

**Петросян Р.В.**

Державний університет «Житомирська політехніка»

## АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ ЧАСТОТИ НАПРУГИ У ТРИФАЗНІЙ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ НА БАЗІ ЦИФРОВИХ ФІЛЬТРІВ

У науковій статті вирішувалась важлива науково-технічна проблема – зниження похибки обчислення частоти напруги в трифазній електричній мережі. Обчислення значення частоти напруги має важливе значення, оскільки це дає змогу забезпечити надійність і стабільність роботи енергетичних об'єктів. Тривала робота обладнання при значному відхиленні частоти напруги трифазної мережі від номінального значення призводить до його підвищеного зносу та передчасного виходу з ладу. Невідповідність частоти напруги номінальному значенню також може бути причиною виникнення додаткових похибок під час вимірювання інших параметрів енергетичних об'єктів. У роботі проведено аналіз наявних алгоритмів вимірювання частоти напруги в електромережах. Один з основних недоліків більшості алгоритмів – використання тригонометричних функцій, які чутливі до різного роду похибок. В основу запропонованого алгоритму обчислення частоти напруги в трифазній електромережі покладено цифрову фільтрацію. Цифрові фільтри є важливим інструментом обробки сигналів і знаходять широке застосування в різних сферах: в енергетиці, акустиці, системах автоматики, обробці зображень тощо. Особливе місце в цифровій обробці займають нерекурсивні цифрові фільтри (фільтри з кінцевою імпульсною характеристикою), які мають ряд переваг перед іншими типами фільтрів, наприклад, можна забезпечити лінійну фазо-частотну характеристику. В ході роботи було запропоновано структурну схему обчислення частоти напруги на базі даних цифрових фільтрів, а також було виконано їх синтез. Для перевірки отриманих результатів проведено моделювання на комп'ютері з використанням мови програмування Python. Таким чином, у статті представлено комплексний підхід до вирішення проблеми зниження похибки обчислення частоти напруги в трифазній електромережі, що включає як теоретичні аспекти, так і практичний алгоритм реалізації з використанням сучасних цифрових технологій.

**Ключові слова:** алгоритм обчислення частоти напруги, похибка частоти напруги, трифазна електрична мережа, цифрові фільтри, метод найменших квадратів.

**Постановка проблеми.** Частота напруги електромережі є одним із найважливіших показників якості електроенергії, тому її вимірювання та контроль має важливе значення, оскільки це дає змогу забезпечити надійність і стабільність роботи енергетичних об'єктів: гідрогенераторів і турбогенераторів, силових підстанцій, ліній електропередачі загального призначення, систем автоматики, а також низки інших електромеханічних систем.

Тривала робота обладнання при значному відхиленні частоти напруги від номінального значення призводить до його підвищеного зносу та передчасного виходу з ладу. Також невідповідність частоти напруги в електромережі номінальному значенню може бути причиною виникнення додаткових похибок під час вимірювання інших параметрів енергетичних об'єктів. У зв'язку з цим вимірювання та контроль частоти напруги електромережі є актуальним завданням, що підтверджується великою кількістю наукових публікацій, присвячених удосконаленню методів і засобів вимірювання частоти напруги електромережі [1-7]. Особливо цьому сприяє розвиток цифрових методів, інформацій-

них технологій та комп'ютеризованих систем, що в свою чергу призводить до підвищення якості та стабільності електропостачання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Забезпечення належної якості електричної енергії у системах електропостачання загального призначення визначаються стандартами [8, 9], де визначено основні терміни, показники якості електричної енергії та їх значення. Один з таких параметрів – це відхилення частоти основної гармоніки напруги в електромережі. Для її обчислення необхідно визначити поточне значення частоти напруги в мережі.

Як вже згадувалося, у науковій літературі є велика кількість різних алгоритмів визначення частоти змінної напруги. Усі алгоритми можна умовно поділити на два види: алгоритми обчислення частоти в частотній області та алгоритми обчислення частоти в часовій області.

