

УДК 621.3.088.2

К.С. Василець, аспірантка, д.т.н., проф. Квасніков В.П.

Національний авіаційний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛІЧИЛЬНИКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВКЛЮЧЕННЯ В РЕЖИМІ ЗНИЖЕНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Анотація. Отримана лінійна регресійна залежність, що зв'язує вторинний струм та відносне значення первинного струму вимірювальних трансформаторів струму 300/5 та 600/5 класу точності 0,5s у складі вузла обліку електроенергії в режимі зниженого навантаження. Експериментально визначена границя чутливості трифазного цифрового лічильника типу NIK2307 за струмом становить 10 мА.

Ключові слова: лічильник електроенергії, чутливість, регресійна залежність, клас точності.

ВСТУП

Відповідно до Кодексу комерційного обліку електричної енергії [1], необхідні вимірювання для здійснення розрахунків між учасниками енергоринку забезпечуються вузлами обліку електричної енергії. В мережах напругою 380 В типовий вузол обліку включає цифровий трифазний лічильник електроенергії, що підключається до електромережі за допомогою вимірювальних трансформаторів струму.

Найчастіше у складі вузлів обліку використовуються вимірювальні трансформатори струму класів точності 0,5 або 0,5s. Відповідно до ДСТУ ІЕС 60044-1:2008 [2], струмові похибки таких приладів нормуються, починаючи з відносних значень первинного струму 5% та 1%, відповідно. В більшості випадків трансформатори струму обираються за робочим струмом електроприймача. Проте під час експлуатації протягом деяких періодів часу споживач функціонує в режимі зниженого навантаження, коли останнє становить декілька відсотків від номіналу. Такий режим виникає в нічний час або під час простоїв обладнання, коли споживається електроенергія тільки для освітлення території, функціонування охоронної сигналізації, насосів системи опалення тощо. Також суттєве зниження енергоспоживання та простої підприємств спостерігаються на фоні пандемії COVID-19 [3].

Окрім суттєвих похибок вимірювальних трансформаторів струму, в режимі зниженого навантаження струм через вимірювальні кола цифрового лічильника може виявитися меншим від границі чутливості, що унеможливує або суттєво знижує точність обліку електроенергії.

В ході попередніх досліджень була запропонована вимірювальна система контролю та обліку електроенергії з корегуванням похибок трансформаторів струму [4], проте вона не враховує границю чутливості цифрового лічильника електроенергії, що суттєво знижує ефективність застосування такої системи.

Мета роботи – підвищити точність обліку електроенергії в режимі зниженого навантаження шляхом експериментального дослідження функціонування вимірювальних трансформаторів струму з урахуванням чутливості цифрового трифазного лічильника електроенергії трансформаторного включення.

УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Лабораторний стенд включає досліджуваний цифровий трифазний лічильник PI1 (NIK2307 ART T.1600.M2.21), що підключався до мережі за допомогою вимірювальних трансформаторів струму Т-0,66-300/5 (досліди №1-23) або Т-0,66-600/5 (досліди №24-46), рис. 1. Покази PI1 порівнювалися з показами лічильника прямого включення PI2 (NIK2307 ARP3 T.1600.M2.21). Прилади характеризувалися класом точності 0,5s. В якості електроприймачів використовувалися лампи розжарення, що дозволяло формувати навантаження від 300 Вт до 2700 Вт з кроком 100 Вт в досліді кожної групи (№1-23 та №24-46). Під час дослідів вибіркові значення первинних та вторинних струмів вимірювальних трансформаторів струму визначалися за показами лічильників PI2 та PI1, відповідно. При цьому встановлено, що екземпляр лічильника PI1, що використовувався в лабораторному експерименті, є нечутливим при первинному струмі менше від 0,148%, а ненульові покази були зафіксовані при перевищенні первинним струмом величини 0,220%.



