

**ПІДГОТОВКА ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ ПОХИБОК
ВИМІРЮВАЛЬНИХ КАНАЛІВ СТРУМУ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ
ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

Є.М.Танкевич, докт.техн.наук, **І.В.Яковлєва**, канд.техн.наук, **Г.М.Варський**, канд.техн.наук, **В.І.Паньків**
Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна. e-mail: ivya@ied.org.ua

Розроблено алгоритм обчислення коригувальних поправок до вимірних модулів та кутів фазних струмів в залежності від значень цих струмів та способів одержання інформації про похибки трансформаторів струму. За цим алгоритмом розроблено програму підготовки вхідної інформації для корекції похибок вимірних каналів струму, застосування якої дозволяє максимально зменшити кількість операцій, що безпосередньо виконуються в засобі вимірювання, забезпечуючи при цьому необхідне підвищення точності вимірних каналів. Бібл. 4, рис. 2.

Ключові слова: вимірний канал струму, трансформатор струму, корекція похибок вимірювання.

Широке застосування технології векторних вимірювань в енергетиці призводить до підвищення вимог до точності вимірювань, які неможливо задовольнити без спеціальних заходів. Важливість компенсації систематичних похибок вимірних каналів (ВК) для підвищення їхньої точності засвідчили проведені теоретичні дослідження та досвід експлуатації систем векторних вимірювань, зокрема в США та Італії [3,4].

Ефективним способом підвищення точності вимірювання векторів струму є введення до вимірних значень модуля та фази сигналу поправок, які виключають систематичні похибки трансформаторів струму (ТС), що входять до складу ВК [1]. Це дозволяє зменшити сумарну похибку ВК у 2–4 рази. Для реалізації цієї технології недостатньо довідкових даних про тип трансформаторів, необхідно мати інформацію про їхні метрологічні характеристики або характеристики намагнічування, про значення та характер їхнього вторинного навантаження.

Похибки ТС і, відповідно, значення коригувальних поправок залежать, насамперед, від величини вхідного струму та величини і характеру вторинного навантаження ТС. Тому найкращого результату в підвищенні точності вимірювання можна досягти, обчислюючи поправку на кожному кроці корекції з урахуванням плинних значень трифазної системи вхідних струмів та вторинних навантажень ТС. Це потребує постійного виконання додаткових вимірювань та значних обчислювальних потужностей коригувального модуля.

Однак, як показують проведені дослідження, за умови незначної (до 10%) несиметрії вхідних сигналів, що характерно для більшості нормальних режимів роботи енергосистеми, зміною вторинних навантажень фазних ТС та їхніх похибок від цього фактору можна знехтувати. Зважаючи на це, а також на стабільність структури ВК та метрологічних характеристик його компонентів, можна значну частину роботи з визначення коригувальних поправок виконати заздалегідь на етапі підготовки даних. Це дозволяє зменшити кількість операцій, які виконуються в режимі "on-line", і значно спростити підсистему корекції похибок ВК у складі засобу вимірювання параметрів режимів енергосистем. Метою даної роботи є створення засобу підготовки вхідної інформації для корекції похибок ВК струму систем керування за умови стабільності вторинного навантаження ТС.

Інформацію про похибки ТС, які необхідно знати для визначення коригувальних поправок, можна отримати такими способами:

- 1) експериментальне визначення похибок ТС при реальному вторинному навантаженні;
- 2) розрахунок похибок ТС при реальному вторинному навантаженні за індивідуальними метрологічними характеристиками, встановленими за результатами їхньої метрологічної атестації;
- 3) розрахунок похибок ТС за його параметрами, включаючи і характеристику намагнічування, при реальному вторинному навантаженні.

Незалежно від способу отримання даних про похибки ТС вхідною інформацією для коригувального модуля є залежності поправок до модулів та кутів фазних струмів від значень цих струмів для наперед визначеного значення вторинного навантаження ТС, яке має знаходитись у межах, нормованих відповідними стандартами.

