

УДК 621.317

Р.В. Петросян, асист.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

ПРО ОДНУ ПОХИБКУ ВИМІРУ СИМЕТРИЧНИХ СКЛАДОВИХ І ЗАСІБ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ

(Представлено д.т.н., проф. Маюйловим В.П.)

Запропоновано метод оцінки похибки симетричних складових, що реалізований на базі цифрових фільтрів симетричних складових з використанням багатоканального АЦП. Дано рекомендації зі зменшення даної похибки.

У загальному вигляді пристрій виміру симетричних складових можна представити як «чорний ящик», що складається з двох частин: схеми сполучення *СС* і формувача симетричних складових *ФСС* (рис. 1).

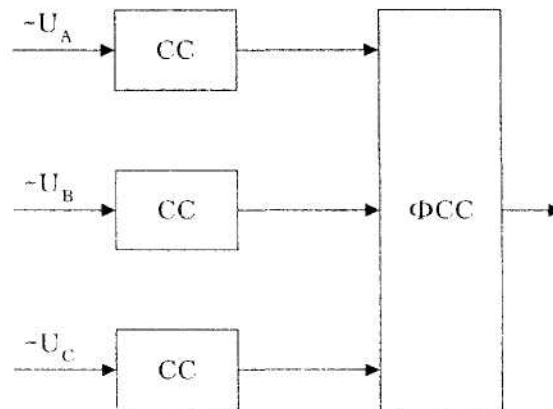


Рис. 1

СС являє собою аналоговий пристрій, що забезпечує приведення вхідних рівнів сигналів U_A , U_B , U_C до рівнів, необхідних для *ФСС*. Основна вимога, що висувається до структурної схеми на рис. 1, – ідентичність трьох каналів *СС*. Для цього необхідно мінімізувати помилки (тепловий шум, дробовий шум, дрейф нуля ОП й ін.), що виникають у *СС*, які досить широко висвітлені в літературі [1, 2 та ін.].

При розробці цифрового пристрою симетричних складових у *ФСС* намагаються не включати АЦП у кожний канал, а використовувати один АЦП зі схемою комутації *СК*, що забезпечує комутацію необхідного каналу в необхідний момент часу пристроєм керування *ПК* (рис. 2).

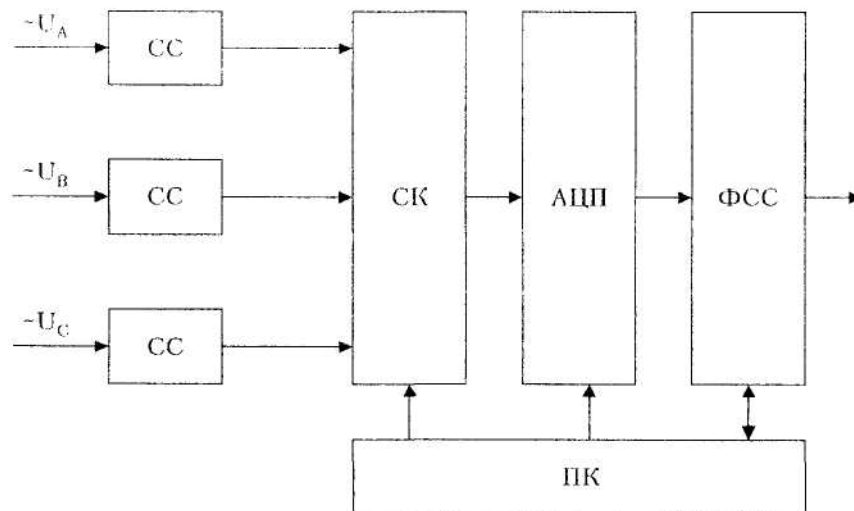


Рис. 2

Застосування АЦП зі СК дозволяє у більшості випадків спростити схему і знизити вартість розроблявального пристрою, про що і свідчить широке поширення багатоканальних плат АЦП для ЕОМ з РСІ-шиною. Розробка пристроїв виміру, побудованих на базі таких плат, не призводить до будь-яких проблем, якщо кожний канал оброблюється окремо.

Використання такого принципу зняття відліків для пристрою виміру симетричних складових призводить до виникнення помилки, яку можна пояснити за рис. 3-4.

