

---

УДК 623.004.67

Ю.І. Кушнерук, А.О. Шевченко

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ЦИФРОВИЙ КОРЕЛЯЦІЙНИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГАРМОНІК

*В статті розглянуто кореляційний метод обробки сигналів, його схемна реалізація у цифровому вимірювачі нелінійних викривлень військового призначення.*

**Ключові слова:** основна гармоніка, вимірювач нелінійних викривлень, цифровий кореляційний вимірювач.

### Вступ

**Постановка задачі.** Використання вимірювачів нелінійних викривлень у військових метрологічних органах зумовлено підвищенням вимог до їх якості. Вимірювачі нелінійних викривлень базуються на відомих методах вимірювання коефіцієнтів гармонік, що мають досить складний характер. На відміну від відомих методів вимірювання коефіцієнтів гармонік дозволяє підвищити точність вимірювання за рахунок зменшення інструментальної складової похибки. До того ж при використанні цього методу значно підвищується завадозахисність.

Актуальність даної науково-прикладної задачі зумовлена використанням вимірювачів нелінійних

викривлень у військових метрологічних органах а також постійним підвищенням вимог до їх якості.

**Аналіз літератури.** Питання дослідження цифрових вимірювачів ґрунтовно розглядаються в [1 – 5]. В [1] викладені загальні відомості про цифрові вимірювальні прилади, методи та засоби вимірювання. В [2] розглядаються принципи цифрової обробки сигналів у вимірювальних приладах та системах. В [3] висвітлено основні положення перевірки засобів вимірювання електричних величин. В [4] розглядаються питання організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у ЗС України. В [5] встановлюються правила експлуатації вимірювальної техніки військового призначення. Разом з цим лишаються відкритими питання, які пов'язані з вимірювальними приладами військового

призначення, які реалізують кореляційний метод обробки сигналів.

**Метою статті** є аналіз кореляційний метод обробки сигналів та його використання у вимірювачі нелінійних викривлень.

### Основний матеріал

Розглянемо вимірювач нелінійних викривлень методів вимірювання, який базується на одному із важливіших показників синусоїдних сигналів - коефіцієнта гармонік. Для цього використовуємо цифровий метод вимірювання коефіцієнта гармонік, які ґрунтуються на кореляційній обробці досліджуваного сигналу  $u(t)$ , при якій в якості базисного, опорного, використовується періодичний кусково-східчастий сигнал, сформований з миттєвих значень сигналу  $u(t)$ . Даний метод реалізувати в цифровому вимірювачі нелінійних викривлень

Пригадаємо що коефіцієнт гармонік в вимірювач нелінійних викривлень (ВНВ) (аналогових і цифрових) визначається по одній із формул: наближеній (1) чи точній (2) [1]:

$$\tilde{K}_\Gamma = \frac{U_B}{U} 100\%, \quad (1)$$

$$K_\Gamma = \frac{U_B}{U_1} 100\%. \quad (2)$$

Нелінійні викривлення характеризуються коефіцієнтом гармонік, що визначається співвідношенням (2), де середнє квадратичне значення (СКЗ) напруги вищих гармонік можна представити в наступному вигляді:

$$U_{\hat{A}} = \sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}. \quad (3)$$

Розглянемо метод який реалізовано в цьому приладі. Періодичний сигнал  $u(t)$  дискретизується в  $n$  точках періоду  $t_k = k \frac{T}{n}$ ,  $k = \overline{0, n-1}$  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

$$v_k = u_k + 2 \sum_{i=0}^{k-1} u_i \cos \frac{(k-i)2\pi}{n}, \quad k = \overline{0, n-1}. \quad (4)$$

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  $k = 2$ ,  $v_2 = u_2 + 2u_1 \cos \frac{2\pi}{n} + 2u_0 \cos \frac{2 \cdot 2\pi}{n}$  тощо.

Обчислимо середнє значення добутку миттєвих значень досліджуваного й опорного сигналів

$$S_1 = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k v_k. \quad (5)$$

Ця формула представляє алгоритм кореляційної обробки сигналів  $u_k$  та  $v_k$ ,  $k = \overline{0, n-1}$ . Підставивши цю формулу у вираз (3), одержимо

$$s_i = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_i \cos(k-i) \frac{2\pi}{n}, \text{ або}$$

$$s_i = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k^2 + 2 \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{k-1} u_k u_i \cos(k-i) \frac{2\pi}{n} =$$

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

Представимо даний вираз у вигляді

$$s_i = \frac{2}{n} \sum_{k=0}^{n-1} u_k u_i \cos \frac{2\pi k}{n} \cos \frac{2\pi i}{n} +$$

$$+ \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{i=0}^{k-1} u_k u_i \sin \frac{2\pi k}{n} \cos \frac{2\pi i}{n}.$$

звідки маємо

$$s_i = \frac{2}{n} \left[ \left( \sum_{k=0}^{n-1} u_k \cos \frac{2\pi k}{n} \right) + \sum_{k=0}^{n-1} u_k \sin \frac{2\pi k}{n} \right]. \quad (6)$$

