

Л. Б. Терешкевич, к. т. н., доц.; О. О. Хоменко

ВРАХУВАННЯ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЖИМУ ПІД ЧАС СИМЕТРУВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ

Запропоновано підхід до розв'язання технічної задачі симетрування навантажень з врахуванням зміни електричного режиму, обґрунтовано критерії ефективності для прийняття технічних рішень, створено математичну модель для розрахунку симетрувального пристрою з некоригованими параметрами та запропоновано метод оцінювання ефективності симетрування режиму, параметри якого змінюються в часі.

Ключові слова: симетрування навантажень, математична модель симетрування навантажень, симетрувальний пристрій з некоригованими параметрами.

Вступ

Серед показників якості електроенергії, які в багатьох випадках не відповідають вимогам ГОСТ 13109-97, є показники, що нормують несиметрію режиму [1, 2, 3].

За певних умов для симетрування електричних режимів можна ефективно використовувати симетрувальний пристрій (СП) з некорегованими параметрами, наприклад, на основі статичних реактивних елементів. Оскільки електричний режим змінюється, то параметри такого пристрою необхідно визначати із урахуванням цього випадку.

Виконати розрахування СП з некоригованими параметрами можна методами математичного програмування за наявності математичної моделі та автоматизації розрахунків.

Метою роботи є математична постановка задачі розрахунку параметрів СП з некоригованими параметрами, яка враховує зміну параметрів електричного режиму несиметричних навантажень.

Критерії ефективності для прийняття технічного рішення

Зміна параметрів несиметрії електричного режиму, що має місце в реальних умовах, є випадковим процесом, який можна розглядати як послідовність випадкових величин. Особливістю режимів змінного струму є те, що їхні параметри описують комплексами або векторами.

Розглянемо вектор (комплекс) як систему випадкових величин. На рис. 1, а на комплексній площині точками зображено деяку множину кінців векторів струмів зворотної послідовності – \dot{I}_2 , що отримані за результатами спостережень. Точка A має координати $[M(\operatorname{Re} \dot{I}_2); M(\operatorname{Im} \dot{I}_2)]$, а вектор, кінцем якого є точка A , будемо вважати математичним очікуванням вектора струму зворотної послідовності: $M(\dot{I}_2) = M(\operatorname{Re} \dot{I}_2) + jM(\operatorname{Im} \dot{I}_2)$ [2], де

$$M(\operatorname{Re} \dot{I}_2) = \frac{\sum \operatorname{Re} \dot{I}_{2i}}{n};$$

$$M(\operatorname{Im} \dot{I}_2) = \frac{\sum \operatorname{Im} \dot{I}_{2i}}{n}.$$

Для випадку рис. 1, а некориговане технічне рішення, що забезпечує повну компенсацію вектора $M(\dot{I}_2)$, створюючи вектор \dot{I}_2^k ($\dot{I}_2^k = -M(\dot{I}_2)$), буде ефективно зменшувати струми зворотної послідовності в усіх випадках, які спостерігали.

У випадку рис. 1, б ефективність симетрування менша, оскільки для деяких точок (наприклад, i ; $i+1$) буде мати місце зростання несиметрії.

На рис. 1, в наведена ілюстрація випадку, коли некероване технічне рішення, яке поліпшує стан електричної мережі, не існує, $M(I_2) = 0$.

