

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ МЕТОДОМ УЗЛОВЫХ НАПРЯЖЕНИЙ СРЕДСТВАМИ MATLAB

Вильтовская А.Д.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Шилин Л.Ю. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ИТАС

Аннотация. Рассмотрено применение метода узловых напряжений для анализа линейных электрических цепей постоянного тока. Предложена автоматизация расчета параметров цепи путем формирования системы уравнений и ее решения в среде MATLAB. Показано, что матричная форма записи уравнений позволяет эффективно реализовать вычислительную процедуру. Предложенный подход сокращает время вычислений и минимизирует вероятность арифметических ошибок на этапе проектирования, что подтверждается численным решением для тестовой схемы.

Ключевые слова: метод узловых напряжений, MATLAB, линейные электрические цепи, автоматизация проектирования

Введение. Современные задачи проектирования радиоэлектронных средств требуют быстрого и точного анализа электрических режимов работы схем. Классические методы расчета цепей постоянного тока (методы контурных токов, узловых напряжений, эквивалентного генератора) при ручном счете трудоемки и подвержены арифметическим ошибкам. Наиболее универсальным для компьютерной реализации является метод узловых напряжений (МУН) [1].

В данной статье автором показано, что применение среды MATLAB с ее встроенными средствами матричной алгебры позволяет полностью автоматизировать процесс формирования и решения системы уравнений МУН.

Основная часть. При реализации автоматизированного расчета необходимо решить следующие задачи:

- построить математическую модель цепи в матричной форме;
- разработать алгоритм формирования матрицы узловых проводимостей и вектора узловых токов;
- выполнить численное решение и интерпретировать результаты.

Сущность метода узловых напряжений сводится к определению напряжений относительно некоторого базисного узла. Если принять потенциал базисного узла равным нулю, то разность потенциалов между остальными узлами и базисным узлом будет равна напряжению между этими узлами. Зная напряжения, можно найти токи в ветвях [2].

Для демонстрации реализации конкретной задачи используем схему электрической цепи, представленной на рисунке 1.

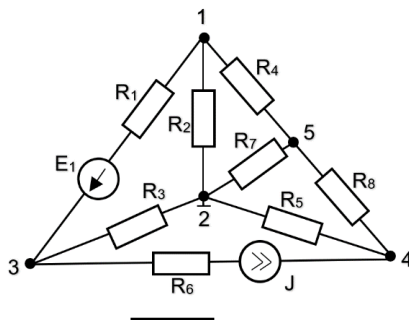


Рисунок 1 – Схема электрической цепи

В общем случае система уравнений записывается в матричной форме по формуле 1:

$$Y * U = I, \quad (1)$$

где Y – матрица узловых проводимостей;

U – вектор узловых напряжений;

I – вектор токов источников.

Для данной цепи после выбора базисного узла (узел 2) система уравнений будет иметь вид, представленный формулой 2:

$$\begin{cases} U_{12} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right) - U_{32} \frac{1}{R_1} - U_{52} \frac{1}{R_4} = -\frac{E_1}{R_1} \\ -U_{12} \frac{1}{R_1} + U_{32} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{E_1}{R_1} - J \\ -U_{12} \frac{1}{R_4} + U_{52} \left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} \right) - U_{42} \frac{1}{R_8} = 0 \\ -U_{52} \frac{1}{R_8} + U_{42} \left(\frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_5} \right) = J \end{cases} \quad (2)$$

где $\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_4} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 1;

$\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 3;

$\left(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 5;

$\left(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_8} \right)$ – собственная узловая проводимость узла 4;

$\frac{1}{R_1}, \frac{1}{R_4}, \frac{1}{R_8}$ – проводимость ветви, соединяющей узлы 1 и 3, 1 и 5, 4 и 5;

$-\frac{E_1}{R_1}, \frac{E_1}{R_1} - J, J$ – узловые токи узлов 1, 3, 4;

$U_{12}, U_{32}, U_{42}, U_{52}$ – напряжения между узлами 1, 3, 4, 5 и базисным узлом 2.

