

ПОХИБКИ ПРИЛАДІВ ОБЛІКУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Гнатів А. В.¹, Аргун Ш. В.¹, Дзюбенко О. А.¹,
Тарасова В. В.², Новіченок С. М.² Войт О. В.²,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба

***Анотація.** Основними показниками, що характеризують ефективність інформаційно-вимірювальної техніки в системі обліку, є точність подання вимірювальної інформації та її достовірність. Проведено оцінку похибки вимірювальних трансформаторів різних класів точності. Сформульовано рекомендації по вибору вимірювальних трансформаторів, а також зазначені основні шляхи зменшення похибок.*

***Ключові слова:** трансформатори струму, трансформатори напруги, лічильники, облік електричної енергії, похибки, вимірювальні трансформатори.*

Вступ

Потреби людства в електроенергії збільшуються з кожним роком. Це потребує не тільки збільшення генерації електроенергії, зменшення її втрат на всьому шляху до споживача, що само по собі є важливою задачею [1-3]. Необхідно також постійно проводити облік спожитої енергії. Основними показниками, що характеризують ефективність інформаційно-вимірювальної техніки в системі обліку, є точність подання вимірювальної інформації та її достовірність. На додаток до класичного підходу і, відповідно до об'єкта, що розглядається, процес отримання достовірної інформації повинен бути автоматизований, щоб забезпечити одночасність надання вимірювальної інформації, яка суттєво впливає на результат вимірювання. Зазначені показники визначаються в системі обліку електроенергії принципами організації вимірювань, якістю системи обліку (тобто похибками вимірювальних приладів) [4-7].

Аналіз публікацій

У більшості споживачів, особливо побутових облік енергії ведеться з використанням лічильників, в більшості випадків - індукційних. Вони мають достатню кількість недоліків, але дуже дешеві та прості в експлуатації [6-11]. Але в колах змінного струму при високих напругах або значних струмах, коли вимірювальні прилади чи пристрої релейного захисту та автоматики нераціонально або небезпечно під-

ключати в первинні кола, використовують вимірювальні трансформатори. До вимірювальних трансформаторів відносяться трансформатори струму та напруги [12-15].

Вимірювальні трансформатори складаються з магнітопроводу, зібраного з листової або полосової сталі, та двох обмоток: первинної та вторинної. Трансформатори напруги підключаються в електричні кола паралельно. До вторинної обмотки підключають вольтметри та обмотки напруги інших приладів, також паралельно (рис.1). Ізоляція первинної обмотки виконана на напругу мережі. Номінальна напруга вторинної обмотки 100 В. (Іноді – 100/ $\sqrt{3}$ В). Первинна та вторинна обмотки виконані проводом невеликого перерізу, оскільки струми в них незначні. Діаметр проводу вибирають, як правило, за механічною міцністю. Режим роботи трансформатора близький до режиму роботи холостого ходу.

Трансформатори струму підключають в електричну мережу послідовно. До вторинної обмотки трансформаторів, послідовно з нею, підключають амперметри, струмові обмотки вимірювальних приладів та реле [13, 16].

Провід первинної обмотки вибирається за струмами первинних кіл, а ізоляція – за їхньою напругою. Номінальний струм вторинної обмотки 5 А, інколи 1 А. Оскільки опір обмоток приладів, підключених до трансформатора струму, незначний, трансформатор працює в режимі, близькому до короткого замикання. Напруга на затискачах вторинної обмотки

складає одиниці вольтів. При розмиканні вторинної обмотки напруга на ній зростає до ти-

сячі вольтів. Тому забороняється, навіть короткочасно, розмикати кола вторинної обмотки [16, 17].

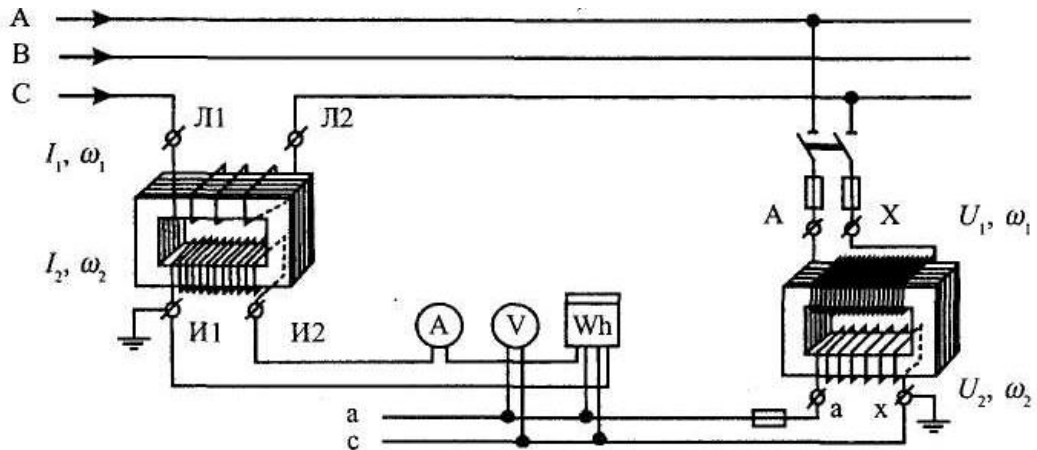


Рис. 1. Схема підключення трансформаторів струму та напруги в електричну мережу

Схема підключення лічильника електроенергії через вимірювальні трансформатори приведена на рис. 2.

