

**ВИМІРЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В УМОВАХ НЕСИМЕТРІЇ СТРУМІВ
ЗА ЧАСТКОВОЇ ВІДМОВИ СИСТЕМИ ОБЛІКУ**

П.П. Говоров¹, докт.техн.наук, **В.В. Момот²**

¹Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002, Україна. E-mail: govorov_fp@mail.ru

²ПАТ “Полтаваобленерго”,
вул. Ст. Поділ, 5, Полтава, 36022, Україна.

Досліджено процес вимірювання електроенергії електронними лічильниками в умовах часткової відмови функціонування системи обліку електроенергії. Одержано формули для визначення величин коригувальних коефіцієнтів, що дозволяють компенсувати похибку вимірювання електроенергії, спричинену частковою відмовою функціонування в умовах несиметрії струмів. Визначено коригувальні коефіцієнти за різних варіантів відмов з урахуванням несиметрії струмів. Бібл. 4, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: коригувальний коефіцієнт, система обліку, відмова функціонування.

Як відомо [1, 2], наявність прихованих часткових відмов функціонування (ВФ) систем обліку електроенергії (СОЕ), спричинених повними ВФ засобів вимірювання у складі СОЕ, призводить до збитків через використання недостовірної вимірювальної інформації внаслідок виникнення похибки вимірювання електроенергії. Тому постає питання щодо підвищення достовірності результатів вимірювання електроенергії СОЕ у трифазних електромережах за рахунок компенсації даної похибки.

У роботі [2] для СОЕ високої напруги на основі двохелементних індукційних лічильників електроенергії (ЛЕ) за умови симетричного навантаження, було проаналізовано варіанти порушень у схемах обліку та запропоновано коригувальний коефіцієнт (КК) для визначення величини недообліку електроенергії. Однак не дослідженим залишається процес вимірювання електроенергії триелементними ЛЕ за ВФ за несиметрії струмів.



Рис. 1

Згідно з визначенням, наведеним у [3], СОЕ представляє собою вимірювальний комплекс (ВК), який є сукупністю обладнання та засобів вимірювальної техніки, з'єднаних між собою за встановленою схемою, з метою забезпечення вимірювання та обліку електроенергії в заданій точці електричної мережі. У відповідності до [4], згідно з розробленою класифікацією (рис. 1), в залежності від схеми з'єднання трансформаторів струму (ТС) і наявності трансформаторів напруги (ТН) (незалежно від кількості і схеми

з'єднання ТН) та характеру відмови каналу вимірювання (КВ), можна виділити типи СОЕ високої напруги (ВН) (що характеризуються наявністю ТН) та низької напруги (НН) на основі двох- та триелементних ЛЕ для три- та чотирипровідних мереж (таблиця). Варіанти відмов наведені для раптових незалежних повних ВФ засобів вимірювання у складі СОЕ, що призводять до часткової ВФ прихованого характеру СОЕ.

№ з/п	Тип СОЕ	Тип ЕМ	Схема з'єднання елементів СОЕ	Варіант відмови функціонування СОЕ для визначення КК
1	СОЕ -I _{ВН}	3-пров.	2-ел. ЛЕ+2ТС+ТН	$I_A; I_C; I_A'; I_C'; I_A''; I_C''; U_A; U_B; U_C; U_A'; U_B'; U_C'$
2	СОЕ -II _{ВН}	3-пров.	3-ел. ЛЕ+2ТС+ТН	$I_A; I_C; I_A'; I_B'; I_C'; I_A''; I_C''; U_A; U_B; U_C; U_A'; U_B'; U_C'$
3	СОЕ -III _{ВН}	3-пров.	3-ел. ЛЕ+3ТС+ТН	$I_A; I_B; I_C; I_A'; I_B'; I_C'; I_A''; I_B''; I_C''; U_A; U_B; U_C; U_A'; U_B'; U_C'$
4	СОЕ -IV _{НН}	4-пров.	3-ел. ЛЕ+3ТС	$I_A; I_B; I_C; I_A'; I_B'; I_C'; I_A''; I_B''; I_C''; U_A; U_B; U_C; U_A'; U_B'; U_C'$
5	СОЕ -V _{НН}	4-пров.	3-ел. ЛЕ	$I_A'; I_B'; I_C'; U_A; U_B; U_C; U_A'; U_B'; U_C'$

