

О. В. Бабенко¹
 О. В. Голобородько
 В. В. Захаров¹

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІД ЧАС ОБЛІКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

¹ Вінницький національний технічний університет

Наведено та проаналізовано границі похибок вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Проаналізовано вплив факторів на точність вимірювання струму та напруги, а також обліку активної і реактивної електроенергії з використанням вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Зокрема, для вимірювального трансформатора струму такими факторами є графік навантаження споживача, індивідуальні метрологічні характеристики самого трансформатора, а також навантаження його вторинної обмотки (навантага). Що стосується вимірювальних трансформаторів напруги, то на точність їх функціонування впливає значення навантаги та індивідуальні метрологічні характеристики. Підкреслено, що для ефективного використання вимірювальних трансформаторів струму та напруги на конкретних об'єктах необхідно провести дослідження з метою отримання вихідної інформації, яка допоможе обґрунтувати вказану ефективність: графіків навантажень споживачів, навантажень вторинних кіл, метрологічних характеристик. Аналіз отриманої інформації дозволяє окреслити найбільш доцільні заходи для підвищення вказаної ефективності: оптимізація завантаження вторинних кіл вимірювальних трансформаторів шляхом, наприклад, вибору оптимальної схеми ввімкнення, застосування додаткових навантажень, а також використання вимірювальних трансформаторів підвищеного класу точності. Наведено аналіз результатів перевірки вимірювальних трансформаторів напруги, який показав, що клас точності вказаних трансформаторів відповідає нормованим державним стандартам значенням за навантаги від 25 до 100%, а за умови меншої або більшої навантаги, їх похибка збільшується. Зокрема, за меншої навантаги похибка збільшується в позитивну сторону і досягає до +0,5% на фазу. Останнє, в свою чергу, зумовлює збільшення похибки вимірювання активної чи реактивної енергії в трифазній мережі споживачів.

Ключові слова: вимірювальний трансформатор струму, вимірювальний трансформатор напруги, лічильник активної енергії, лічильник реактивної енергії, похибка.

Вступ

Для ефективного функціонування промислових підприємств та цивільних споруд необхідно організувати якісне їх енергозабезпечення. Розглядаючи систему електропостачання, однією з важливих її ланок є система обліку електроенергії, яка містить не тільки лічильники електроенергії, а і часто – вимірювальні трансформатори струму (ВТС) та напруги (ВТН), що забезпечують живлення кіл струму та напруги засобів обліку. Наявність додаткових елементів в колах обліку впливає на точність останнього. Зокрема, вимірювальні трансформатори струму характеризуються струмовою та кутовою похибками, а вимірювальні трансформатори напруги характеризуються похибкою напруги і кутовою похибкою. Вказані похибки нормуються для різних класів точності ВТС та ВТН [1-3]. Варто відмітити, що похибки ВТС, що зазначені у відповідних стандартах, залежать від таких параметрів як струм первинної обмотки, а також навантага. В свою чергу, похибки ВТН, які нормуються, залежать від рівня напруги первинної обмотки і також від навантаги.

Метою роботи є дослідження факторів впливу на похибки ВТС та ВТН, що дозволить визначити умови підвищення точності обліку активної та реактивної електроенергії.

Результати дослідження

Відповідно до стандарту [0] окреслені границі струмової, а також кутової похибок трансформаторів струму різних класів точності, що залежать від струму первинної обмотки ВТС а також навантаги. В табл. 1 наведено значення вказаних границь для ВТС, з класом

точності 0,2.

