Реферат

Отчёт 14 с., 4 рис., 2 источника, 1 прил.,

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ, МЕТОД КОНТУРНЫХ ТОКОВ, СОБСТВЕННОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, ВЗАИМНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

Предметом исследования является расчет заданной электрической цепи.

Цель работы - выполнение аналитического решения и нахождение требуемых в работе численных значений путем программирования на языке высокого уровня и проверки результатов с помощью программ моделирования аналоговых систем с оценкой погрешности.

В процессе работы был выполнен аналитический расчет токов в ветвях методом контурных токов. Используя язык программирования высокого уровня C++ была написана программа расчета искомых значений. Был выполнен расчет искомых величин в среде моделирования MicroCap 10.0 и выполнена проверка соответствия результатов моделирования и аналитического расчета.

Содержание

Введение

Данная расчетно-графическая работа по дисциплине «Электротехника и электроника» работа включает в себя выполнение аналитического решения для сложной электрической цепи методом контурных токов, а также создание программы на языке высокого уровня для нахождения токов в цепи используя результаты аналитического расчета, и проверки полученных результатов в программе моделирования электрических цепей MicroCap.

Цель работы – нахождение тока в ветвях цепи используя метод контурных токов

В ходе работы требуется:

а) выполнить аналитическое решение поставленной задачи;

б) написать программу на языке высокого уровня для численного нахождения токов в ветвях схемы;

в) выполнить проверку полученных значений с помощью программы моделирования электрических цепей MicroCap с оценкой погрешности.

1 Аналитическое решение

На рисунке 1 представлена схема сложной электрической цепи, в которой необходимо используя метод контурных токов вычислить токи в ветвях.

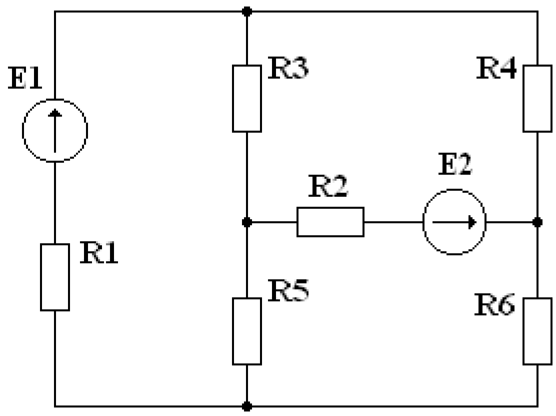

Рисунок 1 – Схема цепи

Метод контурных токов является одним из основных методом расчета сложных электрических цепей, которым широко пользуются на практике. Суть метода заключается в том, что вместо токов в ветвях определяются на основании второго закона Кирхгофа контурные так называемые токи, замыкающиеся в контурах.

Выберем на схеме условно положительные направления токов в ветвях и направления контурных токов (рисунок 2).

Используя второй закон Кирхгофа составим 3 уравнения относительно выбранных контурных токов:

$$\begin{cases} I_{к1}R_1 + I_{к1}R_3 + I_{к1}R_5 - I_{к2}R_3 - I_{к3}R_5 = E_1 \\ I_{к2}R_4 + I_{к2}R_2 + I_{к2}R_3 - I_{к1}R_3 - I_{к3}R_2 = -E_2 \\ I_{к3}R_2 + I_{к3}R_5 + I_{к3}R_6 - I_{к1}R_5 - I_{к2}R_2 = E_2 \end{cases}$$

Выполнив группировку отдельных контурных токов получим:

$$\begin{cases} I_{к1}(R_1 + R_3 + R_5) - I_{к2}R_3 - I_{к3}R_5 = E_1 \\ -I_{к1}R_3 + I_{к2}(R_4 + R_2 + R_3) - I_{к3}R_2 = -E_2 \\ -I_{к1}R_5 - I_{к2}R_2 + I_{к3}(R_2 + R_5 + R_6) = E_2 \end{cases}$$

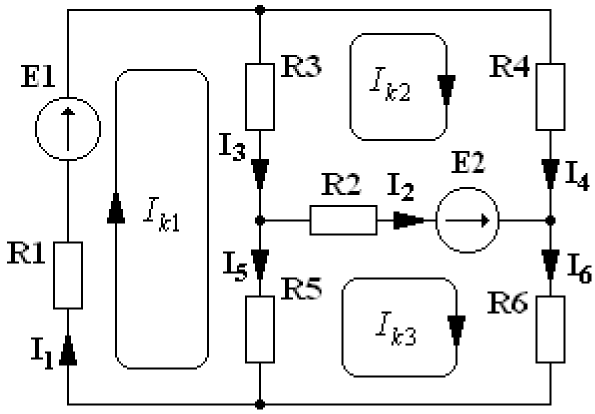

Рисунок 2 – Выбранные условно положительные направления токов в ветвях и контурные токи цепи

В полученной системе уравнений сопротивления возле контурных токов расположенных на главной диагонали, называются собственными сопротивлениями контуров:

- собственное сопротивление 1-го контура:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_5;$$

- собственное сопротивление 2-го контура:

$$R_{22} = R_2 + R_3 + R_4;$$

- собственное сопротивление 3-го контура:

$$R_{33} = R_2 + R_5 + R_6.$$

Сопротивления принадлежащие нескольким контурам называются взаимными:

- взаимное сопротивление 1 и 2 контуров:

$$R_{12} = R_{21} = -R_3;$$

- взаимное сопротивление 2 и 3 контуров:

$$R_{23} = R_{32} = -R_2;$$

- взаимное сопротивление 1 и 3 контуров:

$$R_{13} = R_{31} = -R_5.$$

Знак взаимных сопротивлений зависит от направлений контурных токов в них. В данном случае контурные токи выбраны таким образом, что они имеют противоположные направления во взаимных сопротивлениях и поэтому идут со знаком минус.