До першого виду можна віднести алгоритми, які базуються на дискретному перетворенні Фур'є або його модифікаціях [3, 4]. До переваг даного виду алгоритмів можна віднести: відносно невелику

кількість відліків, простоту обчислень, а також їх умовно можна віднести до швидких алгоритмів. До недоліків цього виду алгоритмів можна віднести ефект «розтікання спектра», який частково можна зменшити з використанням віконних функцій.

До другого виду можна віднести алгоритми, засновані на лінійному передбаченні вибірок напруги [7] та вимірюванні частоти з використанням виявлення нульових переходів напруги [4, 5]. Основна їх перевага – висока швидкість. До недоліків даних алгоритмів можна віднести: чутливість до завад, низька точність через вплив гармонійних складових. Особливо чутливі алгоритми, які використовують тригонометричні функції. Зменшити вплив даних факторів можна за допомогою попередньої фільтрації [4, 5, 7]. Також до другого виду належить алгоритм, що базується на цифровій фільтрації [6]. Перевагою цього алгоритму є: висока швидкість; низька чутливість до завад. Недоліком даного алгоритму є низька точність в околиці точки нульового переходу.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка алгоритму обчислення частоти напруги в трифазній електричній мережі для підвищення точності з використанням цифрових фільтрів. Для досягнення поставленої мети у роботі потрібно вирішити такі завдання: провести аналіз цифрових фільтрів; запропонувати типи фільтрів для отримання квадратурних складових; синтезувати цифрові фільтри; зробити висновки з отриманих результатів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Перераховані раніше недоліки усуваються у розробленому новому алгоритмі обчислення частоти напруги в електромережі. По суті, цей алгоритм є вдосконаленим варіантом методу, запропонованого в роботі [6].

Алгоритми, які проводять обчислення в часовій області, використовують додатково фільтрацію сигналу для усунення залежності від завад і гармонійних складових. У роботі [6] операції фільтрації та обчислення частоти суміщені в цифрових фільтрах. Принцип дії вказаного метода має наступний вигляд (рис. 1).

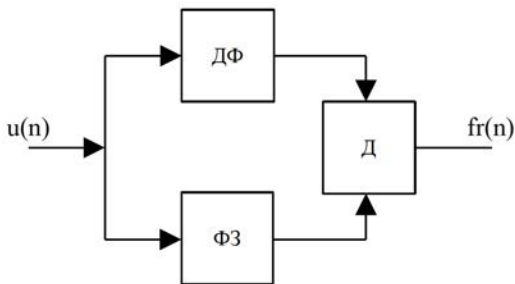


Рис. 1. Структурна схема обчислення частоти напруги: ДФ – диференціатор; ФЗ – фазозсувач; Д – дільник

ДФ та ФЗ реалізуються на базі цифрових фільтрів (ЦФ) з кінцевою імпульсною характеристикою (КИХ). Особливістю сигналу, що використовується у методі, є його форма, яка близька до гармонійної моделі (1). Це означає, що сигнал має періодичний характер і може бути описаний за допомогою синусоїдальних функцій. Гармонійна модель сигналів значно спрощує їх аналіз та обробку.

$$u(n) = U_m \sin(\omega \cdot n \cdot \Delta t + \varphi), \quad (1)$$

де  $U_m$  – амплітуда сигналу;  $\omega$  – циклічна частота сигналу;  $n$  – номер відліку;  $\Delta t$  – крок дискретизації;  $\varphi$  – початкова фаза.

Використовуючи диференціатор, амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) якого показана на рис. 2, можна отримати значення частоти (амплітуда вихідного сигналу залежить від частоти).

