

УДК 623.004.67

В.В. Бойша

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

**АНАЛІЗ КОРЕЛЯЦІЙНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГАРМОНІК**

*В статті проаналізований кореляційний метод вимірювання коефіцієнта гармонік підвищеної точності на основі цифрової обробки сигналів. Використання даного кореляційного методу вимірювання коефіцієнта гармонік дозволяє підвищити точність вимірювання коефіцієнта гармонік та підвищити автоматизацію процесів вимірювання.*

**Ключові слова:** кореляційний метод вимірювання коефіцієнта гармонік підвищеної точності на основі цифрової обробки сигналів.

**Вступ**

**Постановка задачі.** Застосування кореляційного методу вимірювання коефіцієнта гармонік підвищеної точності на основі цифрової обробки сигналів дозволяє підвищити ефективність виділення вищих гармонік та збільшити точність вимірювання, для розширення частотного діапазону у бік низьких частот, тому питання, які пов'язані з аналізом кореляційного методу вимірювання коефіцієнта гармонік відносяться до важливих науково-технічних задач, актуальність яких полягає у підвищенні точності вимірювання коефіцієнта гармонік.

**Аналіз літератури** У відомій літературі [1 – 3] викладені основні питання стосовно визначення основних понять метрології, інформаційно-вимірювальних технологій та цифрової вимірювальної техніки. В літературі [4] розглянуті кореляційний та взаємно кореляційний методи вимірювання. В літературі [5] розглянуті питання покращення технічних параметрів випрямляючих та транзисторних приладів, але в цих роботах не висвітлюється питання, які присвячені аналізу кореляційного методу вимірювання коефіцієнту гармонік.

**Метою статті** є аналіз методів вимірювання коефіцієнта гармонік, при реалізації одного із них в цифровому вимірювачі нелінійних викривлень.

**Основний матеріал**

Цифровий метод вимірювання коефіцієнта гармонік використовується для вимірювання коефіцієнта гармонік підвищеної точності. При цьому він є показником нелінійних викривлень періодичних електричних сигналів, на основі цифрової обробки кодів їх миттєвих значень, які отримують у  $n$  точках дискретизації на період з допомогою швидкодіючих аналого-цифрових перетворювачів [2]. На відміну від відомих методів вимірювання коефіцієнта гармонік, які ґрунтуються на приблизній формулі, цей метод реалізує точну формулу, що дозволяє позбутися методичної похибки вимірювань [3]. До того ж при використанні запропонованого методу значно

зменшується інструментальна складова похибки [1].

У промислових вимірювачах нелінійних викривлень використовується "фільтровий" метод придушення першої гармоніки вхідного сигналу за допомогою режекторного фільтра з метою виділення з нього вищих гармонік [4]. Коефіцієнт гармонік в таких ВНВ (аналогових і цифрових) визначається по наближеній формулі (2):

$$K_{\Gamma} = \frac{U_B}{U_1} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де  $U_B$  – напруга вищих гармонік;  $U_1$  – напруга першої гармоніки;  $K_{\Gamma}$  – значення коефіцієнта гармонік.

Таким чином, результат виміру коефіцієнта гармонік містить методичну похибку, внесену реалізованою у ВНВ наближеною формулою (2) замість точної формули (1):

$$\tilde{K}_{\Gamma} = \frac{U_B}{U} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де  $\tilde{K}_{\Gamma}$  – приблизне значення коефіцієнта гармонік.

Фільтрові ВНВ мають і інші недоліки: великі похибки вимірювання, внесені режекторними фільтрами (відмінністю їх АЧХ від ідеальної, прямокутної, форми та інструментальних похибок); необхідність попереднього визначення частоти першої гармоніки та настроювання по ній центральної частоти смуги пропускання фільтра, що до того ж приводить до похибок через нестабільність частоти вхідного сигналу; складність забезпечення високої вибіркової [4].

На основі цього, у цієї статті аналізується метод виміру коефіцієнта гармонік, вільний від методичної похибки [4]. Він заснований на кореляційній обробці досліджуваного сигналу  $u(t)$ , при якому в якості базисного, опорного використовується періодичний кусково-ступінчатий сигнал, сформований певним чином з миттєвих значень сигналу  $u(t)$ . Такий метод, очевидно, забезпечує підвищення вибіркової, а також виключення або зменшення похибок, властивих "фільтровому" методу.

