



УКРАЇНА

(19) UA (11) 91804 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
H01F 38/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ОБЛІКУ І КОНТРОЛЮ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВИМІРЮВАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ

1

2

(21) а200909543

(22) 17.09.2009

(24) 25.08.2010

(46) 25.08.2010, Бюл.№ 16, 2010 р.

(72) БУТЕНКО ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ, ДУДЧЕНКО ВАСИЛЬ ІЛЛІЧ, ТЕРЬОШИН ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ

(73) УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

(56) UA 88126, 10.09.2009

UA 63600, 15.01.2004

RU 2305290, 27.08.2007

RU 2329515, 20.07.2008

US7305310, 20.04.2006

КОСОЛАПОВ А.М. Метод улучшения метрологических характеристик средств измерений с гальванической развязкой // Измерительная техника. - 1990, №4. - С.43-45

(57) Спосіб підвищення точності обліку та контролю електроенергії вимірювальним комплексом, що включає вимірювання фактичних відносних похибок в діапазоні нормованих величин кожного з вимірювальних трансформаторів та встановлення їх залежностей від навантаження первинних та вторинних кіл, з урахуванням яких корегують величини навантаженням вторинних кіл або за допомогою виткової корекції вимірювальних трансформаторів, з можливістю отримання рівних за величинами та протилежних по знаку похибок за умови виконання зазначених дій на місці встановлення та експлуатації вимірювального комплексу, який відрізняється тим, що завершальний етап корекції проводять навантаженням вторинних кіл трансформатора напруги у відповідності з умовою

$$Z_{2X} = \frac{I_{2H}(1 + \delta_{U2X})^2}{S_{2X}},$$

$$R_{2X} = Z_{2X} \cos \varphi_2, \quad X_{2X} = \sqrt{Z_{2X}^2 - R_{2X}^2}, \quad L_{2X} = \frac{X_{2X}}{\omega},$$

де:  $Z_{2X}$ ,  $R_{2X}$ ,  $X_{2X}$ , і  $L_{2X}$  - відповідно повний, активний, реактивний опір та індуктивність вторинного кола трансформатора напруги ( $\cos \varphi_2 = 0,8$  і  $\omega = 314$  рад/с);

$U_{2H}$  - номінальна напруга вторинної обмотки трансформатора напруги;

$S_{2X}$  - навантаження вторинного кола трансформатора напруги для реального значення струму первинного кола  $I_{1p}$  трансформатора струму (ТС);

$\delta_{U2X} = -\delta_{I2X}(K_{I1p})$  - похибка вимірювання напруги  $U_2$  у відсотках при навантаженні вторинного кола трансформатора напруги (ТН)  $S_{2x}$ ;

$\delta_{I2X}(K_{I1p})$  - похибка вимірювання струму у відсотках ТС при реальному навантаженні його первинної обмотки

$$K_{I1p}(K_{I1p} = \frac{I_{1p}}{I_{1H}});$$

$S_{2X} = K_{S2X} \cdot S_{2H}$  - значення навантаження вторинного кола ТН у точці  $K_{U2X}$ ;

$$K_{S2X} = \left\{ 0,25 + \frac{|\delta_{U2}(0,25) + \delta_{I2}(K_{I1p})|}{\text{tg} \alpha} \right\};$$

$$\text{tg} \alpha = \frac{\delta_{U2}(0,25) + |\delta_{U2}(1,0)|}{0,75};$$

$S_{2H}$  - номінальне значення навантаження вторинної обмотки ТН при  $K_{S2} = 1,0 (K_{S2} = S_2 / S_{2H})$

$\alpha$  - кут нахилу прямої  $\delta_{U2}(K_{S2})$  до осі  $K_{S2}$ ;

0,75 - різниця  $K_{S2}$  між крайніми точками нормованої прямої  $\delta_{U2}(K_{S2})$ ;

0,25 =  $K_{U2} \min$  - початкова точка нормованого значення  $K_{S2}$  відповідно свідоцтву та протоколу про державну метрологічну атестацію;

$\delta_{U2}(0,25)$  і  $\delta_{U2}(1,0)$  - похибки вимірювання напруги вторинної обмотки ТН у відсотках у нормованих точках залежності  $\delta_{U2}(K_{S2})$ ;

$$\delta_{I2}(K_{I1p}) = \delta_{I2}(0,2) + K_{I1p} \text{tg} \beta;$$

$$\text{tg} \beta = \frac{|\delta_{I1}(0,2) - \delta_{I2}(1,2)|}{1,2 - 0,2} = |\delta_{I2}(0,2) - \delta_{I2}(1,2)|;$$

(13) C2

(11) 91804

(19) UA

$\beta$  - кут нахилу лінійного відрізка нормованої залежності  $\delta_{12}(K_{11})$  до осі  $K_{11}$  ;  
0,2 та 1,2 - крайні точки прямолінійної частини нормованої залежності  $\delta_{12}(K_{11})$  по осі  $K_{11}$  відповідно

свідоцтву та протоколу про державну метрологічну атестацію.