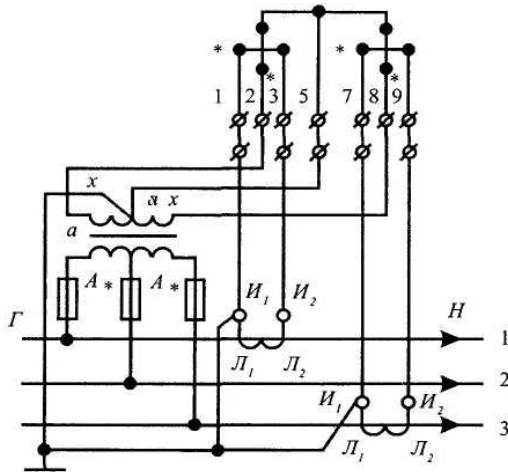


Рис. 2. Схема підключення лічильника електроенергії через вимірювальні трансформатори

Мета роботи

Мета даної роботи – оцінити похибки вимірювальних трансформаторів різних класів точності, сформулювати рекомендації по вибору вимірювальних трансформаторів різних класів точності, а також намітити шляхи зменшення похибок.

Похибки

Похибки лічильника залежать від ряду причин: сухого тертя, нелінійності магнітних потоків від струму навантаження і напруги, температурного впливу, впливу компенсуючого моменту, $\cos \varphi$, втрат на гістерезис і вихрові

струми, частоти і т.п. Основні причини, що викликають похибки лічильника, є систематичними, тому криві похибок усіх лічильників мають визначену закономірність.

Розрізняють дійсну K_d і номінальну K_n постійні лічильника. Дійсна постійна дорівнює:

$$K_d = \frac{Pt}{N}. \quad (1)$$

Номінальна постійна лічильника визначається за паспортними даними лічильника, зазначеними на його щитку. Наприклад, якщо на щитку зазначено: «1 кВт·год = 2500 обертів». Тоді номінальна постійна K_n лічильника дорівнює:

$$K_n = \frac{1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}}{2500 \text{ об}} = 1440 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{об}}.$$

Лічильник електричної енергії, як і всякий вимірювальний прилад, має похибку. Похибка виміру лічильника β визначається відношенням:

$$\beta = \frac{W_x - W}{W} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де W_x – значення енергії, відлічене по даних лічильника;

W – дійсно витрачена енергія за той же час (енергія, дійсно витрачена в колі, визначається при перевірці лічильника за допомогою зразкового ватметра і секундоміра: $W = Pt$).

Величина, яка чисельно дорівнює енергії,

дійсно витраченій за один оберт диска лічильника, є дійсною постійною K_d лічильника.

Знаючи номінальну K_n і дійсну K_d , постійні лічильника, його відносну похибку можна визначити інакше:

$$\beta = \frac{W_x - W}{W} \cdot 100\% = \frac{K_n N - K_d N}{K_d N} 100\% = \frac{K_n - K_d}{K_d} 100\% \quad (3)$$

Для визначення величини похибок трансформатора напруги проаналізуємо векторну діаграму трансформатора (рис.3). Умовний напрям електричних величин в трансформаторі напруги вказаний на рис. 4.

