Д.М. Калюжний

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

ПОХИБКА ІДЕНТИФІКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ НЕСИМЕТРІЇ НАПРУГИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗА КРИТЕРІЄМ СПОТВОРЮЮЧОГО ВУЗЛОВОГО СТРУМУ

Однією із властивостей електричної енергії, яка викликає значні економічні збитки як у постачальників, так і споживачів електроенергії, є несиметрія напруги. До найбільш універсального критерію ідентифікації джерел несиметрії напруги відноситься спотворюючий вузловий струм. Точність його визначення залежить від способу організації вимірів і характеризується найбільшою похибкою для локального підходу. Причина цього полягає у наближеному способі визначення схем заміщення споживачів електричної енергії і їх параметрів при вимірах параметрів режиму роботи мережі тільки в одній точці. Аналіз впливу наближених схем заміщення і їх параметрів на визначення спотворюючого вузлового струму показав, що адекватна ідентифікація джерел спотворення несиметрії напруги можлива тільки по зворотній послідовності. При цьому точне визначення похибки обчислення даного критерію в реальному часі вимірів неможливе через наявність додаткових невідомих, які потрібні для її розрахунку. Виходячи із цього запропоновано виконувати оцінку зверху похибки ідентифікації. Це викликало необхідність введення додаткових функцій з пошуком їх максимуму при заданих обмеженнях. Додатково була врахована невизначеність, яка пов'язана з ненульовим значенням критерію ідентифікації для неспотворюючого симетрію споживача електричної енергії. Це призвело до додаткової необхідності введення зони нечутливості для критерію ідентифікації. У результаті проведених досліджень отримані вираження для оцінки зверху похибки визначення критерію ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги по зворотній послідовності й визначення зони нечутливості критерію в реальному часі вимірів стосовно до трифазних трьох- і чотирьохпроводних систем електропостачання.

Ключові слова: якість електричної енергії, несиметрія напруги, джерело спотворення напруги, ідентифікація, похибка.

Постановка проблеми

Несиметрія напруги відноситься до однієї з властивостей електричної енергії, яка нормується показниками якості електроенергії (ПЯЕ) згідно ДСТУ EN 50160. При незадовільному рівні несиметрії напруги з'являються додаткові втрати потужності, знижується ефективність роботи встаткування, відбувається брак продукції і, як наслідок, з'являються фінансові збитки як у споживачів, так і постачальників електричної енергії [1–3]. Розподіл та компенсація цих затрат є актуальною проблемою, яка вирішується на основі задачі ідентифікації та оцінки впливу джерел спотворення напруги в системах електропостачання (СЕП).

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основним недоліком існуючих методів ідентифікації та оцінки впливу джерел спотворення симетрії напруги в СЕП є їх невизначеність, яка пов'язана з переважанням невідомих над кількістю рівнянь в математичних моделях [4–12]. Це обумовлено локальним підходом вимірів електричних величин в точці загального приєднання (ТЗП). Наведений в [13–14] новий метод ідентифікації та

оцінки впливу джерел несиметрії напруги володіє більш адекватними результатами, але не оцінений з точки зору його похибки.

Формулювання мети та завдання дослідження

Метою дослідження є оцінка похибки методу визначення джерел спотворення симетрії напруги за критерієм спотворюючого вузлового струму.

Основна частина дослідження

Метод ідентифікації джерел несиметрії напруги на базі спотворюючого вузлового струму. В основі методу ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги у СЕП лежить особливий спосіб представлення параметрів схем заміщення приєднань у точці загального їх підключення (рис. 1) з виділеними в них спотворюючими частинами:

$$\underline{Y} = \underline{Y}^{\text{несп}} + \underline{Y}^{\text{спот}}, \quad (1)$$

де $\underline{Y}^{\text{несп}}$ – неспотворююча частина пасивного елемента схеми заміщення електричного кола.