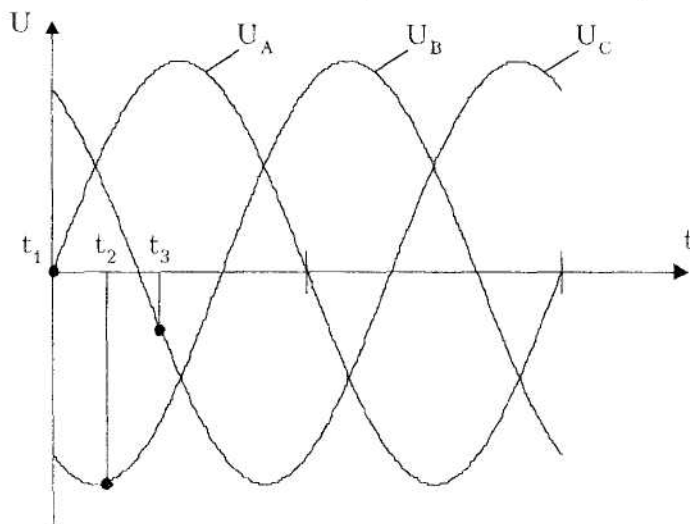


Рис. 3

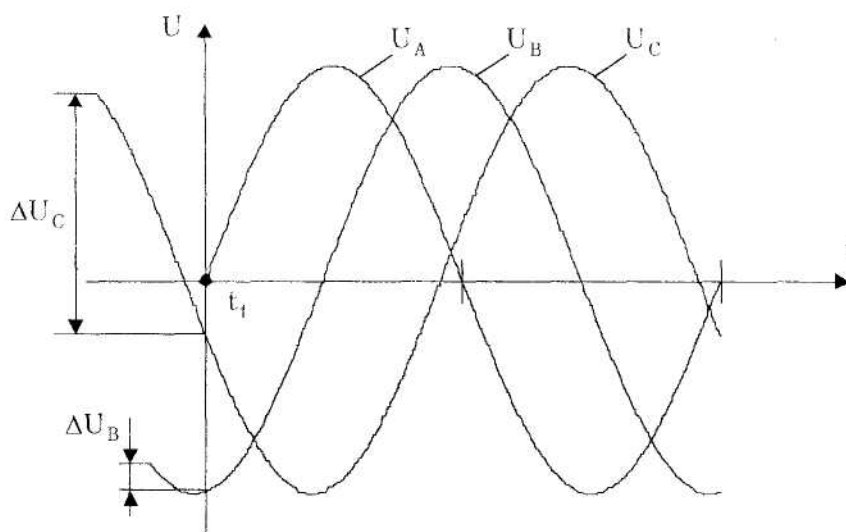


Рис. 4

Як видно з рис. 3-4, зняття відліків з фаз U_A , U_B , U_C при комутації призводить до того, що ФСС буде сприймати як зсув на визначений кут, тобто моменти часу t_1 , t_2 , t_3 зійдуться в одну точку t_1 . Відповідно до рис. 3-4 кут зсуву для фази В буде дорівнювати:

$$\varphi_B = \omega(t_2 - t_1) = \omega \cdot \Delta t, \tag{1}$$

а для фази С:

$$\varphi_C = \omega(t_3 - t_1) = \omega \cdot 2\Delta t, \tag{2}$$

де Δt – час комутації.

Зсув кута відбувся для фаз В і С, тому що в даному випадку комутація відбувається в послідовності фаз А, В, С відповідно. Очевидно, – чим менше Δt , тим точніше будемо мати результати виміру симетричних складових. Тому необхідно мати АЦП з часом перетворення, що значно перевищує період дискретизації. Оцінімо необхідний час комутації.

Спочатку визначимо абсолютні похибки ΔU_B і ΔU_C .

Як відомо, трифазна система функціонує відповідно до виразів [3]:

$$\begin{aligned} U_A(t) &= U_A \sin \omega t, \\ U_B(t) &= U_B \sin(\omega t - 2\pi / 3), \\ U_C(t) &= U_C \sin(\omega t + 2\pi / 3). \end{aligned} \quad (3)$$

Після дискретизації (3) вирази приймуть вигляд:

$$\begin{aligned} U_A(kT) &= U_A \sin \omega kT, \\ U_B(kT) &= U_B \sin(\omega kT - 2\pi / 3 + \varphi_B), \\ U_C(kT) &= U_C \sin(\omega kT + 2\pi / 3 + \varphi_C), \end{aligned} \quad (4)$$

де T – період дискретизації.

Піставляючи вирази (1) і (2) у вираз (4) і використовуючи тригонометричні тотожності, одержимо:

$$\begin{aligned} U_A(kT) &= U_A \sin \omega kT, \\ U_B(kT) &= U_B \left(\sin \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} \right) \cos(\omega \Delta t) + \cos \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} \right) \sin(\omega \Delta t) \right), \\ U_C(kT) &= U_C \left(\sin \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} \right) \cos(2\omega \Delta t) + \cos \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} \right) \sin(2\omega \Delta t) \right). \end{aligned} \quad (5)$$