Струмові та кутові похибки ТС у ході метрологічної атестації визначають диференційним (нульовим) методом з використанням зрізцевого ТС і компаратора вторинних струмів відповідно до ДСТУ 6097:2009. Похибки визначають при первинному струмі 1%, 5%, 20%, 100% і 120% від номінального значення струму і двох значеннях вторинного навантаження – номінальному і нульовому (замкненій накоротко вторинній обмотці). При неможливості виміряти похибки при нульовій потужності визначають похибки при нижній границі допустимого діапазону потужності навантаження, тобто при потужності навантаженні 0,25 номінального значення. В цьому випадку похибки при нульовій потужності обчислюють. Послідовність виконання вимірювань – від мінімального значення струму з подальшим його збільшенням до максимального.

Визначення опору $Z_{нф}$ і кута $\varphi_{нф}$ вторинного навантаження фазних ТС виконують за місцем експлуатації при живленні від зовнішнього джерела струму або при струмі робочого навантаження, вимірюючи струм у навантаженні та напругу в ланцюгу. Значення похибок ТС при цьому навантаженні визначають за результатами метрологічної атестації [2]

$$f_{нф} = f_{0ф} + \frac{Z_{нф}}{Z_{ном}} \left[(f_{номф} - f_{0ф}) \times \cos(\varphi_{нф} - \varphi_{ном}) - (\delta_{номф} - \delta_{0ф}) \times \sin(\varphi_{нф} - \varphi_{ном}) \right],$$

$$\delta_{нф} = \delta_{0ф} + \frac{Z_{нф}}{Z_{ном}} \left[(\delta_{номф} - \delta_{0ф}) \times \cos(\varphi_{нф} - \varphi_{ном}) + (f_{номф} - f_{0ф}) \times \sin(\varphi_{нф} - \varphi_{ном}) \right],$$

де $f_{нф}$ і $\delta_{нф}$ – похибки ТС при дійсному значенні навантаження; $f_{номф}$ і $\delta_{номф}$ – похибки фазних ТС при номінальному навантаженні; $f_{0ф}$ і $\delta_{0ф}$ – похибки фазних ТС при нульовій потужності навантаження; $Z_{ном}$ – значення опору номінального вторинного навантаження ТС; $\varphi_{ном}$ – кут номінального навантаження ТС; $\varphi = A, B, C$.

Номінальне вторинне навантаження $Z_{ном}$ розраховують за значеннями номінальної потужності вторинного навантаження $S_{ном}$ ($\cos \varphi_{ном} = 0,8$) і номінальним вторинним струмом $I_{ном}$.

Для розрахункового визначення похибок фазних ТС необхідно мати інформацію про геометричні параметри осердя ТС, зокрема його середню довжину та площу перерізу; параметри вторинної обмотки – кількість витків, активний та індуктивний опори; характеристики намагнічування і кута магнітних втрат ТС; значення вторинних навантажень фазних ТС. Слід зазначити, що на відміну від геометричних параметрів осердя, інформація щодо яких є у довідкових даних на даний тип ТС, характеристики намагнічування і кута магнітних втрат ТС мають бути визначені експериментально для кожного з трансформаторів. Необхідність цього обумовлена тим, що відхилення конструктивних параметрів, зміна магнітних характеристик матеріалу магнітопроводу, що виникають у процесі виробництва, неідентичність виконання вторинної обмотки, тощо зумовлюють різницю в метрологічних характеристиках окремих ТС одного типу, яка не залежить від експлуатаційних факторів. Зазвичай використовують пропорційні характеристикам намагнічування вольт-амперні характеристики ТС, зняті при практично синусоїдальній напрузі за допомогою вольтметра, що реагує на середнє абсолютне значення напруги, і амперметра, що реагує на діюче значення струму. Для цього ТС попередньо від'єднують від вторинного навантаження і розмагнічують. Для точнішого розрахунку похибок ТС необхідно знати залежність кута втрат у сталі від амплітуди магнітної індукції, яку вимірюють при визначенні характеристики намагнічування осердя, як кут зсуву між напругою на індукційній обмотці і струмом намагнічування, використовуючи фазометр.

