Андриенко Ю.С., Смирнова А.С.

Решение электротехнической задачи методом узловых потенциалов и с помощью симулятора TINA-TI

ФГБОУ ВО «Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема»
(Россия, Биробиджан)

doi: 10.18411/lj-06-2019-153

idsp: lj-06-2019-153

Аннотация

В статье рассматривается решение электротехнической задачи методом узловых потенциалов и с помощью моделирования в симуляторе TINA-TI.

Ключевые слова: электрическая цепь, потенциал, SPICE – симулятор TINA-TI, метод узловых потенциалов, первый закон Кирхгофа.

Abstract

The article discusses the solution of the electrical engineering task by the method of nodal potentials and using the simulator TINA-TI.

Key words: electrical circuit, potential, SPICE - TINA-TI simulator, nodal potentials method, first Kirchhoff law.

Метод узловых потенциалов – один из методов анализа электрической цепи, который целесообразно использовать, когда количество узлов в цепи меньше или равно числу независимых контуров. Метод узловых потенциалов, также, как и метод контурных токов позволяет снизить порядок системы уравнений для расчета электротехнических схем. Данный метод состоит в нахождении потенциалов всех узлов схемы, а затем по известным потенциалам определить силу токов во всех ветвях. Метод узловых потенциалов базируется на первом законе Кирхгофа.

Рассмотрим решение задачи методом узловых потенциалов аналитическим путём и с помощью моделирования в симуляторе TINA-TI. Сравним данные методы по удобству расчётов и полученным электротехническим характеристикам.

Задача: Дана схема (рис. 1).

Рисунок 1. Схема цепи

Известно, что $R_1=10\ \Omega$, $R_2=8\ \Omega$, $R_3=15\ \Omega$, $R_4=20\ \Omega$, $R_5=25\ \Omega$, $R_6=22\ \Omega$, $R_7=11\ \Omega$, $R_8=17\ \Omega$, $E_1=150\ \text{В}$, $E_2=100\ \text{В}$, $E_3=5\ \text{В}$, $Y=1\ \text{А}$, где Y – источник тока. Найти токи во всех ветвях схемы.

Решение задачи методом узловых потенциалов. Составляем систему уравнений, используя первый закон Кирхгофа. Первый закон: Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю [1]. Используя правило составления уравнений по закону

Кирхгофа находим количество узлов по формуле $m - 1 = n$, где m – количество узлов в схеме (рис. 1), n – количество уравнений по первому закону. Обозначаем все узлы и выбираем базовый узел с потенциалом равным 0, это узел 2. Записываем уравнения по первому закону:

$$1 \text{ узел } I_2 + I_7 - I_1 = 0$$

$$3 \text{ узел } I_1 + I_3 - I_8 = 0$$

$$4 \text{ узел } I_4 + I_6 + I_8 = 0$$

$$5 \text{ узел } I_5 - I_6 - I_7 = 0$$

Запишем токи через неизвестные значения потенциалов и известные значения сопротивления и электродвижущей силы (ЭДС).

$$I_i = \frac{\varphi a - \varphi b + E}{R_i}$$

С положительным знаком берут ЭДС направленные к узлу.

Составим формулы токов:

$$I_1 = \frac{(\varphi_1 - \varphi_3)}{R_1}, \quad I_2 = \frac{(-\varphi_1)}{R_2}, \quad I_3 = \frac{(-\varphi_3)}{R_3} + \frac{E_3}{R_3}, \quad I_4 = \frac{(-\varphi_4)}{R_4},$$

$$I_5 = \frac{(-\varphi_5)}{R_5} + \frac{E_2}{R_5}, \quad I_6 = \frac{(-\varphi_5 - \varphi_4)}{R_6} - \frac{E_1}{R_6}, \quad I_7 = \frac{(\varphi_5 - \varphi_1)}{R_7}, \quad I_8 = \frac{(\varphi_3 - \varphi_4)}{R_8}.$$

Составим систему уравнений для схемы (рис. 1) и сгруппируем уравнения относительно неизвестных потенциалов $\varphi_1, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5$.

