

ВИМІРЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКА В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЦІ

УДК 621.586

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2021.60.065>

ЩИТОВИЙ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗОВАНИЙ ВИМІРЮВАЧ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

Б.А. Кромпляс*, канд. техн. наук, **А.С. Левицький****, докт. техн. наук, **Є.О. Зайцев*****,
докт. техн. наук

Інститут електродинаміки НАН України,

пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна

e-mail: b_kromp@i.ua, levitskiyanatoliymail@gmail.com, zaitsev@i.ua

Проведено аналіз функціональних можливостей електронних щитових вимірювачів електричних експлуатаційних параметрів енергогенеруючих об'єктів. Додовнено перелік функцій вимірювачів, що дало змогу підвищити їхні експлуатаційні характеристики. Для щитового інтелектуалізованого вимірювача напруги змінного струму наведено методи і результати реалізації цих функцій. Описано структурну схему розробленого щитового інтелектуалізованого вимірювача та наведено основні його технічні характеристики. Запропоновано метод мобільного калібрування приладу, за якого застосовується джерело калібраційного сигналу з окремим фіксованим значенням, а сам процес калібрування керується з клавіатури приладу. Наведено розгорнутий та спрощений модернізований алгоритми калібрування. Бібл. 12, рис. 5, табл. 2.

Ключові слова: енергогенеруючий об'єкт, блок щитового управління, електричний параметр, інтелектуалізований щитовий вимірювач, метод мобільного калібрування.

Постановка проблеми. Надійна робота та безпечна експлуатація об'єктів енергосистеми є однією з основних складових енергобезпеки будь-якої країни. Важливим аспектом забезпечення надійної та безаварійної експлуатації об'єктів енергосистеми є контроль та моніторинг їхнього фактичного технічного та функціонального стану [1, 2]. В умовах "Індустрії 4.0" забезпечення реалізації контролю та моніторингу здійснюється через впровадження в структуру об'єктів енергосистеми комплексу сучасних інтелектуалізованих щитових контрольно-вимірювальних приладів і автоматики онлайн самоконтролю [3].

Електронні щитові вимірювачі функціональних параметрів енергогенеруючих об'єктів знаходять дедалі ширше застосування замість електромеханічних [4–7], попри те, що вони вимагають окремого безперебійного електроживлення [8–10]. Аналіз ефективності застосування таких вимірювачів та оцінок операторів пультів управління об'єктів енергетики виявив доцільність їхнього удосконалення [9], тому було розроблено концепцію побудови удосконалених інтелектуалізованих щитових вимірювачів функціональних параметрів об'єктів енергетики [10].

Концепція передбачає реалізацію в електронних щитових вимірювачах додаткових властивостей, а саме:

- наявність матричного індикатора розмірності вимірюваного параметра, а в програмі обробки вхідного сигналу – зміну розмірності залежно від значень цього сигналу;
- регулювання яскравості свічення світлодіодних індикаторів (ручне встановлення);
- встановлення діапазону для аналогової шкали (у межах встановленого діапазону вхідного параметра), що дасть змогу збільшити розрізнявальну здатність аналогової шкали та покращити можливість відстежувати невеликі зміни вхідного параметра;
- у програмному забезпеченні приладу передбачення наявності програми приймання через інтерфейс пакета налаштувань приладу від загальносистемного контролера та їхнього встановлення.

У процесі аналізу вимог потенційних користувачів електронних щитових вимірювачів електричних експлуатаційних параметрів енергогенеруючих об'єктів було поставлено завдання забезпечення можливості оперативного контролю та підтримання метрологічних характеристик приладів під час їхньої експлуатації на енергогенеруючому об'єкті.

Метою пропонованої статті є реалізація щитового інтелектуалізованого вимірювача змінної напруги. Під час роботи основна увага приділялась реалізації вказаних вище додаткових функцій у рамках вказаної концепції побудови інтелектуалізованих електронних щитових вимірювачів електричних експлуатаційних параметрів енергогенеруючих об'єктів.

Основна частина. Щитовий інтелектуалізований вимірювач змінної напруги призначений для вимірювання діючого значення напруги змінного струму. Функціональна схема приладу наведена на рис. 1, а зовнішній вигляд його передньої панелі – на рис. 2.

Принцип функціонування приладу такий. Вимірювана напруга подається на вхідне коло (ВК) вимірювального блоку (ВБ). Вхідне коло нормалізує вхідний сигнал до рівня подальшої обробки та містить подільник напруги, елементи захисту та фільтри імпульсних і високочастотних завад та наведень. ВК виконано таким чином, щоб лінійність нормалізації вхідного сигналу на порядок перевищувала заданий клас точності вимірювача. Це дає змогу реалізувати в приладі спосіб мобільного калібрування, який буде розглянутий далі.

Нормалізований вхідний сигнал оцифровується дельта-сігма АЦП другого порядку з частотою дискретизації 5580 відліків у секунду. Діюче значення вхідної напруги обчислюється 24-розрядним сигнальним процесором DSP як [11]:

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} U_n^2}{N}}, \quad (1)$$

де U_{RMS} – діюче значення вхідної напруги; U_n – відлік миттєвого значення напруги; N – число відліків на інтервалі вимірювання.