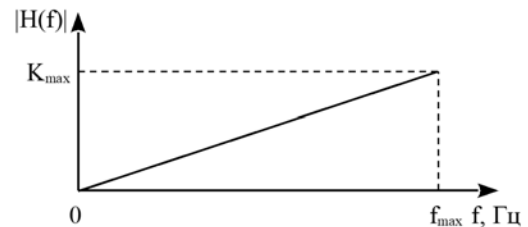


Рис. 2. АЧХ широкопasmового диференціатора

Використання широкопasmового диференціатора призводить до збільшення рівня завад, тому диференціатор повинен бути вузькопasmовим. Смуга пропускання залежить від розв'язуваної задачі і знаходиться в околиці частоти 50 Гц для електромереж (рис. 3).

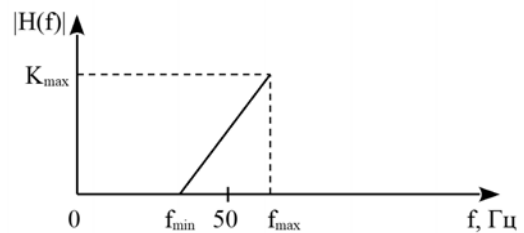


Рис. 3. АЧХ вузькопasmового диференціатора

ФЗ призначений для виконання двох функцій: синхронізації фази сигналу з сигналом на виході диференціатора; нормування сигналу на виході (рис. 1). Його АЧХ відповідає смуговому фільтру. Абсолютне значення частоти після цифрової обробки можна записати в наступному вигляді (2):

$$f_a(n) = \left( \frac{(f_{\max} - f_{\min})f_r(n)}{K_{\max}} + f_{\min} \right). \quad (2)$$

Значення  $K_{\max}$  доцільно обрати з множини  $\{1; f_{\max} - f_{\min}\}$ .

Основна проблема в алгоритмі, як вже зазначалося, це невизначеність, яка виникає в околиці точки нульового переходу сигналу, що призводить до підвищеної похибки в околиці даної точки. Вказаний інтервал невеликий, тому один із варіантів вирішення проблеми – пропускати обчислення, якщо такий підхід припустимий при використанні даного методу. Інший підхід полягає у тому, щоб використати трифазну електричну мережу. Варіант удосконаленого методу показано на рис. 4.

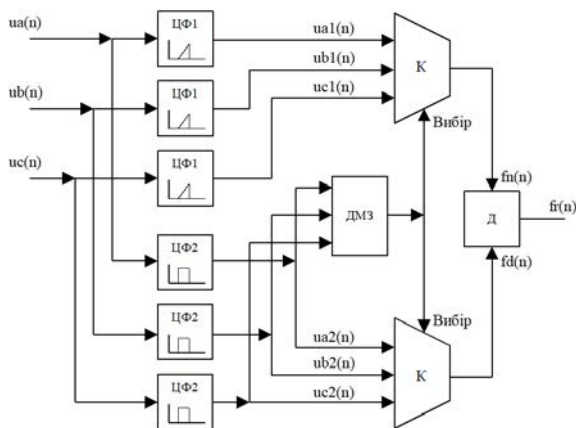


Рис. 4. Структурна схема обчислення частоти напруги у трифазній електромережі: ЦФ1, ЦФ2 – цифрові фільтри; К – комутатор (мультіплексор); ДМЗ – детектор максимального значення; Д – дільник

В даному випадку модель сигналу буде описуватися наступними виразами (3):

$$\begin{cases} ua(n) = U_m \sin(\omega \cdot n \cdot \Delta t + \varphi) \\ ub(n) = U_m \sin(\omega \cdot n \cdot \Delta t + \varphi - 120) \\ uc(n) = U_m \sin(\omega \cdot n \cdot \Delta t + \varphi + 120) \end{cases} \quad (3)$$

Ця модель відповідає симетричній трифазній електромережі, проте в реальності мережа може бути несиметричною. Представлений метод не чутливий до несиметрії в трифазній мережі, тому саме ця модель може бути використана в подальшому.

Фільтри ЦФ1 виконують функції, аналогічні ДФ (рис. 1), та їхня АЧХ має вигляд диференціатора (рис. 3). Фільтри ЦФ2 виконують функції, аналогічні ФЗ (рис. 1), та їхня АЧХ відповідає смуговому фільтру. ДМЗ призначений для визначення фази з максимальним значенням відліку. Та фаза, у якій відлік має максимальне значення, і обирається комутаторами. Далі за допомогою дільника визначається відносне значення частоти напруги в трифазній мережі.