Блок-схему алгоритму підготовки вхідної інформації для коригувального модуля в залежності від способу одержання інформації про похибки ТС показано на рис. 1. За даним алгоритмом розроблено програму, яка

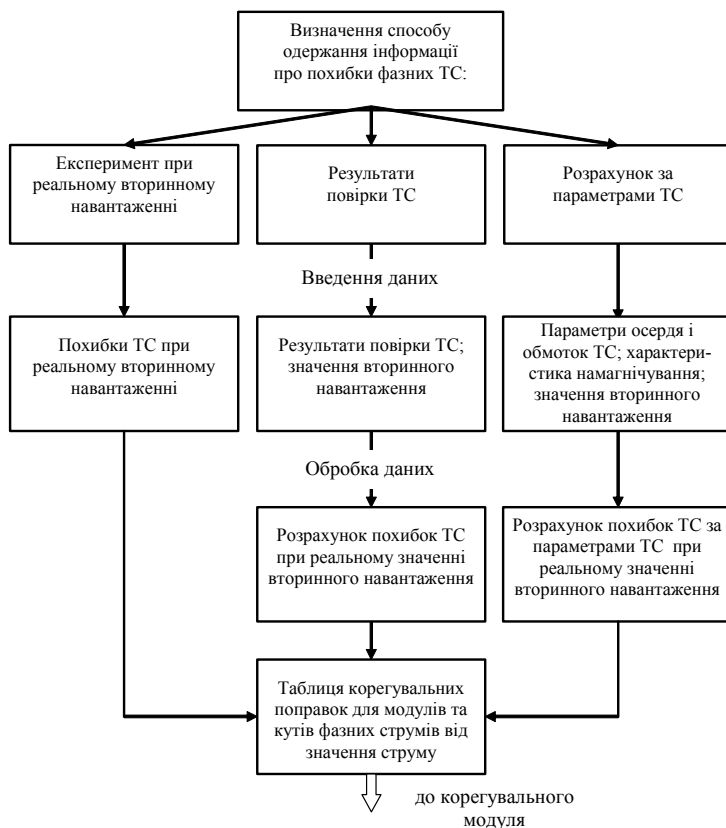


Рис. 1

написана на мові програмування C#. У програмі також передбачено підготовку інформації для коригування похибок вимірювання напруги. Тип каналу, струму чи напруги, для якого буде здійснена підготовка вхідної інформації, обирається у вікні запуску програми. У цьому вікні передбачено можливий вибір одного із трьох вказаних вище способів підготовки вхідної інформації для корекції похибок ВК струму, обумовлений наявною інформацією про параметри або похибки фазних ТС. Далі відповідно до обраного способу послідовно відкриваються вікна для введення необхідної інформації. За даними про похибки ТС, одержаними в результаті експерименту або обчисленими в програмі, розраховуються коригувальні поправки, а саме: коефіцієнт, на який множиться виміряне значення струму, $K_I = 1 - f$, де f – струмова похибка фазного ТС, та значення фазної похибки ТС, яке використовується для корекції кута струму. Для розрахунку поправок за проміжних значень струмів у програмі реалізовано інтерполяцію кубічним сплайном.

Перевірку ефективності розробленої програми проведено з використанням фізичної моделі трифазного ВК струму і еталона-калібратора електричної потужнос-

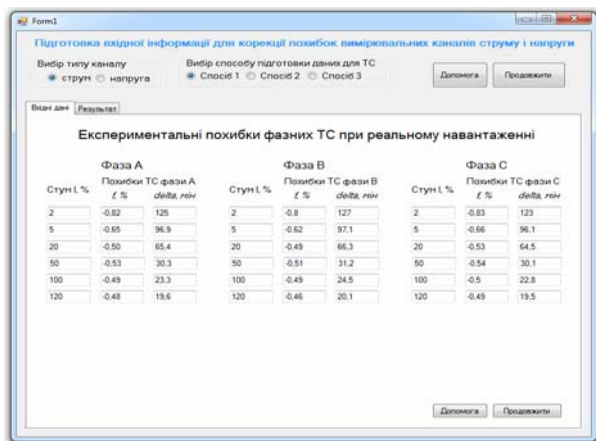


Рис. 2

ті FLUKE 6130A. Зважаючи на те, що параметри моделей ТС включно з їхніми ВА-характеристиками та характеристиками кутів магнітних втрат, а також похибки ТС при заданому навантаженні відомі, для підготовки вхідної інформації коригувального модуля було використано способи 1 та 3. Приклад вікна введення даних за способом 1 наведено на рис. 2. Випробовування роботи фізичної моделі ВК струму з коригувальним модулем підтвердили ефективну роботу розробленої програми підготовки даних і значне (більше, ніж у 3 рази) зменшення похибок вимірювання струмів у результаті корекції.