У відповідності до [2] величина відносної похибки вимірювання активної електроенергії (потужності), спричиненої частковою відмовою функціонування СОЕ (через повну ВФ елемента за однією з фаз), становить

$$\delta_P = \frac{P_{ВФ} - P_{ДІЙСН.}}{P_{ДІЙСН.}} = \left(\sum_{k=1}^{m-1} P_k - \sum_{k=1}^m P_k \right) \cdot \left(\sum_{k=1}^m P_k \right)^{-1}, \quad (1)$$

де $P_{ВФ}$, $P_{ДІЙСН.}$ – діючі значення активної потужності, виміряної за ВФ та за справного стану СОЕ відповідно; P_k – діюче значення активної потужності k -ї фази; $k=1$ – перша за порядком зростання фаза (прямий порядок чергування фаз), елементи якої не зазнали ВФ; m – загальна кількість фаз ($m=3$ – для трифазної мережі); $(m-1)$ – загальна кількість фаз без урахування однієї фази, елементи якої зазнали ВФ.

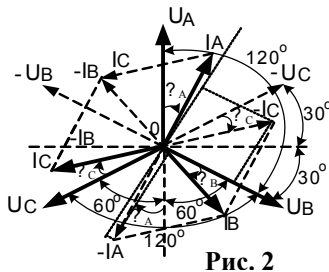
Із (1) отримуємо значення виміряної активної потужності, що відповідає справному стану СОЕ

$$P_{ДІЙСН.} = \sum_{k=1}^{m-1} P_k \cdot (1 + \delta_P)^{-1} = \sum_{k=1}^m P_k = \sum_{k=1}^{m-1} P_k \cdot K_{КОР.} \quad (2)$$

Відповідно із (2) отримуємо значення КК до величини електроенергії (потужності) трифазної мережі, виміряної триелементним ЛЕ з похибкою, спричиненою ВФ елемента СОЕ за однією з фаз

$$K_{КОР.3ел.} = \sum_{k=1}^m P_k \cdot \left(\sum_{k=1}^{m-1} P_k \right)^{-1} = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3}{U_k I_k \cos \varphi_k + U_{k+q} I_{k+q} \cos \varphi_{k+q}}, \quad (3)$$

де $U_1, U_2, U_3, U_k, I_1, I_2, I_3, I_k$ – діючі значення фазної напруги та струму відповідно за фазами; $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_k$ – кут зсуву фаз між струмом та фазною напругою відповідно за фазами; k -а фаза – перша за порядком зростання фаза (прямий порядок чергування фаз), елементи якої не зазнали ВФ; q – число, що враховує наявність ВФ у одній із фаз: $q=1$ – наявність ВФ у першій або третій фазах; $q=2$ – наявність ВФ у другій фазі.



Відповідно до [4] для СОЕ – Пвн на вхід струмового кола умовно за фазою B триелементного ЛЕ (другий елемент ЛЕ) подається геометрична сума векторів струмів I_A та I_C з протилежним знаком: $I_B = -(I_A + I_C)$. На рис. 2. показано векторну діаграму струмів та напруг для триелементного ЛЕ у складі СОЕ – Пвн.

Із урахуванням проекції суми векторів струмів I_A та I_C на вісь OU_B (рис. 2) значення проекції струму I_B на вісь OU_B становить

$$I_B = |-I_A| \cdot \cos(60^\circ + \varphi_A) + |-I_C| \cdot \cos(60^\circ - \varphi_C) = I_A \cdot \cos(\varphi_A + \pi/3) + I_C \cdot \cos(\varphi_C - \pi/3). \quad (4)$$

Підставивши (4) у (3), з урахуванням позначення фаз 1 – A , 2 – B та 3 – C , отримаємо

$$K_{КОР.3-ел.} = \frac{U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 (I_1 \cos(\varphi_1 + \pi/3) + I_3 \cos(\varphi_3 - \pi/3)) + U_3 I_3 \cos \varphi_3}{U_k I_k \cos \varphi_k + U_{k+q} I_{k+q} \cos \varphi_{k+q}}. \quad (5)$$