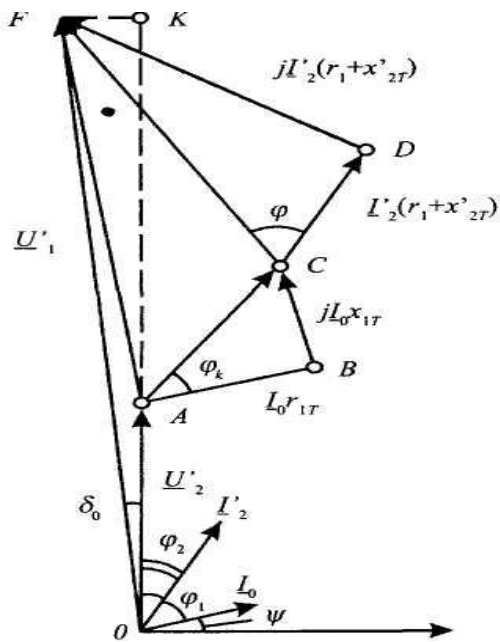


Рис. 3. Векторна діаграма трансформатора напруги

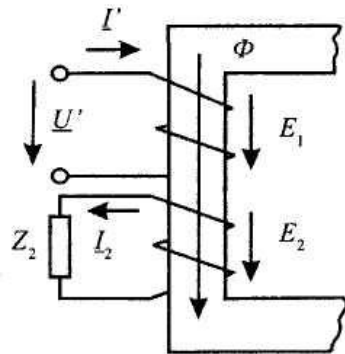


Рис.4. Умовний напрям електричних величин в трансформаторі напруги

На рисунках введені такі позначення: $U_{1ном}$,

$U_{2ном}$ - номінальні первинна та вторинна напруги; U_1 - первинна напруга мережі; δ_0 - кут похибки; I_0 - струм намагнічування; I_1 - первинний струм; I_2 - вторинний струм (струм навантаження); r_{1T} , r_{2T} - активні опори первинної та вторинної обмоток; x_{1T} , x_{2T} - реактивні опори обмоток трансформатора; U_2 - вторинна напруга; φ_2 - кут зсуву фаз між U_2 та I_2 ; φ_k - кут зсуву фаз внаслідок активних та реактивних опорів обмоток; ψ - кут втрат.

Тоді згідно [13-16] можна записати похибку по напрузі у виді:

$$\Delta U\% = \frac{AF}{OF} 100\% = - \left[\frac{I_0(r_{1T} \sin \psi + x_{1T} \cos \psi)}{U_1} + \frac{I_2[(r_{1T} + r_{2T}) \cos \varphi_2 + (x_{1T} + r_{1T}) \sin \varphi_2]}{U_1} \right] \times 100\% \quad (4)$$

або у виді

$$\Delta U\% = \Delta U_X 100\% + \Delta U_H 100\% \quad (5)$$

де ΔU_X - похибка по напрузі, зумовлена струмом холостого ходу;

ΔU_H - похибка по напрузі, зумовлена струмом навантаження.

Похибка по напрузі, зумовлена струмом холостого ходу, визначається як

$$\Delta U_X \% = -(U_{a1} \% \cdot i_A + U_{p1} \% \cdot i_P) \quad (6)$$

де $i_A = \frac{I_0}{I_1} \cos \psi$ - активна складова струму намагнічування;

$i_P = \frac{I_0}{I_1} \sin \psi$ - реактивна складова струму намагнічування.

Активна складова падіння напруги на первинній обмотці дорівнює:

$$U_{a1} \% = \frac{I_1 r_{1T}}{U_{1ном}} 100\% \quad (7)$$

Реактивна складова падіння напруги на первинній обмотці дорівнює:

$$U_{p1}\% = \frac{I_1 x_{1T}}{U_{\text{НОМ}}} 100\% \quad (8)$$

Похибка по напрузі, зумовлена струмом навантаження, визначається як:

$$\Delta U_H\% = -(U_a\% \cos \varphi_2 + U_p\% \sin \varphi_2), \quad (9)$$

де позначено:

$$U_a\% = U_{a1}\% + U_{a2}\% = \frac{I_1 r_{1T} + I_2 r_{2T}}{U_{\text{НОМ}}} 100\%; \quad (10)$$

$$U_p\% = U_{p1}\% + U_{p2}\% = \frac{I_1 x_{1T} + I_2 x_{2T}}{U_{\text{НОМ}}} 100\%. \quad (11)$$

Кутова похибка, згідно [13-16], визначається у виді:

$$\delta = \frac{3440}{U_1} \times \left(I_0 (r_{1T} \cos \psi - x_{1T} \sin \psi) + I_2 [(r_{1T} + r_{2T}) \sin \varphi_2 - (x_{1T} + x_{2T}) \cos \varphi_2] \right) = \delta_X + \delta_H \quad (12)$$

де $\delta_X = \frac{3440}{100} (U_{a1}\% \cdot i_p + U_{p1}\% \cdot i_a)$ – кутова похибка, зумовлена струмом холостого ходу;

$\delta_H = \frac{3440}{100} (U_a\% \sin \varphi_2 - U_p\% \cos \varphi_2)$ – кутова похибка, зумовлена струмом навантаження.

Паспортні значення похибки трансформатора напруги гарантуються при змінах первинної напруги в межах $(0,8 \dots 1,2) U_{\text{НОМ}}$, значенні $\cos \varphi_H = 0,8$ та змінах потужності навантаження в межах $(0,25 \dots 1,0) S_{\text{НОМ}}$.

Похибка по напрузі чисельно відповідає класу точності трансформатора, тобто:

- при класі точності 0,5 – похибка по напрузі $\Delta U = 0,5\%$;
- при класі точності 1,0 – похибка $\Delta U = 1,0\%$;
- при класі точності 3,0 – похибка $\Delta U = 3,0\%$.

Кутова похибка для класу трансформаторів 0,5 – дорівнює 20 кутових хвилин; для класу 1,0 – 40 кутових хвилин. У трансформаторах класу 3,0 кутова похибка не нормується [13-18].