Таблиця 1 – Границі похибок ВТС з класом точності 0,2

Клас точності	Струм в первинній обмотці ВТС (у % від номінального значення)							
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,2	Струмова похибка (\pm %)				Кутова похибка (\pm хв)			
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10

У трансформаторів струму для спеціального застосування значення струмової похибки нижчі (табл. 2)

Таблиця 2 – Границі похибок ВТС спеціального застосування з класом точності 0,2S

Клас точності	Струм в первинній обмотці ВТС (у % від номінального значення)									
	1	5	20	100	120	1	5	20	100	120
0,2S	Струмова похибка (\pm %)					Кутова похибка (\pm хв)				
0,2S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2	30	15	10	10	10

Згідно цього ж стандарту випробування ВТС класів точності від 0,1 до 1 для підтвердження відповідності їх класу точності, здійснюються для кожного із струмів первинної обмотки, що вказані в табл. 1 та 2 з навантагою, що дорівнює 25% та 100% від номінального значення, але не менше ніж 1 ВА.

Дослідження вимірювальних трансформаторів напруги (ВТН) [Error! Reference source not found.] з метою перевірки відповідності їх класів точності, що наведені в табл. 3, проводять за 80%, 100% та 120% від номінального значення напруги та навантаги, що дорівнює 25% та 100% номінальної.

Таблиця 3 – Границі похибок ВТН

Клас точності	Похибка напруги, (\pm %)	Кутова похибка (\pm хв)
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40
3,0	3,0	Не нормують

Було проаналізовано результати повірки ВТН на відповідність їх нормованому класу точності, які отримані електровимірювальними лабораторіями. В результаті аналізу впливає, що клас точності таких трансформаторів відповідає нормованим значенням за навантаги від 25 до 100%. За умови меншої або більшої навантаги, похибка ВТН збільшується (рис. 1).

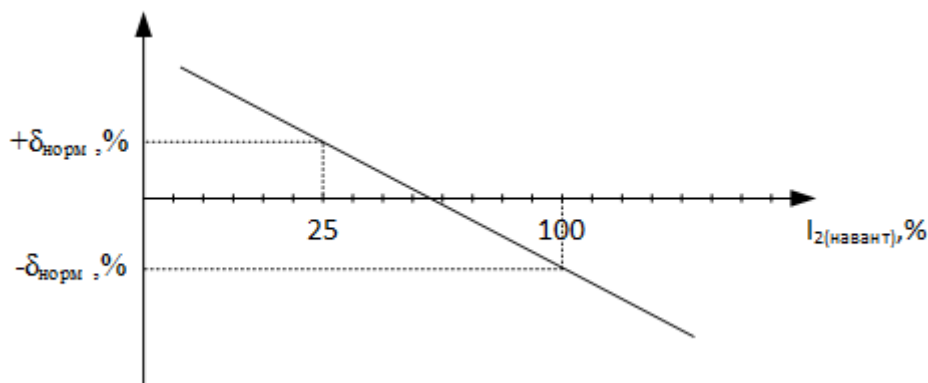


Рис. 1. Залежність похибки ВТН від навантаги (потужності навантаження)

Дані повірки багатьох ВТН показали, що за недостатньої навантаги (що нижча ніж 25% від номінального значення) похибка напруги ВТН збільшувалась до 0,5% на фазу. Це, в свою чергу впливало на збільшення похибки вимірювання активної чи реактивної енергії в трифазній мережі споживачів.

Отже, для ефективної експлуатації ВТН необхідно забезпечити рівень приєднаного навантаження (кіл напруги лічильників електроенергії), що є в межах 25 – 100% від

номінального значення. Іншим шляхом підвищення точності вимірювання напруги мережі є застосування ВНТ вищих класів точності.

Аналіз вимірювальних трансформаторів струму, зокрема табл. 1 та 2 показує, що для зниження струмової похибки ВТС за струму первинної обмотки, що нижче ніж номінальний, доцільно використовувати вимірювальні трансформатори струму спеціального застосування. Наприклад, за значення струму, що дорівнює 20% від номінального, відсоткова струмова похибка ВТС з класом точності 0,2 становить $\pm 0,35\%$. Натомість, у випадку застосування ВТС з класом точності 0,2S (спеціального застосування), відсоткова струмова похибка становитиме $\pm 0,2\%$. Отже, на точність вимірювальних трансформаторів впливають графіки електричних навантажень споживачів та індивідуальні метрологічні характеристики. Таким чином, для визначення найбільш оптимальних, економічно доцільних заходів з підвищення точності вимірювання струмів та напруг з використанням ВТС та ВТН необхідно отримати інформацію про навантаження вимірювальних кіл, графіки навантажень в електричних мережах та характеристики вимірювальних трансформаторів.

