

## СПОСІБ ПРАКТИЧНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РІЗНИЦІ ФАЗ ДВОХ СИНУСОЇДНИХ ВЕЛИЧИН

<sup>1</sup> Вінницький національний технічний університет;  
<sup>1</sup> ТОВ «Екоенергопроміль».

### Анотація

Запропоновано спосіб практичного визначення кута різниці фаз двох синусоїдних величин, заснований на інтегральних співвідношеннях, що дозволяє застосовувати його в електричних установках зі значними електромагнітними завадами, зокрема пристроях силової перетворювальної техніки.

**Ключові слова:** кут різниці фаз, синусоїдна величина, силовий перетворювач, метрологічні характеристики.

### Abstract

The method of practical determination of the angle of difference of phases of two sinusoid quantities is based on the in-technological ratios, which allows it to be used in electrical installations with significant electro-magnetic interference, in particular devices of power converting technology.

**Keywords:** phase difference angle, sinusoidal value, power converter, metrological characteristics.

### Вступ

Задачі вимірювання різниці фаз двох синусоїдних величин постають у різних галузях електроенергетики та електротехніки при генерації, розподілі та споживанні електричної енергії. Зокрема, при визначенні енергетичних параметрів та обліку електричної енергії, синхронізації джерел синусоїдної напруги, для керування пристроями силової електроніки. Остання галузь зараз переживає бурхливий розвиток у різних сферах техніки: у сонячній електроенергетиці, системах накопичення енергії, автомобільній техніці, керованому приводі, стабілізованих джерел живлення різної напруги та потужності тощо [1-2].

Здебільшого, для вимірювання різниці фаз використовують цифрові частотоміри миттєвих значень[3]. Їх принцип дії заснований на квантуванні імпульсами зразкової частоти часового інтервалу між двома сусідніми точками переходу синусоїдних функцій через нуль з однаковим знаком похідної. Прилади, які фіксують ці точки, надзвичайно чутливі до електромагнітних завад, що виникають при роботі сучасних пристроїв силової електроніки. Це призводить до значних похибок або, навіть, промахів вимірювання різниці фаз, що унеможливорює використання згаданих вимірювальних каналів у цій галузі. Тому гостро постає задача пошуку іншого способу визначення різниці фаз, який міг би працювати в умовах значних електромагнітних завад, що виникають при роботі пристроїв силової електроніки з широтно-імпульсною модуляцією.

Метою запропонованої роботи є розробка такого способу визначення різниці фаз двох синусоїдних величин, який би зміг працювати в умовах значних електромагнітних завад.

### Результати дослідження

Відомий спосіб вимірювання активної  $P$  та реактивної  $Q$  потужності, описаний, зокрема, у [4], який ґрунтується на інтегральних співвідношеннях:

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt \\
 Q &= \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i\left(t + \frac{T}{4}\right) dt
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де  $u(t) = U_m \sin(\omega t)$ ,  $i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t - \varphi)$  - миттєві значення синусоїдних напруги та струму на деякій ділянці електричного кола з частотою  $f = 1/T$  та амплітудними значеннями  $U_m$  та  $I_m$  відповідно, а  $\varphi$  - кут різниці початкових фаз між напругою та струмом.

Після перетворень рівняння (2) перетворюються до виду:

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} U_m I_m \cos(\varphi) \\ Q &= \frac{1}{2} U_m I_m \sin(\varphi) \end{aligned} \quad (2)$$

Активна, реактивна та повна потужності співвідносяться, як сторони прямокутного трикутника (рис. 1). Кут між напругою та струмом (різниця початкових фаз) з цього трикутника можна визначити за співвідношенням:

$$\varphi = \text{arctg} \left( \frac{Q}{P} \right) \quad (3)$$

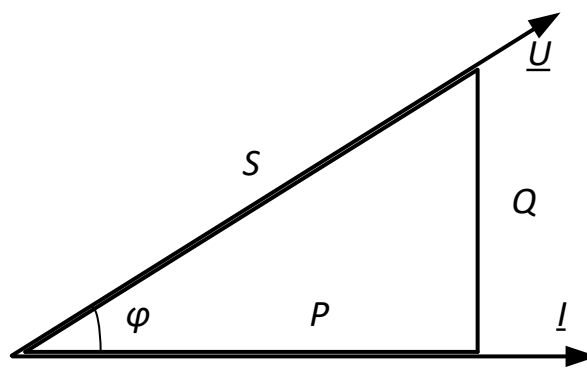


Рис. 1.