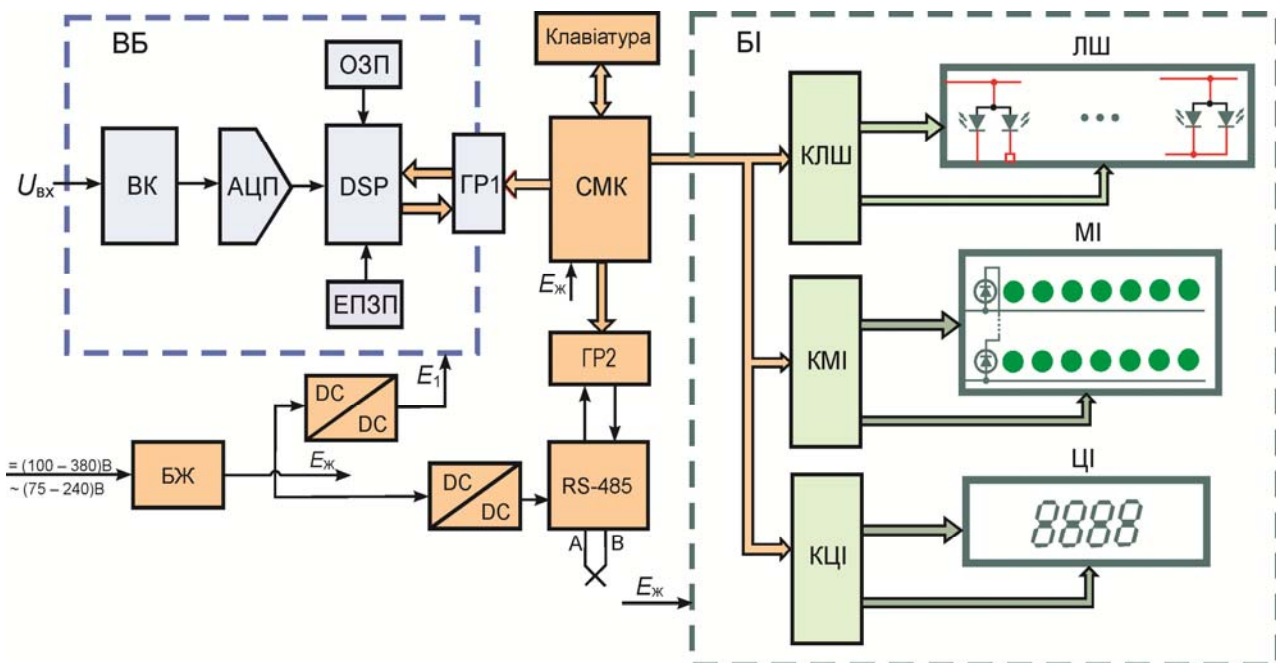


Рис. 1

Алгоритм визначення величини діючого значення напруги такий. Сформований АЦП відлік вхідного сигналу підноситься до квадрата і підсумовується в накопичувальному суматорі, який формується в оперативному запам'ятовуючому пристрої (ОЗП) сигнального процесора, із сумою попередніх у цьому періоді вимірювання відліків. Отримана за весь інтер-

вал сума ділиться на число відліків N , і з результату обчислюється квадратний корінь. У приладі застосовано лінійний алгоритм визначення інтервалу [11], за якого вимірювання здійснюється протягом фіксованого числа періодів частоти вхідного сигналу N_U . У цьому разі N визначається як

$$N = \frac{N_U}{f_U \cdot f_d}, \quad (2)$$

де f_U – частота вхідної напруги; f_d – частота відліків АЦП.

За вибраного для приладу $N_U = 10$ і $f_d = 1/5580$ число відліків N для діапазону частоти вхідного сигналу (45...55) Гц знаходиться в межах (1240...1014) відповідно. Початок і закінчення інтервалу вимірювання визначається в моменти переходу через нуль від негативного до позитивного значення вхідної напруги. Значення константи N_U та інших технологічних даних заносяться до електропрограмованого запам'ятовуючого пристрою (ЕПЗП) DSP у процесі первинних налаштувань під час виготовлення приладу.

Сформований в DSP код діючого значення вхідної напруги через схему гальванічної розв'язки ГР1 передається системному мікроконтролеру (СМК). Протокол передачі – пакетний асинхронний: DSP після обчислення чергового результату вимірювання формує пакет, в який входять відповідно маркер початку пакета, код результату та контрольна сума пакета.

На підставі отриманих даних, а також даних налаштувань та калібрування, що знаходяться в електропрограмованій постійній пам'яті запам'ятовуючого пристрою (ЕППЗП), СМК формує коди відображення даних, які відтворюються в зрозумілій для оператора формі блоком індикації (БІ) відповідними засобами формування зображення (рис. 2), а саме:

- у лінійній аналого-дискретній шкалі (ЛШ);
- у матричному індикаторі розмірності результату вимірювання (МІ);
- у 4-х розрядному цифровому індикаторі значення результату (ЦІ).