$$1 \text{ узел } -\varphi_1 \cdot (1/R_2 + 1/R_7 + 1/R_1) + \varphi_3 \cdot (1/R_1) + \varphi_5 \cdot (1/R_7) = 0;$$

$$3 \text{ узел } \varphi_1 \cdot (1/R_1) - \varphi_3 \cdot (1/R_1 + 1/R_3 + 1/R_8) + \varphi_4 \cdot (1/R_8) = Y - \frac{E_3}{R_3};$$

$$4 \text{ узел } \varphi_3(1/R_8) - \varphi_4 \cdot (1/R_4 + 1/R_6 + 1/R_8) + \varphi_5 \cdot (1/R_6) = -\frac{E_1}{R_6} - \frac{E_2}{R_5};$$

$$5 \text{ узел } \varphi_1 \cdot (1/R_7) + \varphi_4 \cdot (1/R_6) - \varphi_5 \cdot (1/R_5 + 1/R_6 + 1/R_7) = \frac{E_1}{R_6} - Y.$$

Запишем в матричном виде $A \cdot \varphi = B$, где

A – матрица собственных проводимостей,

$$A = \begin{pmatrix} -(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_1}) & (\frac{1}{R_1}) & 0 & (\frac{1}{R_7}) \\ (\frac{1}{R_1}) & -(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_8}) & (\frac{1}{R_8}) & 0 \\ 0 & (\frac{1}{R_8}) & -(\frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_8}) & (\frac{1}{R_6}) \\ (\frac{1}{R_7}) & 0 & (\frac{1}{R_6}) & -(\frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7}) \end{pmatrix}$$

φ – матрица потенциалов, B – матрица источников.

$$\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_3 \\ \varphi_4 \\ \varphi_5 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ Y - \frac{E_3}{R_3} \\ -\frac{E_1}{R_6} - \frac{E_2}{R_5} \\ \frac{E_1}{R_6} - Y \end{pmatrix}$$

Находим потенциалы и подставляем их в формулы с током. Получаем следующие значения: $I_1 = 1,8460 \text{ А}$, $I_2 = -2,4544 \text{ А}$, $I_3 = 0,2550 \text{ А}$, $I_4 = 0,8771 \text{ А}$, $I_5 = 1,3224 \text{ А}$, $I_6 = -2,9781 \text{ А}$, $I_7 = 4,3005 \text{ А}$, $I_8 = 1,1010 \text{ А}$.

Рассмотрим решение данной задачи с помощью симулятора TINA-TI, который представляет собой обычный SPICE-симулятор с простым и понятным графическим интерфейсом, позволяющим освоить программу; подходит для моделирования поведения различных аналоговых схем и импульсных источников питания. При помощи TINA-TI можно «с чистого листа» (рис. 2) создать проект любой сложности, объединить фрагменты уже готовых решений, проверить и определить качественные показатели схемы [2].

Рисунок 2. Рабочее окно программы TINA-TI

Моделирование в симуляторе TINA-TI [3].

1. Соберем схему электрической цепи (рис. 3) в симуляторе TINA-TI.

Рисунок 3. Электрическая цепь в TINA-TI

2. Установим нужные параметры приборов (резисторов, тока и ЭДС).

$R1=10\ \Omega$, $R2=8\ \Omega$, $R3=15\ \Omega$, $R4=20\ \Omega$, $R5=25\ \Omega$, $R6=22\ \Omega$, $R7=11\ \Omega$, $R8=17\ \Omega$, $E1=150\ \text{В}$, $E2=100\ \text{В}$, $E3=5\ \text{В}$, $Y=1\ \text{А}$, где Y – источник тока.

Для нахождения силы токов и напряжения используем закладку «Анализ» → «Анализ постоянного тока» → «Таблица результатов постоянного тока» (рис. 4).

Рисунок 4. Закладка «Анализ»

Появится таблица результатов (рис.5).

Рисунок 5. Результаты вычислений с помощью симулятора TINA-TI

Как видно из таблицы, значения токов, полученные с помощью решения методом узловых потенциалов, равны значениям токов, вычисленным с помощью моделирования в симуляторе TINA-TI (с погрешностью вычислений $\pm 0,001$).

Итак, решив задачу двумя методами: аналитическим и с помощью моделирования в симуляторе TINA-TI, можно утверждать, что симулятор значительно облегчает работу по построению схемы и выполнению электротехнических расчетов. TINA-TI позволяет вычислять с помощью закладки «Анализ» токи, которые могут быть вычислены такими методами как «Метод контурных токов» и «Метод узловых потенциалов».

1. Алехин В. А. Электротехника. Курс лекций с использованием компьютерного моделирования в среде «TINA-TI». Московский технологический университет – М., 2016. – 364 с.
2. Алехин В. А. Электротехника и электроника. Компьютерный лабораторный практикум в программной среде TINA-8. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2014. – 208 с.
3. Официальный сайт симулятора TINA-TI – URL: <http://www.ti.com/tool/TINA-TI#> (дата обращения: 20.06.2019).