

УДК 389.14:621.3

Ю.Л. Анохін, В.В. Волощенко, В.В. Копшин, С.М. Носко

ДП «Укрметртестстандарт», Київ, Україна

## НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ ВТОРИННОГО ЕТАЛОНА ОДИНИЦІ КОЕФІЦІЄНТА МАСШТАБНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ ВЕТУ 08-05-07-10

ДП «Укрметртестстандарт» створив і затвердив вторинний еталон одиниці коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму, який внесено у 2010 році до реєстру державних, первинних та вторинних еталонів під номером ВЕТУ 08-05-07-10. Метрологічні можливості в частині еталонів визнаються міжнародним співтовариством і включаються до Міжнародної бази даних калібрувальних та вимірвальних можливостей країн, якщо результати вимірювань або калібрування оцінюються невизначеністю вимірювань. Показаний методичний підхід при перетворенні характеристик похибок вторинних еталонів в характеристики невизначеності.

**Ключові слова:** еталон, трансформатор напруги, похибка, невизначеність.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Вимірювання, які проводяться за допомогою трансформаторів напруги, повинні забезпечувати достовірний облік електроенергії, надійність систем захисту електрообладнання, якість та конкурентоздатність електротехнічної продукції, виконання вимог техніки безпеки на робочих місцях. З огляду на важливість електричної енергії для народного господарства, виникає питання про оцінку точності калібрування та перевірки трансформаторів напруги, яку гарантують споживачам територіальні органи Держспоживстандарту. Вимоги до трансформаторів напруги регламентують стандарти [1, 2].

Для передачі розміру одиниці вимірювання трансформаторам напруги застосовують еталони одиниці коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги (далі КМПЕН) змінного струму. Метрологічне забезпечення виробництва та експлуатації вказаних засобів виміральної техніки в Україні реалізується згідно з вимогами ДСТУ 3864 [3].

Значна кількість робочих еталонів і високоточних робочих трансформаторів напруги із робочою напругою від 20 кВ до 110 кВ мають значні масогабаритні показники, що вкрай ускладнюють транспортування їх до місця дислокації державного еталона. Передачу їм розміру одиниці вимірювання доцільно виконувати від транспортбельних еталонів, що мають статус вторинного еталона.

**Забезпечення єдності вимірювань.** Розвиток робіт по вдосконаленню метрологічного забезпечення трансформаторів напруги та масштабних перетворювачів напруги змінного струму стримується внаслідок того, що на цей час в Україні в системі Держспоживстандарту були відсутні еталони зі статусом вторинного еталона, які використовуються для калібрування та перевірки робочих еталонів КМПЕН та робочих трансформаторів напруги класів точності 0,1 й 0,2 на місці їх експлуатації.

З метою вдосконалення та подальшого розвитку системи метрологічного забезпечення експлуатації та виробництва трансформаторів напруги в Україні «Державною програмою розвитку еталонної бази на 2006 – 2010 роки», затвердженій постановою КМУ від 01. 03. 2006 р. № 228 та «Державної програми розвитку еталонної бази на 2009 – 2010 роки», затвердженій постановою КМУ від 23. 07. 2008 р., передбачено створення вторинного еталона одиниці коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму. Виконавцем цієї роботи є ДП «Укрметртестстандарт».

**Відомості про вторинний еталон.** Вторинний еталон одиниці коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму (далі – вторинний еталон) одержує розмір одиниці від державного еталона одиниць електричної напруги змінного струму в діапазоні від 1 до  $1,2 \cdot 330 / \sqrt{3}$  кВ та КМПЕН на частоті 50 Гц – ДЕТУ 08-05-99, який очолює державну повірочну схему за ДСТУ 3864 та зберігається у ДП «Укрметртестстандарт».

Вторинний еталон призначений для зберігання одиниці КМПЕН в діапазоні номінального значення первинної напруги від 3 кВ до  $110 / \sqrt{3}$  кВ на частоті 50 Гц.