Щоб реалізувати алгоритм, необхідно синтезувати всі шість КІХ-фільтрів, а точніше лише два з них, бо решта будуть мати аналогічні характеристики. У загальному випадку КІХ-фільтр описується наступним виразом (4):

$$y(n) = \sum_{k=0}^{K-1} h(k) \cdot x(n-k). \quad (4)$$

де  $h(k)$  – імпульсна характеристика фільтра;  $x(n), y(n)$  – вхідний та вихідний сигнали;  $K$  – кількість коефіцієнтів фільтра  $h(k)$ .

АЧХ даного фільтра матиме такий вигляд (5):

$$H(\omega) = \sum_{k=0}^{K-1} h(k) \cdot e^{-j\omega n}. \quad (5)$$

Для того, щоб КІХ-фільтри були з лінійною фазою, необхідно, щоб імпульсна характеристика була симетричною або антисиметричною [10]. В даному випадку можливі чотири типи КІХ-фільтрів.

Перший тип КІХ-фільтра має симетричну імпульсну характеристику, непарну кількість коефіцієнтів та АЧХ, яка описується виразом:

$$H(\omega) = \sum_{k=0}^{(K-1)/2} a(k) \cdot \cos(\omega k), \quad (6)$$

де  $a(0) = h((K-1)/2)$ ;  $a(k) = 2h((K-1)/2 - k)$  для  $k = 1, 2, 3, \dots, (K-1)/2$ .

Другий тип КІХ-фільтра має симетричну імпульсну характеристику, парну кількість коефіцієнтів та АЧХ, яка описується виразом:

$$H(\omega) = \sum_{k=1}^{K/2} b(k) \cdot \cos(\omega(k-1/2)), \quad (7)$$

де  $b(k) = 2h(K/2 - k)$  для  $k = 1, 2, 3, \dots, K/2$ .

Третій тип КІХ-фільтра має антисиметричну імпульсну характеристику, непарну кількість коефіцієнтів та АЧХ, яка описується виразом:

$$H(\omega) = \sum_{k=1}^{(K-1)/2} c(k) \cdot \sin(\omega k), \quad (8)$$

де  $c(0) = 0$ ,  $c(k) = 2h((K-1)/2 - k)$  для  $k = 1, 2, 3, \dots, (K-1)/2$ .

Четвертий тип КІХ-фільтра має антисиметричну імпульсну характеристику, парну кількість коефіцієнтів та АЧХ, яка описується виразом:

$$H(\omega) = \sum_{k=1}^{K/2} d(k) \cdot \sin(\omega(k-1/2)), \quad (9)$$

де  $d(k) = 2h(K/2 - k)$  для  $k = 1, 2, 3, \dots, K/2$ .

Третій та четвертий типи КІХ-фільтрів мають антисиметричну імпульсну характеристику, тому забезпечують зсув фази на  $\pi/2$ . Їх рекомендується використовувати, наприклад, для реалізації диференціаторів. Виходячи з вище сказаного, слідує, що ЦФ1 має бути реалізований з використанням

третього або четвертого типу КІХ-фільтра, а отже, аналогічного типу має бути ЦФ2, щоб забезпечити однаковий зсув.

Для синтезу ЦФ (4) будемо використовувати метод найменших квадратів, який мінімізуватиме відхилення АЧХ проєктованого фільтра від прототипу відповідно до виразу (10):

$$e = \sqrt{\int W(\omega)(H(\omega) - \hat{H}(\omega))^2 d\omega} \rightarrow \min \quad (10)$$

де  $W(\omega)$  – вагова функція;  $H(\omega)$ ,  $\hat{H}(\omega)$  – АЧХ фільтрів, що проєктується та його прототипу відповідно.