Скориставшись розкладанням косинуса через синус половинного кута, одержимо:

$$\begin{aligned} U_A(kT) &= U_A \sin \omega kT, \\ U_B(kT) &= U_B \left(\sin \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} \right) \left(1 - 2 \sin^2 \frac{\omega \Delta t}{2} \right) + \cos \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} \right) \sin(\omega \Delta t) \right), \\ U_C(kT) &= U_C \left(\sin \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} \right) \left(1 - 2 \sin^2(\omega \Delta t) \right) + \cos \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} \right) \sin(2\omega \Delta t) \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Дискретизувавши вираз (3) і віднявши його від виразу (6), будемо мати:

$$\begin{aligned} \Delta U_B(kT) &= U_B \left(-2 \sin \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} \right) \sin^2 \frac{\omega \Delta t}{2} + \cos \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} \right) \sin(\omega \Delta t) \right), \\ \Delta U_C(kT) &= U_C \left(-2 \sin \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} \right) \sin^2(\omega \Delta t) + \cos \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} \right) \sin(2\omega \Delta t) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Використовуючи тригонометричні тотожності, остаточно будемо мати:

$$\begin{aligned} \Delta U_B(kT) &= 2U_B \sin \frac{\omega \Delta t}{2} \cos \left(\omega kT - \frac{2\pi}{3} + \frac{\omega \Delta t}{2} \right), \\ \Delta U_C(kT) &= 2U_C \sin(\omega \Delta t) \cos \left(\omega kT + \frac{2\pi}{3} + \omega \Delta t \right). \end{aligned} \quad (8)$$

У такий спосіб на вхід ФСС буде надходити сигнал виду:

$$\begin{aligned} U_A(kT) &= U_A \sin \omega kT, \\ U_B(kT) &= U_B \sin(\omega kT - 2\pi / 3) + \Delta U_B(kT), \\ U_C(kT) &= U_C \sin(\omega kT + 2\pi / 3) + \Delta U_C(kT), \end{aligned} \quad (9)$$

де $\Delta U_B(kT)$, $\Delta U_C(kT)$ визначаються з виразу (8).

Визначимо похибку симетричних складових на виході ФСС, використовуючи метод побудови ФСС, описаний у [4].

Для визначення похибка на виході ФСС використовуємо детерміністичний підхід, аналогічний викладеному в [5, 6], що дозволить обчислити максимальну похибку.

У цьому випадку похибка нульової складової прийме вигляд:

$$e_0 = \max \left[(\Delta U_B(kT) + \Delta U_C(kT)) \right] \sum_{i=0}^N |a_i^0|, \quad (10)$$

де N – порядок фільтра,

a_i^0 – коефіцієнти фільтра з передатною функцією $H_{(0)}^0(z)$ [4].

Похибка прямої складової прийме вигляд:

$$e_1 = \max \left[\Delta U_B(kT) \sum_{i=0}^N |a_i^1| + \Delta U_C(kT) \sum_{i=0}^N |a_i^2| \right], \quad (11)$$

де a_i^1 – коефіцієнти фільтра з передатною функцією $H_{(1)}^1(z)$ [4],

a_i^2 – коефіцієнти фільтра з передатною функцією $H_{(1)}^2(z)$ [4].

Похибка зворотної складової прийме вигляд:

$$e_2 = \max \left[\Delta U_B(kT) \sum_{i=0}^N |a_i^2| + \Delta U_C(kT) \sum_{i=0}^N |a_i^1| \right]. \quad (12)$$

Дані похибки подані для випадку комутації в послідовності фаз А, В, С відповідно. Суми $\sum_{i=0}^N |a_i^0|$, $\sum_{i=0}^N |a_i^1|$, $\sum_{i=0}^N |a_i^2|$ у загальних випадках не рівні, тому, змінюючи комутацію, можна зменшити або збільшити похибку тієї чи іншої симетричної складової. На підставі виразів (10)–(12) відповідно до необхідних похибок симетричних складових визначається необхідний час комутації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Жалуд В., Кулешов В.М. Шумы в полупроводниковых устройствах / Под общей ред. А.К. Нарышкина. – М.: Советское радио, 1977. – 416 с.
2. Электронные приборы: Учебник для вузов / В.Н. Дулин, П.А. Аваев, В.П. Демин и др. Под общ. ред. Г.Г. Шишкина. – 4-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 496 с. ил.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. – 8-е изд. – М.: Высш. шк., 1984. – 559 с.
4. Петросян Р.В. Застосування рекурсивних цифрових фільтрів з лінійною фазою для виміру несиметрії у трифазних мережах електроенергії. // Вісник ЖІТІ. – 2000. – № 14. – С. 204–205.
5. Верешкин А.Е., Катковник В.Я. Линейные цифровые фильтры и методы их реализации. (Анализ ошибок квантования по уровню). – М.: «Сов. радио», 1973. – 152с.
6. Гольденберг Д.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов: Справочник. – М.: Радио и связь, 1985. – 312с.

ПЕТРОСЯН Руслан Валерійович – асистент кафедри автоматизації та управління в технічних системах Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорна техніка та системне програмування;
- цифрова обробка сигналів;
- вимірювальна техніка;
- теорія автоматичного управління;
- розробка електронних пристроїв.

E-mail: e_rvs@ukr.net.

Подано 23.01.2003