Трансформатори напруги вибирають таким чином, щоб похибки вимірювання звести до мінімуму. Підбирають їх за номінальними параметрами первинного кола, класом точності та схемою з'єднання обмоток. Фактичне навантаження приладів має відповідати номінальному навантаженню вторинного кола при вибраному класі точності.

Втрати напруги в з'єднувальних проводах не повинні перевищувати $0,5\% U_{\text{НОМ}}$.

Для визначення похибки трансформаторів струму розглянемо їх векторну діаграму (рис. 5).

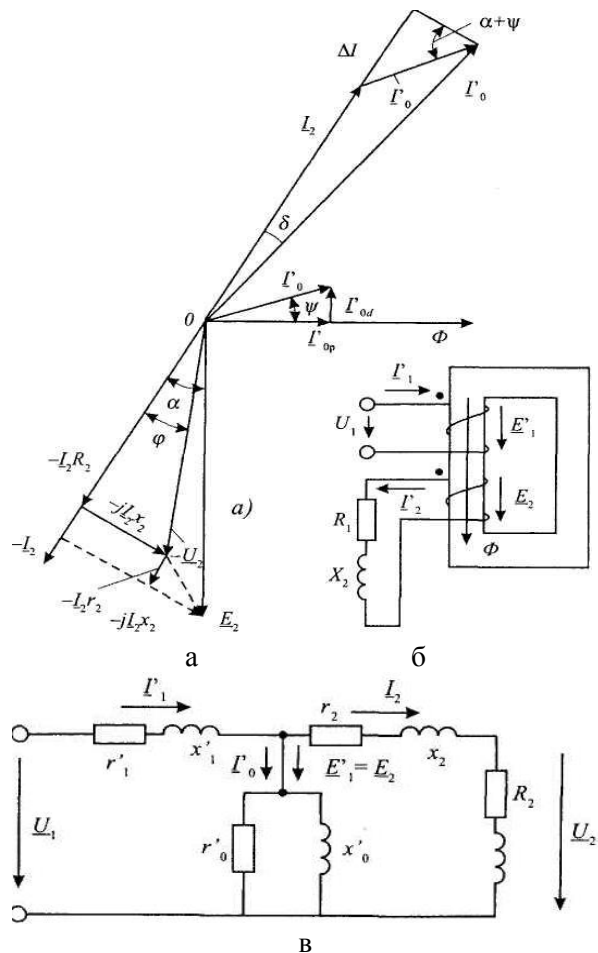


Рис. 5 – Трансформатор струму:
 а – векторна діаграма трансформатора струму;
 б – умовний напрям електричних величин;
 в – схема заміщення трансформатора

Позначення електричних величин на діаграмі: I_1 – первинний струм; I_2 – вторинний струм; E_2 – ЕРС вторинної обмотки; r_{2T} – активний опір вторинної обмотки; x_{2T} – реактивний опір вторинної обмотки; R_2 – активний опір навантаження; X_2 – реактивний опір навантаження; Z_2 – повний опір навантаження; $Z_{вт}$ – повний опір вторинної обмотки; α – кут між

ЕРС вторинної обмотки та вторинним струмом; ψ – кут втрат магнітопроводу; δ – кутова похибка; φ – кут зсуву фаз між струмом I_2 та напругою U_2 ; ΔI – струмова похибка.

Струмова похибка визначається у виді:

$$\Delta I\% = \frac{K_{\text{НОМ}} I_2 - I_1}{I_1} 100. \quad (13)$$

При найбільшій похибці ($\Delta I\% < 10\%$):

$$\Delta I\% = \frac{I_0}{I_1} \sin(\alpha + \psi) 100. \quad (14)$$

Кутова похибка трансформатора струму – кут між векторами первинного та вторинного струмів. Кутова похибка вимірюється в кутових хвилинах або сантиградіанах і вважається позитивною, якщо вектор вторинного струму випереджає вектор первинного струму. Величина кутової похибки визначається у виді:

$$\Delta I\% = 3440 \frac{I_0}{I_1} \sin(\alpha + \psi) 100. \quad (15)$$

Повна похибка $\varepsilon\%$ трансформатора струму в нормальному режимі

$$\varepsilon\% = \frac{100}{I_1} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (K_{\text{НОМ}} i_2 - i_1)^2 dt}. \quad (16)$$

де i_1, i_2 – значення первинного та вторинного струмів.

Струмовою та кутовою похибками користуються в номінальному режимі роботи трансформатора. При КЗ мережі застосовується повна похибка $\varepsilon\%$, що дорівнює відношенню струму намагнічування I_0 до первинного струму I_1 :

$$\varepsilon\% = \frac{I_0}{I_1} 100\%. \quad (17)$$

Струмова похибка менша за повну: $\Delta I\% < \varepsilon\%$.