Галузь застосування вторинного еталона – виробники електротехнічного обладнання, територіальні органи Держспоживстандарту України, повірочні та калібрувальні лабораторії.

Вторинний еталон використовується для калібрування та перевірки робочих еталонів КМПЕН та робочих трансформаторів напруги класу точності 0,1 та 0,2 зворотним за допомогою компаратора.

**Метв статті.** Згідно з ДСТУ ГОСТ 8.381 [4] для еталонів нормують характеристики похибки.

За ДСТУ 3231 [5] вимагають також нормувати характеристики невизначеності при затвердженні еталонів. Однак, методологія відсутня.

Крім того, для визнання результатів вимірювань, отриманих за допомогою еталонів, на міжнародному рівні необхідно привести метрологічні характеристики еталонів до міжнародних вимог, тобто нормувати характеристики невизначеності.

В статті показаний методичний підхід при перетворенні характеристик похибок вторинних еталонів в характеристики невизначеності.

### Метрологічні характеристики

Апаратура зберігання вторинного еталона складається із трьох основних пристроїв: міри КМПЕН на 110 кВ, трансформатора напруги ПЕТН і масштабного перетворювача низької напруги (МПНН).

Метрологічні характеристики еталона такі:

1) номінальні значення первинної напруги,  $U_{1,ном} - 3; 6; 6,3; 10; 13,8; 15; 20/\sqrt{3}; 20; 27,5; 35/\sqrt{3}; 35$  та  $110/\sqrt{3}$  кВ;

2) номінальні значення вторинної напруги,  $U_{2,ном} - 100/\sqrt{3}$  В, 10 В і 127 В (тільки для номінального значення первинної напруги 27,5 кВ);

3) номінальні значення КМПЕН знаходять за формулою:

$$K_{ном,ВЕ} = U_{1,ном} / U_{2,ном} \quad (1)$$

і дорівнюють – 30; 60; 63; 100; 103,92; 109,12; 138; 150; 173,20; 200; 202,8; 216,54; 239,02; 259,80; 275; 350; 606,2; 635,1; 1100.

4) діапазон робочих значень первинної напруги у відсотках від номінального значення становить від 80 % до 120 % для кожного номінального значення первинної напруги.

Вторинне навантаження – компаратор СА507. Характеристики похибок вторинного еталона відповідають вимогам ДСТУ ГОСТ 8.381 і ДСТУ 3864.

### Невизначеність вторинного еталона

Джерела невизначеності наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Джерела невизначеності

Позначення	Оцінка за первинної номінальної напруги		Розподіл
	(3-35) кВ	$100/\sqrt{3}$ кВ	
$S_{ВЕ,в,ф,(\Delta)}$	0,00012%	0,00012%	–
$S_{ВЕ,δ,(\Delta)}$	0,01'	0,01'	–
$S_{ДЕ,в,ф,(\Delta)}$	0,002%	0,003%	–
$S_{ДЕ,δ,(\Delta)}$	0,1'	0,26'	–
$\Theta_{ДЕ,в,ф}$	0,005%	0,008%	Рівномірний
$\Theta_{ДЕ,δ}$	0,5'	0,68'	Рівномірний
$S_{ε,Σв,ф}$	0,0006%	0,0009%	–
$S_{ε,Σδ}$	0,03'	0,05'	–

В табл. 1 позначення мають такі визначення:  
–  $S_{ВЕ,в,ф,(\Delta)}$  – середньоквадратичне відхилення (далі – СКВ) випадкової похибки напруги вторинного еталона у відносній формі;

–  $S_{ВЕ,δ,(\Delta)}$  – СКВ випадкової кутової похибки вторинного еталона у абсолютній формі;

–  $S_{ДЕ,в,ф,(\Delta)}$  – СКВ випадкової похибки напруги при відтворенні державним еталоном одиниці КМПЕН у відносній формі;

–  $S_{ДЕ,δ,(\Delta)}$  – СКВ випадкової кутової похибки при відтворенні державним еталоном одиниці різниці фаз напруги у абсолютній формі;