Використовуючи (5), з урахуванням несиметрії струмів та положення векторів струму і напруги на рис. 2, можна отримати за симетричної системи напруг величини КК для СОЕ – Пвн. Зокрема, за ВФ кіл струму за фазами A та C значення КК для ВК–3Е2Т01ТН.І2ІА та ВК–3Е2Т01ТН.І2ІС відповідно становлять

$$K_{КОР.ІА} = \frac{I_A}{I_C} \cdot \frac{\cos(\varphi_A + \pi/6)}{\cos(\varphi_C - \pi/6)} + 1; \quad K_{КОР.ІС} = \frac{I_C}{I_A} \cdot \frac{\cos(\varphi_C - \pi/6)}{\cos(\varphi_A + \pi/6)} + 1. \quad (6)$$

За результатами експериментальних досліджень за симетричної системи напруг на рис. 3 показано графіки залежності відносної похибки вимірювання електроенергії від коефіцієнта потужності та коефіцієнта несиметрії струмів для триелементних ЛЕ у складі СОЕ – Пвн за ВФ: a – кола струму за фази A : ВК–3Е2Т01ТН.І2ІА; b – кола струму за фази C : ВК–3Е2Т01ТН.І2ІС (на графіках по осі абсцис відкладено значення кута зсуву фаз між струмом та напругою за фазою A , що є вихідним параметром мережі за відсутності ВФ). Як вихідні параметри мережі, відносно яких змінюються значення струму I_C та кута зсуву фаз φ_C , прийнято значення струму I_A та кута зсуву фаз φ_A за відсутності ВФ. Відповідно, із графіка рис. 3, a видно, що за відмови кола струму за фазою A зі збільшенням несиметрії струмів (I_C / I_A) величина відносної похибки вимірювання електроенергії зменшується. Аналогічно із графіка рис. 3, b бачимо, що за відмови кола струму за фазою C із збільшенням несиметрії струмів величина відносної похибки вимірювання електроенергії збільшується. Визначені КК за (6) дозволяють компенсувати похибку вимірювання із врахуванням її динаміки.

Інформацію про величину струму і значення кута зсуву фаз між струмом і напругою у колі (каналі) вимірювання, що зазнав ВФ, можна отримати із архівних даних профілю навантаження, зафіксованого електронним ЛЕ, або за допомогою інструментальних вимірювань відповідних параметрів мережі.

Отже, одержані за симетричної системи напруг величини КК за різних варіантів ВФ можуть бути застосовані для компенсації похибки вимірювання, спричиненої частковою відмовою функціонування СОЕ за наявності несиметрії струмів, що дозволяє підвищити в цілому достовірність вимірювання електроенергії СОЕ у трифазних мережах.