Вторинним навантаженням трансформаторів струму є повний опір (в Омх) зовнішніх кіл, або повна потужність (у Вольт-Амперах). Номінальне вторинне навантаження – це значення вторинного навантаження з $\cos \varphi = 0,8$, при якому трансформатору гарантується клас точності.

Гранична кратність K_5 або K_{10} – найбільше відношення первинного струму до його номінального значення, при якому повна похибка не перевищує відповідно 5% або 10% при заданому значенні вторинного навантаження.

Номінальна гранична кратність $K_{5 \text{ НОМ}}$ або $K_{10 \text{ НОМ}}$ – це гарантована гранична кратність при номінальному вторинному навантаженні.

Гранично допустимі похибки для релейного захисту:

1) При класі 5P: $\Delta I = +1\%$; $\delta = +60$ мін; $\varepsilon = 5\%$;

2) При класі 10P: $\Delta I = +3\%$; $\varepsilon = 10\%$.

Трансформатори струму не розраховані на роботу зі значним перевантаженням. Найбільші допустимі первинні струми трансформаторів струму приведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Найбільші допустимі первинні струми трансформаторів струму

$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	1	5	10	15	20	30	40	50	75	80	100	150	200	300
$I_{\text{МАКС}}, \text{А}$	1	5	10	16	20	32	40	50	80	80	100	160	200	250

$I_{\text{НОМ}}, \text{А}$	300	400	500	600	750	800	1000	1200	1500	2000	3000
$I_{\text{МАКС}}, \text{А}$	320	400	500	630	800	800	1000	1250	1600	2000	3200

Промисловість випускає трансформатори струму на первинний струм до 40 кА. Для трансформаторів напругою до 0,66 кВ випробувальна одно-хвилинна напруга становить для первинної обмотки 3 кВ, для вторинної – 2 кВ.

Похибка трансформатора струму залежить від його завантаження.

Зменшити похибку можна такими методами [13-19]:

- збільшенням первинної магніторушійної сили;
- збільшенням площі поперечного перерізу

магнітопроводу, що призводить до зменшення індукції і магніторушійної сили $I_0 W_1$;

– зменшенням середньої довжини шляху потоку по магнітопроводу;

– застосуванням матеріалів для магнітопроводу з високим значенням магнітної проникності та малим кутом втрат ψ ;

– шляхом зміщення положення робочої точки на кривій намагнічування;

– застосуванням короткозамкненого витка, що зменшує куту похибку.

В табл. 2 приведені граничні значення похибки трансформаторів струму [13-19].

Таблиця 2 – Граничні значення похибки трансформаторів струму

Клас точності	Первинний струм, % від номінального	Граничне значення похибки			Вторинне навантаження, % від номінального
		Струмова, %	Кутова		
			Хв	10^{-2} , рад	
0,2	5	+0,75	+30	+0,9	25 – 100
	10	+0,50	+20	+0,6	
	20	+0,25	+15	+0,45	
	100-120	+0,20	+10	+0,3	
0,5	5	+1,5	+90	+2,7	25 – 100
	10	+1,0	+60	+1,8	
	20	+0,75	+45	+1,336	
	100-120	+0,5	+30	+0,9	
1	5	+3,0	+180	+5,4	25 – 100
	10	+2,0	+120	+3,6	
	20	+1,5	+90	+2,7	
	100-120	+1,0	+60	+1,8	
3	50 - 120	+3,0			50 – 100
5	50 - 120	+5,0			50 – 100
10	50 - 120	+10			50 - 100

Методика вибору трансформаторів струму направлена на зменшення похибки. При цьому необхідно звернути увагу на наступні факти.

1. Номінальна напруга трансформатора:

$$U_{\text{НОМ}} \geq U_{\text{НМЕР}},$$

де $U_{\text{НМЕР}}$ – номінальна напруга мережі.

2. Частота струму має відповідати частоті мережі. Для трансформаторів з $U_{\text{НОМ}} < 20$ кВ та $I_{\text{НОМ}}$ до 3000 А допускається робота на частотах, що не перевищують 500 Гц.

3. Номінальний первинний струм $I_{\text{НОМ}} \geq I_{\text{РОБ}}$, де $I_{\text{РОБ}}$ – робочий струм мережі.

Значне відхилення номінального струму трансформатора від струму мережі призводить до збільшення похибки.

4. Клас точності трансформатора струму вибирається в залежності від його призначення. Для живлення лічильників енергії клас точності має бути не менше 0,5. Допускається клас 1,0, але при цьому необхідно знизити навантаження на трансформатор.

5. У вимірювальних колах трансформатори струму не перевіряються на граничну кратність. (відношення струму КЗ, при якому спрацьовує захист, до $I_{\text{НОМ}}$ трансформатора). Крім того, насичення магнітопроводу трансформатора зменшує негативний вплив струмів КЗ на вимірювальні прилади.