Синтез ЦФ проводився за допомогою мови програмування Python та додаткових пакетів: numpy, matplotlib тощо. Для розрахунку коефіцієнтів ЦФ необхідно задати вхідні параметри. Основний параметр для поставленого завдання – діапазон відхилення частоти напруги електромережі. Відповідно до стандарту ДСТУ EN 50160:2023 [8] значення відповідає діапазону 42.5-57.5 Гц, а отже даний параметр буде вказувати смугу пропускання ЦФ1 та ЦФ2. У зв'язку з тим, що на краю смуги пропускання фільтрів похибка різко збіль-

шується, діапазон смуги пропускання фільтрів дещо розширено і відповідає значенню 40-60 Гц. Порядок фільтра впливає на точність апроксимації фільтра, що проєктується. У нашому випадку порядок фільтрів обрано 30, а максимальний коефіцієнт передачі буде  $K_{\max} = 1$ . Результати синтезу ЦФ показано на рис. 5а та рис. 5б. Похибка даних фільтрів у діапазоні відхилення вхідного сигналу показана на рис. 6а та рис. 6б.

Коефіцієнти синтезованих ЦФ представлені у табл. 1.

Відповідно до рис. 4 запишемо:  $|H_1(\omega)| = K_1(f)$ ,  $|H_2(\omega)| = K_2(f)$ . Враховуючі це, можна записати, що значення на виході цифрового блоку обробки буде відповідати наступному виразу (11):

$$f_r(n) = \frac{K_1(f)}{K_2(f)}. \quad (11)$$

Абсолютне значення частоти буде розраховуватися за виразом (2).

Приведемо максимальну методичну похибку запропонованого методу. Значення частоти з похибкою у відповідності до виразів (2) та (11) буде:

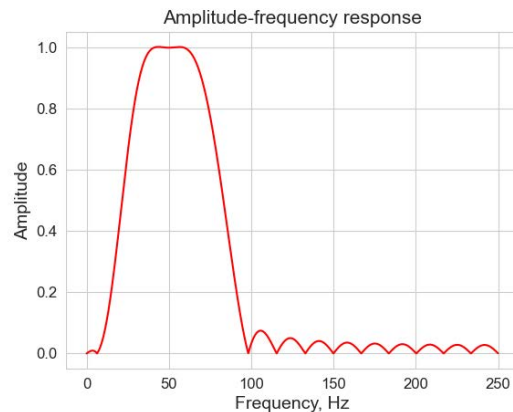
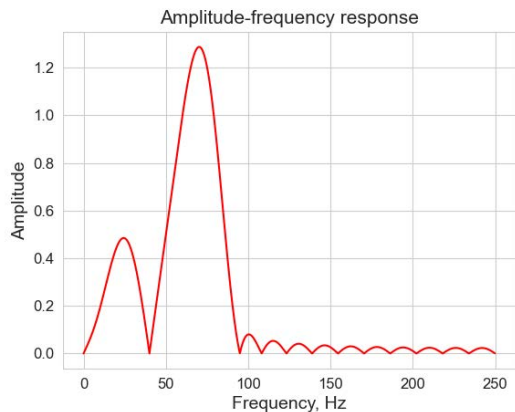


Рис. 5. Амплітудно-частотні характеристики цифрових фільтрів: а) АЧХ ЦФ1; б) АЧХ ЦФ2