Рис. 1. Представлення параметрів схем заміщення з умовним їх розподілом на спотворюючі та неспотворюючі частини

Перетворення спотворюючих пасивних частин в активну форму (рис. 2) на основі принципу компенсації дозволяє сформулювати спотворюючі вузлові струми $\underline{J}_{A(B,C)}^{иск}$ кожного вузла схеми заміщення приєднання.

Рис. 2. Представлення спотворюючого пасивного елемента в активній формі

Трансформація цих параметрів у простір симетричних складових визначає спотворюючі вузлові струми по нульовій і зворотній послідовностям:

$$\begin{aligned} \underline{J}_0^{спотв} &= \frac{1}{3} \cdot (\underline{J}_A^{спотв} + \underline{J}_B^{спотв} + \underline{J}_C^{спотв}), \\ \underline{J}_2^{спотв} &= \frac{1}{3} \cdot (\underline{J}_A^{спотв} + a^2 \cdot \underline{J}_B^{спотв} + a \cdot \underline{J}_C^{спотв}), \end{aligned} \quad (2)$$

які виступають в якості критерія ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги:

$$\underline{J}_n^{спотв} \begin{cases} = 0 & \text{неспотворююче приєднання;} \\ \neq 0 & \text{спотворююче приєднання,} \end{cases} \quad (3)$$

де n може приймати значення 0 або 2 залежно від послідовності симетричної складової струму.

Методична похибка ідентифікації джерел несиметрії напруги. Локальний підхід виміру параметрів режиму роботи мережі приводе до методичної похибки визначення критерію ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги, яка обумовлена можливістю визначення й використання тільки наближених схем заміщення приєднань в точці їх загального підключення [14] (рис. 3).

Абсолютне значення даної похибки ідентифікації для споживача електричної енергії (СЕ) підключеного до трифазної чотирьохпровідної СЕП становить:

$$\begin{cases} \Delta \underline{J}_{(0)}^{\Sigma_{CE} спотв} = \Delta \varphi \cdot \left[\underline{Y}_{\phi}^{ACE неспотв} - \underline{Y}_1^{ACE спотв} \cdot \left(\frac{\underline{U}^{T3П}}{\underline{U}_{A0}^{T3П}} + \left(\frac{\underline{U}_{A2}^{T3П}}{\underline{U}_{A1}^{T3П}} \right)^2 \right) \right]; \\ \Delta \underline{J}_{(2)}^{\Sigma_{CE} спотв} = -\Delta \varphi \cdot \left[\underline{Y}_1^{ACE спотв} \cdot \left(\frac{\underline{U}^{T3П}}{\underline{U}_{A1}^{T3П}} + \left(\frac{\underline{U}_{A0}^{T3П}}{\underline{U}_{A1}^{T3П}} \right)^2 \right) + \right. \\ \left. + \underline{Y}_2^{ACE спотв} \cdot \frac{\underline{U}_{A0}^{T3П}}{\underline{U}_{A1}^{T3П}} \cdot \frac{\underline{U}_{A2}^{T3П}}{\underline{U}_{A1}^{T3П}} \right]. \end{cases} \quad (4)$$

У вираженні (4) складові $\underline{U}_{A0}^{T3П}$ і $\underline{U}_{A2}^{T3П}$ це є вимірювані напруги нульової і зворотної послідовностей у точці загального приєднання (ТЗП). Величина $\Delta \varphi$ визначається різницею потенціалів між точками N і M еквівалентної схеми заміщення СЕ (рис. 3, а). Параметр $\underline{Y}_{\phi}^{ACE неспотв}$ відповідає фазному значенню неспотворюючого параметру схеми заміщення СЕ з'єднаних у зірку в точці М (рис. 3, а) $\underline{Y}_{\phi}^{ACE неспотв} = (\underline{Y}_A^{ACE} + \underline{Y}_B^{ACE} + \underline{Y}_C^{ACE})/3$. Параметри $\underline{Y}_1^{ACE неспотв}$ й $\underline{Y}_2^{ACE неспотв}$ відповідно становлять $\underline{Y}_1^{ACE спотв} = (\underline{Y}_A^{ACE спотв} + a \cdot \underline{Y}_B^{ACE спотв} + a^2 \cdot \underline{Y}_C^{ACE спотв})/3$ і $\underline{Y}_2^{ACE спотв} = (\underline{Y}_A^{ACE спотв} + a^2 \cdot \underline{Y}_B^{ACE спотв} + a \cdot \underline{Y}_C^{ACE спотв})/3$.