Трансформатори струму, призначені для систем релейного захисту, мають забезпечити

стабільну роботу захисту при КЗ. Для перевірки таких трансформаторів використовують характеристики граничної кратності.

При заданому вторинному навантаженні z_2 гранична кратність трансформатора має бути вища за розрахункову кратність

6. При використанні трансформаторів струму, вбудованих в інші апарати, інколи виникає потреба з'єднувати їх послідовно або паралельно. Якщо два трансформатори з'єднують послідовно, вторинна ЕРС збільшується удвічі. Це надає можливість збільшити вдвічі навантаження. У випадку паралельного з'єднання струм у навантаженні дорівнює сумі струмів вторинних обмоток. Внутрішні та зовнішні параметри таких трансформаторів мають бути однаковими.

Висновки

Проведено оцінку похибки вимірювальних трансформаторів різних класів точності. Сформульовано рекомендації по вибору вимірювальних трансформаторів різних класів точності, а також зазначені основні шляхи зменшення похибок.

Вимірювальні трансформатори використовуються для проведення вимірювань в колах змінного струму, коли вимірювальні прилади чи пристрої релейного захисту та автоматики нерационально (або небезпечно) підключати в первинні кола. Вимірювальні трансформатори, як напруги так і струму, повинні вибиратися таким чином, щоб похибка вимірювань була мінімальною. При використанні мето-

дики вибору вимірювального трансформатора, потрібно звертати увагу до основних факторів, які сприяють зменшенню похибок вимірювань. Це дозволяють звести величину похибки до мінімального значення.

Література

1. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. / С. О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
2. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / [Бурячок Т. О. та ін. ; наук. ред.: Клименко В. Н., Ландау Ю. О., Сігал І. Я.]. – Київ : [б. в.], 2013. – 391 с.
3. Gnatov A. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» / A. Gnatov, Shch. Argun, O. Ulyanets // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – P. 1203–1207, IEEE Catalog Number: CFP17K03-USB. – ISBN: 978-1-5090-3005-7.
4. Гнатів А. В. Особливості вимірювання параметрів імпульсних сигналів різної форми / А. В. Гнатів, О. А. Дзюбенко, В. Я. Фролов, О. С. Василевич // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. – Х.: ХНАДУ, 2014. – № 6. – С. 56–64. Доступно: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/index.html.
5. Jiang Chun XuHai Dong XiYu Hui Li. Error Analysis of Harmonic Measurement Device and Solution. February 2014. DOI10.4028/www.scientific.net/AMM.530-531.199.
6. Морозова М. М. Оцінювання впливу інструментальних похибок засобів вимірювальної техніки на точність вимірювання інформативних параметрів // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2016. – №. 15. – С. 11-18. 10.20535/2219-380415201685142
7. Тихонов І. В. Основи теорії похибок вимірювань. 1-ше вид. / Тихонов І. В., Давидов В. С., Кучерук С. М., Богом'я В. І. // Методичний посібник Київської державної академії водного транспорту. – Київ, 2013. – 66 с.
8. Земельман М. А. Метрологические основы технических измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 228 с.
9. Кузнецов В. А., Ялунина Г. В. Метрология (теоретические, прикладные и законодательные основы): Учеб. пособие. – М: ИПК Издательство стандартов, 1998. – 336 с.
10. Ефимов А. В. Новости на рынке счетчиков. / Газета «Електротема» №18, сент. – окт., 2014.
11. Енотов Е. А. Особенности современных автоматизированных систем коммерческого учета. / Деньги и технологии, № 1 – 2, 2005. С. 38 – 40.
12. Релейний захист. Цифрові пристрої релейного захисту, автоматики та управління електроенергетичних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / О.С. Яндутьський, О.О. Дмитренко; під загальною редакцією д.т.н. О.С. Яндутьського. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 102 с. – Бібліогр.; С. 92-102.
13. Юдиба В.П. Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник. – Львів: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2013. – 533 с.
14. Чернобровое Н.В. Релейная защита энергетических систем / Чернобровое Н.В., Семенов В.А. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 800 с.
15. Шнеерсон Э.М. Цифровая релейная защита / Шнеерсон Э.М. - М.: Энергоатомиздат, 2007. – 549.
16. Андреев В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения: учеб. для вузов / В. А. Андреев. – 4-е изд, перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2006. – 639 с.
17. Басс Э. И. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб, пособие / Басс Э. И., Дорогунцев В. Г.; под ред. А. Ф. Дьякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 296 с.
18. Черемісін М. М., Зубко В. М. Автоматизація обліку та управління електроспоживанням. – Харків: Фактор, 2005. – 192 с.
19. Шестеренко В.С. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. – Вінниця, 2004. – 655 с.

