

2. Пат. №51814 України Н02К 17/34, Асинхронний електродвигун / Мішин В.І., Чуєнко М.О., Чуєнко Р.М., Лісовий С.С.; заявл. 05.04.2000; опубл. 16.12.2002, Бюл. №12.

3. Чуєнко Р.М. Енергозбереження у підготовці кормів до згодовування при використанні асинхронних електродвигунів з внутрішньою ємнісною компенсацією реактивної потужності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 / Р.М. Чуєнко. – К. НАУ, 2002. – 20 с.

*Исследована електромагнитная совместимость компенсированного асинхронного двигателя с питающей сетью.*

***Компенсированный асинхронный двигатель, электромагнитная совместимость, питающая сеть, гармоника, реактивная мощность.***

*There was researched the compensated induction motor electromagnetic compatibility with a power line.*

***The compensated induction motor, electromagnetic compatibility, power line, harmonic, reactive power.***

УДК 621.311

## **ВРАХУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ ТРАНСФОРМАЦІЇ В ЕЛЕМЕНТАХ МАТРИЦІ ПРОВІДНОСТЕЙ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЕНЕРГОСИСТЕМИ**

***А.М. Скрипник, А.В. Петренко, кандидати технічних наук  
Д.П. Кожан, інженер***

*Запропоновано математичне вирішення включення коефіцієнтів трансформації трансформаторів і автотрансформаторів в елементі матриці провідностей в процесі її формування при моделюванні режимів електричних мереж енергосистем та їх оптимізації.*

***Поздовжні провідності, матриця провідностей, власні та взаємні елементи матриці, дійсні та комплексні коефіцієнти трансформації.***

При моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації можуть використовуватися як метод контурних струмів, так і метод вузлових напруг. Нині найчастіше застосовують різні модифікації методу вузлових напруг, в яких кожен вузол електричної мережі описується комплексним рівнянням у вигляді:

$$\dot{U}_i = \frac{P_i - jQ_i + \sum \dot{U}_j \dot{Y}_{ij}}{\dot{Y}_{ii}} \quad (1)$$

де  $\dot{U}_i$  і  $\dot{U}_i^*$  – прямий та спряжені комплекси вузлової напруги;  $P_i - jQ_i$  – спряжений комплекс вузлової потужності;  $\dot{U}_j$  – комплекси напруги суміжних вузлів;  $\dot{Y}_{ii}$  і  $\dot{Y}_{ij}$  – відповідно власні (вузлові) та взаємні елементи матриці провідностей.

Якщо записати, що  $Y_{ii} = g_{ii} + jb_{ii}$  і  $Y_{ij} = g_{ij} + jb_{ij}$ , а згідно з формулою Ейлера

$$\begin{aligned} \dot{U}_i &= \dot{U}_i [\cos(\theta_i) + j \sin(\theta_i)], & \dot{U}_i^* &= U_i [\cos(\theta_i) - j \sin(\theta_i)], \\ \dot{U}_j &= \dot{U}_j [\cos(\theta_j) + j \sin(\theta_j)] \end{aligned}$$

виконати ряд перетворень, отримаємо класичну для найширше використовуюваного методу Ньютона систему двох рівнянь у вигляді небалансів активної і реактивної вузлових потужностей без комплексних елементів:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon P_i &= P_i + \dot{U}_i g_{ii} - \sum U_i \dot{U}_j [g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)] \\ \varepsilon Q_i &= Q_i - U_i b_{ii} - \sum U_i \dot{U}_j [g_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - b_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При цьому ітераційний процес Ньютона має вигляд:

$$\begin{bmatrix} \theta \\ u \end{bmatrix}^{(k+1)} = \begin{bmatrix} \theta \\ u \end{bmatrix}^{(k)} - \begin{bmatrix} \frac{\partial \varepsilon P}{\partial \theta} & \frac{\partial \varepsilon P}{\partial u} \\ \frac{\partial \varepsilon Q}{\partial \theta} & \frac{\partial \varepsilon Q}{\partial u} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon P \\ \varepsilon Q \end{bmatrix}^{(k)} \quad (3)$$

де  $k$  – номер ітерації;  $\frac{\partial \varepsilon P}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial \varepsilon P}{\partial u}$ ,  $\frac{\partial \varepsilon Q}{\partial \theta}$ ,  $\frac{\partial \varepsilon Q}{\partial u}$  – елементи матриці частинних похідних (матриці Якобі) від вузлових небалансів по невідомим кутах напруги  $\theta$  та модулям напруги  $u$ .