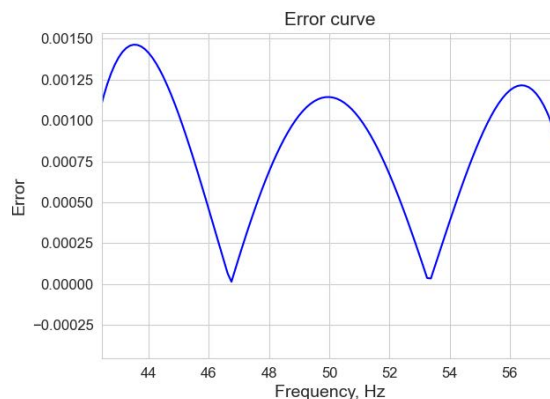
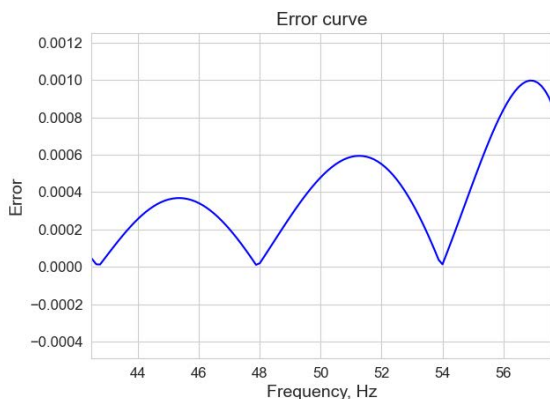


Рис. 6. Модуль відхилення амплітудно-частотних характеристик цифрових фільтрів від прототипу: а) похибка ЦФ1; б) похибка ЦФ2



Коефіцієнти ЦФ1 та ЦФ2

Коефіцієнти	Значення ЦФ1	Значення ЦФ2
h(0), -h(30)	0.024650843719117244	-0.012723323130625668
h(1), -h(29)	0.0164000540872938	0.0021139782409012324
h(2), -h(28)	-0.00621354611251673	-0.00807573618841248
h(3), -h(27)	-0.020350630677407385	-0.024538533294345386
h(4), -h(26)	-0.00571859150039062	-0.026332410751609563
h(5), -h(25)	0.03073704641323723	-0.010529535040976394
h(6), -h(24)	0.05244391109078005	0.004139514463047637
h(7), -h(23)	0.022503902051060228	-0.0035793974091145706
h(8), -h(22)	-0.05751124106700829	-0.0314555492514243
h(9), -h(21)	-0.13680876426794197	-0.047272968227800985
h(10), -h(20)	-0.15002377590681787	-0.013589477249120874
h(11), -h(19)	-0.07314372486223417	0.07406858884017796
h(12), -h(18)	0.04809088499740064	0.17058485286650832
h(13), -h(17)	0.12738748473851216	0.20687405916279514
h(14), -h(16)	0.10542364295153461	0.14203649196194426
h(15)	0	0

$$f_a(n) + \Delta f_a = \left( \frac{(f_{\max} - f_{\min})(K_1(f) + \Delta K_1)}{K_{\max}(K_2(f) + \Delta K_2)} + f_{\min} \right), \quad (12)$$

де  $\Delta K_1$ ,  $\Delta K_2$  – максимальна похибка ЦФ1 та ЦФ2 відповідно у полосі пропускання.

Виконуючи деякі перетворення та враховуючи вхідні показники, отримаємо вираз для максимальної методичної похибки методу.

$$\Delta f_a = 20(\Delta K_1 + \Delta K_2). \quad (13)$$

Відповідно похибкам АЧХ фільтрів на рис. 6а та рис. 6б, методична похибка обчислення частоти буде складати не більше  $\Delta f_a < 0.05$  Гц.

Результати перевірки методу при моделюванні підтверджують, що в інтервалі частот 42.5-57.5 Гц похибка не перевищує розраховане значення і складає 0.0053 Гц (рис. 7).

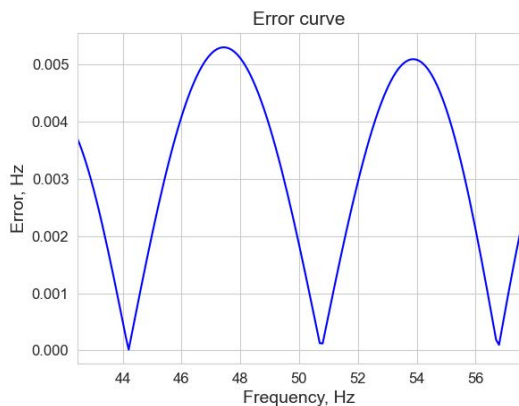


Рис. 7. Методична похибка обчислення частоти напруги в трифазній мережі

Після того, як зроблені всі попередні розрахунки, запишемо алгоритм обчислення частоти

напруги в трифазній електромережі, використовуючи словесну форму:

1. Ініціалізувати:

Вектор-рядок вхідних відліків сигналу:

$$\overline{Ua}(n) = [ua(n), ua(n-1), \dots, ua(n-K+1)],$$

$$\overline{Ub}(n) = [ub(n), ub(n-1), \dots, ub(n-K+1)],$$

$$\overline{Uc}(n) = [uc(n), uc(n-1), \dots, uc(n-K+1)].$$

На початку ініціалізуються нульовими значеннями.

Вектор-рядок коефіцієнтів ЦФ1 та ЦФ2, які розраховані у табл. 1:  $\overline{H}_1(n) = [h_1(0), h_1(1), \dots, h_1(K-1)]$ ,  $\overline{H}_2(n) = [h_2(0), h_2(1), \dots, h_2(K-1)]$ .

$\overline{Ua}(n)$ ,  $\overline{Ub}(n)$ ,  $\overline{Uc}(n)$ ,  $\overline{H}_1(n)$ ,  $\overline{H}_2(n) \in \mathbb{R}^K$ ,  $K$  – кількість коефіцієнтів ЦФ,  $f_{\min}$  – мінімальне значення частоти,  $f_{\max}$  – максимальне значення частоти,  $K_{\max}$  – коефіцієнт передачі ЦФ.

2. Отримати наступні відліки фаз А, В, С і сформувати вектори  $\overline{Ua}(n)$ ,  $\overline{Ub}(n)$ ,  $\overline{Uc}(n)$ .

3. Отримати результати фільтрації ЦФ1:

$$\begin{cases} ua1(n) = \overline{H}_1(n) \cdot \overline{Ua}^T(n) \\ ub1(n) = \overline{H}_1(n) \cdot \overline{Ub}^T(n) \\ uc1(n) = \overline{H}_1(n) \cdot \overline{Uc}^T(n) \end{cases}$$

4. Отримати результати фільтрації ЦФ2:

$$\begin{cases} ua2(n) = \overline{H}_2(n) \cdot \overline{Ua}^T(n) \\ ub2(n) = \overline{H}_2(n) \cdot \overline{Ub}^T(n) \\ uc2(n) = \overline{H}_2(n) \cdot \overline{Ua}^T(n) \end{cases}$$

5. Знайти фазу з максимальним значенням:

$$p = \operatorname{argmax} \{ua2(n), ub2(n), uc2(n)\}.$$

6. Для обраної фази обчислити відносне значення частоти:

$$fr(n) = \frac{fn(n)}{fd(n)}$$

7. Обчислити абсолютне значення частоти електричної мережі:

$$f_a(n) = \left( \frac{(f_{\max} - f_{\min})f_r(n)}{K_{\max}} + f_{\min} \right)$$

8. Видати отриманий результат та завершити процедуру.

Для побудови комп'ютеризованих систем з каналом вимірювання частоти напруги трифазної електричної мережі необхідні датчики напруги змінного струму. Також у комп'ютеризованій системі повинен бути присутній антиалайзинговий фільтр. Хоча за допомогою ЦФ можна відфільтрувати завади та гармонічні складові, однак цього може бути недостатньо, враховуючі особливості КІХ-фільтрів.

**Висновки.** У роботі розглянуто алгоритм обчислення частоти напруги в трифазній елек-

тромаережі на базі цифрових фільтрів з кінцевою імпульсною характеристикою. Для фільтрації було запропоновано використати ЦФ з лінійною фазою. Існує чотири типи таких фільтрів. В результаті аналізу показано, що більш доцільно використати фільтри третього та четвертого типу в залежності від порядку ЦФ.