В цій формулі скористаємося відомими виразами для коефіцієнтів Фур'є амплітуди першої гармоніки досліджуваного сигналу [2]:

$$C_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{n-1} u_k \sin \frac{2\pi k}{n};$$

$$B_1 = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{n-1} u_k \cos \frac{2\pi k}{n}.$$

Враховуючи наведені рівності для формули (6)

маємо:  $S_1 = \frac{n(B_1^2 + C_1^2)}{2}$ . Переходячи до середньоквадратичного значення першої гармоніки досліджуваного сигналу  $U_1^2 = \frac{B_1^2 + C_1^2}{2}$  одержимо

$$S_1 = nU_1^2, \quad (7)$$

тобто величина  $S_1$ , що знаходиться за співвідношенням (5), 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

$$S_2 = \sum_{k=0}^{n-1} u_k^2 = nU^2, \quad (8)$$

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, відповідно до рівності (2), використовуючи одне зі співвідношень:

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{u^2 - u_2^2}{u_1^2}} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{S^2 - S_2^2}{S_1}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

або 
$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{u^2}{u_1^2} - 1} \cdot 100\% = \sqrt{\frac{S_2}{S_1} - 1} \cdot 100\% \quad (10)$$

Виходячи з формул (9) та (10), можна казати що вони є точними для коефіцієнта гармонік, тобто запропонований метод не має методичної похибки за рахунок переходу до спрощеної формули (1).

Схемна реалізація цифрового вимірювача нелінійних викривлень заснованого на розглянутому вище методі подана на рис. 1.

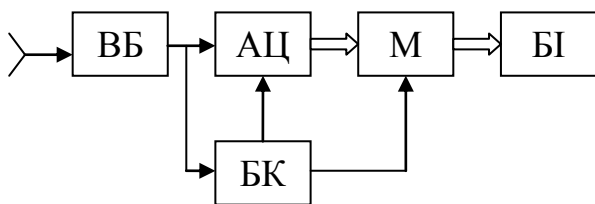


Рис. 1. Структурна схема цифрового вимірювача нелінійних викривлень

В поданий схемі:

- ВБ - вхідний блок;
- АЦП - аналого-цифровий перетворювач;
- БК - блок керування;
- МО - мікропроцесорний обчислювач;
- БІ - блок індикації.

Досліджуваний сигнал  $u(t)$  подається через ВБ на сигнальний вхід АЦП та на вхід БК, запуск АЦП здійснюється в моменти дискретизації  $t_k$  сигналу  $u(t)$  які формує БК. На виході АЦП утворюється коди миттєвих значень сигналу  $u(t_k) \equiv u_k$ , які подаються в МО, де вони записуються в ОЗП.

Після одержання  $n$  кодів  $u_k$  за період  $T$  сигналу  $u(t)$  БК переводить МО у режим обчислень, при якому послідовно реалізуються алгоритми обчислень відповідно до формул (4), (5), (8), (9) або (10). По закінченню обчислень код отриманого значення коефіцієнта гармонік  $K_{\Delta}$  виводиться для відліку в БІ.

## Висновки

1. Запропонований цифровий 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. В подальшому дослідження будуть направлені на аналіз та оцінку похибок КМВКГ, що реалізований у ЦКВНВ.

## Список літератури

1. Чинков В.М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підр. / В.М. Чинков. – Х.: НТУ «ХПІ», 2005. – 523 с.
2. Андриянов А.В. Цифровая обработка сигналов в измерительных приборах и системах: Учебник / А.В. Андриянов, И.И. Шпак. – Минск: Высшая школа, 1987. – 176 с.
3. Метрологическое обеспечение и поверка средств измерений электрических величин: Учеб. пос. / С.И. Кондрашов, В.К. Гусельников и др. – Х. НТУ «ХПИ», 2007. – 287 с.
4. Войтенко С.С. Нормативны та організаційні основи метрологічного забезпечення військ (сил): навч.-метод. пособ. / С.С. Войтенко., С.В. Герасимов— Х.: ХУПС, 2012. – 292 с.
5. Наказ заступника Міністра оборони з озброєння – начальника озброєння ЗС України «Про затвердження Керівництва з організації та порядку експлуатації вимірювальної техніки у ЗС України» від 1.06.2001.

Поступила в редколлегию 20.02.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ЦИФРОВОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ГАРМОНИК

Ю.И. Кушнерук, А.А. Шевченко

*В статье рассмотрен корреляционный метод обработки сигналов, его схемная реализация в цифровом измерителе неэлектрических искривлений военного предназначения.*

**Ключевые слова:** основная гармоника, измеритель нелинейных искривлений, цифровой корреляционный измеритель.

## DIGITAL KORELYACIONNYY OF ACCORDIONS COEFFICIENT MEASURING METHOD

Yu.I. Kushneruk, A.A. Shevchenko

*In the article the cross-correlation method of treatment of signals, his scheme realization, is considered in the digital measuring device of unelectrical curvatures of military destiny.*

**Keywords:** basic accordion, measuring device of nonlinear curvatures, digital cross-correlation measuring device.