Похибка визначення критерію ідентифікації для СЕ, який підключено до трифазної трьохпровідної СЕП, визначається як:

$$\Delta \underline{J}_{(2)}^{ACE спотв} = -\Delta \varphi \cdot \underline{Y}_1^{ACE спотв} \cdot \underline{U}_{A2}^{T3П} / \underline{U}_{A1}^{T3П}, \quad (5)$$

де $\Delta \varphi$ відповідає значенню потенціалу точки N схеми заміщення СЕ, представленої на рис. 3, в.

Оцінка похибки ідентифікації джерел несиметрії напруги. Особливістю виражень (4) і (5), що характеризують похибку визначення критерію ідентифікації для СЕ, є присутність в їх складі невідомих параметрів $\Delta \varphi$, $\underline{Y}_{\phi}^{ACE неспотв}$ і $\underline{Y}_1^{ACE неспотв}$, які за результатами локальних вимірів не підлягають визначенню. Цей фактор робить неможливим точний розрахунок похибки ідентифікації в ході реальних вимірів ПЯЕ. Незважаючи на це, при додатковому аналізі залежностей (4) і (5) представляється можливим виконати оцінку зверху похибки ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги. Цій оцінці повинен бути підданий тільки критерій ідентифікації джерел несиметрії напруги по зворотній послідовності. По нульовій послідовності значення похибки $\Delta \underline{J}_{(0)}^{\Sigma_{CE} спотв}$ перевищує точне значення критерію й, відповідно, робить розв'язок завдання ідентифікації джерел несиметрії напруги по цій послідовності неадекватним.

Рис. 3. Схеми заміщення СЕ: а) еквівалентна з п'ятьма вузлами для трифазної чотирьохпровідної мережі; б) наближена для трифазної чотирьохпровідної мережі; в) еквівалентна для трифазної трьохпровідної мережі з точними параметрами; г) еквівалентна для трифазної трьохпровідної мережі з наближеними параметрами

Для трифазної чотирьохпровідної СЕП оцінка зверху похибки визначення критерію ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги по зворотній послідовності може бути виконана за допомогою функції:

$$\Delta_{(2)}^{CE \text{ спотв}} = \left| -\Delta\varphi \right| \cdot \left[\left| \underline{Y}_1^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \right| \cdot \left(\left| \underline{K}_2 \right| + \left(\left| \underline{K}_0 \right| \right)^2 \right) + \left| \underline{Y}_2^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \right| \cdot \left| \underline{K}_0 \right| \cdot \left| \underline{K}_2 \right| \right] \quad (6)$$

де $\underline{K}_2$ і $\underline{K}_0$ являють собою комплексні коефіцієнти несиметрії напруги по зворотній і нульовій послідовностям у відносних одиницях:

$$\underline{K}_n^* = \underline{U}_{An}^{T3\Pi} / \underline{U}_{A1}^{T3\Pi} \quad (7)$$

Максимум функції (6) при обмеженнях:

$$\begin{cases} Y_1^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} + Y_2^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \leq Y_1^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}} + Y_2^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}}; \\ Y_1^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \geq 0; \\ Y_2^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \geq 0, \end{cases} \quad (8)$$

визначається наступною залежністю:

$$\max \{ \Delta_{(2)}^{CE \text{ спотв}} \} = \Delta\varphi \cdot \left[K_2 + \left(K_0 \right)^2 \right] \cdot \left[Y_1^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}} + Y_2^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}} \right]. \quad (9)$$