–  $\Theta_{ДЕ,в,ф}$  – невиключена систематична відносна похибка напруги державного еталона у відносній формі;

–  $\Theta_{ДЕ,δ}$  – невиключена систематична кутова похибка державного еталона у абсолютній формі;

–  $S_{ε,Σв,ф}$  – СКВ результатів вимірювання при передаванні розміру одиниці КМПЕН від державного еталона до вторинного еталона у відносній формі;

–  $S_{ε,Σδ}$  – СКВ результатів вимірювання при передаванні розміру одиниці різниці фаз напруги від державного еталона до вторинного еталона у абсолютній формі.

Визначення СКВ випадкової похибки напруги,  $S_{ВЕ,в,ф,(\Delta)}$ , і СКВ випадкової кутової похибки,  $S_{ВЕ,δ,(\Delta)}$ , вторинного еталона проводять за формулами:

$$S_{ВЕ,в,ф,(\Delta)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (f_{ВЕ,i} - \bar{f}_{ВЕ})^2 / (n(n-1))}; \quad (2)$$

$$S_{ВЕ,δ,(\Delta)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\delta_{ВЕ,i} - \bar{\delta}_{ВЕ})^2 / (n(n-1))}, \quad (3)$$

де  $f_{ВЕ,i}$  – дійсне значення відносного відхилення КМПЕН і-го спостереження від номінального;  $\delta_{ВЕ,i}$  – дійсне значення різниці фаз напруги змінного струму і-го спостереження;  $\bar{f}_{ВЕ}$  – середнє арифметичне значення відносного відхилення КМПЕН від номінального;  $\bar{\delta}_{ВЕ}$  – середнє арифметичне значення різниці фаз напруги змінного струму;  $n = 10$  – кількість спостережень. Інші величини з табл. 1 визначають згідно з ДСТУ 3864.

Стандартна і розширена невизначеність та алгоритми їх знаходження наведено в табл. 2. В табл. 2 позначення мають такі визначення:

–  $u_{A,ф}$  – стандартна невизначеність за типом А коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму;

–  $u_{B,ф}$  – стандартна невизначеність за типом В коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму;

Таблиця 2  
Невизначеність вторинного еталона

Стандартна невизначеність		Розширена невизначеність
Тип і позн.	Алгоритм	Позначення і алгоритм
$u_{A,f}$	$\sqrt{S_{BE,B,f,(\Delta)}^2 + S_{DE,B,f,(\Delta)}^2}$	$U_f = 2\sqrt{u_{A,f}^2 + u_{B,f}^2}$
$u_{B,f}$	$\sqrt{\frac{\Theta_{DE,B,f}^2}{3} + S_{\varepsilon,\Sigma B,f}^2}$	
$u_{A,\delta}$	$\sqrt{S_{BE,\delta,(\Delta)}^2 + S_{DE,\delta,(\Delta)}^2}$	$U_\delta = 2\sqrt{u_{A,\delta}^2 + u_{B,\delta}^2}$
$u_{B,\delta}$	$\sqrt{\frac{\Theta_{DE,\delta}^2}{3} + S_{\varepsilon,\Sigma\delta}^2}$	

–  $u_{A,\delta}$  – стандартна невизначеність за типом А різниці фаз напруги змінного струму;

–  $u_{B,\delta}$  – стандартна невизначеність за типом В різниці фаз напруги змінного струму;

–  $U_f$  – розширена невизначеність коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги змінного струму;

–  $U_\delta$  – розширена невизначеність різниці фаз напруги змінного струму.

Розширена невизначеність з фактором покриття  $K = 2$  та довірчою ймовірністю  $P = 0,95$ :

– КМПЕН змінного струму становить 0,007 % для первинної номінальної напруги від 3 кВ до 35 кВ та 0,011 % для первинної номінальної напруги 110/√3 кВ;

– різниці фаз напруги змінного струму становить 0,6' для первинної номінальної напруги від 3 кВ до 35 кВ та 0,95' для первинної номінальної напруги 110/√3 кВ.