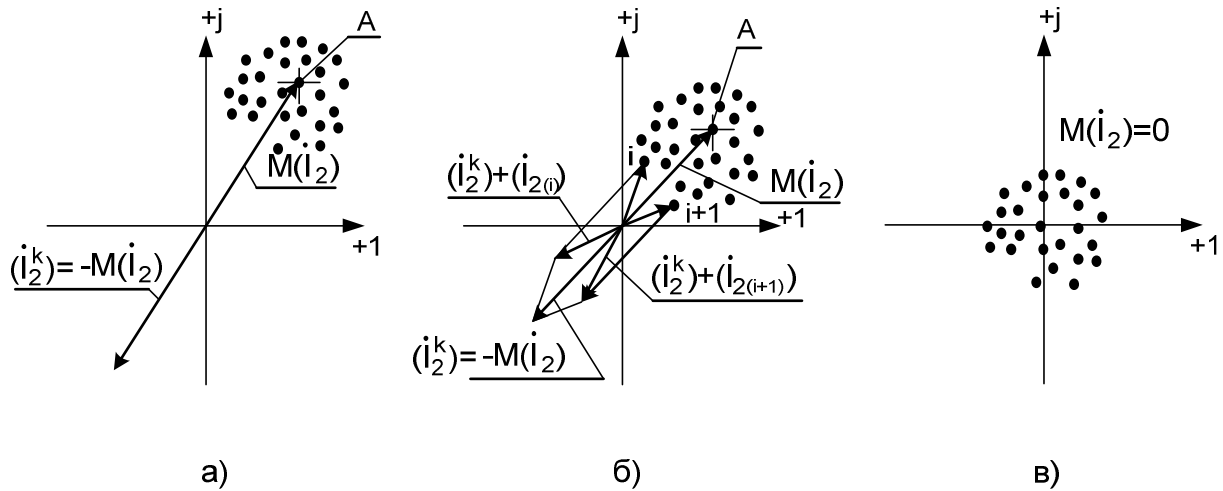


Рис. 1. Геометрична інтерпретація симетрування динамічного режиму некоригованим у часі симетрувальним впливом:

- а) випадок високої ефективності симетрування;
- б) випадок, коли загалом режим поліпшується, але для деяких моментів часу має місце посилення несиметрії;
- в) випадок, коли поліпшити електричний режим за рахунок некоригованого в часі симетрувального впливу не можна

Значення $|M(I_2)|$ характеризує потенційний ефект процесу симетрування за рахунок некоригованого технічного рішення, і, компенсуючи його, здійснюється вплив на несиметрію режиму на всьому інтервалі часу, для якого зібрано статистичний матеріал.

Математичні моделі розрахунку СП із некоригованими параметрами

Визначити некориговані параметри СП для симетрування електричного режиму в трифазній мережі з ізольованою нейтраллю з урахуванням його зміни можна, скориставшись однією з математичних моделей:

$$\begin{cases} |M[I_2^P(x)]| \rightarrow \min; \\ Q^{СП}(x) \leq Q_{дон}; \\ U^P(x) \leq U_{max.дон}; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} |M[I_2^P(x)]| \rightarrow \min; \\ Q^{СП}(x) \leq Q_{дон}; \end{cases} \quad (2)$$

$$|M[I_2^P(x)]| \rightarrow \min, \quad (3)$$

де x – вектор змінних (вектор параметрів некоригованого СП); $M[i_2^P(x)] = M(i_2) + M(i_2^{СП})$; $i_2^{СП}$ – струм зворотної послідовності, що генерується СП; $Q^{СП}$ – реактивна потужність СП; $Q_{доп}$ – максимальний незмінний у часі складник потужності графіка реактивних навантажень; U^P – напруга у вузлі під'єднання СП після його приєднання; $U_{max.доп}$ – значення напруги, що відповідає максимально допустимому відхиленню напруги, встановленому ГОСТ 13109-97.

Математичну модель (1) використовують у випадках, коли параметри СП необхідно визначати за умов, якщо в результаті приєднання СП можлива генерація реактивної потужності з мережі споживача в мережі енергопостачальної компанії, а також можлива поява напруги недопустимих значень.

Математичну модель (2) використовують для випадку, якщо параметри СП слід знаходити в умовах можливої генерації реактивної потужності в мережі живлення.

Математична модель (3) – модель локальної оптимізації для випадків, коли негативні наслідки під'єднання СП відсутні.

На рис. 2 наведені результати симетрування (залежність 2) реального режиму (залежність 1) за допомогою СП у вигляді несиметричного трикутника батарей статичних конденсаторів з некоригованими параметрами, які розраховані за моделлю (3). За результатом розрахунку реактивні потужності СП по фазах отримані такі: $Q_{AB} = 116$ квар; $Q_{BC} = 5,8$ квар.