Рисунок 1. Вузол обліку електроенергії з трансформаторами струму 300/5 в лабораторних умовах

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Для визначення моделі зв'язку між вторинним струмом та відносним значенням первинного струму досліджуваних вимірювальних трансформаторів струму 300/5 та 600/5 в області ненульових значень вторинного струму відповідно до показів лічильника PI1, скористаємося методами коваріаційного аналізу ANCOVA, що об'єднує підходи регресійного та дисперсійного аналізів, зокрема – інструментом AOOSTOOL системи MATLAB. В даному випадку має місце 6 груп спостережень, кожна з яких відповідає вимірювальному трансформатору струму: TA1 300/5, TA2 300/5, TA3 300/5, TA1 600/5, TA2 600/5, TA3 600/5.

Розглядалася лінійна модель, що описує характеристики вимірювальних трансформаторів струму всіх досліджуваних типів, тобто аналіз передбачається здійснювати при ігноруванні групування, а саме:

$$I_s = k_1 + k_2 \cdot I_p^* + \varepsilon, \quad (1)$$

де I_s , I_p^* - вторинний струм (мА) та відносне значення первинного струму (%) вимірювального трансформатора струму; k_1 , k_2 - коефіцієнти моделі, мА; ε - випадкова похибка моделі, мА.

При проведенні дисперсійного аналізу були висунені наступні гіпотези. Нульова гіпотеза H_0 : зв'язок між досліджуваними змінними відсутній ($k_2=0$). Альтернативна гіпотеза H_1 : зв'язок між досліджуваними змінними є статистично значимим ($k_2 \neq 0$). Для перевірки нульової гіпотези використовувався критерій Фішера. Отримане в результаті дисперсійного аналізу асимптотична значимість $p=5,79 \cdot 10^{-168}$ є суттєво меншою від прийнятого рівня значущості $\alpha=0,05$: $p \ll \alpha$. Це свідчить про те, що нульова гіпотеза не може адекватно пояснити спостереження. Таким чином, гіпотеза H_0 відкидається при прийнятому рівні значущості. Твердження альтернативної гіпотези H_1 про те, що залежність $I_s(I_p^*)$ є статистично значимою, не протирічить експериментальним даним при $\alpha=0,05$.

В ході результаті регресійного аналізу для кожного з параметрів (k_1 та k_2) перевірялася нульова гіпотеза H_0 : емпірична оцінка параметру несуттєво відрізняється від нуля. Альтернативна гіпотеза H_1 : оцінка параметра суттєво відрізняється від нуля. Нульова гіпотеза перевірялася за допомогою t-критерія. Для отриманих точкових оцінок кожного з коефіцієнтів асимптотична значимість є суттєво меншою від прийнятого рівня значущості: для оцінки параметра k_1 отримано $p=2,73 \cdot 10^{-7} \ll \alpha$; для k_2 встановлено $p=5,79 \cdot 10^{-168} \ll \alpha$. Це свідчить про те, що нульова гіпотеза не може адекватно пояснити спостереження. Таким чином, гіпотеза H_0 відкидається при прийнятому рівні значущості. Твердження альтернативної гіпотези H_1 щодо значимості отриманих оцінок не протирічить експериментальним даним при $\alpha=0,05$.

Точкові оцінок коефіцієнтів (1), отримані в результаті регресійного аналізу, становлять: $k_1=-0,6338$ мА, $k_2=-49,5405$ мА. Тоді залежність абсолютного значення вторинного струму вимірювальних трансформаторів струму досліджуваних типів 300/5 та 600/5 (в діапазоні від 10 мА до 66 мА) від відносного значення первинного струму (в діапазоні від 0,22% до 1,4%) носить лінійний характер та описується рівнянням (рис. 2):

$$I_s = -0,6338 + 49,5405 \cdot I_p^* + \varepsilon. \quad (2)$$

Паспортне значення чутливості лічильника РІІ за струмом при вимірюванні активної енергії становить 5 мА. В той же час, відповідно до регресійного рівняння (2), такому значенню відповідає відносне значення первинного струму 0,114% вимірювального трансформатора. Однак, як було встановлено в результаті експерименту, до відносних значень первинного струму 0,141%, 0,143%, 0,144%, 0,145%, 0,146%, 0,147% та 0,148% екземпляр лічильника, що використовувався в лабораторному експерименті, є нечутливим. Поріг чутливості лічильника за струмом для кожної фази, відповідно до даних експерименту, становить 10 мА.