Додатково слід врахувати, що для СЕ, який не спотворює симетрію напруги по зворотній послідовності, похибка $\Delta_{(2)}^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}}$ буде відмінною від нульового значення. Це вимагає введення зони нечутливості для даного критерію ідентифікації, яка може бути оцінена зверху наступною функцією:

$$\Delta_{(2)}^{3\Pi} = \Delta\varphi \cdot \left[Y_1^{Y_{CE \text{ спотв}}} \cdot K_0 \cdot \left(K_2 \right)^2 + Y_1^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \cdot \left(K_2 + \left(K_0 \right)^2 + K_0 \cdot \left(K_2 \right)^2 \right) + Y_2^{Y_{CE \text{ спотв}}} \cdot K_0 \cdot K_2 \right] \quad (10)$$

Максимум функції (10) при обмеженнях:

$$\begin{cases} Y_1^{Y_{CE \text{ спотв}}} + Y_1^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \leq Y_1^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}}; \\ Y_1^{Y_{CE \text{ спотв}}} \geq 0; \\ Y_1^{\Delta_{CE \text{ спотв}}} \geq 0; \\ 0 \leq Y_2^{Y_{CE \text{ спотв}}} \leq Y_2^{\Sigma_{CE \text{ спотв}}}, \end{cases} \quad (11)$$

визначається наступним вираженням:

$$\max \{\Delta_{(2)}^{3H}\} = \Delta\varphi \cdot \left[\begin{array}{c} * \\ K_2 + \left(\frac{*}{K_0} \right)^2 + K_0 \cdot \left(\frac{*}{K_2} \right)^2 \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{c} * \\ Y_1^{\Sigma CE \text{ споме}} + Y_2^{\Sigma CE \text{ споме}} \cdot K_0 \cdot K_2 \end{array} \right] \quad (12)$$

Для трифазної трьохпровідної СЕП оцінка похибки зверху й зона нечутливості критерію ідентифікації будуть визначатися тим самим вираженням:

$$\Delta_{(2)}^{CE \text{ споме}} = \left| -\Delta\varphi \cdot \left| \frac{*}{K_2} \right| \cdot \left| Y_1^{A_{CE \text{ споме}}} \right| \right|. \quad (13)$$

Таким чином, при задаванні значення параметрів $\Delta\varphi$, $Y_1^{\Sigma CE \text{ споме}}$ і $Y_2^{\Sigma CE \text{ споме}}$ для трифазної чотирьохпровідної або $\Delta\varphi$ й $Y_1^{A_{CE \text{ споме}}}$ для трифазної трьохпровідної СЕП представляється можливим, відповідно, за допомогою (9) і (12) або (14) виконати оцінку зверху похибки визначення критерію ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги по зворотній послідовності.

Висновки

При ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги за результатами локальних вимірів з'являється методична похибка, обумовлена неможливістю визначення для СЕ точних схем заміщення і їх параметрів. Значення цієї похибки для критерію ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги по нульовій послідовності значно перевищує його точне значення, що робить розв'язок завдання по цій послідовності неадекватним. Похибка визначення критерію ідентифікації джерел спотворення симетрії напруги по зворотній послідовності може бути оцінена зверху в реальному часі за умови додаткового завдання ряду невідомих параметрів. Для відбудовування критерію ідентифікації від його не нульового значення для неспотворюючого СЕ додатково введена зона нечутливості, при попаданні в яку вирішення задачі ідентифікації джерела спотворення слід вважати невизначеним.

Література

1. Chapman, D. Power quality application guide; the Cost of Poor Power Quality / D. Chapman // Copper development Association. – 2001. – P. 1–4.
2. Vegunta S.C. Financial impact of power quality on Indian pharmaceutical industry-survey results / S.C. Vegunta, J.V. Milanovic // In the Proceeding of 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution 8–11 June 2009. – Prague, Czech Republic, 2009. – Part.1, CIGRE. – P. 1–4.
3. Targosz, R. Pan-European power quality survey / R. Targosz, J. Manson // 9th International Conference of Electrical Power Quality and Utilisation 9–11 Oct. 2007. – Barcelona, Spain, 2007. – P. 1–6.