Математичні вирази (1), (2) і (3) відображають модель розрахунку режиму електричної мережі за відсутності трансформаторних ділянок.

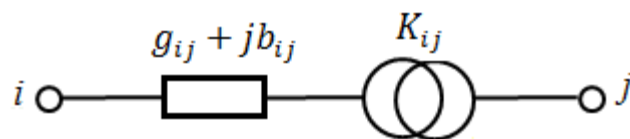
За наявності в схемі електричної мережі трансформаторних ділянок з дійсними коефіцієнтами трансформації  $K$ , а особливо з комплексними коефіцієнтами трансформації  $K' + jK''$  (автотрансформатори з вольтододатковими трансформаторами в нейтралі) розглянуті вище математичні вирази будуть мати значно складнішу структуру.

**Мета досліджень** – пропозиція щодо спрощення математичних виразів з врахуванням елементів трансформації при моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації до виразів (1), (2) і (3) включенням коефіцієнтів трансформації в елементи матриці провідностей при її формуванні, що включає необхідність перерахунків щодо

приведення на кожному кроці ітераційного процесу як провідностей, так і коефіцієнтів трансформації при переході від одного вузла трансформаторної ділянки до іншого.

**Матеріали та методика досліджень.** Методика щодо включення коефіцієнтів трансформації в елементи матриці провідностей для спрощення математичних виразів (які включають елементи трансформації) до вигляду (1), (2) і (3) полягає в перетворенні трансформаторних ділянок електричної мережі в безтрансформаторні.

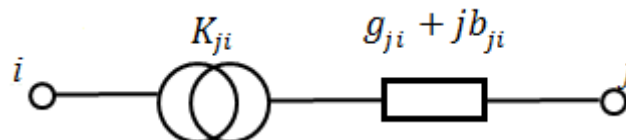
**Результати досліджень.** Для моделі трансформаторної ділянки  $i-j$  з дійсним коефіцієнтом трансформації, параметри якої приведені до вузла  $i$ ,



провідність із урахуванням коефіцієнта трансформації визначається як

$$G_{ij} = K_{ij}g_{ij}; \quad B_{ij} = K_{ij}b_{ij}.$$

При переході до вузла  $j$  модель ділянки  $j-i$  має вигляд:



а приведення параметрів до вузла  $j$  виконується згідно з формулами:

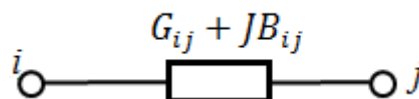
$$K_{ji} = \frac{1}{K_{ij}}; \quad g_{ji} = K_{ij}^2g_{ij}; \quad b_{ji} = K_{ij}^2b_{ij}.$$

З врахуванням коефіцієнта трансформації провідності, приведені до вузла  $j$ , розраховуються як

$$G_{ji} = K_{ji}g_{ji} = K_{ij}g_{ij};$$

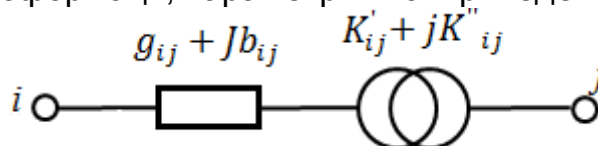
$$B_{ji} = K_{ji}b_{ji} = K_{ij}b_{ij}.$$

При цьому модель трансформаторної ділянки з включенням дійсного коефіцієнта трансформації в її провідність зводиться до простого вигляду,



а матриця провідностей має симетричну структуру відносно її діагональних елементів.

Для моделі трансформаторної ділянки  $i-j$  з комплексним коефіцієнтом трансформації, параметри якої приведені до вузла  $i$ ,



провідність з урахуванням комплексного коефіцієнта трансформації визначається згідно з формулою:

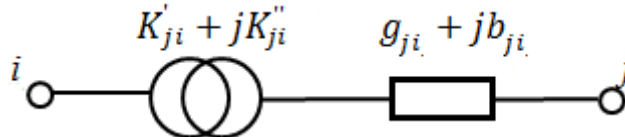
$$K_{ij} = \sqrt{(K'_{ij})^2 + (K''_{ij})^2};$$

$$\theta_{ij} = \arctg(K''_{ij}/K'_{ij});$$

$$G_{ij} = K_{ij}[g_{ij} \cos(\theta_{ij}) - b_{ij} \sin(\theta_{ij})];$$

$$B_{ij} = K_{ij}[g_{ij} \sin(\theta_{ij}) + b_{ij} \cos(\theta_{ij})].$$

При переході до вузла  $j$  для моделі ділянки  $j-i$



приведення параметрів до вузла  $j$  виконується за формулами:

$$K_{ij}^2 = (K'_{ij})^2 + (K''_{ij})^2;$$

$$K'_{ji} = K'_{ij}/K_{ij}^2, K''_{ji} = K''_{ij}/K_{ij}^2;$$

$$K_{ji} = \sqrt{(K'_{ji})^2 + (K''_{ji})^2};$$

$$\theta_{ji} = \arctg(K''_{ji}/K'_{ji});$$

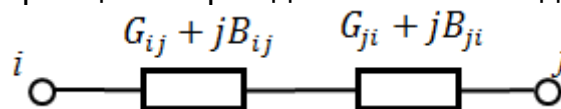
$$g_{ji} = g_{ij}K_{ij}^2, b_{ji} = b_{ij}K_{ij}^2.$$

З урахуванням комплексного коефіцієнта трансформації провідності, приведені до вузла  $j$ , розраховуються відповідно до виразів:

$$G_{ji} = K_{ji}[g_{ji} \cos(\theta_{ji}) - b_{ji} \sin(\theta_{ji})];$$

$$B_{ji} = K_{ji}[g_{ji} \sin(\theta_{ji}) + b_{ji} \cos(\theta_{ji})].$$

Модель трансформаторної ділянки з включенням комплексного коефіцієнта трансформації в її провідності має вигляд:



Тут  $G_{ij} \neq jG_{ji}$  і  $B_{ij} \neq jB_{ji}$ , а матриця провідностей є структурно симетричною відносно діагональних елементів.

### Висновки

Для спрощення математичних виразів при моделюванні режимів електричних мереж та їх оптимізації запропоновано включення коефіцієнтів трансформації трансформаторних ділянок в елементи матриці провідностей. Методика впроваджена та доведена її ефективність при розробці на кафедрі електропостачання ім. проф. В. М. Синькова НУБіП України комплексу програмного забезпечення моделювання усталених та оптимальних режимів електричних мереж енергосистем наближеного до реальних умов їх експлуатації.

## Список літератури

1. Скрипник А.М. Моделювання усталених та оптимальних режимів електричних мереж енергосистем в умовах їх експлуатації / А.М. Скрипник // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – К.; 2010. – Вип. 153. – С.145–152.
2. Щербина Ю.В. Моделирование установившихся режимов электрических систем с использованием алгоритма Краута / Ю.В. Щербина, А.Н. Скрипник, О.М. Гадер // Энергетика. – 1988. – №1. – С.10–13.
3. Идельчик В.И. Расчеты установившихся режимов электрических систем / Идельчик В.И.; под ред. В.А. Веникова. – М.: Энергия. 1977. – 192 с.

*Предложено математическое решение включения коэффициентов трансформации трансформаторов и автотрансформаторов в элементы матрицы проводимостей в процессе ее формирования при моделировании режимов электрических сетей энергосистем и их оптимизации.*

***Продольные проводимости, матрица проводимостей, собственные и взаимные элементы матрицы, действительные и комплексные коэффициенты трансформации.***

*The mathematical solution of inclusion of coefficients of transformation of transformers and autotransformers in elements of a matrix of conductivity in the course of its formation when modeling modes of electric networks of power supply systems that their optimization is proposed.*

***Longitudinal conductivity, matrix of conductivity, own and mutual elements of a matrix, valid and complex coefficient of transformation.***

УДК 620.92

## ЕКОЛОГІЧНІ БАР'ЄРИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ ДЛЯ ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОТИ

***О.В. Шеліманова, В.А. Колієнко, кандидати технічних наук***

*Проаналізовано екологічний аспект використання біомаси для вироблення теплоти. Наведено вимоги, яких необхідно дотримуватися при впровадженні котлів на біомасі.*

***Біомаса, забруднюючі інгредієнти викидів в атмосферу, продукти згорання, енергоефективність.***

Економічна доцільність переведення роботи існуючих котелень на біомасу (часткова або повна) залежить від співвідношення тарифів на