References

1. Kudrya S. O. Netradytsiyni ta vidnovlyu-val'ni dzherela enerhiyi : pidruch [Unconventional and renewable sources of energy.] / K. : NTUU «KPI», 2012. – 492 p.
2. Buryachok T. O. Enerhetyka: istoriya, suchasnist' i maybutnye. Elektroenerhetyka ta okhorona navko-lyshn'oho seredovyshcha. Funktsionuvannya enerhetyky v suchasnomu sviti [Power engineering: history, present and future. Electricity and environmental protection. Operation of energy in the modern world.] / Kyiv, 2013. – 391 p.
3. Gnatov A., Argun Shch., Ulyanets O. Joint Innovative Double Degree Master Program «Energy-Saving Technologies in Transport» // 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON) – May 29 – June 2, 2017. – Kyiv, Ukraine – pp. 1203–1207, IEEE Catalog Number: CFP17K03-USB. – ISBN: 978-1-5090-3005-7.
4. Hnatov A. V., Dzyubenko O. A., Frolov V. Ya., Vasylevych O. S. Osoblyvosti vymiryuvannya parametriv impul'snykh syhnaliv riznoyi formy [Features of measurement of parameters of pulsed signals of various forms.] // Avtomobil' y elektronika. Sovremennyye tekhnolohyy: elektronnoe nauchnoe spetsyalyzirovannoe yzdanye. –

- Kh.: KhNADU, 2014. – no. 6. – pp. 56–64. http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE14_1/index.html.
5. Jiang Chun XuHai Dong XiYu Hui Li. Error Analysis of Harmonic Measurement Device and Solution. February 2014. 10.4028/www.scientific.net/AMM.530-531.199.
 6. Morozova M. M. Otsinyuvannya vplyvu instrumental'nykh pokhybok zasobiv vymiryuval'noyi tekhniky na tochnist' vymiryu-vannya informatyvnykh parametrov [Estimation of influence of instrumental errors of measuring equipment on accuracy of measurement of informative parameters.] // Informatsiyni systemy, mekhanika ta keruvannya. – 2016. – no. 15. – pp. 11-18. 10.20535/2219-380415201685142
 7. Tykhonov I. V. Davydov V. S., Kucheruk S. M., Bohom"ya V. I. Osnovy teorii pokhybok vymiryuvan'. 1-she vyd [Fundamentals of Measurement Error Theory] // Metodychnyy posibnyk Kyivskoyi derzhavnoyi akademiyi vodnoho transportu. – Kyiv, 2013. – 66 p.
 8. Zemelman M. A. Metrologicheskie osnovy tehnikeskikh izmereniy [Metrological bases of technical measurements.] / M.: Izd-vo standartov, 1991.– 228 p.
 9. Kuznetsov V. A., Yalunina G. V. Metrologiya (teoreticheskie, prikladnyie i zakonodatelnyie osnovy): Ucheb. posobie. [Metrology (theoretical, applied and legislative bases): Study. allowance.] / M.: IPK Izdatelstvo standartov, 1998. – 336 p.
 10. Efimov A. V. Novosti na rynke schetchikov [News on the counters market.] / Gazeta «Elektrotema», no. 18, 2014.
 11. notov E. A. Osobennosti sovremennyih avtomatizirovannyih sistem kommercheskogo ucheta [Features of modern automated systems of commercial accounting.] / Dengi i tehnologii, no. 1(2), 2005. – pp. 38 – 40.
 12. Yandul'skiy O. S., Dmytrenko O. O. Releynyy zakhyst. Tsyfrovi prystroyi releynoho zakhystu, avtomatyky ta upravlinnya elektroenerhetychnykh system [Relay protection. Digital devices for relay protection, automation and control of power systems.] / K.: NTUU «KPI», 2016. – 102 p. – pp. 92-102.
 13. Yudyba V. P. Releynyy zakhyst elektroenerhetychnykh system: Pidruchnyk [Релейний захист електроенергетичних систем: Підручник.] / L'viv: Vyd-vo NU «L'vivs'ka politekhnika, 2013. – 533 p.
 14. Chernobrovoe N. V., Semenov V. A. Releynaya zaschita energeticheskikh sistem [Relay protection of power systems.] / M.: Energoatomizdat, 1998. – 800 p.
 15. Shneerson E. M. Tsifrovaya releynaya zaschita [Digital relay protection.] / M.: Energoatomizdat, 2007. – 549 p.
 16. Andreev V. A. Releynaya zaschita i avtomatika sistem elektrosnabzheniya: ucheb, dlya vuzov [Relay protection and automatics of power supply systems: study, for high schools.] / M.: Vyssh. shk., 2006. – 639 p.
 17. Bass E. I., Doroguntsev V. G. Releynaya zaschita elektroenergeticheskikh sistem: ucheb, posobie [Relay protection of electric power systems: study, manual.] / M.: Izd-vo MEI, 2002. – 296 p.
 18. Cheremisin M. M., Zubko V. M. Avtomatyzatsiya obliku ta upravlinnya elektrosposhyvannyam [Automation of accounting and management of power consumption..] / Kharkiv: Faktor, 2005. – 192 p.
 19. Shesterenko V. Ye. Systemy elektrosposhyvannya ta elektropostachannya promyslovykh pidpryyemstv [Systems of power consumption and power supply of industrial enterprises..] / Vinnytsya, 2004. – 655 p.
20. *Поступила (received)* 20.02.2018 р.
- Гнатів Андрій Вікторович**¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, kalifus76@gmail.com, тел. +38 066-7438-08-87,
- Аргун Щасяна Валіковна**¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,
- Дзюбенко Олександр Андрійович**¹, к.т.н., доц. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,
- Тарасова Валентина Всеволодівна**², к.т.н., доц., тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,
- Новічок Сергій Михайлович**², к.т.н., доц., тел. +38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,
- Войт Олена Василівна**², студент, тел. +38 0997074169, kalifus@yandex.ru,
- ¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.
- ²Харківський національний університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, Інститут цивільної авіації, 61023, м. Харків, вул. Сумська 77/79.
- Ошибки приборов учета электрической энергии**
Аннотация. Основными показателями, характеризующими эффективность информационно-измерительной техники в системе учета, является точность представления измеренной информации и ее достоверность. Проведена оценка погрешности измерительных трансформаторов различных классов точности. Сформулированы рекомендации по выбору измерительных трансформаторов, а также указаны основные пути уменьшения погрешностей.
Ключевые слова: трансформаторы тока, трансформаторы напряжения, счетчики, учет электрической энергии, погрешности, измерительные трансформаторы.
- Гнатів Андрей Вікторович**¹, д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Аргун Щасяна Валиковна¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 099-378-04-51, shasyana@gmail.com,