Проаналізуємо цей метод. Періодичний сигнал  $u(t)$ , який досліджується піддається дискретизації в  $n$  точках періоду

$$t_k = k \frac{T}{n},$$

де  $k$  – коефіцієнт,  $k = 0, n-1$  розташованих рівномірно по періоду  $T$ . Миттєві значення сигналу  $u(t)$  в точках дискретизації  $t_k$  перетворюються за допомогою АЦП у пропорційні коди  $u(t_k) \equiv u_k$ , за якими визначають миттєві значення опорного решітчастого сигналу  $v_k$  у моменти часу  $t_k$  за формулою

$$v_k = u_k + 2 \sum_{i=0}^{k-1} u_i \cos \frac{(k-i)2\pi}{n}, k = 0, n-1. \quad (3)$$

Таким чином, миттєві значення опорного сигналу дорівнюють:

при  $k = 0$   $v_0 = u_0$ ;

при  $k = 1$   $v_1 = u_1 + 2u_0 \cos \frac{2\pi}{n}$ ;

при  $k = 2$   $v_2 = u_2 + 2u_1 \cos \frac{2\pi}{n} + 2u_0 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n}$  і т.д.

Обчислимо середнє значення добутку миттєвих значень досліджуваного й опорного сигналів

$$S_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k \cdot v_k. \quad (4)$$

Дана формула є процедурою кореляційної обробки сигналів  $u_k$  та  $v_k$ ,  $k = 0, n-1$ .

Підставляючи цю формулу у вираз (3), одержимо

$$S_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k \left[ u_k - 2 \sum_{i=0}^{k-1} u_i \cos(k-i) \frac{2\pi}{n} \right], \quad (5)$$

або

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k^2 + 2 \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{k-1} u_k u_i \cos(k-i) \frac{2\pi}{n} = \\ &= \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{k-1} u_k u_i \cos(k-i) \frac{2\pi}{n}. \end{aligned} \quad (6)$$

Представимо даний вираз у вигляді:

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{k-1} u_k u_i \cos \frac{2\pi k}{n} + \\ &+ \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{k-1} u_k u_i \cos \frac{2\pi k}{n} \sin \frac{2\pi i}{n}, \end{aligned} \quad (7)$$

звідки маємо:

$$S_1 = \frac{2}{n} \left[ \left( \sum_{k=0}^{n-1} u_k \cos \frac{2\pi k}{n} \right)^2 + \left( \sum_{k=0}^{n-1} u_k \sin \frac{2\pi k}{n} \right)^2 \right]. \quad (8)$$

В цій формулі використаємо відомі вирази для коефіцієнтів Фур'є амплітуди першої гармоніки досліджуваного сигналу:

$$B_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k \cos \frac{2\pi k}{n}; \quad (9)$$

$$C_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k \sin \frac{2\pi k}{n}. \quad (10)$$

З урахуванням наведених рівностей для формули (8) маємо:

$$S_1 = \frac{n(B_1^2 + C_1^2)}{2}. \quad (11)$$

Переходячи до середньоквадратичного значення першої гармоніки досліджуваного сигналу:

$$U_1^2 = \frac{B_1^2 + C_1^2}{2} \quad (12)$$

одержимо:

$$S_1 = n \cdot U_1^2, \quad (13)$$

тобто величина  $S_1$ , що знаходиться співвідношенням (4), пропорційна квадрату середньоквадратичного значення напруги першої гармоніки  $U_1$  досліджуваного сигналу  $u(t)$ .

За кодами миттєвих значень  $u_k$  досліджуваного сигналу  $u(t)$  знаходимо величину:

$$S_1 = \sum_{k=0}^{n-1} u_k^2 = n \cdot U^2, \quad (14)$$

тобто величина  $S_2$  пропорційна квадрату середньоквадратичного значення напруги  $U$  досліджуваного сигналу  $u(t)$ .

За отриманими значеннями  $S_1$  і  $S_2$  визначаємо коефіцієнт гармонік досліджуваного сигналу  $u(t)$ , відповідно до рівності (1), використовуючи одне зі співвідношень:

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{U^2 - U_1^2}{U_1^2}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{S_2 - S_1}{S_1}} \cdot 100\% \quad (15)$$

або

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{U^2}{U_1^2} - 1} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{S_2}{S_1} - 1} \cdot 100\%. \quad (16)$$

Як показують формули (15) та (16), вони є точними для коефіцієнта гармонік, тобто пропонується метод не має методичної похибки за рахунок переходу до спрощеної формули (2).