Для досягнення мінімальної споживаної потужності вся індикація (динамічна і статична) формується відповідними контролерами, а саме: лінійної шкали – КЛШ, матричного індикатора – КМІ, цифрового індикатора – КЦІ. Ці ж контролери за відповідними командами від СМК встановлюють і підтримують задану яскравість свічення індикаторів.

Обмін даними приладу із зовнішньою інформаційною системою здійснюється через інтерфейс RS 485. Для забезпечення гальванічної розв'язки апаратної частини адаптера інтерфейсу від основних вузлів приладу введений елемент ГР2, через який і здійснюється обмін даними системи та СМК.

Живлення приладу забезпечує блок живлення (БЖ), подача живлення на гальванічно розв'язані блоки ВБ та RS485 реалізована через перетворювачі DC–DC з гальванічно розв'язаними виходами.



Рис. 2

Основні технічні характеристики реалізованого щитового інтелектуалізованого вимірювача змінної напруги такі:

- частота вимірювального струму – (45...55) Гц;
- діапазони вимірюваної напруги: 1) від 0 до 120 В; 2) від 0 до 250 В; 3) від 0 до 500 В. Усі діапазони встановлюються з клавіатури приладу або через інтерфейс RS – 485, протокол MODBUS RTU. Параметри з'єднання встановлюються з клавіатури приладу.

Границі основної зведеної похибки становлять $\pm 0,5\%$, за нормуюче прийнято значення 500,0 В.

На рис. 2 показано, як результати вимірювань вхідного параметра виводяться на:



Рис. 3

- цифровий чотирирозрядний індикатор;
- лінійну двоколірну світлодіодну шкалу (світло-зелений та червоний кольори);
- індикатор розмірності вимірюваного параметра.

Лінійна двоколірна світлодіодна шкала індикує значення вхідного параметра з розрізнявальною здатністю 1/16 верхньої межі індикації вхідного параметра. На світлодіодній лінійній шкалі засвічується кількість світлодіодів, пропорційна значенню вхідного параметра. Відлік ведеться від нижньої поділки шкали.

Діапазон встановлення значення верхньої межі індикації вхідного параметра на лінійній шкалі – від 50,0 до 100,0 % значення вимірюваного діапазону. Крок налаштування – 0,1 %.

Для лінійної двоколірної світлодіодної шкали передбачено можливість встановлення верхньої межі індикації вхідного параметра через клавіатуру або інтерфейс.

У вимірювачі встановлено функцію зміни кольору лінійної двоколірної світлодіодної шкали залежно від рівня вхідного сигналу за алгоритмом: вимірювана величина в інтервалі між верхнім та нижнім порогами – основний колір (світло-зелений), за межами інтервалу – тривожний (червоний). Діапазон встановлення значень порогів зміни кольору лінійної шкали від 0,1 до 100,0 % від значення вимірюваного діапазону. Крок установки – 0,1 %. Значення порогів встановлюється з клавіатури або програмно через інтерфейс.

Для забезпечення комфортності оперативного зчитування показів оператором зі щитового інтелектуалізованого вимірювача змінної напруги передбачено можливість регулювання яскравості індикаторів за допомогою клавіатури. Всього доступно 15 рівнів яскравості. Встановлене значення яскравості запам'ятовується в EEPROM контролера.

У програмному забезпеченні приладу реалізовано такі функції обробки результатів вимірювань:

1. Функція цифрового фільтра, що дає змогу зменшити вплив випадкових перешкод на процес вимірювання. Робота фільтра описується параметрами, що задаються в процесі програмування:

- *int* (інтегрування): від 2 до 255 відліків вхідної напруги;
- *AVE* (осереднення): від 2 до 255 відліків.

2. Функція примусового (програмного) обнуління показів індикатора у випадку значення вхідного сигналу, меншого за заданий пороговий. Встановлення значення порога – з клавіатури або через інтерфейс. Діапазон обнуління показів приладу від 0.01 до 40 % діапазону вимірювань. Крок встановлення – 0,01 %.

3. Функція масштабування значень вхідної напруги та індикації перерахованого значення. Відповідні налаштування коефіцієнта трансформації здійснюються з клавіатури або через інтерфейс.

Живлення вимірювачів здійснюється від джерел:

- змінного струму напругою (75...242) В і частотою (50/60 ± 5) Гц;
- постійного струму напругою (100...380) В;

Споживана вимірювачем повна потужність не перевищує 3.0 В·А.

Габаритні розміри вимірювача становлять 96×96×114 мм, маса не перевищує 0,4 кг.

Ручне налаштування виконується за допомогою клавіатури, вмонтованої в нижню частину передньої панелі. З метою запобігання несанкціонованого втручання в роботу приладу клавіатура закривається кришкою, для якої передбачено можливість пломбування.


Зовнішній вигляд п'ятикнопкової клавіатури наведено на рис. 3.