4. CIGRE report 468. Review of Disturbance Emission Assessment Technique. CIGRE/CIGRE working group C4.109, 2011.
5. Abasi Mahyar. Determining the contribution of different effective factors to individual voltage unbalance emission in n-bus radial power systems / Mahyar Abasi, S. Seifossadat Ghodrattollah, Razaz Morteza, S. Sajjad Moosapour // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2018. – Vol. 94. – P. 393–404.
6. Reyes S. Herrera. Identification of unbalanced loads in electric power systems / Reyes S. Herrera, Jesús R. Vázquez, // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2013. – Vol. 24, Iss. 9. – P. 1232–1243.
7. Renner, H. Voltage unbalance emission assessment / H. Renner // Electric Power Quality and Supply Reliability Conference 16–18 June 2010. – Kuressaare, Estonia, 2010. – Vol.16, No. 18. – P. 43–48.
8. Jayatunga, U. Voltage Unbalance Emission Assessment in Interconnected Power Systems / U. Jayatunga, S. Perera, P. Ciufo, A.P. Agalgaonkar // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2013. Vol. 28, No 4. P. 2383–2393.
9. Jayatunga, U. Voltage unbalance emission assessment in radial power systems / U. Jayatunga, S. Perera, P. Ciufo // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2012. Vol. 27, No 3. – P. 1653–1661.
10. Sun, Y. Contribution determination for multiple unbalanced sources at the point of common coupling / Y. Sun, P. Li, S. Li, L. Zhang // Energies. 2017 – Vol. 10, No. 2: 171. – P. 1–17.
11. Sun, Y. Determination of the main unbalance sources on PCC in the distribution system / Y. Sun, P. Li, Y. Wang // In Proceedings of the IEEE Power and Energy-Society General Meeting 26–30 July 2015. – Denver, CO, USA, 2015. – P. 1–5.
12. Paravithan, P. Location of Sources of VU in an Interconnected Network / P. Paravithana, S. Perera // In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting 26–30 July 2009. – Calgary, Canada, 2009. – P. 26–30.
13. Калюжний, Д.М. Идентификация линейной обобщенной нагрузки в задаче распределения фактических вкладов в искажения напряжений в трехфазных четырехпроводных сетях / Ю.Л. Саенко, Д.М. Калюжний, С.В. Свергуненко // Технічна електродинаміка. – № 2. – 2018. – С. 67–74.
14. Калюжний Д.М. Идентификация параметров схем заміщення приєднань електричних мереж в задачі розподілу їх фактичних внесків / Калюжний Д.М. // Світлотехніка та електроенергетика. – № 1. – 2020. – С. 33–38.

References

1. Chapman, D. Power quality application guide; the Cost of Poor Power Quality / D. Chapman // Copper development Association. – 2001. – P. 1–4.
2. Vegunta S.C. Financial impact of power quality on Indian pharmaceutical industry-survey results / S.C. Vegunta, J.V. Milanovic // In the Proceeding of 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution 8–11 June 2009. – Prague, Czech Republic, 2009. – Part 1, CIGRE. – P. 1–4.
3. Targosz, R. Pan-European power quality survey / R. Targosz, J. Manson // 9th International Conference of Electrical Power Quality and Utilisation 9–11 Oct. 2007. – Barcelona, Spain, 2007. – P. 1–6.