Структурна схема одного з варіантів цифрового вимірювача коефіцієнта гармонік наведена на рис. 1. Вона містить вхідний блок (ВБ), аналого-цифровий

перетворювач (АЦП), блок керування (БК), мікропроцесорний обчислювач (МО) та блок індикації (БІ).

Сигнал  $u(t)$ , який досліджується, подається через вхідний блок ВБ на сигнальний вхід АЦП та на вхід блоку керування БК. Блок керування формує моменти дискретизації  $t_k$  сигналу  $u(t)$ , і в ці моменти здійснює запуск АЦП.

Тим самим на виході АЦП утворюються коди миттєвих значень сигналу  $u(t_k) \equiv u_k$ , які подаються в мікропроцесорний обчислювач МО, де вони записуються в ОЗП.

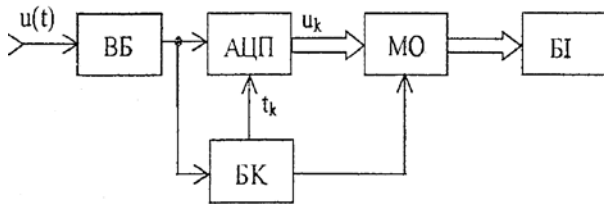


Рис. 1. Структурна схема цифрового кореляційного ВНВ

Після одержання  $n$  кодів  $u_k$  за період  $T$  сигналу  $u(t)$  блок керування БК переводить мікропроцесорний обчислювач МО у режим обчислень, при якому послідовно реалізуються алгоритми обчислень відповідно до формул (3), (4), (14), (15) або (16).

По закінченні обчислень код отриманого значення коефіцієнта гармонік  $K_T$  виводиться для відліку в блок індикації БІ.

## Висновки

1. Проаналізований кореляційний метод вимірювання коефіцієнта гармонік забезпечує підвищення точності вимірювань, тому що він не має методичної похибки, внесеної вищими гармоніками сигналу, і дозволяє зменшити інструментальну

похибку за рахунок виключення операції вузькосмугової фільтрації за допомогою класичних фільтрів. Через це підвищується точність вимірювача, а також безмежно розширюється його частотний діапазон у бік низьких частот.

2. Метод може бути реалізований в аналоговій формі (якщо з кодів  $u_k$  сформувати кусково-ступінчатий базисний сигнал за допомогою цифроаналогового перетворювача) і в цифровій формі.

3. Він може бути використаний в цифровому вимірювачі нелінійних викривлень.

## Список літератури

1. Автоматизація вимірювання / В.П. Балашов, Р.А. Валитов та ін. – М.: Рад. радіо, 1966. – 528 с.
2. Чинков В.М. Цифрові засоби вимірювальної техніки військового призначення. Ч. 1, 2 / В.М. Чинков. – МО, 2007. – 320 с.
3. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки / В.М. Чинков. – Х.: ХВУ, 2001. – 360 с.
4. Горлач А.А. Цифрова обробка сигналів у вимірювальної техніці / А.А. Горлач, М.Я. Мінц, В.М. Чинков. – К.: Техніка, 1985. – 151 с.
5. Мінц М.Я. Аналіз впливу нелінійних викривлень на точність визначення зсуву фаз між основними гармоніками / М.Я. Мінц, Г.Н. Кучеренко // Сб. наук. тр. – Л.: ВНИИ электр. измерит. приборов, 1970. – С. 364-368.

Надійшла до редколегії 9.09.2010

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

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК

В.В. Бойша

*В статье проанализированный корреляционный метод измерения коэффициента гармоник повышенной точности на основе цифровой обработки сигналов. Использование данного корреляционного метода измерения коэффициента гармоник позволяет повысить точность коэффициента гармоник и повысить автоматизацию процессов измерения.*

**Ключевые слова:** корреляционный метод измерения коэффициента гармоник повышенной точности на основе цифровой обработки сигналов.

## ANALYSIS OF CROSS-CORRELATION METHOD OF MEASURING OF COEFFICIENT OF ACCORDIONS

V.V. Boisha

*In the article a examined correlated method of measuring of coefficient of accordions of enhance able exactness is on the basis of digital treatment of signals. application of this cross-correlation method of measuring of coefficient of accordions allows to promote exactness of coefficient of accordions and promote avtomatizac³yu processes of measuring*

**Keywords:** cross-correlation method of measuring of coefficient of accordions of improve exactness on the basis of digital treatment of signals.