Кнопка **М** «Меню» має три функції:

- вхід в режим програмування вимірювача простим натисканням;
- вихід з режиму програмування вимірювача простим натисканням у разі знаходження в головному меню;
- вихід з режиму набору числа зі збереженням вже встановленого значення цього числа.

Кнопки «Зміна» ,  мають дві функції:

- переміщення пунктами меню в режимі «кільце»;
- зміна значення на одиницю десяткового розряду числових параметрів у момент їхнього встановлення.

Кнопка  «Ввести» має дві функції:

- вхід в пункт меню (підменю);
- занесення в пам'ять СМК та в ЕППЗП набраного значення параметра.

Кнопка **ESC** «Скасування» має три функції:

- вихід із режиму підменю на верхній рівень меню простим натисканням;
- у режимі набору числа скасування вводу цифри у встановленому розряді та повернення на старший розряд;
- вихід з режиму програмування в момент знаходження в основному меню.

Введення кожного з видів налаштувань організовано у вигляді пунктів основного меню, які можуть містити в собі й підменю, якщо налаштування потребує встановлення кількох параметрів. Вхід у режим налаштувань з режиму вимірювань – кнопка **M**, водночас на індикаторах відкривається вікно пункту основного меню. На рис. 4 для прикладу зображені вікна деяких пунктів основного меню, а саме: *a* – встановлення коефіцієнта трансформації; *б* – встановлення параметрів лінійної шкали; *в* – встановлення ступеня яскравості індикаторів.

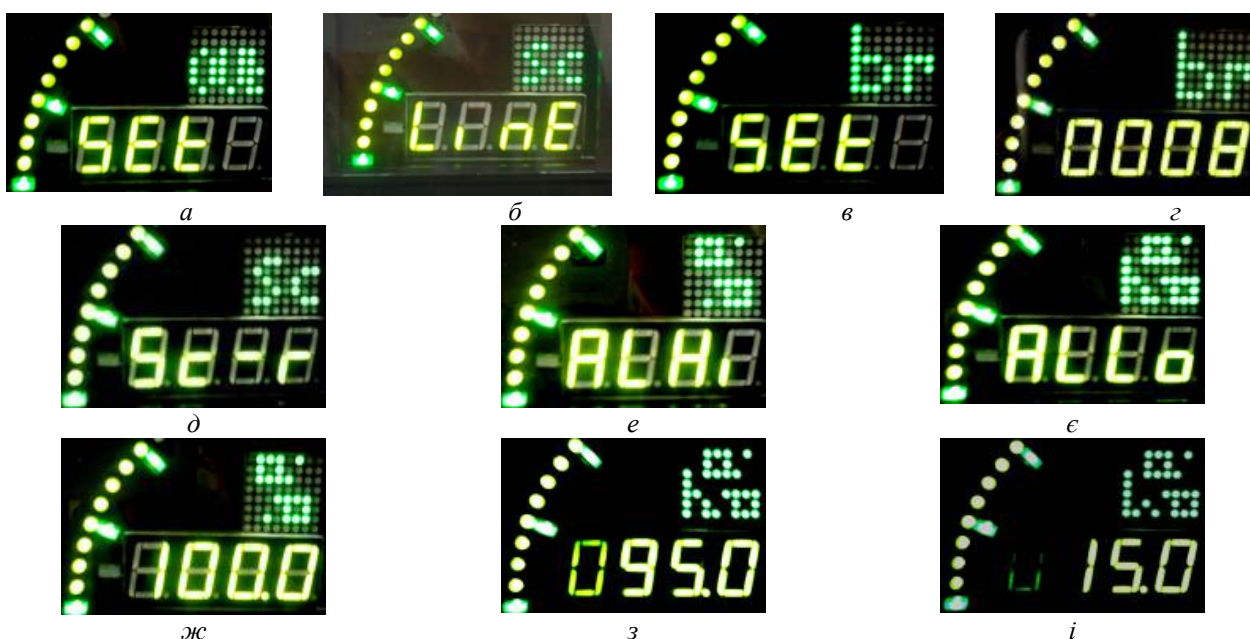






Рис. 4

Встановлення рівня яскравості свічення індикаторів виконується так. Оператор обирає вікно цього пункту (рис. 4 *в*).

Вхід в пункт меню з основного меню здійснюється за допомогою кнопки . За цих умов відкривається вікно підменю (рис. 4 *г*), де на цифровому індикаторі відображений встановлений рівень яскравості. Кнопками ,  змінюється рівень яскравості від одного до п'ятнадцяти. Водночас зі зміною рівня встановлюється і відповідна яскравість індикаторів.


Фіксація вибраного рівня яскравості відбувається за допомогою кнопки . За цих умов виконується повернення в основне меню. Натисканням кнопок **M** або **ESC** здійснюється вихід з пункту в основне меню без зміни ступеня яскравості.

Для налаштування лінійної шкали оператор обирає вікно пункту (рис. 4 *б*), після чого потрапляє в підменю, до якого входять такі підпункти:

- введення діапазону індикації значень вхідного сигналу на лінійній шкалі (рис. 4 *д*);

- введення значення верхнього порогу зміни кольору ЛШ (рис. 4 е);
- введення значення нижнього порогу зміни кольору ЛШ (рис. 4 є).