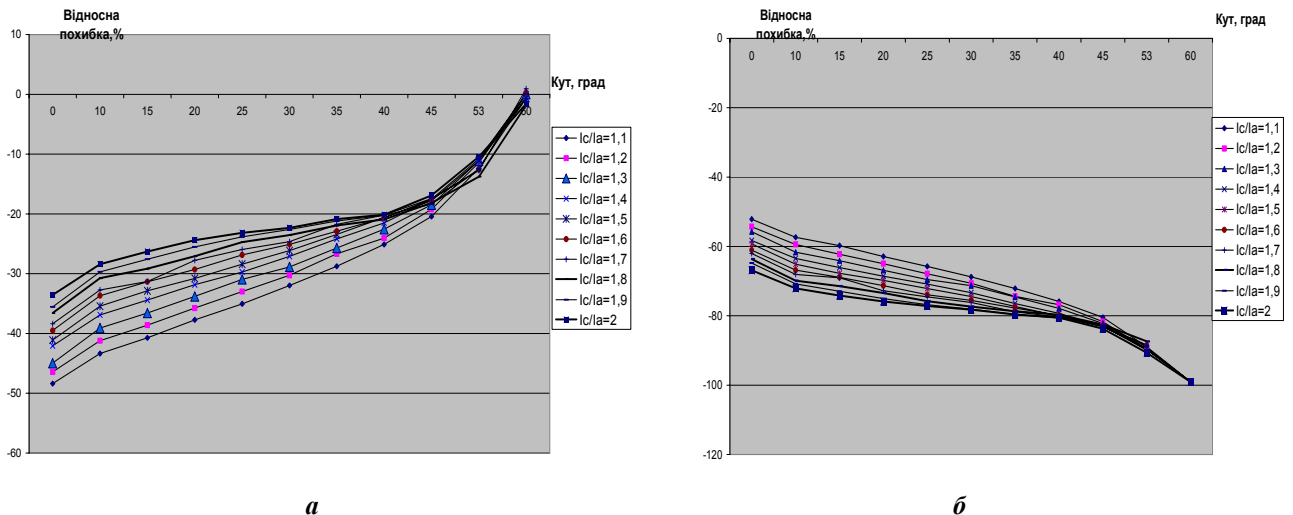


Рис. 3

1. Гольдберг О.Д. Определение правильности схем включения счетчиков в электроустановках напряжением выше 1000 В и действительного расхода электроэнергии по счетчикам с неправильными схемами включения. – Харьков: Энергосбыт «Харьковэнерго», 1998. – 20 с.
2. Минин Г.П. Измерение электроэнергии. – М.: Энергия, 1974. – 103 с.
3. Правила улаштування електроустановок. – Х.: Індустрія, 2014. – 800 с.
4. Роцин В.А. Схемы включения счетчиков электрической энергии. – М.: Из-во НЦ ЭНАС, 2002. – 62 с.

УДК 628.93.001

ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ НЕСИММЕТРИИ ТОКОВ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ОТКАЗЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА

Ф.П. Говоров¹, В.В. Момот²

¹Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А.Н. Бекетова,
ул. Революции, 12, Харьков, 61002, Украина. E-mail: govorov_fp@mail.ru

²ПАТ «Полтаваоблэнерго»,
ул. Ст. Подол, 5, Полтава, 36022, Украина.

Исследовано процесс измерения электроэнергии электронными счетчиками при частичном отказе функционирования системы учета электроэнергии. Получено формулы для определения величин корректирующих коэффициентов, которые позволяют скомпенсировать погрешность измерения электроэнергии, вызванную частичным отказом функционирования в условиях несимметрии токов. Определены корректирующие коэффициенты при разных вариантах отказов с учетом несимметрии токов. Библи. 4, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: корректирующий коэффициент, система учета, отказ функционирования.

THE MEASUREMENT OF ELECTRIC ENERGY IN CONDITIONS CURRENT UNBALANCE FOR PARTIAL REFUSAL OF METERING SYSTEM

F.P. Govorov¹, V.V. Momot²

¹O.M. Beketov National University of Urban Economy,
str. Revolution, 12, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: govorov_fp@mail.ru

²PAS «Poltavaoblenergo»,
str. St. Podil, 5, Poltava, 36022, Ukraine.

The process of measurement of electric energy electronic meters for partial refusal of functioning of the electricity metering system have been research. The formulas for definition of values of correction coefficients that allow to compensate the measurement error of electricity, caused by a partial refusal of functioning in conditions of unbalance currents, have been received. Have been defined correction coefficients by different types of refusal and taking into account current unbalance. References 4, table 1, figures 3.

Key words: correction coefficient, metering system, refusal of functioning

1. Goldberg O.D. To determine the correctness of the schemes include counters in the electrical voltage above 1000 V and the actual power consumption according to the meter with wrong wiring diagrams. – Kharkov: Energosbyt "Kharkovenergo", 1998. – 20 p. (Rus)
2. Minin G.P. The measurement of energy. – Moskva: Energiia, 1974. – 103 p. (Rus.)
3. The rules appliance of electrical installations. – Kharkiv: Industriia, 2014. – 800 p. (Ukr.)
4. Roshchin V.A. The connection scheme of electric power meters. – Moskva: NTs ENAS, 2002. – 62 p. (Rus.)

Надійшла 26.02.2016
Остаточний варіант 25.04.2016