Поданні співвідношення дають змогу реалізувати спосіб визначення кута різниці фаз двох синусоїдних величин. При цьому таким чином можна знайти різницю початкових фаз не лише між напругою та струмом, але й двома напругами. В такому разі величини  $P$  та  $Q$  набувають певного абстрактного змісту.

Для практичної реалізації такого способу безперервні функції замінюються дискретизованими у часі, коли вибірка миттєвих значень формуються з певним кроком  $\tau$ . Тоді за період зміни синусоїдної напруги кількість значень складе  $N = T/\tau$ . А рівняння (1) перепишемо в дискретній формі в загальному вигляді:

$$\begin{aligned} A_P &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{1i} u_{2i} \\ A_Q &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{1i} u_{2i+N/4} \end{aligned}, \quad (4)$$

де  $A_P$ ,  $A_Q$  - деякі розрахункові коефіцієнти,  $u_{1i}$  та  $u_{2i}$  - значення двох синусоїдних величин, що подаються на АЦП у точках дискретизації. Тоді кут різниці фаз між ними визначається за формулою:

$$\varphi = \text{arctg} \left( \frac{A_Q}{A_P} \right). \quad (5)$$

Варто зазначити, що для реалізації описаного способу вибірка синусоїдної величини  $u_1$ , що зберігається у буферній пам'яті повинна складати кратну кількість періодів, тобто  $kN$  точок, а величини  $u_2$  періода більше:  $kN + N/4$  точок, де  $k$  - деяке натуральне число.

Описаний спосіб має перевагу в тому, що він базується на інтегральних співвідношеннях, що зменшує вплив різних електромагнітних завад, які можуть виникати, зокрема через роботу імпульсних пристроїв силової електроніки. Тому він може бути використаний для побудови систем синхронізації

та керування такими пристроями, зокрема мережевими інверторами чи частотними приводами, як інтегрована частина таких пристроїв. Іншою сферою застосування можуть бути пристрої для аналізу якості електричної енергії, оскільки задачі оцінки параметрів якості часто виникають в електричних мережах насиченими нелінійними споживачами, що також є джерелами завад. Варто зазначити, що описаний спосіб визначення різниці фаз знайшов інженерну реалізацію в багатьох пристроях торгової марки ExiLogic одного з вінницьких підприємств. Однак його використання також засвідчило необхідність теоретичних досліджень. Метою яких, перш за все, є оцінка метрологічних характеристик засобів вимірювання, побудованих на основі запропонованого методу, що включають його особливості та особливості первинних вимірювальних перетворювачів. Такі дослідження мають допомогти при сертифікації пристроїв, побудованих за таким принципом.

## Висновки

Отже, у роботі показано, що використання частотоміра миттєвих значень для вимірювання кута різниці фаз в електроустановках, де можуть бути значні електромагнітні завади є досить обмеженим через значний вплив останніх на точність таких вимірювань. Натомість запропоновано спосіб практичного визначення кута різниці фаз двох синусоїдних величин, заснований на інтегральних співвідношеннях, що дозволяє застосовувати його в електричних установках зі значними електромагнітними завадами, зокрема пристроях силової перетворювальної техніки. Розглянутий спосіб знайшов практичне використання у ряді інженерних розробках, однак потребує додаткових теоретичних досліджень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Keith Billings: Switch mode power supply handbook Mc Graw Hill, 1989, ISBN 0-07-005330-8
2. Schmidt-Walter H., Kories R. Electrical Engineering: A Pocket Reference 6th Edition. — Artech House Inc., 2007. — 688 p. — ISBN-13 978-1-59693-244-9.
3. В. В. Кухарчук, В. Ю. Кучерук, Є. Т. Володарський, В. В. Грабко, *Основи метрології та електричних вимірювань. Підручник*. Вінниця: ВНТУ, 2011, 522 с.
4. В. В. Кухарчук, О. М. Заславський, *Комп'ютеризована система обліку електричної енергії. Монографія*. Вінниця: ВНТУ, 2012, 152 с.

**Коваль Андрій Миколайович** — кандидат технічних наук, старший викладач кафедри комп'ютерних електромеханічних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: koval.a.m@vntu.edu.

**Кухарчук Василь Васильович** — доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерних електромеханічних систем та комплексів, Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Печенюк Дмитро Вікторович** директор, ТОВ «Екоенергопромінь».

**Andriy M. Koval** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Computer Electric Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa, E-mail: koval.a.m@vntu.edu.

**Vasyl V. Kukarchuk** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Computer Electromechanical Systems and Complexes, Vinnytsia National Technical University, Vinnitsa.

**Dmytro Pechenyuk** – Director, LLC "Ecoenergovramine".