Після вибору потрібного вікна підпункту та входу в підпункт відкривається відповідне вікно набору значення параметра з індикацією встановленого значення (рис. 4 ж, з, і). Алгоритм введення є однаковим для всіх підпунктів. Значення параметра набирається в процентах від верхньої границі встановленого діапазону вимірювання вхідного сигналу, починаючи зі старшого розряду. У програму приладу закладено функцію перерахунку в значення вимірюваного параметра. Такий спосіб вводу дає можливість певної універсалізації програмного забезпечення та процесу налаштувань для вимірювачів різних параметрів, але вимагає попереднього обрахунку числа для вводу.

Занесення набору в пам'ять приладу і повернення в підменю здійснюється кнопкою , повернення в підменю без зміни параметра – кнопкою **М**.

Функція встановлення для лінійної шкали діапазону відображення вхідного сигналу, що відрізняється від номінального діапазону вимірювання, і пропорційного встановлення порогів світлової сигналізації виходу вхідного сигналу за допустимі межі суттєво покращує наочність рівня цього сигналу на ЛШ, що полегшує роботу операторів, підвищуючи в такий спосіб надійність управління об'єктом у різних режимах роботи.

Аналогічно встановлюються й інші числові параметри налаштувань. Програмою приладу забезпечується запис налаштувань у комірки пам'яті, які використовуються також і вхідними регістрами для встановлення цих самих налаштувань через інтерфейс.

Встановлення і підтримування заданої точності вимірювання досягається шляхом періодичних калібрувань. Для електронних серійних щитових вимірювачів калібрування виконується за допомогою точних універсальних калібраторів і спеціальної програми калібрування через системний інтерфейс [7, 3, 12]. Отже, для проведення калібрування стає необхідним також і системний контролер (найчастіше – персональний комп'ютер або ноутбук) зі встановленим спеціальним програмним забезпеченням, а також інтерфейсний адаптер.

Зазвичай серійні універсальні калібратори – стаціонарні великогабаритні прилади або установки з досить жорсткими вимогами до умов експлуатації. Практично це вимагає знімання приладу з щита управління й проведення калібрування в спеціальній лабораторії, що суттєво збільшує як витрати часу, так і трудомісткість операції.

Авторами розроблений і пропонується до застосування метод мобільного калібрування, за якого застосовується джерело калібраційного сигналу з одним фіксованим значенням, а керування процесом калібрування здійснюється з клавіатури приладу.

Для застосування цього методу, крім вимог до вимірювального кола приладу, згаданих вище, необхідне виконання додаткових умов, а саме:

- наявність джерела калібраційного сигналу зі значенням, близьким до верхньої границі діапазону вимірювання вхідного сигналу, атестованого з точністю, вищою за клас точності приладу в 3–5 разів, і з такою ж стабільністю до умов експлуатації;
- наявність у приладі спеціального режиму калібрування із захищеною від несанкціонованого втручання ініціалізацією цього режиму;
- забезпечення апаратної або програмної компенсації дрейфу і зміщення АЦП на рівні, у 4...5 разів меншому розрізнявальній здатності приладу, оскільки в методі застосовано двоточкову апроксимацію, і першою точкою прийнято нульовий відлік вхідного сигналу;
- виконання процесу калібрування в режимі безпосереднього вимірювання, обчислення значень та індикації вхідного сигналу.

Граф-алгоритм мобільного калібрування показаний на рис. 5. Кроки алгоритму, зображені в подвійній рамці, виконуються безпосередньо оператором, ним же ініціалізується продовження виконання процесу калібрування через клавіатуру приладу. Кроки алгоритму, зображені з подвійними боковими сторонами, ініціалізуються до виконання оператором, решта виконуються автоматично системним мікроконтролером приладу.