4. CIGRE report 468. Review of Disturbance Emission Assessment Technique. CIGRE/CIRE working group C4.109, 2011.
5. Abasi Mahyar. Determining the contribution of different effective factors to individual voltage unbalance emission in n-bus radial power systems / Mahyar Abasi, S. Seifossadat Ghodratollah, Razaz Morteza, S. Sajjad Moosapour // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2018. – Vol. 94. – P. 393–404.
6. Reyes S. Herrera. Identification of unbalanced loads in electric power systems / Reyes S. Herrera, Jesús R. Vázquez, // International Transactions on Electrical Energy Systems. – 2013. – Vol. 24, Iss. 9. – P. 1232–1243.
7. Renner, H. Voltage unbalance emission assessment / H. Renner // Electric Power Quality and Supply Reliability Conference 16–18 June 2010. – Kuressaare, Estonia, 2010. – Vol.16, No. 18. – P. 43–48.
8. Jayatunga, U. Voltage Unbalance Emission Assessment in Interconnected Power Systems / U. Jayatunga, S. Perera, P. Ciufu, A.P. Agalgaonkar / IEEE Transactions on Power Delivery. – 2013. Vol. 28, No 4. P. 2383–2393.
9. Jayatunga, U. Voltage unbalance emission assessment in radial power systems / U. Jayatunga, S. Perera, P. Ciufu // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2012. Vol. 27, No 3. – P. 1653–1661.
10. Sun, Y. Contribution determination for multiple unbalanced sources at the point of common coupling / Y. Sun, P. Li, S. Li, L. Zhang // Energies. 2017 – Vol. 10, No. 2: 171. – P. 1–17.
11. Sun, Y. Determination of the main unbalance sources on PCC in the distribution system / Y. Sun, P. Li, Y. Wang // In Proceedings of the IEEE Power and Energy-Society General Meeting 26–30 July 2015. – Denver, CO, USA, 2015. – P. 1–5.
12. Paravithan, P. Location of Sources of VU in an Interconnected Network / P. Paravithana, S. Perera // In Proceedings of the IEEE Power Engineering Society General Meeting 26–30 July 2009. – Calgary, Canada, 2009. – P. 26–30.
13. Sayenko, Yu.L., Kalyuzhniy, D.N., Svergunenko, S.V. (2018) Identification of the linear generalized load in the distribution problem actual contributions in the distortion of stresses in three-phase four-current networks. Tekhnichna elektrodynamika, 2, 67–74.
14. Kalyuzhniy, D.N. (2020) Identification of parameters of equivalent circuits of electrical network connections in the problem of distribution of their actual contributions. / Lighting Engineering & Power Engineering, 1, 33–38.

Рецензент: д-р техн. наук проф. В.А. Маляренко, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: КАЛЮЖНИЙ Дмитро Миколайович
кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри систем електропостачання та електроспоживання міст Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Dmitro.Kalyuzhniy@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-0734>

IDENTIFICATION ERROR OF UNBALANCE VOLTAGE SOURCES IN POWER SUPPLY SYSTEMS BY THE DISTORTING NODAL CURRENT CRITERION

D. Kalyuzhniy

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

One of the properties of electrical energy, that causes significant economic losses for both suppliers and consumers of electricity, is voltage unbalance. The most universal criterion for identifying voltage unbalance sources is the nodal distorting current. The accuracy of its determination depends on the method of measurement organization and is characterized by the greatest error for the local approach. The reason for this lies in an approximate method for determining the equivalent circuits of consumers of electrical energy and their parameters when measuring the parameters of the network operation mode only at one point of common connection to the power supply system. Analysis of the influence of approximate equivalent circuits and their parameters on the determination of the nodal distorting current showed that adequate identification of the sources of voltage unbalance distortion is possible only in the reverse sequence. At the same time, it is difficult to accurately determine the error in calculating this criterion in real time measurements due to the presence of additional unknowns that are required for its calculation. Based on this, it is proposed to carry out an upper estimate of this error. This required the introduction of additional functions with the search for their maximum under the given constraints. In addition, the uncertainty associated with the non-zero value of the identification criterion for a non-asymmetric consumer of electricity was taken into account that led to the need to introduce a dead zone for it. As a result of the studies carried out, expressions were obtained for an upper estimate of the error in determining the criterion for identifying sources of voltage symmetry distortion in the reverse sequence and determining its dead zone in real time measurements in relation to three-phase three- and four-wire power supply systems.

Keywords: power quality, unbalance voltage, distortion voltage source, identification, error.