

С. В. Бевз
С.М. Бурбело
В. В. Кравець
Є. А. Піскунічев
Я. І. Грабенко

АВТОМАТИЗАЦІЯ РЕКУРСИВНОГО МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ХОРД У КОНТУРАХ СХЕМ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано метод рекурсивного пошуку хорд у контурах електричної системи. Проведено автоматизацію методу визначення хорд для розрахунку усталеного режиму електричної мережі. Програма реалізована в пакеті прикладних програм MathCAD.

Ключові слова: метод визначення хорд, схема електричної мережі, дерево графа, матриця інцидентності.

Abstract

The method of recursive finding chords at the contours of the electrical system is suggested. The method of equilibrium power balancing of the electrical system is proposed. In contrast to the existing ones, it allows the calculation of the electrical network without allocating a balancing node in the network diagram. This method allows to increase the efficiency and accuracy of the calculation by applying the approach of determining the weighted average vector of currents.

Keywords: equilibrium balancing method, incidence matrix, calculation of electric network modes.

Вступ

Репрезентація графа мережі у вигляді радіальної схеми дерева графа та хорд є необхідною складовою алгоритму розрахунку усталеного режиму електричної мережі [1]. Процес вибору хорд схеми необхідно автоматизувати з метою підвищення ефективності проведення розрахунків режимів роботи електроенергетичної системи.

Об'єктом наукових досліджень є розрахунок усталених режимів роботи електричної мережі. Предметом наукового дослідження є методика вибору хорд. Метою даної роботи є підвищення швидкодії розрахунку усталених режимів.

Топологічні рівняння розрахунку усталеного режиму ґрунтуються на розподілі віток для дерева і хорд, причому в [2] пропонуються до використання пріоритети вибору віток хорд згідно з певним порядком важливості вітки у схемі.

Автоматизація методики вибору хорд

Хорди графа мережі мають бути розташовані в окремих контурах схеми, причому кількість контурів повинна відповідати кількості хорд [1]. Після вилучення хорд зі схеми мережі утворюється дерево графа, яке не повинно містити жодного контура і повинно з'єднувати усі вузли схеми. За цих умов здійснюється формування 2 матриці інцидентності, яка може бути розділена на дві складові: для дерева та хорд. Причому підматриця даної 2 матриці інцидентності є одиничною. Для такого представлення цієї підматриці необхідно відповідним чином відібрати стовпці 2 матриці інцидентності, які відповідають хордам.

За методом рівноважного балансування, запропонованим Бевз С.В. [3], здійснюється розрахунок усталеного режиму електричної мережі без вибору балансуєчого вузла, при цьому небаланс потужності рівномірно розподіляється між вузлами та вітками схеми.

Продемонструємо на рис. 1 представлена алгоритмічна реалізація вибору хорд у розрахунку усталеного режиму роботи електричної системи.