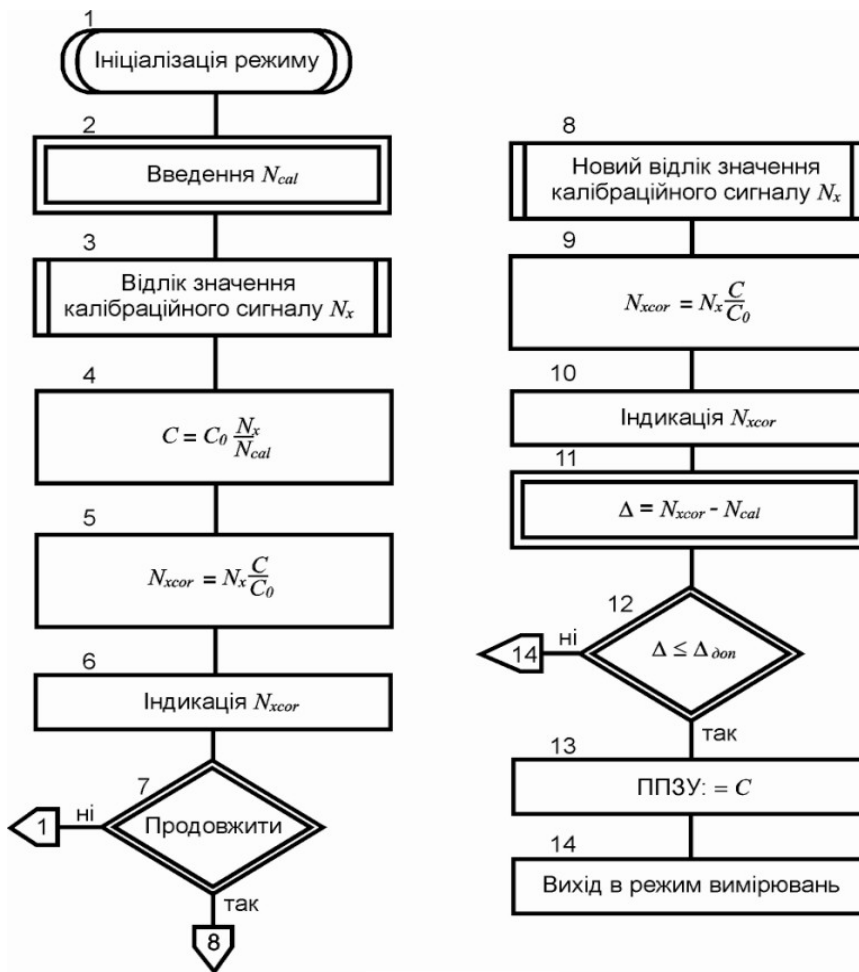


Рис. 5

приладу застосувати для обчислень цілочисельну арифметику, що суттєво збільшує швидкість виконання обчислень та зменшує місткість пам'яті програм для виконання. Після обчислення коефіцієнта C виконується корекція отриманого відліку N_x за формулою, вказаною в блоці 5 (рис. 5), отримане скореговане значення N_{xcor} виводиться на табло, і програма очікує рішення оператора. Для уникнення грубих промахів у процесі вимірювання калібраційного сигналу в алгоритм було закладено коефіцієнт C , що залежить від числа значущих розрядів відліку калібраційного сигналу, розрядності мікроконтролера приладу та дає змогу врахувати обмежену точність обчислення.

Якщо оператор впевнюється в коректності отриманого результату, то ініціалізує продовження виконання. За цих умов прилад виконує нове вимірювання, корекцію відліку обчисленим коефіцієнтом C та індикацію отриманого результату. Оператор аналізує точність отриманого результату і приймає рішення про продовження процесу. У випадку успішного виконання калібрування в перепрограмовану постійну пам'ять приладу заноситься коефіцієнт C , який використовується для корекції всіх відліків до наступного калібрування, і виконується вихід у робочий режим вимірювань. В іншому випадку також виконується вихід у робочий режим, але без фіксації отриманого значення коефіцієнта C , і в усіх наступних вимірюваннях застосовується попереднє значення цього коефіцієнта. Повторне калібрування доцільно проводити після виявлення та усунення причин некоректного завершення виконаного процесу калібрування.

Для застосування описаного методу калібрування вимога безпосереднього вимірювання вхідного сигналу створює труднощі. Прилади на щитах управління застосовуються практично завжди з коефіцієнтами трансформації вхідного сигналу, відмінними від одиниці. За умови їхнього безпосереднього калібрування або перевірки це вимагає від оператора або оперативного перерахунку отриманих значень, або використання для кожного приладу спеціальних калібрувальних таблиць. Останнє вимагає суворої подачі калібраційного сигналу

Після надходження на вхід приладу калібраційного сигналу оператор у ручному режимі запускає процес калібрування. У вимірювачі цей крок алгоритму реалізовано апаратно-програмним способом: у момент подачі живлення на прилад має бути натиснута відповідна кнопка клавіатури. Після запуску режиму на табло приладу відкривається вікно набору значення калібраційного сигналу N_{CAL} . Після вводу оператором цього значення виконується вимірювання, отримання відліку значення калібраційного сигналу N_x та обчислення калібраційного коефіцієнта C за формулою, вказаною в блоці 4 (рис. 5) граф-алгоритму.

Константу C_0 введено для того, щоб можна було в програмному забезпеченні

відповідного значення. Встановлення одиничного коефіцієнта трансформації з наступним відновленням робочого створює незручності і є джерелом можливих помилок.

Для спрощення цієї операції пропонується модифікований алгоритм функціонування приладу: у випадку виявлення спеціальної ознаки програмно встановлювати режим безпосереднього вимірювання вхідного сигналу з одиничним коефіцієнтом трансформації або перерахунку і повертатися до режиму з робочим коефіцієнтом тільки після отримання ознаки повернення до робочого режиму.

У вимірювачі описаний вище алгоритм реалізовано апаратно-програмним способом. На задній панелі приладу, крім клем для підключення вхідної напруги та живлення, введено дві клемми для ініціалізації режиму безпосереднього вимірювання вхідного сигналу. Цей режим ініціалізується виключно в момент подачі живлення за гальванічного з'єднання цих клем. Повернення до робочого режиму відбувається також у момент подачі живлення, але з розімкнутими клемми. Запропоноване рішення забезпечує високу надійність встановлення режиму роботи приладу.

