

В.В. Гнілицький, к.т.н., доц.  
О.А. Поліщук, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

### 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  $\Delta U$  – 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:

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

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

Вт;  $Q_\phi$  – фазна реактивна потужність, вар;  $\dot{U}_\phi$  – 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.

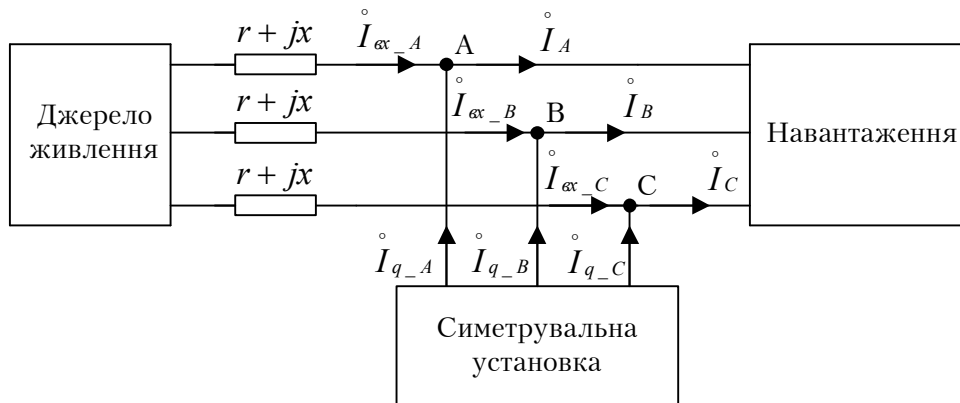


Рис. 1. Схема симетрування напруг

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  $\Delta \dot{U}_A, \Delta \dot{U}_B, \Delta \dot{U}_C$  – 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:

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

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

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

де  $\dot{Z}_A, \dot{Z}_B, \dot{Z}_C$  – 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.

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{q\_A} \\ \dot{I}_{q\_B} \\ \dot{I}_{q\_C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{I}_A \\ \dot{I}_B \\ \dot{I}_C \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \dot{I}_{ex\_A} \\ \dot{I}_{ex\_B} \\ \dot{I}_{ex\_C} \end{bmatrix}.$$

(8)

На останньому етапі знаходимо опори симетруючої зірки:

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

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

$$\dot{Z}_{q\_C} = -\frac{\dot{U}_C}{\dot{I}_{q\_C}}. \quad (11)$$

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

$$\dot{Z}_{q\_AB} = \frac{\dot{Z}_{q\_A} \cdot \dot{Z}_{q\_B} + \dot{Z}_{q\_B} \cdot \dot{Z}_{q\_C} + \dot{Z}_{q\_C} \cdot \dot{Z}_{q\_A}}{\dot{Z}_{q\_C}}; \quad (12)$$

$$\dot{Z}_{q\_BC} = \frac{\dot{Z}_{q\_A} \cdot \dot{Z}_{q\_B} + \dot{Z}_{q\_B} \cdot \dot{Z}_{q\_C} + \dot{Z}_{q\_C} \cdot \dot{Z}_{q\_A}}{\dot{Z}_{q\_A}}; \quad (13)$$

$$\dot{Z}_{q\_CA} = \frac{\dot{Z}_{q\_A} \cdot \dot{Z}_{q\_B} + \dot{Z}_{q\_B} \cdot \dot{Z}_{q\_C} + \dot{Z}_{q\_C} \cdot \dot{Z}_{q\_A}}{\dot{Z}_{q\_B}}. \quad (14)$$

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. Ильишов В.П. Конденсаторные установки / В.П. Ильишов. – 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](mailto: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