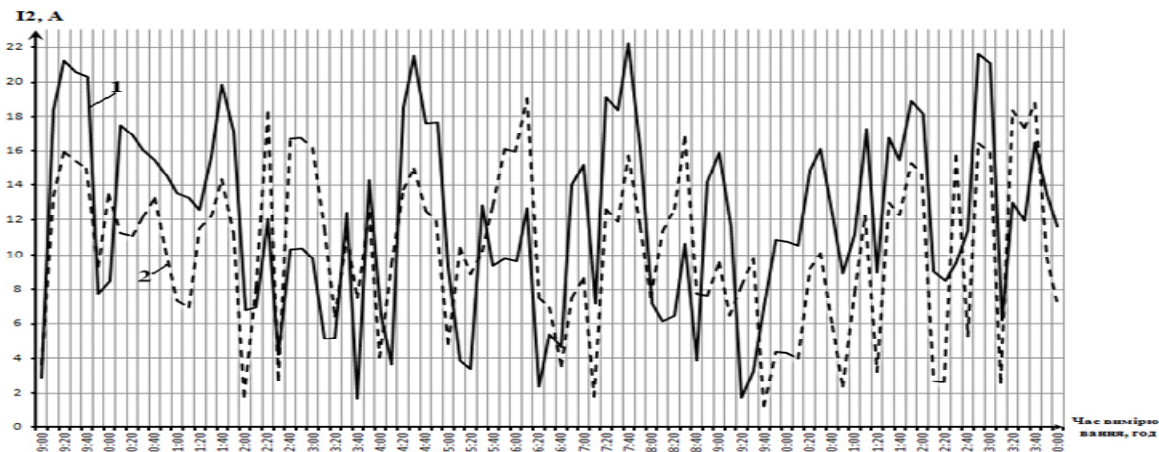


Рис. 2. Результати симетрування електричного режиму, що змінюється за допомогою СП із некоригованими параметрами:
1 – вихідний режим;
2 – оптимізований режим

Наведений на рис. 2 приклад режиму, що змінюється, належить до випадку, коли для деяких моментів часу має місце посилення несиметрії. Саме для таких випадків виникає потреба робити кількісну оцінку ефективності СП загалом (для всього інтервалу часу).

Оцінка ефективності симетрування режиму, що змінюється

Оскільки СП із некоригованими параметрами здійснює цілеспрямований вплив, мета якого – зміна одного із параметрів стану системи електропостачання (що по суті є керуванням), то для оцінки отриманих результатів можна скористатися показником якості керування, який використовують у теорії оптимального керування для оцінки ефективності отриманих результатів на деякому інтервалі часу [3].

Для випадку симетрування електричного режиму за показник якості керування може бути

використаний функціонал:

$$J = \int_{t_1}^{t_2} \left[I_2^P(x, t) \right]^2 dt, \quad (4)$$

де t_1 – початковий момент часу; t_2 – кінцевий (нефіксований) момент часу.

Фізичний зміст функціоналу (4) – значення, пропорційне додатковим втратам енергії, які зумовлені несиметрією режиму в трипровідній мережі.

Оцінка отриманих результатів симетрування для розглянутого прикладу за виразом (4) дає такі результати:

– вихідний режим $J_{вих} = 15594 A^2 \cdot год$;

– оптимізований режим $J_{opt} = 11695 A^2 \cdot год$.

Отже, отримані результати симетрування в наведеному прикладі позитивні.

Висновки

1. Розрахунок параметрів некоригованого СП слід виконувати за критерієм мінімуму математичного сподівання модуля струму зворотної послідовності, що дозволить прийняти рішення з урахуванням зміни параметрів електричного режиму.

2. За умов, коли діапазон зміни параметрів несиметричного режиму невеликий, позитивного результату симетрування можна досягти, використовуючи СП із некоригованими параметрами.

3. Оцінку кінцевого ефекту від використання СП із некоригованими параметрами можна здійснити за показником якості керування, фізичний зміст його значення – величина, пропорційна додатковим втратам електричної енергії від несиметрії режиму.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Железко Ю. С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии / Ю. С. Железко. – М. : ЭААС, 2009. – 456 с. – ISBN 978-5-93196-958-9.
2. Кузнецов В. Г. Снижение несимметрии и несинусоидальности напряжений в электрических сетях / В. Г. Кузнецов, А. С. Григорьев, В. Б. Данилюк. – К. : Наукова думка, 1992. – 240 с. – ISBN 5-12-002018-6.
3. Карташев И. И. Качество электрической энергии в муниципальных сетях Московской области / И. И. Карташев, И. С. Пономаренко, В. Н. Тульский, Р. Г. Шамонов, В. В. Васильев // Промышленная энергетика. – 2002. – № 8. – С. 42 – 47.
4. Жежеленко И. В. Качество электроэнергии на промышленных предприятиях / И. В. Жежеленко, М. Л. Рабинович, В. М. Божко. – К. : Техніка, 1981. – 160 с.
5. Федоренко Р. П. Приближенное решение задач управления / Р. П. Федоренко. – М. : Наука, 1987. – 488 с.

Терешкевич Леонід Борисович – к. т. н., доцент, завідувач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: lbter@meta.ua.

Хоменко Олександр Олексійович – студент групи ЕМ-14м, e-mail: o.o.khomenko.vntu@gmail.com.
Вінницький національний технічний університет.