Калібрування розглянутим методом дає змогу компенсувати певні інструментальні похибки вузлів приладу. У подільнику напруги вимірювального кола розробленого вимірювача застосовано резистори точністю $\pm 1\%$. Для калібрування приладу було застосовано атестоване джерело змінного струму напругою 249,45 В частотою 50 Гц. Після калібрування була проведена перевірка вимірювача за допомогою універсального калібратора М-142. Результати перевірки вимірювача на молодшому та старшому діапазонах вимірювання показано в табл. 1 та 2 відповідно.

Результати метрологічних досліджень ще кількох експериментальних зразків вимірювачів з тим самим джерелом сигналу тільки підтвердили ефективність застосованого методу калібрування. Джерела з фіксованим вихідним сигналом значно простіші, дешевші за серійні універсальні калібратори і випускаються в мобільному варіанті. Із застосуванням таких джерел і розглянутого методу калібрування цю операцію можна виконувати безпосередньо на місці встановлення приладу. Тому цей метод є мобільним.

За результатами дослідної експлуатації було отримано позитивні відгуки від користувачів таких приладів із побажаннями налагодити серійний випуск не тільки вимірювачів напруги змінного струму, але й щитових вимірювачів інших експлуатаційних параметрів обладнання об'єктів електроенергетики.

Таблиця 1

% $U_{вх}$ ном	Дійсне значення $U_{вх}$, В	Виміряне значення $U_{вх}$, В	Основна зведена похибка приладу, %	Допустиме значення ос- новної зведеної похибки, %
5	6,000	6,0	0,00	$\pm 0,5$
10	12,000	11,9	-0,08	$\pm 0,5$
20	24,000	24,2	0,17	$\pm 0,5$
50	60,000	60,0	0,00	$\pm 0,5$
80	96,000	96,1	0,08	$\pm 0,5$
100	120,000	119,9	-0,08	$\pm 0,5$
120	144,000	144,0	0,00	$\pm 0,5$

Таблиця 2

% $U_{вх}$ ном	Дійсне значення $U_{вх}$, В	Виміря- не зна- чення $U_{вх}$, В	Основна зведена похибка приладу, %	Допустиме значення ос- новної зведеної похибки, %
5	25,0	24,6	-0,09	$\pm 0,5$
10	50,0	49,3	-0,14	$\pm 0,5$
20	100,0	100,5	0,09	$\pm 0,5$
50	250,0	250,1	0,01	$\pm 0,5$
80	400,0	400,7	0,13	$\pm 0,5$
100	500,0	499,7	-0,06	$\pm 0,5$
110	550,0	551,1	0,21	$\pm 0,5$

Висновок. Розроблений інтелектуалізований щитовий вимірювач напруги з покращеними технічними характеристиками може бути використаний на енергогенеруючих об'єктах.

Робота виконана за держбюджетною темою «Розвиток наукових засад, методів і засобів вимірювання експлуатаційних параметрів обладнання електростанцій». Шифр «Параметр». Державний реєстраційний номер 0116U007285.

1. Zaitsev Ie., Levytskyi A. Hybrid electro-optic capacitive sensors for the fault diagnostic system of power hydrogenerator. Clean Generators - Advances in Modeling of Hydro and Wind Generators. Intechopen, 2020. Pp. 25–42. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77988>.
2. Zaitsev I.O., Levytskyi A.S., Kromplyas B.A. Hybrid capacitive sensor for hydro- and turbo generator monitoring system. In Proc. of the Int. conf. on modern electrical and energy system (MEES-17) November 15–17, 2017, Kremenchuk, Ukraine. Pp. 288–291. DOI: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248913>.
3. Baranov G., Komisarenko O., Zaitsev I.O., Chernytska I. S.M.A.R.T. technologies for transport tests networks, exploitation and repair tools. In Proc. of the Int. conf. Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS). 25–27, March 2021, Pichanur (India). Pp. 621–625. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9396055>.
4. SMART AC Digital Voltmeter. URL: <https://pdf.indiamart.com/impdf/10828918755/MY-1485461/smart-ac-digital-voltmeter.pdf> (дата звернення: 31.08.2021).
5. Electronic panel ampermeters. URL: <http://www.uriel-shay.com/media/upload/files/564062.pdf> (дата звернення: 31.08.2021).
6. Измерители параметров электрической сети. URL: http://www.microl.ua/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=116&Itemid=71&lang=ru (дата звернення: 31.08.2021).
7. Ц23.4 Амперметры и вольтметры постоянного тока для АЭС. URL: <https://www.elpribor.ru/catalog/56/1047/> (дата звернення: 31.08.2021).
8. Амперметры и вольтметры цифровые щитовые серии 3020. Руководство к эксплуатации 3.340.007 РЭ. – ОИУСН 140.003 РЭ. 45 с.
9. Кромпляс Б.А. Підвищення надійності роботи операторів щита управління енергогенеруючого об'єкта *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2021)*. Чотирнадцята міжнародна науково-практична конференція 18–19 травня 2021 р. Київ, Україна. К.: НАУ, 2021. С. 85–86.
10. Кромпляс Б.А. Концепція побудови інтелектуалізованих щитових вимірювачів функціональних параметрів енергогенеруючих об'єктів. *XX Міжнародна науково-технічна конференція "Приладобудування: стан і перспективи"*. 18–19 травня 2021 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна. С. 245–246.
11. 78M6610+PSD Energy Measurement Processor for Power-Supply Units. Data Sheet. 2017. Silergy Corp Proprietary information. 59 p.
12. Приборы для измерения унифицированных электрических сигналов постоянного напряжения, постоянного тока, температуры Ф1775.1 АД Ф/ 1775.2 АД. URL: <https://vbrspb.ru/product/odnokanalnye-panelnye-pribory-dlja-sistem-kontrolja-i-regulirovanija-f1775-ad-v-metallicheskoy-korpuse/> (дата звернення: 12.07.2021)