Для оптимізації коефіцієнтів фільтру обрано метод найменших квадратів. Результати розрахунку коефіцієнтів фільтрів показали, що запропонований алгоритм дозволяє отримати високу точність обчислення частоти напруги в трифазній електромережі при відносно невеликому порядку фільтрів. Так, при 30 порядку ЦФ методологічна похибка не перевищила 0.0053 Гц у смузі 42.5-57.5 Гц.

Перспективи подальших досліджень полягають у можливості мінімізації порядку фільтра, а також у вивченні питання накладання додаткових умов при синтезі цифрових фільтрів для зниження гармонійних складових (хоча у більшості випадків достатньо використання антиалайзингового фільтру у комп'ютеризованих систем).

#### Список літератури:

1. Тимохін О.В., Канабас Д.С. Методи визначення частоти синусоїдального сигналу електричної мережі. Міжнародний науково-технічний журнал "Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики". 2020. С. 11–15.
2. Литвиненко В.М., Дощенко Г.Г., Самойлов М.О. Аналіз методів вимірювання частоти. *Біомедична інженерія та електроніка*. 2017. №. 1 (15). С. 63–83.
3. Xing J., Mu L. A fast and precise power system frequency estimation method without iterations. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2020. V. 123. P. 106199. DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106199.
4. Djurišić Ž. R., Djurić M. B., Papić V. D. An algorithm for three-phase power system frequency measurement. *Electrical Engineering*. 2024. P. 1–12. DOI: 10.1007/s00202-024-02238-6.
5. Xiao D., Tan W., Zhang W. A practical method of real-time measurement for power system frequency. *Power System Protection and Control*. 2014. V. 42. P. 21–29.
6. Петросян Р.В. Вимірювач частоти електричної мережі на базі цифрових фільтрів. *Вісник ЖІТІ*. 2002. №3(22). С. 78–80.
7. Micheletti R. Real-time measurement of power system frequency. Proceedings of IMEKO XVI World Congress. 2000. P. 425–430.
8. ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2022, IDT). БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=106226](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=106226) (дата звернення: 24.07.2024).
9. ГОСТ 13109-97. Електрична енергія. Сумісність технічних засобів електромагнітна. Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення. БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=25837](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25837) (дата звернення: 24.07.2024).
10. Manolakis D.G., Proakis J.G. Digital signal processing. London: Pearson, 2014. 1014 p.

#### Petrosian R.V. ALGORITHM FOR CALCULATING THE VOLTAGE FREQUENCY IN A THREE-PHASE POWER SYSTEM BASED ON DIGITAL FILTERS

The research article solves an important scientific and technical problem – minimizing the error in calculating the voltage frequency in a three-phase power system. The calculation of the voltage frequency is important because it helps to ensure the reliability and stability of power facilities. Long-term operation of equipment with a significant deviation of the voltage frequency of the three-phase power system from the

*nominal value leads to increased wear and premature failure. The discrepancy between the voltage frequency and the nominal value can also lead to additional errors when measuring other parameters of power facilities. This article analyzes existing algorithms for measuring voltage frequency in power systems. One of the main disadvantages of most algorithms is the use of trigonometric functions that are sensitive to various kinds of errors. The proposed algorithm for calculating the voltage frequency in a three-phase power system is based on digital filtering. Digital filters are an important tool for signal processing and are widely used in various fields: power systems, acoustics, automation systems, image processing, etc. A special place in digital processing is occupied by nonrecursive digital filters (filters with a finite impulse response), which have a number of advantages over other types of filters, for example, it is possible to provide a linear phase-frequency response. In the work we proposed a structural scheme for calculating the voltage frequency based on these digital filters, and also performed their synthesis. To verify the obtained results, a computer simulation was performed using the Python programming language. Thus, the paper presents a comprehensive approach to solving the problem of minimizing the error in calculating the voltage frequency in a three-phase power grid, including both theoretical aspects and a practical implementation algorithm using modern digital technologies.*

**Key words:** *algorithm for calculating the voltage frequency, voltage frequency error, three-phase electric power, digital filters, least squares method.*