Винахід відноситься до електротехніки, зокрема до вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН), а також належить до електровимірювальної техніки.

Відомий спосіб підвищення точності обліку і контролю електроенергії вимірювальним комплексом за рахунок корекції похибок трансформаторів струму і трансформаторів напруги, які входять до складу вимірювального комплексу електроенергії [Косолапов А.М. Метод улучшения метрологических характеристик средств измерений с гальванической развязкой // Измерительная техника. - 1990 - №4 - С.43 - 45; Деклараційний патент UA 63600, МПК G01R21/06. Спосіб корекції похибки вимірювального комплексу електроенергії і пристрій для його здійснення. Бюл. № 1 від 15.01.2004.-2004].

Їх недоліками є незабезпечення високої точності вимірювального комплексу в цілому за рахунок обліку похибок трансформатора струму і трансформатора напруги незалежно один від одного, тобто корекція похибок ТС і ТН ведеться незалежно один від одного.

Найбільш близьким технічним рішенням є спосіб підвищення точності обліку і контролю електроенергії вимірювальним комплексом, який включає вимірювання фактичних відносних похибок у діапазоні нормованих величин кожного з вимірювальних трансформаторів та встановлення їх залежностей від навантаження первинних та вторинних кіл, з врахуванням яких корегують величини навантаженням вторинних кіл або за допомогою виткової корекції вимірювальних трансформаторів, з можливістю отримання рівних за величинами та протилежних по знаку похибок за умови виконання зазначених дій на місці встановлення та експлуатації вимірювального комплексу [Патент UA №88126, МПК H01F40/00, 40/02, 40/04, 40/06; заявл. № u20090341 2 від 09.04.2009; Опубл. 10.09.2009, Бюл. №17, 2009 - 7 с].

До недоліків такого способу підвищення точності обліку і контролю електроенергії вимірювальним комплексом відноситься те, що його точність залежить від значення струму у первинному колі електропостачання. Так як похибка вимірювання ТС на нормованій ділянці первинного струму (0,2;1,2) від номінального практично не змінюється, то похибка вимірювання ТН на такій ділянці змінювання первинного струму значно змінюється.

Задачею винаходу є створення способу підвищення точності обліку та контролю електроенергії вимірювальним комплексом, за яким, по встановленню у результаті метрологічних вимірювань залежностей похибок ТС від величини струму в лінії електропостачання та похибок ТН

від величини навантаження його вторинних кіл, в якому за рахунок корекції опором вторинних кіл ТН забезпечується зменшення їх сумарної алгебраїчної погрішності вимірювання до рівня близького нулю.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю істотних ознак винаходу і технічного результату, який досягається, полягає в наступному. Залежність погрішності ТН від потужності навантаження носить лінійний характер і при номінальній потужності навантаження погрішність напруги  $\delta_U$  знаходиться в негативній області. При зменшенні потужності до чверті номінальної потужності  $\delta_U$  стає позитивною та прагне до верхньої межі похибки що припускається, за стандартом на ТН. При такій потужності навантаження погрішність ТС  $\delta_I$  може перевищувати мінус 10%. Враховуючи, що  $\delta_I$  і  $\delta_U$  мають протилежні знаки, то проводячи спільно виткову корекцію вторинних кіл ТС і ТН по місцю установки та експлуатації вимірювального комплексу обліку та контролю електроенергії можна досягти рівності погрішностей ТС і ТН, тобто  $\delta_U + \delta_I \approx 0$ . У цьому випадку систематична погрішність всього комплексу  $\Theta_K$  визначатиметься погрішністю  $\delta_{\Theta}$  тільки лічильника електроенергії.

За рахунок цього підвищується точність обліку спожитої електроенергії. Оскільки втрати електроенергії в мережах електрозабезпечуючих організацій в даний час є однією зі складових тарифу на електроенергію, то зростає інтерес до повноцінного обліку всіх їх складових, зокрема, і щодо малих.

Суть винаходу пояснюється залежністю систематичних погрішностей ТН  $\delta_{U2}$  від навантаження вторинних кіл ТН  $S_{U2}$ , тобто  $\delta_{U2}(K_{S2})$

пряма 1 на фіг.1, де  $K_{S2} = \frac{S_2}{S_{2H}}$  ( $S_{2H}$  - номіна-

льна потужність вторинних кіл ТН у ВА,  $S_2$  - поточна потужність). Пряма 1 обмежена точками  $K_{S2} = K_{S2\min} = 0,25$  і  $K_{S2} = 1,0$ . Пряма 2 - це пряма 1, яка перенесена паралельно самій собі угору на  $\delta_{U2}(1,0)$ . На фіг. 2 показана залежність систематичних похибок ТС  $\delta_{12}$ , від величини

струму в лінії електропостачання  $K_{11}$  ( $K_{11} = \frac{I_1}{I_{1H}}$ ,

де  $I_{1H}$  - номінальний струм первинного кола ТС, а  $I_1$  - його поточне значення). Залежність 3 (Фіг.2)

побудована по точкам метрологічних вимірювань:  $K_{11} = 0,01$ ;  $K_{11} = 0,05$ ;  $K_{11} = 0,2$ ;  $K_{11} = 1,0$ ;  $K_{11} = 1,2$ . Ділянка залежності між нормованими точками  $K_{11} = 0,2$  і  $K_{11} = 1,2$  - практично пряма лінія. Залежності 1 (фіг. 1) і 3 (фіг. 2) для ТН ТС відповідно побудовані по точках метрологічних вимірювань (по точках у свідоцтвах та відповідних протоколах про державну метрологічну атестацію ТС і ТН), які виконані на місці їх встановлення та експлуатації ТУЦІ комерційного обліку і контролю електроенергії після виткової корекції ТС і ТН.

Спосіб реалізують таким чином. По значенню реального струму у первинному колі ТС, наприклад,  $K_{1p} = 0,8$  отримують графічно похибки

$$Z_{2X} = \frac{U_{2H}(1 + \delta_{U2X})^2}{S_{2X}}, \quad (1)$$

$$R_{2X} = Z_{2X} \cos \varphi_2, \quad X_{2X} = \sqrt{Z_{2X}^2 - R_{2X}^2}, \quad L_{2X} = \frac{X_{2X}}{\omega}, \quad (2)$$

де:  $Z_{2X}$ ,  $R_{2X}$ ,  $X_{2X}$ , і  $L_{2X}$  - відповідно повний, активний, індуктивний опір та індуктивність вторинного кола ТН;

$\omega = 2\pi f = 314$  рад/с (для  $f=50$  Гц.) - кутова частота;

$\cos \varphi_2 = 0,8$  - значення вторинного кола ТН, яке нормується;

$U_{2H}$  - номінальна напруга вторинної обмотки ТН.

Однак графічний метод незручний у використанні й дає значні похибки. Тому, враховуючи, що в нормованих діапазонах  $0,2 \leq K_{11} \leq 1,2$  і  $0,25 \leq K_{S2} \leq 1,0$  залежності відповідно  $\delta_{I2}(K_{11})$  і  $\delta_{U2}(K_{S2})$  мають лінійний характер, то корекцію параметрів вторинних кіл ТН можна отримати

$$DN = (K_{S2X} - 0,25) = \frac{ED}{tq\alpha} = \frac{(\delta_{U2}(0,25) - \delta_{U2X})}{tq\alpha} \Rightarrow K_{S2X} = \left[ 0,25 + \frac{(\delta_{U2}(0,25) - \delta_{U2X})}{tq\alpha} \right].$$

З прямокутного трикутника ВАС (фіг. 1) маємо:

$$tq\alpha = \frac{AB}{AC} = \frac{\sqrt{U_2(0,25) + |\delta_{U2}(1,0)|} - \sqrt{U_2(0,25) + |\delta_{U2}(1,0)|}}{1,0 - 0,25} = \frac{\sqrt{U_2(0,25) + |\delta_{U2}(1,0)|} - \sqrt{U_2(0,25) + |\delta_{U2}(1,0)|}}{0,75}$$

В подальшому по формулам (1) і (2) визначаємо параметри навантаження вторинних кіл ТН для отримання похибки вимірювання напруги

$\delta_{U2X} = -\delta_{I2X}$  для струму первинного кола ТС  $K_{1p}$ .

вимірювання вторинного кола ТС  $\delta_{I2X}$  - (прямі 4 і 5 на фіг. 2).  $\delta_{I2} < 0$ . Щоб сумарна похибка вимірювання струму і напруги дорівнювалася нулю необхідно вибрати похибку вимірювання напруги, яка дорівнює  $\delta_{U2X} = -\delta_{I2X}$ . По отриманій похибці вимірювання напруги графічно отримуємо значення  $K_{S2X}$  за допомогою прямих 6 і 7 (див. фіг. 1). Отримане навантаження вторинного кола ТН  $K_{S2X}$  дає можливість визначити параметри вторинного кола ТН, які дозволяють звести сумарну похибку вимірювання струму і напруги до нуля для конкретного значення струму  $I_{1p}$  в лінії електропостачання.

аналітично із прямокутного трикутника на фіг. 2 маємо

$$tq\beta = \frac{|\delta_{I2}(0,2) - \delta_{I2}(1,2)|}{1,2 - 0,2} = |\delta_{I2}(0,2) - \delta_{I2}(1,2)|;$$

де  $|\delta_{I2}(0,2) - \delta_{I2}(1,2)|$  - різниця похибок ТС по модулю в нормованих точках  $K_{11} = 0,2$  і  $K_{11} = 1,2$ , заданих згідно свідоцтва та протоколу про державну метрологічну атестацію.

Похибка вимірювання струму вторинного кола ТС при  $K_{1p}$  буде визначатися (фіг. 2):

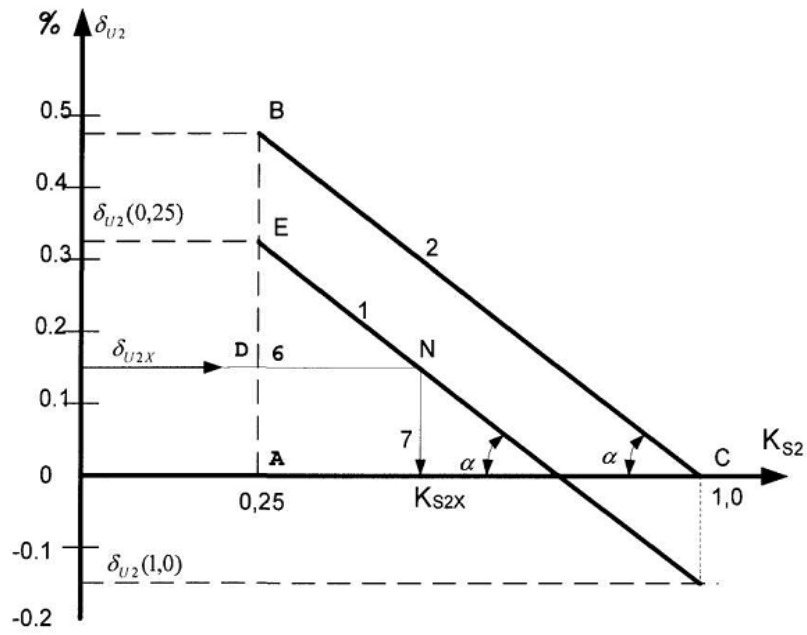
$$\delta_{I2X}(K_{1p}) = \sqrt{I_2(0,2) + K_{1p} tq\beta}.$$

Вибираємо  $\delta_{U2X} = -\delta_{I2X}$

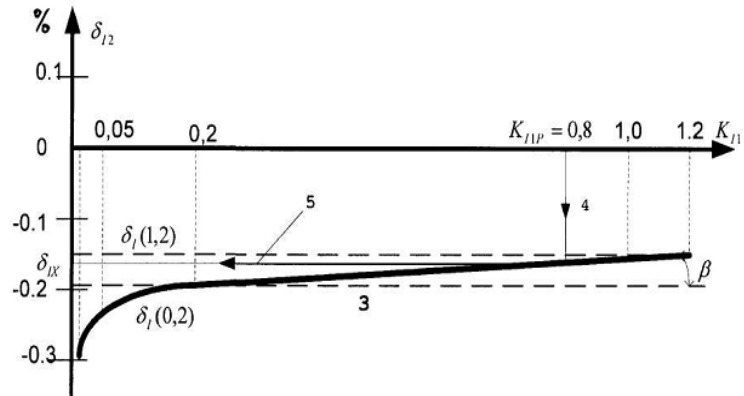
Із прямокутного трикутника EDN (фіг. 1) знаходимо:

Це дає можливість отримати рівні по значенню та різні за знаком похибки вимірювання ТС  $\delta_I$  і ТН  $\delta_U$ , тобто  $\delta_U + \delta_I \approx 0$  або  $\delta_U \approx -\delta_I$ .

Це дозволить зменшити похибку вимірювання обсягу електроенергії практично до похибки, що залежить тільки від лічильника електроенергії.



Фіг. 1



Фіг. 2