SMART SHIELD PANEL AC VOLTMETER CELL

B.A. Kromplyas, A.S. Levytskyi, Ie.O. Zaitsev

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine
e-mail: zaitsev@i.ua

In this paper smart shield panel of electrical operating parameter meters of energy generating facilities functionality is analyzed. The list of functions of measuring instruments was supplemented, which allowed increasing their operational characteristics. Methods and results of realization of these functions given for the panel board intellectualized voltage meter of alternating current. The structural scheme of the developed panel board intellectualized meter is described, and its main technical characteristics are given. A method of mobile calibration of the device is proposed, in which a calibration signal source with a different fixed value is used, and the calibration process itself is controlled from the device keyboard. A modernized detailed, and simplified calibration algorithm is present. Ref. 12, fig. 5, tables. 2.

Keywords: energy generating object, panel control unit, electrical parameter, intellectualized panel meter.

1. Zaitsev Ie., Levytskyi A. Hybrid electro-optic capacitive sensors for the fault diagnostic system of power hydrogenerator. Clean Generators - Advances in Modeling of Hydro and Wind Generators. Intechopen, 2020. Pp. 25–42. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.77988>.

2. Zaitsev I.O., Levytskyi A.S., Kromplyas B.A. Hybrid capacitive sensor for hydro- and turbo generator monitoring system. *In Proc. of the Int. conf. on modern electrical and energy system (MEES-17)* November 15–17, 2017 Kremenchuk, Ukraine. Pp. 288–291. DOI: <https://doi.org/10.1109/MEES.2017.8248913>.
3. Baranov G., Komisarenko O., Zaitsev I.O., Chernytska I. S.M.A.R.T. technologies for transport tests networks, exploitation and repair tools. *In Proc. of the Int. conf. Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*. 25–27, March 2021, Pichanur (India). Pp. 621–625. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICAIS50930.2021.9396055>.
4. SMART AC Digital Voltmeter. URL: <https://pdf.indiamart.com/impdf/10828918755/MY-1485461/smart-ac-digital-voltmeter.pdf> (accessed: 31.08.2021).
5. Electronic panel ampermeters. URL: <http://www.uriel-shay.com/media/upload/files/564062.pdf> (accessed: 31.08.2021).
6. Meters of parameters of an electric network. URL: http://www.microl.ua/index.php?option=com_virtuemart&page=shop.browse&category_id=116&Itemid=71&lang=ru (accessed: 31.08.2021). (Rus)
7. DC ammeters and voltmeters for NPP. URL: <https://www.elpribor.ru/catalog/56/1047/> (accessed: 31.08.2021). (Rus)
8. Digital panel ammeters and voltmeters 3020. Operation manual 3.340.007 PЭ. ОИУСН 140.003 PЭ. 45 p. (Rus)
9. Kromplyas B. Improving the reliability of the control panel operators of the power generation facility. Fourteenth International Scientific and Practical Conference. *Integrated intelligent robotic complexes (IIRTK-2021)*. Kyiv, Ukraine, May 18–19, 2021. Pp. 85–86. (Ukr)
10. Kromplyas B. The concept of construction of intellectualized panel meters of functional parameters of energy generating objects. XX International Scientific and Technical Conference "INSTRUMENT MANUFACTURING: state and prospects". Kyiv, Ukraine, May 18–19, 2021. Pp. 245–246. (Ukr)
11. 78M6610+PSD Energy Measurement Processor for Power-Supply Units. Data Sheet. 2017. Silergy Corp Proprietary information. 59 p.
12. Instruments for measuring unified electrical signals of direct voltage, direct current, temperature F1775.1 AD F/1775.2 AD. URL: <https://vbrspb.ru/product/odnokanalnye-panelnye-pribory-dlja-sistem-kontrolja-i-regulirovanija-f1775-ad-v-metallicheskom-korpuse/> (accessed: 12.07.2021). (Rus)

Надійшла: 18.09.2021
Received: 18.09.2021