Дзюбенко Александр Андреевич¹, к.т.н., доц. каф. автомобильной электроники, тел. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Тарасова Валентина Всеволодовна², к.т.н., доц., тел. +38 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Новичонок Сергей Михайлович², к.т.н., доц., тел. +38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,

Войт Елена Васильевна², студент, тел. +38 0997074169, kalifus@yandex.ru,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, м. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харьковский национальный университет Воздушных сил имени Ивана Кожедуба, Институт гражданской авиации, 61023, г. Харьков, ул. Сумская 77/79.

Errors of electronic meters of electric energy

Abstract. Problem. The people's demand for electricity has been growing year after year. This requires increasing the generation of electricity and reducing its losses on the way to a consumer. There is also a necessity to keep records of energy consumption. The main indicators characterizing the effectiveness of information and measuring technologies in the metering system are the accuracy of given measuring information and its reliability. The process of obtaining the information should be automated in order to provide the measuring information on time. In the electricity metering system, this is determined by the measuring principles and the quality of the metering system.

Goal. Estimation of the errors of measuring transformers of different accuracy types, making recommendations on the choice of measuring transformers of different accuracy types and determining the ways to reduce any errors. **Methodology.** The methods of the theory of electromagnetic field and theoretical basis of electrical engineering have been used in the analysis and study of measuring transformer errors. The symbolic method of complex amplitudes and the methods of vector algebra have been applied to determine voltage errors and current errors. **Results.** The estimation of an error of measuring transformers of

different accuracy types has been carried out. The recommendations on the choice of measuring transformers of different accuracy types have been made, and the main ways of reducing errors have been defined. **Originality.** The methods for estimating errors by current transformers and voltage transformers have been further developed. The methods of estimating errors in electric energy meters have been developed. The method of choosing current transformers has been improved taking into account various operational factors. **Practical value.** Any error of a current transformer depends on its loading capacity. The methods for reducing such errors have been defined. The factors that must be taken into account when applying the method of selecting current transformers aimed at reducing an error have been presented. The application of the given method of choosing current transformers will result in improvement of the measuring equipment value. This will increase the accuracy of the information being measured and allow reducing an error margin to a minimum value.

Key words: current transformers, voltage transformers, electronic meters, meters of electrical energy, errors, measuring transformers.

Hnatov Andrii¹, professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-08-87, kalifus76@gmail.com,

Arhun Shchasiana¹, Ph.D., Assoc. Prof. Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-04-51, e-mail: shasyana@gmail.com,

Dziubenko Oleksandr¹, Ph.D., Assoc. Prof., Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-748-41-16, dzyubenko.alan@gmail.com,

Tarasova Valentina², Ph.D., Ass., 066-828-47-31, val.vs.tarasova@gmail.com,

Novichonok Sergey², Ph.D., Assoc., 38 0677281761, hobu4ohok@rambler.ru,

Voit Elena², student, tel. +38 0997074169, kalifus@yandex.ru,

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine,

²Ivan Kozhedub Kharkiv University of Air Force, Sumy 77/79 street, Kharkiv, 61023, Ukraine.