$$\begin{aligned} \bar{u}_c &= \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N u(k\Delta t) \cos k\alpha; \\ \bar{u}_s &= \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N u(k\Delta t) \sin k\alpha; \\ \bar{u} &= \frac{1}{2N+1} \sum_{k=-N}^N u(k\Delta t). \end{aligned}$$

Хотілося б відзначити важливу перевагу даного методу, що складається в тому, що дисперсію похибки  $\sigma_{\xi}^2$ , а значить і похибки вимірюваних величин можна оцінити за результатами вимірювань.

Визначивши величини  $\hat{A}_x$ ,  $\hat{A}_y$ ,  $\hat{A}_0$ ,  $\omega$  можна оцінити дисперсію похибки як:

$$\begin{aligned} \sigma_{\xi}^2 &= 1/T \times \\ &\int_{-T/2}^{T/2} \left[ u(t) - \hat{A}_0 - \hat{A}_x \cos \omega_0 t - \hat{A}_y \sin \omega_0 t \right]^2 dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} \xi^2(t) dt. \end{aligned} \quad (6)$$

Тут передбачається, що завада  $\xi(t)$  ергодична:

$$\sigma_{\xi}^2 \approx \langle \xi^2 \rangle.$$

Вираз (6) після обчислення інтеграла визначається наступним чином:

$$\sigma_{\xi}^2 = u^2 - A_0^2 - A_x^2 c^2 - A_y^2 s^2 - 2 A_0 A_x c. \quad (7)$$

### Висновки

1. Проаналізовано оперативний метод вимірювання параметрів гармонічного сигналу, який дозволяє не тільки виміряти параметри гармонічного сигналу, але й апаратно визначити похибку вимірювання цих величин.

2. За результатами аналізу визначено, що можна зробити метод адаптивним до рівня перешкоди тобто визначивши дисперсію по формулі (6) або (7), вибрати далі інтервал вимірювання таким чином, щоб одержати при даній дисперсії завади необхідну точність вимірювання.

3. Для інфранизькочастотного сигналу великі значення коефіцієнтів  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_0$  можна зкомпенсувати більшим значенням відношення  $T/\tau$  (або більшим числом відліків  $2N+1$ ), таким чином що параметри такого сигналу можна визначити з великою точніс-

тю навіть за термін часу, якій істотно менше періоду сигналу.

### Список літератури

1. Чинков В.М. *Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник* / В.М. Чинков. – Х.: ХВУ, 2001. – 424 с.
2. Чинков В.М. *Цифрові засоби вимірювальної техніки військового призначення: Підручник. Ч. 1* / В.М. Чинков. – Х.: ХУПС, 2007. – 244 с.
3. Минц М.Я. *Оперативный метод измерения параметров гармонического сигнала* / М.Я. Минц, В.Н. Чинков. – К.: Техніка, 1995. – 7 с.
4. Димов Ю.В. *Метрологія й стандартизація: Підручник* / Ю.В. Димов. – Спб.: Питер, 2004. – 432 с.
5. Волощук Ю.І. *Сигнали та процеси в радіотехніці: Навч. посібник, частина 1* / Ю.І. Волощук. – Х.: ХТУРЕ, 2001. – 550 с.

Прийнято 24.02.2009

**Рецензент:** канд. техн. наук, доц. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### АНАЛИЗ ОПЕРАТИВНОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

С.О. Чехута, В.А. Богомолов

*В работе проанализирован оперативный метод измерения параметров гармонического сигнала.*

**Ключевые слова:** гармонический сигнал, помехозащищенность.

### ANALYSIS OF OPERATIVE METHOD OF MEASURING OF PARAMETERS OF HARMONIC SIGNAL

S.O. Chekhuta, V.A. Bogomolov

*The operative method of measuring of parameters of harmonic signal is analysed in work.*

**Keywords:** harmonic signal, noise immunity.