

РОЗРАХУНОК СИМЕТРУВАННЯ НАПРУГ У ТРИФАЗНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ФРИЗЕ

Запропоновано модель симетрування напруг у трифазних мережах на основі теорії Фризе.

Постановка проблеми. Під несиметричним режимом трифазної електричної мережі розуміють такий режим, при якому умови роботи фаз є неоднаковими [3].

Несиметрія напруг та струмів призводить до виникнення додаткових втрат активної потужності в електричних мережах, зниження їх пропускної здатності, а також до зменшення терміну експлуатації електрообладнання [3].

Аналіз літературних джерел та останніх досліджень. Як відомо [10], втрата напруги на ділянці трифазної мережі з опором $r + jx$ знаходиться за співвідношенням:

$$\Delta U = \frac{P \cdot r}{U} + \frac{Q \cdot x}{U}, \quad (1)$$

де ΔU – втрата напруги, В; r – активна складова опору ділянки мережі, Ом; x – індуктивна складова опору ділянки мережі, Ом; P – активна потужність, яка передається через ділянку мережі, Вт; Q – реактивна потужність, вар; U – номінальна лінійна напруга, В.

У [7] розрахунок спаду фазної напруги представлений через таке співвідношення:

$$\Delta \overset{\circ}{U}_{\phi} = (r + jx) \cdot \frac{P_{\phi} - jQ_{\phi}}{U_{\phi}^*}, \quad (2)$$

де $\Delta \overset{\circ}{U}_{\phi}$ – спад фазної напруги, В; P_{ϕ} – фазна активна потужність, яка передається через ділянку мережі,

Вт; Q_{ϕ} – фазна реактивна потужність, вар; $\overset{\circ}{U}_{\phi}$ – фазна напруга, В.

Мета роботи – довести, що ідея Фризе може бути застосована при симетруванні напруг у трифазних мережах.

Викладення основного матеріалу. Початковими даними для вирішення задачі симетрування напруг є:

1. фазні напруги з боку джерела живлення;
2. фазні напруги з боку навантаження і струми у навантаженні до симетрування або еквівалентні фазні опори навантаження;
3. опір живильної лінії;
4. очікувані фазні напруги з боку навантаження після симетрування напруг.

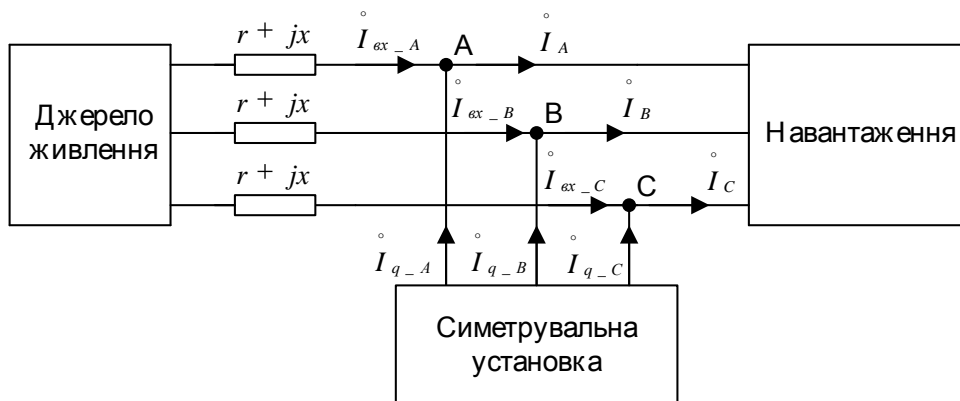


Рис. 1. Схема симетрування напруг

Нехай вектор-стовпець комплексів діючих значень фазних напруг з боку джерела живлення (рис. 1)

$\begin{bmatrix} \dot{U}_{S_A} & \dot{U}_{S_B} & \dot{U}_{S_C} \end{bmatrix}^T$, а очікувані фазні напруги з боку навантаження у вузлах A, B, C дорівнюють $\begin{bmatrix} \dot{U}_A & \dot{U}_B & \dot{U}_C \end{bmatrix}^T$.

Спочатку потрібно розрахувати спади напруг, котрі будуть мати місце на еквівалентному опорі живлячої лінії після симетрування.

$$\Delta \bar{U} = \begin{bmatrix} \Delta \dot{U}_A \\ \Delta \dot{U}_B \\ \Delta \dot{U}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{U}_{S_A} \\ \dot{U}_{S_B} \\ \dot{U}_{S_C} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{U}_A \\ \dot{U}_B \\ \dot{U}_C \end{bmatrix}, \quad (3)$$

де $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ – спади напруг у лінії живлення по фазах A, B, C відповідно.

На другому кроці знаходимо струми, які повинні встановитись у живлячій лінії після симетрування напруг (рис. 1).

$$\bar{I}_{ex} = \begin{bmatrix} \dot{I}_{ex_A} \\ \dot{I}_{ex_B} \\ \dot{I}_{ex_C} \end{bmatrix} = \frac{\Delta \bar{U}}{r + jx}. \quad (4)$$

Третій крок – знаходження струмів у навантаженні, котрі отримаємо за такими співвідношеннями:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{Z_A}; \quad (5)$$

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{Z_B}; \quad (6)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{Z_C}, \quad (7)$$

де Z_A, Z_B, Z_C – комплексні еквівалентні фазні опори навантаження, Ом.