Використання розробленої програми забезпечує впорядкованість, спрощення і автоматизацію виконання значної кількості операцій з одержання, попередньої обробки та підготовки вхідних даних для корекції похибок вимірювальних каналів струму систем керування електроенергетичних об'єктів, що сприятиме підвищенню точності вимірювань векторів струмів та ефективності керування.

1. Варський Г.М., Сопель М.Ф., Танкевич С.М., Яковлева І.В. Корекція похибок вимірювальних каналів струму в засобах моніторингу нормального режиму енергосистеми // Технічна електродинаміка. – 2014. – №5. – С. 71–73.
2. Трансформатори струму. Програма та методика державної метрологічної атестації. МДУ 001/08-2000.– К.: Укрметртест-стандарт, 2000.
3. Cirio D., Lucarella D., Giannuzzi G., Tuosto F. Wide area monitoring in the Italian power system: architecture, functions and experiences // European Transactions on Electrical Power. – 2011. – Vol. 21. – Pp. 1541–1556.
4. Zhenyu H., Kasztenny B., Madani V. Performance Evaluation of Phasor Measurement Systems // Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Cent., IEEE, July 2008. – Pp. 1-7.

ПОДГОТОВКА ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ТОКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ
Е.Н.Танкевич, докт.техн.наук, **И.В.Яковлева**, канд.техн.наук, **Г.М.Варский**, канд.техн.наук, **В.И.Паньків**
Институт электродинамики НАН Украины,

пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина.

e-mail: ivva@ied.org.ua

Разработан алгоритм вычисления корректирующих поправок к измеренным модулям и углам фазных токов в зависимости от значений этих токов и способов получения информации о погрешностях трансформаторов тока. На основе этого алгоритма разработана программа подготовки входной информации для коррекции погрешностей измерительных каналов тока, применение которой позволяет минимизировать количество операций, непосредственно выполняемых в средстве измерения, обеспечивая при этом необходимое повышение точности измерительного канала. Библ. 4, рис. 2.

Ключевые слова: измерительный канал тока, трансформатор тока, коррекция погрешностей измерения.

PREPARATION OF INPUT DATA FOR THE AUTOMATIC CORRECTION OF ERRORS OF THE CURRENT MEASURING CHANNELS OF ELECTRICAL POWER OBJECTS CONTROL SYSTEMS

E.M. Tankevich, I.V. Yakovlieva, G.M. Varskyi, V.I. Pankiv

Institute of Electrodynamics National Academy of Science of Ukraine,

pr. Peremohy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine.

e-mail: ivva@ied.org.ua

The algorithm for calculating the corrections to the measurement module and phase of the currents depending on the values of these currents and how to obtain information about the errors of the current transformers is developed. On the basis of this algorithm, the program of preparation of input data for the correction of errors of the current measuring channels is developed. Its application allows minimizing the number of operations performed directly in the measuring tool while ensuring the necessary increasing of the accuracy of the measuring channel. References 4, figures 2.

Key words: measuring channel of current, current transformer, correction of measuring errors.

1. Varskyi G.M., Sopol M.F., Tankevich E.M., Yakovlieva I.V. Correction of errors of the measuring channels of current in the monitoring tools of power system normal mode // Tekhnichna Elektrodynamika. – 2014. – No 5. – Pp. 71–73. (Rus)
2. Current transformers. Program and procedure of state metrological certification. MDU 001/08-2000. – Kyiv: Ukrmetrteststandart, 2000. (Rus)
3. Cirio D., Lucarella D., Giannuzzi G., Tuosto F. Wide area monitoring in the Italian power system: architecture, functions and experiences // European Transactions on Electrical Power. – 2011. – Vol. 21. – Pp. 1541–1556.
4. Zhenyu H., Kasztenny B., Madani V. Performance Evaluation of Phasor Measurement Systems // Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Cent., IEEE, July 2008. – Pp. 1–7.

Надійшла 03.02.2016

Остаточний варіант 11.04.2016