Результат вимірювання при передаванні розміру одиниці КМПЕН від вторинного еталона до трансформатора напруги при  $P = 0,95$  визначають як:

#### НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ВТОРИЧНОГО ЭТАЛОНА ЕДИНИЦЫ КОЭФФИЦИЕНТА МАСШТАБНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВЕТУ 08-05-07-10

Ю.Л. Анохин, В.В. Волощенко, В.В. Копшин, С.Н. Носко

ГП "Укрметртестстандарт" создал и утвердил вторичный эталон единицы коэффициента масштабного преобразования напряжения переменного тока, который внесен в 2010 году в реестр государственных, первичных и вторичных эталонов под номером ВЕТУ 08-05-07-10. Метрологические возможности в части эталонов признаются международным сообществом и включаются в Международную базу данных калибровочных и измерительных возможностей стран, если результаты измерений или калибровки оцениваются неопределенностью измерений. Показан методический подход при преобразовании характеристик погрешностей вторичных эталонов в характеристики неопределенности.

**Ключевые слова:** эталон, трансформатор напряжения, погрешность, неопределенность.

#### UNCERTAINTY OF THE AC SECONDARY STANDARD OF THE UNIT OF COEFFICIENT OF LARGE-SCALE TRANSFORMATION VOLTAGE ВЕТУ 08-05-07-10

Yu.L. Anohin, V.V. Voloschenko, V.V. Kopshyn, S.N. Nosko

The State Enterprise "Ukrmetrteststandard" has created and approved the AC secondary standard of the unit of coefficient of large-scale transformation voltage, which has been added in 2010 year to the State Register of the first and secondary standard units under the reference number # ВЕТУ 08-05-07-10. The metrological performance capabilities of standard units are determined by the International Database of countries potential in calibration and measurement in case if the results of measurements appraise by measurement uncertainty. The methodical approach in transformation of errors characteristics of the secondary standard units in uncertainties characteristics is showed.

**Keywords:** standard, transformer voltage, error, uncertainty.

$$K_x = K_{\text{ном,ВЕ}} \cdot [1 - (\bar{f}_{\text{ВЕ}} \pm U_f)]; \quad (4)$$

$$\delta_x = \bar{\delta}_{\text{ВЕ}} \pm U_\delta, \quad (5)$$

де  $K_x$  – дійсне значення КМПЕН трансформатора напруги, якому передають розмір одиниці;  $\delta_x$  – дійсне значення різниці фаз напруги трансформатора напруги.

#### Висновки

Оснащення державної метрологічної служби України вторинним еталоном дозволить оптимізувати систему передачі розміру одиниці КМПЕН.

Впровадження вторинного еталона в національну економіку України поліпшить метрологічне забезпечення робочих еталонів КМПЕН та робочих трансформаторів напруги класу точності 0,1 та 0,2 в діапазоні номінального значення первинної напруги від 3 кВ до 110/√3 кВ.

Покращення метрологічного забезпечення виробництва та експлуатації трансформаторів напруги дозволить збільшити достовірність обліку електроенергії.

#### Список літератури

1. ДСТУ ІЕС 60044-2:2008. Вимірювальні трансформатори. Трансформатори напруги індуктивні. Частина 2. (ІЕС 60044-2:2003, ІДТ).

2. ДСТУ ГОСТ 23625-2003. Трансформатори напруги вимірювальні лабораторні. Загальні технічні умови.

3. ДСТУ 3864-99. Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань електричної напруги змінного струму в діапазоні від 1 до 1,2·500/√3 кВ та коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги на частоті 50 Гц..

4. ДСТУ ГОСТ 8.381:2008. Еталони. Способи виразу похибок.

5. ДСТУ 3231:2007 Еталони одиниць вимірювань. Державні, первинні та вторинні. Основні положення, порядок розроблення, реєстрації, зберігання та застосування.

Надійшла до редколегії 28.04.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.П. Мачехін, Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків.