



УКРАЇНА

(19) UA (11) 88126 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
H01F 38/00  
H01F 38/20  
H01F 38/28

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

(21) а200903412  
(22) 09.04.2009  
(24) 10.09.2009  
(46) 10.09.2009, Бюл.№ 17, 2009 р.  
(72) БУТЕНКО ВОЛОДИМИР МИХАЙЛОВИЧ,  
БЛИНДЮК ВАСИЛЬ СТЕПАНОВИЧ, ГАЄВСЬКИЙ  
ВІТАЛІЙ ВІКТОРОВИЧ, ДУДЧЕНКО ВАСИЛЬ ІЛ-  
ЛІЧ, ТЕРЬОШИН ВІКТОР МИКОЛАЙОВИЧ, ТКА-  
ЧЕНКО СЕРГІЙ ІВАНОВИЧ, КОЗАЧОК ВАДИМ  
МИКОЛАЙОВИЧ  
(73) УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗ-  
НИЧНОГО ТРАНСПОРТУ  
(56) UA 6954, 15.05.2005  
UA 63600, 15.01.2004  
RU 2305290, 27.08.2007  
RU 2329515, 20.07.2008

2

(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 за допомогою мікропроцесорного комплексу, який **відрізняється** тим, що з врахуванням отриманих похибок та залежностей коригують величини навантаження 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.

Винахід відноситься до електротехніки, зокрема до вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН).

Відомий спосіб використання вимірювальних трансформаторів струму (ТС) і напруги (ТН) для вимірювання, перетворення та передачі інформації про режим роботи кола високої напруги в коло низької напруги з метою її подальшої обробки. Інформація на вторинній стороні використовується як для цілей вимірювання потужності, кількості та якості енергії, так і для системи релейного захисту. Однією з найважливіших характеристик вимірювальних трансформаторів є їх точність, визначається погрішностями вимірювання вторинного струму або напруги, відповідних інформації про первинний струм або первинну напругу. Клас точності визначається по найбільшій допустимій погрішності ТС або ТН при номінальному первинному струмі або первинній напрузі, вираженій у відсотках.

Встановлено 6 класів точності для ТС: 0,2; 0,5; 1; 3; 5; 10 і 4 класи точності для ТН: 0,2; 0,5; 1; 3. Відповідний клас точності встановлюється витковою корекцією на заводі-виробнику з подальшою їх перевіркою на метрологічних підприємствах

(Центрального органу виконавчої влади в галузі метрології) з періодичністю один раз на чотири роки. [Электрические и электронные аппараты: Учебник для вузов /Под ред. Ю.К.Розанова. - М.: Энергоатом - издат., 1998. - 752с.: с ил.]

Недоліком такого способу вимірювання є те, що клас точності вимірювальних трансформаторів залежить від значення вторинного навантаження та від значення струму або напруги в первинному колі. Це приводить до того, що погрішності ТС і ТН не відповідають необхідному класу точності, хоча при перевірці в метрологічних лабораторіях вони відповідають вказаному класу точності.

Найбільш близьким по технічній суті та результату, що досягається, є спосіб обліку кількості електроенергії за допомогою вимірювальних комплексів, що містять ТС, ТН, лінію зв'язку та лічильник. Систематична похибка, викликана вимірювальним комплексом  $\Theta_k$  визначається як арифметична сума погрішностей ТС  $\delta_i$ , ТН  $\delta_U$  і погрішності трансформаторної схеми підключення лічильника, викликані кутковими погрішностями вимірювальних трансформаторів (ВТ)

(19) UA (11) 88126 (13) C2

$$\Theta_K = \delta_I + \delta_U + \delta_\Theta$$

або як їх геометрична сума

$$\delta_\Sigma = 1,1 \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_\Theta^2}$$

[Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. РД34.09.101.94].

Недоліком такого обліку електроенергії є те, що спад споживання останніх років, а також зниження промислового навантаження привели до зменшення навантажень і перехід па роботу у чверть потужності. Таке положення справ приводить до того, що погрішності ТС і ТН в комплексі не відповідають необхідному класу точності, хоча при перевірці поза вимірювальним комплексом ТС і ТН відповідають вказаному класу точності. Це обумовлено тим, що погрішності ТС залежать від значення вторинного навантаження та від первинного струму. Наприклад, перевантаження вторинних кіл ТС пристроями релейного захисту, автоматики, телеметрії та тому подібне веде до збільшення струмової погрішності  $\delta_I$ , ТС, яка може перевищувати мінус 10%. Кутова погрішність ТС при малому первинному струмі може приводити до виникнення погрішності  $\delta_\Theta$ , що становить, до плюс (5 - 10)% і більш. В умовах зниження споживання електроенергії промисловими підприємствами завантаження ТС часто не перевищує (5 - 15)%, що приводить до значного збільшення погрішності.

Другим джерелом погрішності обліку електроенергії є ТН, вторинна обмотка якого, в основному, навантажена паралельними колами електрولیчильників. Залежність погрішності ТН від потужності навантаження носить лінійний характер і при номінальній потужності  $\delta_U$  навантаження знаходиться в негативній області. При зменшенні потужності навантаження до чверті номінальної потужності, стає позитивною і прагне до верхньої межі похибки, що припускається, за стандартом на ТН. При потужності навантаження менше 25% від номінальної потужності навантаження  $\delta_U$  ТН вийде за верхню межу похибки, що припускається, для класів точності 0,2 і 0,5. Таким чином, основний вплив на погрішність ТН надає величина вторинного завантаження.

В даний час для комерційного обліку, як правило, застосовуються електронні лічильники, у яких потужність, споживана паралельним колом (напруга) не перевищує 10 ВА, а послідовною (струмовою) - 1 ВА. Проте номінальні потужності вторинного навантаження ТН, які працюють разом з лічильниками, значно вище. Наприклад для ТН (тип ЗНОЛ.06) - 10 класу напруги 10 кВ номінальна потужність в класі точності 0,5 складає 75 ВА, а в класі точності 0,2 - 50 ВА. Тому в сучасних умовах найбільш характерним випадком для систем комерційного обліку є робота ТН при потужності навантаження, значно меншого номінального. Це приводить до недостовірності обліку електроенергії та, як наслідок, перешкоджає правильному виявленню втрат.

У основу винаходу поставлено завдання удосконалення способу метрологічного обліку та контролю електроенергії вимірювальним комплексом

з трансформаторами струму (ТС) і напруги (ТН) в якому за рахунок корекції ТС і ТН забезпечується зменшення їх сумарної алгебраїчної погрішності вимірювання

$$\Theta = \pm \delta_I + \delta_U + \delta_\Theta$$

до рівня нижче за погрішність вимірювання кожним з них окремо та за рахунок цього підвищується точність обліку та контролю електроенергії вимірювальним комплексом, що містить лінію зв'язку, лічильник електроенергії, ТС і ТН, згідно винаходу корекцію ТС і ТН вимірювального комплексу проводять спільно по місцю його установки та експлуатації.

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 або 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  $\delta_I + \delta_U \approx 0$ . В 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 однієї з складових тарифу на електроенергію, то зростає інтерес до повноцінного обліку всіх їх складових, зокрема, і щодо малих.

Суть винаходу пояснюється полем допустимих струмових погрішностей ТС при зміні первинного струму (навантаження), відображеного на Фіг. 1 розтрубом 1-1', що має точки:  $\pm 1,0$  в.о. (в.о. - відносні одиниці, під якими розуміється клас точності ТС) при коефіцієнті завантаження по первинному колу  $K_{H1}=1,0$ ;  $\pm 1,5$  в.о. - при  $K_{H1}=0,2$  і  $\pm 3,0$  в.о. - при  $K_{H1}=0,05$ . Прямими лініями 2-2' з переломом в точці  $K_{H1}=0,2$  обмежена найбільш щільно використовується область поля допустимих погрішностей. Лінія 3 в середині цієї зони відображає середню (систематичну) погрішність всіх ТС, межі зони 2-2' - діапазон випадкових погрішностей. Крива 4 - одна з реальних характеристик ТС. На Фіг. 2 показано поле допустимих погрішностей ТН. Поле, обмежене прямими 1-1' має однакою ширину у всьому діапазоні завантаження вторинного кола ТН. Область цього поля, обмежена прямими 2-2', найбільш щільно використовується область допустимих погрішностей середня лінія 3 цього поля є систематичною погрішністю всіх ТП. На Фіг. 3 показаний розподіл струмових погрішностей ТС типу ТПШЛ - 16 (200/5,  $S_{H2}=20$  ВА, клас точності 0,5) залежно від коефіцієнта завантаження  $K_{H2}=1,0$  (крива 1)  $K_{H2}=0,25$  (крива 2), побудованих за дани-

ми повірки. На Фіг. 4 представлений графік розподілу погрішності напруги  $\delta_U$  ТН типу НОМ-6 за даними повірки. Дані ТС і ТН знаходилися на одному об'єкті.

Суть винаходу полягає в наступному.

В даний час облік кількості електроенергії проводиться за допомогою вимірювальних комплексів, що містять ТС, ТП, лінію зв'язку і лічильник електроенергії. Систематична погрішність, викликана вимірювальним комплексом  $\Theta_k$  визначається в основному як сума струмової погрішності ТС  $\delta_i$ , погрішності ТН  $\delta_U$  і погрішності лічильника  $\delta_\Theta$ , тобто (1).

Погрішності ТС і ТН залежать від значення вторинного навантаження, коефіцієнта потужності  $\cos \varphi$  і від значення первинного струму. При зміні навантаження (струму в первинному колі) фактичне значення погрішності ТС змінюється. Для ТС поле допустимих погрішностей має вигляд, показаний на Фіг. 1 розтрубом 1-1'. Розтруб 1-1' це межі нормованих погрішностей по струму для ТС. Розтруб 1-1' означає, що фактична погрішність ТС при малих завантаженнях по первинному струму  $K_{H1} < 0,2$  може бути в 1,5-3,0 рази більше класу точності ТС. Розтруб 1-1' на Фіг. 1 відповідає класам ТС 0,5 і 1,0. Для класу 0,2 відповідних точок розтруба 1-1' мають рівні 1,0; 1,75 і 3,75. Наявність симетричного розтруба 1-1' на Фіг. 1 допустимих погрішностей ТС не означає, що фактичні погрішності рівномірно займають допустиму зону. Прямими лініями 2 з переломом в точці  $K_{H1} = 0,2$  обмежена найбільш щільно використовувана область розтруба 1-1' допустимих погрішностей. Лінія 3 в середині цієї області відображає середню (систематичну) погрішність всіх ТС, а межі області - діапазон випадкових погрішностей. Реальні характеристики ТС мають вид кривих, падаючих до початку координат. В цьому випадку характеристики ТС, використовуваних на об'єкті, щільніше заповнюватимуть верхню частину області, обмежену лініями 2-2', в зоні великих навантажень і нижню - в зоні малих навантажень, як показано на Фіг. 1 лінією 4. Лінія 4 - це одна з реальних характеристик ТС.

У реальних умовах завантаження первинних кіл ТС набагато нижче номінальної по трьом причинам:

1) середнє навантаження завжди нижче максимальної, а погрішність вимірювання електроенергії - це погрішність, відповідна середньому навантаженню;

2) споживання електроенергії підприємствами в даний час набагато менше, ніж було в той період, коли будувалися мережі та вибиралися типи ТС;

3) навіть у той період, коли будувалися мережі, ТС вибиралися із запасом по пропускній спроможності з розрахунку зростання навантажень в перспективі.

В результаті робота ТС в зоні  $K_{H1} = 0,05-0,2$  є в більшості випадків типовою ситуацією. З погляду вимог нормативних документів до системи обліку ця ситуація не може вважатися за допустиму. Для обліку електроенергії необхідно знати фактичні погрішності.

Другим джерелом погрішності обліку електроенергії є ТН. Основний вплив на погрішність ТН надає величина його вторинного завантаження  $K_{H2}$  (навантаження вторинної обмотки ТН). Коефіцієнт  $K_{H2}$  ТН по потужності - це відношення фактичного навантаження вторинної обмотки ТН до номінальної величини навантаження. Залежність погрішності ТН від потужності навантаження носить лінійний характер і при номінальній потужності навантаження погрішність  $\delta_U$  знаходиться в від'ємній області. При зменшенні потужності навантаження до  $K_{H2} = 0,25$ ,  $\delta_U$  стає додатною та прагне до верхньої межі похибки, що припускається, за стандартом на ТН. На Фіг. 2 показано поле допустимих погрішностей  $\delta_U$  ТН. Поле, обмежене прямими 1-1' має однакову ширину на всьому діапазоні  $K_{H2}$  завантаження вторинного ланцюга ТН. Область цього поля, обмежена прямими 2-2' - найбільш щільно використовувана область поля допустимих погрішностей. Середня лінія 3 області поля, обмеженої прямими 2-2' (Фіг. 2), представляє систематичну погрішність всіх ТН.

Розподіл струмової погрішності  $\delta_i$  ТС (тину ТПШЛ-16 200/5,  $S_{H2} = 20$  ВА клас точності 0,5) для двох коефіцієнтів завантаження вторинного кола ТС  $K_{H2} = 1,0$  (залежність 1) і  $K_{H2} = 0,25$  (залежність 2) представлених на Фіг. 3 за даними повірки. Залежність погрішності напруги  $\delta_U$  ТН (типу НОМ-6) за даними повірки представлена на Фіг. 4. Дані вимірювальні трансформатори (ВТ) ТС і ТН знаходилися на одному об'єкті та входили в один вимірювальний комплекс.

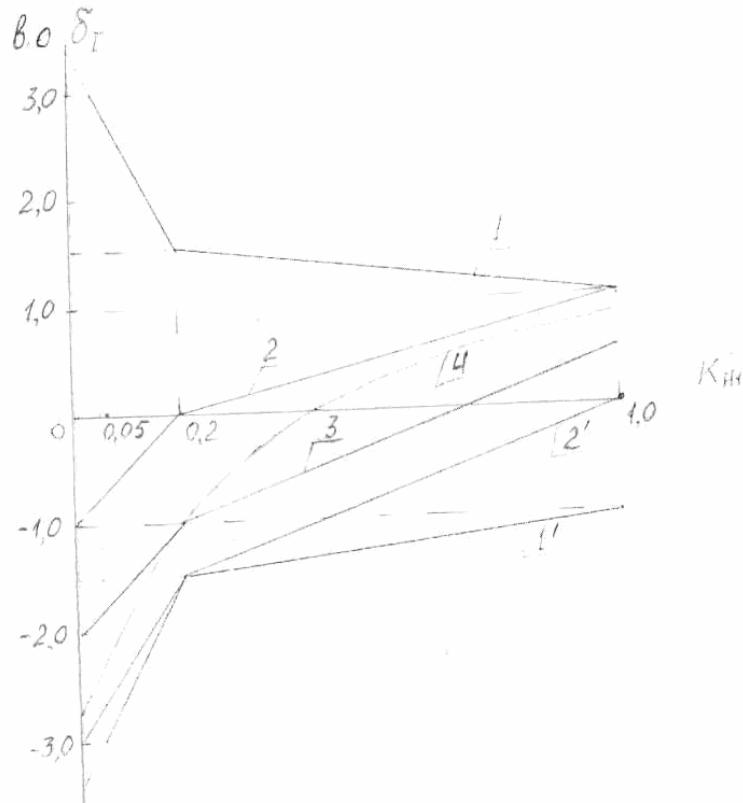
За рахунок виткової корекції вторинної обмотки ТС залежність погрішності по струму можна переміщати паралельно самій собі вгору або вниз. При зменшенні числа витків у вторинній обмотці ТС залежність погрішності по струму  $\delta_i$  переміщається паралельно самій собі в область менш негативних погрішностей (вгору). При збільшенні числа витків вторинної обмотки ТС залежність погрішності по струму  $\delta_i$  переміщається паралельно самій собі в область більш негативних погрішностей (вниз). Лінійну залежність погрішності напруги  $\delta_U$  також можна пересувати паралельно самій собі вгору або вниз за допомогою корекції напруги. Корекцією напруги називається навмисна зміна коефіцієнта трансформації ТН у бік підвищення вторинної напруги, виражене у відсотках. Це досягається зменшенням числа витків первинної обмотки ТН. При цьому лінійна залежність допустимих погрішностей ТН по модулю напруги піднімається паралельно самій собі вгору. Аналогічно залежності погрішностей по струму та напрузі можна переміщати корекцією навантаження вторинних ланцюгів ТС і ТН.

Таким чином, знаючи середнє значення навантаження за розрахунковий період (середнє значення струму) об'єкту на якому встановлений вимірювальний комплекс обліку електроенергії, що складається з вимірювальних трансформаторів (ТС і ТН) і лічильника, і знаючи конкретне навантаження їх вторинних обмоток, за допомогою корекції ТС або ТН, або обопільної корекції обидва ВТ, добиваються рівності  $\delta_U = -\delta_i$ , тобто  $\delta_i + \delta_U \approx 0$ .

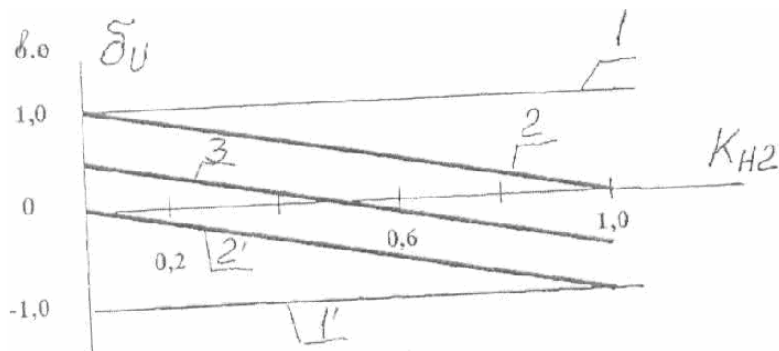
В цьому випадку систематична погрішність всього вимірювального комплексу визначатиметься погрішністю тільки лічильника електроенергії. Корекцію ВТ необхідно проводити або по місцю установки вимірювального комплексу, або в спеціалізованій лабораторії на струмі первинної обмотки ТС рівному середньому значенню струму нава-

нтаження об'єкту і навантаженню вторинних обмоток ТС і ТН, відповідному їх навантаженню по місцю установки та експлуатації вимірювального комплексу.

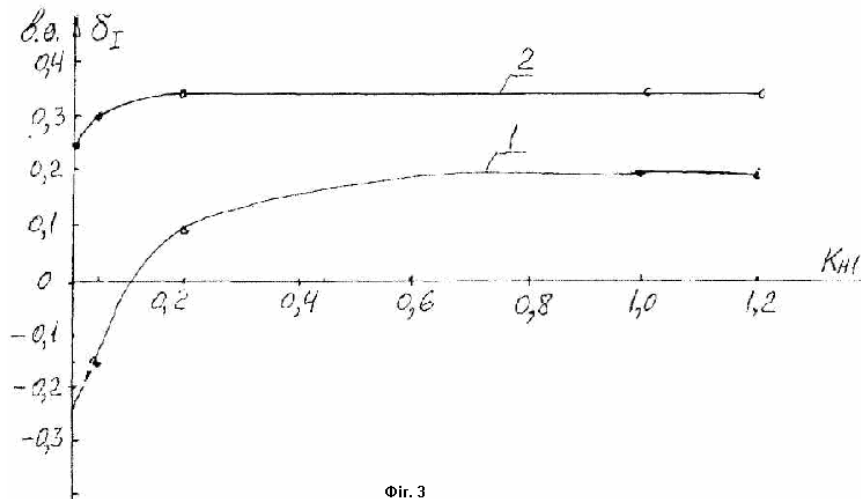
Подібний винахід дозволить підвищити точність обліку та як наслідок заощадити від 1 до 2% електроенергії споживаної об'єктом.



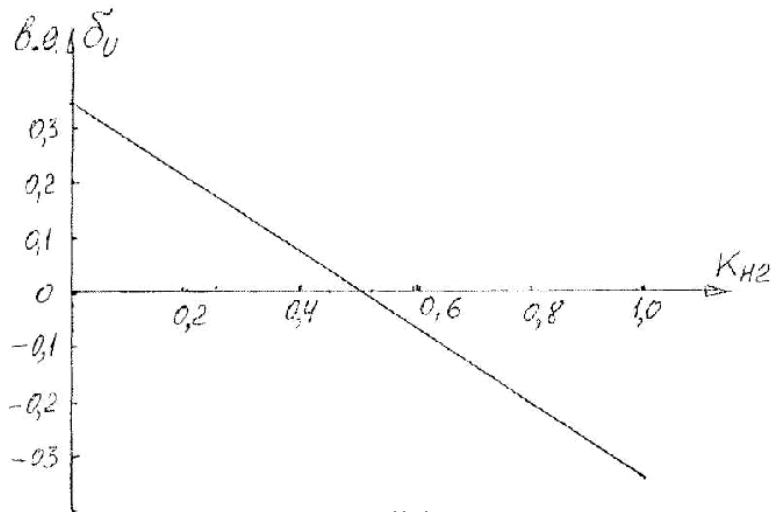
Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3



Фіг. 4