Висновки

Проаналізовано фактори, які впливають на точність вимірювання струму та напруги, а також обліку активної і реактивної електроенергії з використанням відповідних вимірювальних трансформаторів. Такими факторами для ВТС є графіки навантаження споживачів, індивідуальні метрологічні характеристики самого трансформатора, а також навантаження вторинної обмотки (навантага). Для вимірювальних трансформаторів напруги на точність впливає значення навантаги та індивідуальні метрологічні характеристики ВТН. Для ефективного використання ВТС та ВТН на конкретних об'єктах дослідження необхідно отримати вихідну інформацію: графіки електричних навантажень споживачів, навантаження вторинних кіл, метрологічні характеристики. Аналіз отриманої інформації дозволить обґрунтувати найбільш ефективні заходи для підвищення вказаної ефективності: оптимізація завантаження вторинних кіл ВТС та ВТН шляхом вибору оптимальної схеми ввімкнення чи застосування додаткових навантажень, використання вимірювальних трансформаторів з оптимальними характеристиками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] ДСТУ ІЕС 60044-1:2008. Трансформатори вимірювальні, Частина 1. Трансформатори струму. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 38 с.
- [2] ДСТУ ІЕС 60044-2:2008. Трансформатори вимірювальні, Частина 2. Трансформатори напруги індуктивні. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 34 с.
- [3] ДСТУ EN 61869-3:2017. Трансформатори вимірювальні. Частина 3. Додаткові вимоги до індуктивних трансформаторів напруги. [Чинний від 2019-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 30 с.

Бабенко Олексій Вікторович — кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;
Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

Голобородько Олександр Володимирович — інженер.

Захаров Василь Володимирович — асистент кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

O. V. Babenko¹
O. V. Goloborodko
V. V. Zakharov¹

Increasing the efficiency of the use of measuring transformers during electricity metering

Error limits of current and voltage measuring transformers are given and analyzed. The influence of factors on the accuracy of current and voltage measurement, as well as accounting of active and reactive electricity using current and voltage measuring transformers, was analyzed. In particular, for a measuring current transformer, such factors are the load schedule of the consumer, individual metrological characteristics of the transformer itself, as well as the load of its secondary winding (load). As for measuring voltage transformers, the accuracy of their operation is affected by the value of the load and individual metrological characteristics. It is emphasized that for the effective use of current and voltage measuring transformers at specific objects, it is necessary to conduct research in order to obtain initial information that will help to substantiate the specified efficiency: graphs of consumer loads, loads of secondary circuits, metrological characteristics. The analysis of the received information makes it possible to outline the most appropriate measures to increase the specified efficiency: optimization of the loading of the secondary circuits of the measuring transformers by, for example, choosing the optimal switching scheme, applying additional loads, as well as using measuring transformers of a higher accuracy class. An analysis of the results of the verification of voltage measuring transformers is given, which showed that the accuracy class of the indicated transformers corresponds to the values standardized by the state standard for loads from 25 to 100%, and in the case of a smaller or larger load, their error increases. In particular, with a smaller load, the error increases in the positive direction and reaches up to +0.5% per phase. The latter, in turn, leads to an increase in the measurement error of active or reactive energy in a three-phase network of consumers up to +1.5%.

Keywords: measuring current transformer, measuring voltage transformer, active energy meter, reactive energy meter, error.
Babenko Oleksii Viktorovych — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management, e-mail: oleksij_babenko@ukr.net;

Goloborodko Oleksandr Volodymyrovych — engineer;

Zakharov Vasyl Volodymyrovych — Assistant of the Chair of Electrotechnical Systems of Power Consumption and Energy Management.