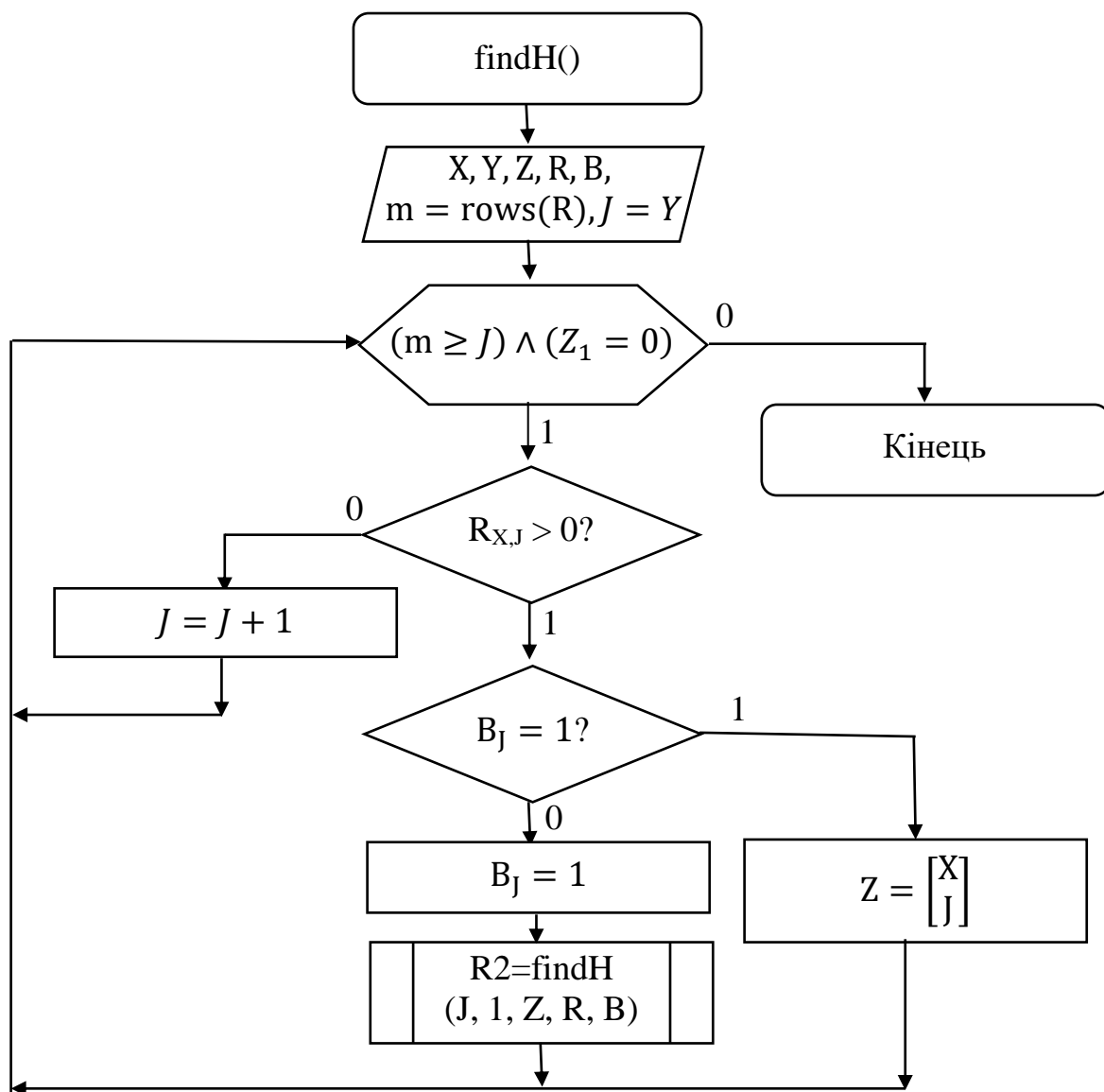


Рисунок 1 – Алгоритм методу рекурсивного пошуку хорд

Розробка математичних моделей методу рекурсивного пошуку хорд

$$\text{getHord}(R) = \begin{cases} B_1 = 1 \\ B_i = 0, \quad i = \overline{1, m}; \\ \text{findH} \left(\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, R, B \right); \end{cases}$$

полягає у використанні рекурсивної функції

$$\text{findH}(X, Y, Z, R, B) = (Z_1 \neq 0, J = \overline{Y, m})? H :$$

$$(R_{X,J} > 0)? \begin{cases} R_{X,J} = R_{J,X} = 0 \\ (B_j = 1)? \left(Z = \begin{bmatrix} X \\ J \end{bmatrix} \right) : B_j = 1 \\ (Z_1 = 0)? \text{findH}(J, 1, Z, R, B) \end{cases}$$

Пропонується метод рекурсивного пошуку хорд, який репрезентує матрицю інцидентності електричної схеми як матрицю взаємозв'язків, що встановлені між вузлами схеми електричної мережі та є симетричною відносно головної діагоналі, на основі якого відбувається рекурсивний пошук хорди.

За даним алгоритмом розроблено програмне забезпечення, що дозволяє автоматизувати вибір хорд для розрахунку усталеного режиму електричної мережі засобами пакету прикладних програм MathCAD.

В лістингу 1 представлено програмний код ППП MathCAD реалізації пошуку хорд згідно з [3] та запропонованого методу рекурсивного пошуку хорд. Код розробленого методу, що містить рекурсію, є оптимізованим та більш ефективним.