Для автоматизированного решения системы формируется матрица проводимостей Y и вектор правых частей I . Листинг программы включает задание параметров элементов, формирование матриц и решение системы с использованием оператора обратной косой черты ($\backslash$), который реализует метод Гаусса с учётом разреженности матрицы:

1 Задание параметров:

$R1 = 100; R2 = 200; R3 = 150; R4 = 100; R5 = 300; R7 = 250; R8 = 180;$

$E1 = 10; J = 0.05;$

2 Формирование матрицы проводимостей Y :

$Y = \text{zeros}(4);$

$Y(1,1) = 1/R1 + 1/R2 + 1/R4; Y(1,2) = -1/R1; Y(1,3) = -1/R4;$

$Y(2,1) = -1/R1; Y(2,2) = 1/R1 + 1/R3;$

$Y(3,1) = -1/R4; Y(3,3) = 1/R4 + 1/R7 + 1/R8; Y(3,4) = -1/R8;$

$Y(4,3) = -1/R8; Y(4,4) = 1/R8 + 1/R5;$

3 Формирование вектора правых частей I :

$I = [-E1/R1; E1/R1 - J; 0; J];$

4 Решение системы:

$U = Y \backslash I;$

$\text{disp}(U);$

Полученные значения узловых напряжений позволяют определить все токи ветвей по закону Ома и провести проверку баланса мощностей, что подтверждает корректность моделирования. Предложенная методика легко интегрируется в более сложные системы статистического анализа и оптимизации.

Предложенная в работе методика полностью реализована в среде MATLAB, что позволяет говорить о её практической ценности. Именно благодаря встроенным матричным операциям MATLAB система уравнений (1) решается одной строкой кода, тогда как при

ручном счёте или программировании на низкоуровневых языках потребовалось бы реализовывать метод Гаусса отдельно [3].

Выбор среды MATLAB обусловлен не её популярностью, а прямым соответствием матричной структуре метода узловых напряжений [4].

Важным аспектом связи MATLAB с предлагаемой методикой является возможность быстрой модификации расчёта под новые схемы. При изменении топологии цепи – добавлении или удалении узлов, замене источников – достаточно скорректировать несколько строк в разделе формирования матрицы Y и вектора I , не переписывая всю программу. Это делает разработанный алгоритм универсальным шаблоном, пригодным для анализа широкого класса линейных цепей постоянного тока [5].

Заключение. Выполнен анализ применения метода узловых напряжений для автоматизированного расчёта линейных электрических цепей постоянного тока. Для рассматриваемой конфигурации схемы показано, что использование матричной формы записи и встроенного оператора обратной косой черты среды MATLAB позволяет получить значения узловых напряжений с высокой точностью за доли секунды, полностью исключая арифметические ошибки ручного счёта.

Определено, что предложенная методика легко масштабируется на цепи любой сложности, в том числе с управляемыми источниками и нелинейными элементами при итерационных методах. Разработан подход к автоматическому формированию матрицы проводимостей на основе топологического описания схемы.

Список литературы

1. Бессонов, Л.А. Методы анализа линейных электрических цепей постоянного тока / Л.А. Бессонов // *Электричество*. – 2015. – Vol. 1, № 3. – P. 12–19.
2. Зевеке, Г.В. Матричные методы формирования узловых уравнений электрических цепей / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. – 1987. – Vol. 30, № 5. – P. 23–28.
3. Бебихов, Ю.В. Применение математического моделирования для решения линейных алгебраических и обыкновенных дифференциальных уравнений / Ю.В. Бебихов, А.С. Семёнов, М.Н. Семёнова, И.А. Якушев // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки*. – 2019. – Vol. 4, № 2. – С. 29–36.
4. Шакин, В.Н. Аналитические вычисления и примеры решения задач электротехники средствами символьной математики Matlab / В.Н. Шакин, Т.Н. Семенова, Т.И. Семенова. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2021. – 237 с. – ISBN 978-5-9912-0924-3.
5. Фриск, В.В. Применение пакета MATLAB и SIMULINK для анализа электрических цепей / В.В. Фриск, В.И. Ганин, А.Г. Степанова // *Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике*. – 2020. – Vol. 1, № 2. – P. 45–52.

UDC 622.7.049.77

AUTOMATION OF ELECTRIC CIRCUIT CALCULATION BY THE NODAL VOLTAGE METHOD USING MATLAB

Viltovskaya A.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Shilin L.Y. – Dr. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ITAS

Annotation. The application of the nodal voltage method for the analysis of linear DC electrical circuits is considered. Automation of circuit parameter calculation by forming a system of equations and solving it in MATLAB is proposed. It is shown that the matrix form of writing equations allows an efficient implementation of the computational procedure. The proposed approach reduces computation time and minimizes the probability of arithmetic errors at the design stage, which is confirmed by a numerical solution for a test circuit.

Keywords: nodal voltage method, MATLAB, linear electrical circuits, computer-aided design