На наступному кроці за співвідношеннями Фризе [4] отримуємо струм симетрувальної установки (СУ), ін'єкцію якого потрібно здійснити для отримання очікуваного уставленого режиму.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{q_A} \\ \dot{I}_{q_B} \\ \dot{I}_{q_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{I}_{ex_A} \\ \dot{I}_{ex_B} \\ \dot{I}_{ex_C} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

На останньому етапі знаходимо опори симетруючої зірки:

$$\dot{Z}_{q_A} = -\frac{\dot{U}_A}{\dot{I}_{q_A}}; \quad (9)$$

$$\dot{Z}_{q_B} = -\frac{\dot{U}_B}{\dot{I}_{q_B}}; \quad (10)$$

$$\overset{\circ}{Z}_{q_C} = -\frac{\overset{\circ}{U}_C}{\overset{\circ}{I}_{q_C}}. \quad (11)$$

При потребі симетруюча зірка може бути перерахована в трикутник за такими співвідношеннями:

$$\overset{\circ}{Z}_{q_AB} = \frac{\overset{\circ}{Z}_{q_A} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_B} + \overset{\circ}{Z}_{q_B} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_C} + \overset{\circ}{Z}_{q_C} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_A}}{\overset{\circ}{Z}_{q_C}}; \quad (12)$$

$$\overset{\circ}{Z}_{q_BC} = \frac{\overset{\circ}{Z}_{q_A} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_B} + \overset{\circ}{Z}_{q_B} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_C} + \overset{\circ}{Z}_{q_C} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_A}}{\overset{\circ}{Z}_{q_A}}; \quad (13)$$

$$\overset{\circ}{Z}_{q_CA} = \frac{\overset{\circ}{Z}_{q_A} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_B} + \overset{\circ}{Z}_{q_B} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_C} + \overset{\circ}{Z}_{q_C} \cdot \overset{\circ}{Z}_{q_A}}{\overset{\circ}{Z}_{q_B}}. \quad (14)$$

Слід зазначити, що знаки активних і реактивних потужностей у навантаженні та СУ або компенсуючій установці (КУ) відрізнятимуться, як вказано у таблиці 1.

Таблиця 1

Знаковідмінність потужностей у навантаженні та СУ або КУ

	Активна потужність	Споживана реактивна потужність	Генерована реактивна потужність
Навантаження	+	+	—
Симетрувальна (компенсуюча) установка	—	—	—

Висновки: Ідея Фризе [5] дійсно може бути застосована при симетруванні напруг у трифазних мережах. Очевидно, що найліпшим прикладом її застосування може бути симетрування напруг параметричними джерелами струму, оскільки співвідношення (8) одразу дозволяє знайти потрібну ін'єкцію струму СУ в електромережу.

Список використаної літератури:

1. Рогальський Б.С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління. II частина / Б.С. Рогальський. – Вінниця : ВДТУ, 2006. – 104 с.
2. Терешкевич Л.Б. Математичні методи керування несиметрією напруг в системах електропостачання / Л.Б. Терешкевич, М.І. Цибульський // Технічна електродинаміка. – 2006. – № 2. – С. 64–67.
3. Бурбело М.Й. Умови керування двофазними симетрувальними установками / М.Й. Бурбело, М.В. Кузьменко // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 82. – С. 3–7.
4. Fryze S. Active and Apparent power in non-sinusoidal systems / S.Fryze // Przegląd Elektrot. – № 7. – 1931. – P. 193–203 (In Polish).
5. Fang Z. Peng. Compensation of non-active current in power systems / Fang Z. Peng, Leon M. Tolbert // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2002. – Vol. 45, № 1. – Pp. 293–297.
6. Аполлонский С.М. Электротехника и электроника. Трёхфазные электрические цепи / С.М. Аполлонский, В.В. Леонтьев. – СПб, 2002.
7. Acha E. Power electronic control in electrical systems / E. Acha and others // Butterworth-Heinemann Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP – A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd. – 2002.
8. Ильяшов В.П. Конденсаторные установки / В.П. Ильяшов. – 2-ое изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 152 с.

9. *Жемеров Г.Г.* Теория мощности Фризе и современные теории мощности / *Г.Г. Жемеров, О.В. Ильина* // *Электротехника і електромеханіка ; розд. «Теоретична електротехніка»*. – 2007. – № 6. – С. 63–65.
10. *Минин Г.П.* Реактивная мощность / *Г.П. Минин* // *Библиотека электромонтера*. – М. : Энергия, 1978.

ГНІЛЦЬКИЙ Віталій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматичного управління в технічних системах Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- цифрова обробка сигналів;
- інформаційні системи;
- мікропроцесорні пристрої в енергозбереженні.

Тел.: 8(0412)37–84–82.

E-mail: gnil@ztu.edu.ua

ПОЛІЩУК Олександр Анатолійович – аспірант Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- мікропроцесорні пристрої в енергозбереженні.

Стаття надійшла до редакції 24.04.2012

Гнілицький В.В., Поліщук О.А. Розрахунок симетрування напруг у трифазних мережах на основі теорії Фризе

Гнилицкий В.В., Полищук А.А. Расчет симметрирования напряжений в трехфазных сетях на основе теории Фризе

Gnilizchkiy V.V., Polishchuk A.A. The calculation of voltage balancing in three-phase networks on base of the Fryze theory

УДК 621.316

Расчет симметрирования напряжений в трехфазных сетях на основе теории Фризе / В.В. Гнилицкий, А.А. Полищук

Предложена модель симметрирования напряжений в трехфазных сетях на основе теории Фризе.

УДК 621.316

The calculation of voltage balancing in three-phase networks on base of the Fryze theory / V.V. Gnilizchkiy, A.A. Polishchuk

The model to voltage balancing in three-phase networks on base of the Fryze theory is offered.