Лістинг 1. Програмний код пошуку хорд [3] та запропонованого методу рекурсивного пошуку хорд

<pre> getHords (a) := irows ← rows (a) icols ← cols (a) for j ∈ 1..icols s_{2,j} ← $\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ for i ∈ 1..irows s_{1,i} ← 0 for j ∈ 1..icols if (a_{1,j} > 0) ∨ (a_{1,j} < 0) s_{1,i} ← s_{1,i} + 1 $\begin{pmatrix} s_{2,j} \end{pmatrix}_2 \leftarrow i$ if $\begin{pmatrix} s_{2,j} \end{pmatrix}_1 > 0$ $\begin{pmatrix} s_{2,j} \end{pmatrix}_1 \leftarrow i$ if $\begin{pmatrix} s_{2,j} \end{pmatrix}_1 = 0$ ihord ← icols - irows + 1 ih ← 1 it ← 1 while (it < icols) ∧ (ih < ihord + 1) z1 ← $\begin{pmatrix} s_{2,it} \end{pmatrix}_1$ z2 ← $\begin{pmatrix} s_{2,it} \end{pmatrix}_2$ if (s_{1,z1} > 1) ∧ (s_{1,z2} > 1) s_{1,z1} ← s_{1,z1} - 1 s_{1,z2} ← s_{1,z2} - 1 H_{ih} ← it ih ← ih + 1 it ← it + 1 H </pre>	<pre> getHord (a) := b₁ ← 1 m ← rows (a) for i ∈ 2..m b_i ← 0 findH $\left[1, 2, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}, a, b \right]$ findH(x,y,z,a,b) := j ← y m ← rows (a) while (m ≥ j) ∧ (z₁ = 0) if a_{x,j} > 0 a_{x,j} ← 0 a_{j,x} ← 0 z ← $\begin{pmatrix} x \\ j \end{pmatrix}$ if b_j = 1 b_j ← 1 if b_j = 0 z ← findH(j, 1, z, a, b) if z₁ = 0 j ← j + 1 z </pre>
--	--

Висновок

Отже, в даній роботі запропоновано метод рекурсивного пошуку хорд, який на відміну від існуючих використовує нове подання матриці взаємозв'язків схеми електричної мережі, на основі якого відбувається рекурсивний пошук хорди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Кириленко О.В., Сегеда М.С., Буткевич О.Ф., Мазур Т.А. Математичне моделювання в електроенергетиці. Підручник. Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка». – 2010. – 608 с.
2. Бобало Ю.Я. Математичні моделі та методи аналізу електронних кіл: навч. посібник / Ю.Я. Бобало, Р.І. Желяк, М.Д. Кіселичник, З.О. Колодій, Б.А. Мандзій, В.М. Якубен; за ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.Я. Бобала та д-ра техн. наук, проф. Б.А. Мандзія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 320 с. – ISBN 978-617-607-355-0
3. Бевз С.В., Бурбело С.М., Войтко В.В. Метод рівноважного балансування та автоматизація розрахунків усталеного режиму електричної мережі // Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені генерала Макарова. – № 4 (482). – 2020. – С. 36-44.

Бевз Світлана Володимирівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: bevz@vntu.edu.ua.

Бурбело Сергій Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: burbelo@vntu.edu.ua.

Кравець Віталій Володимирович – студент групи 2ЕЕ-196, e-mail: lada18042002@gmail.com

Піскунічев Євгеній Анатолійович – студент групи 1ЕЕ-176, e-mail: piskunichev@gmail.com

Грабенко Ярослав Ігоревич – студент Вінницького коледжу Національного університету харчових технологій, e-mail: grabenko2021@ukr.net

Svitlana Bevz – **Ph.D.**, Associate Professor, Department of Power Plants and Systems, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: bevz@vntu.edu.ua.

Serhii Burbelo – **Ph.D.**, Associate Professor, Department of Software Engineering, Vinnitsa National Technical University, Vinnitsa, e-mail: burbelo@vntu.edu.ua.

Vitaliy Kravets - student of group 2EE-19b, e-mail: lada18042002@gmail.com

Evgeniy Piskunichev - student of group 1EE-17b, e-mail: piskunichev@gmail.com

Yaroslav Grabenko - student of Vinnitsya College of the National University of Food Technologies, e-mail: grabenko2021@ukr.net