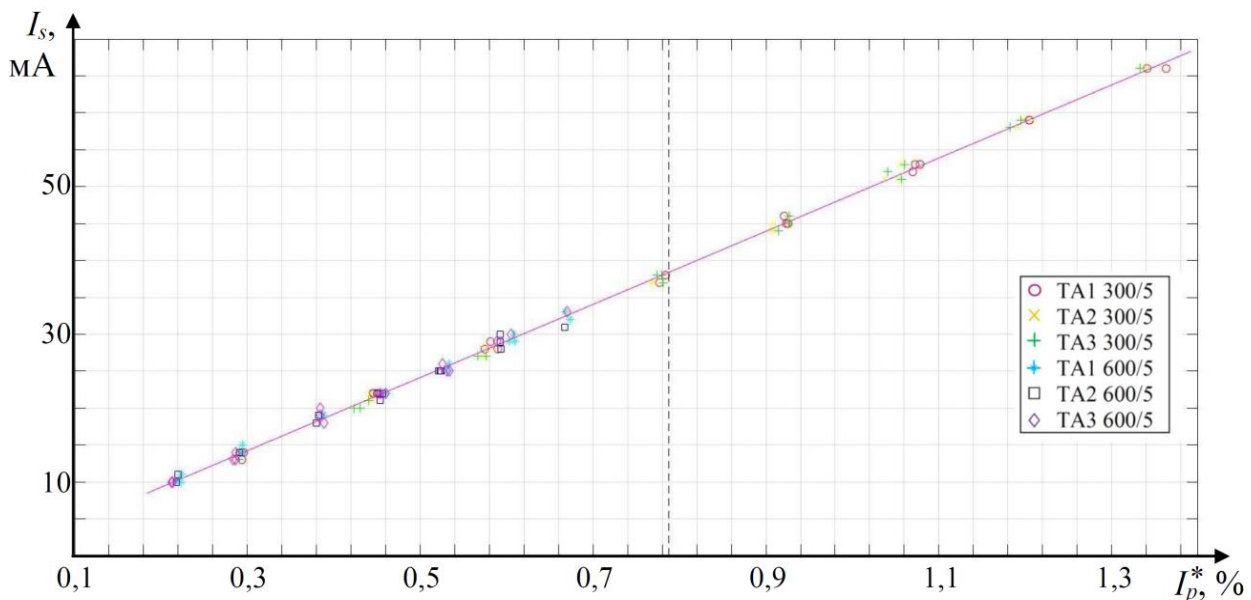


Рисунок 2. Лінійна регресія, що описує залежність вторинного струму I_s (мА), за показами лічильника РІ1, для вимірювальних трансформаторів струму від відносного значення первинного струму I_p^* (%) за показами лічильника РІ2

ВИСНОВКИ

Таким чином, в результаті експериментальних досліджень залежність вторинного струму від відносного значення первинного струму трансформаторів струму 300/5 та 600/5 класу точності 0,5s в режимі зниженого навантаження (до 1,4%) описана лінійною регресією. Встановлено, що границя чутливості лічильника NIK2307 ART T.1600.M2.21 за струмом становить 10 мА. В ході подальших досліджень доцільно оцінити похибку обліку електроенергії трифазним цифровим лічильником трансформаторного включення в режимі зниженого навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Кодексу комерційного обліку електричної енергії. Затверджений постановою НКРЕКП від 14.03.2018 № 311(у редакції від 20.03.2020 № 716). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text>
- [2] Трансформатори вимірювальні. К. : Держспоживстандарт України, 2010. (Національний стандарт України). Ч. 1: ДСТУ ІЕС 60044-1:2008. Трансформатори струму (ІЕС 60044-1:2003, IDT). Чинний від 2010-01-01. - К., 2010. VII, 38 с.
- [3] Javier Lo'pez Prol, Sungmin O. Impact of COVID-19 Measures on Short-Term Electricity Consumption in the Most Affected EU Countries and USA States. *iScience* 23, 101639, October 23, 2020. DOI: 10.1016/j.isci.2020.101639.
- [4] Заико А. И., Сорокин А. А. Измерительная система контроля и учета электроэнергии. *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. Т. 9, №6 (24). Уфа: УГАТУ, 2007. С. 210–212.

Наук. керівник – д.т.н., проф. Квасніков В.П.