В правой части расположены контурные ЭДС:

- ЭДС 1 контура:

$$E_{11} = E_1;$$

- ЭДС 2 контура:

$$E_{22} = -E_2;$$

- ЭДС 3 контура:

$$E_{33} = E_2.$$

Используя введенные обозначения, системы уравнений мо методу контурных токов примет вид:

$$\begin{cases} I_{к1}R_{11} + I_{к2}R_{12} + I_{к3}R_{13} = E_{11} \\ I_{к1}R_{12} + I_{к2}R_{22} + I_{к3}R_{23} = E_{22} \\ I_{к1}R_{31} + I_{к2}R_{32} + I_{к3}R_{33} = E_{33} \end{cases}$$

Для нахождения решения системы уравнений с тремя неизвестными удобно использовать метод Крамера (метод определителей). Запишем выражения для нахождения значений контурных токов:

$$I_{к1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} E_{11} & R_{12} & R_{13} \\ E_{22} & R_{22} & R_{23} \\ E_{33} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix}};$$

$$I_{к2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} R_{11} & E_{11} & R_{13} \\ R_{21} & E_{22} & R_{23} \\ R_{31} & E_{33} & R_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix}};$$

$$I_{к3} = \frac{\Delta_3}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & E_{11} \\ R_{21} & R_{22} & E_{22} \\ R_{31} & R_{32} & E_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{vmatrix}}.$$

После определения контурных токов находим токи в ветвях цепи, которые образуются как суперпозиция действий отдельных контурных токов. Так для принятых направлений токов в ветвях (рисунок 2) запишем их выражения:

$$I_1 = I_{к1};$$

$$I_2 = I_{к3} - I_{к2};$$

$$I_3 = I_{к1} - I_{к2};$$

$$I_4 = I_{к2};$$

$$I_5 = I_{к1} - I_{к3};$$

$$I_6 = I_{к3}.$$

2 Численное решение

Исходные данные для данной схемы следующие:

- сопротивления резисторов: R_1 = 22 кОм; R_2 = 5,1 кОм; R_3 = 160 Ом; R_4 = 680 Ом; R_5 = 100 Ом; R_6 = 240 Ом;
- напряжения источников: E_1 = 12,6 В; E_2 = 2,7 В.

Определяем значения собственных и взаимных сопротивлений контуров, и контурные ЭДС:

- собственные сопротивления контуров:

$$R_{11} = R_1 + R_3 + R_5 = 22000 + 160 + 100 = 22260 \text{ Ом};$$

$$R_{22} = R_2 + R_3 + R_4 = 5100 + 160 + 680 = 5940 \text{ Ом};$$

$$R_{33} = R_2 + R_5 + R_6 = 5100 + 100 + 240 = 5440 \text{ Ом};$$

- взаимные сопротивления контуров:

$$R_{12} = R_{21} = -R_3 = -160 \text{ Ом};$$

$$R_{23} = R_{32} = -R_2 = -5100 \text{ Ом};$$

$$R_{13} = R_{31} = -R_5 = -100 \text{ Ом};$$

- контурные ЭДС:

$$E_{11} = E_1 = 12{,}6 \text{ В};$$

$$E_{22} = -E_2 = -2{,}7 \text{ В};$$

$$E_{33} = E_2 = 2{,}7 \text{ В}.$$

Подставляем численные значения в выражения для контурных токов:

$$I_{к1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 12{,}6 & -160 & -100 \\ -2{,}7 & 5940 & -5100 \\ 2{,}7 & -5100 & 5440 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 22260 & -160 & -100 \\ -160 & 5940 & -5100 \\ -100 & -5100 & 5440 \end{vmatrix}} = \frac{7{,}9505 \cdot 10^7}{1{,}3996 \cdot 10^{11}} = 5{,}6807 \cdot 10^{-4} \text{ А} = 568{,}07 \text{ мкА};$$

$$I_{к2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\begin{vmatrix} 22260 & 12{,}6 & -100 \\ -160 & -2{,}7 & -5100 \\ -100 & 2{,}7 & 5440 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 22260 & -160 & -100 \\ -160 & 5940 & -5100 \\ -100 & -5100 & 5440 \end{vmatrix}} = \frac{-2{,}9714 \cdot 10^6}{1{,}3996 \cdot 10^{11}} = -2{,}1231 \cdot 10^{-5} \text{ А} = -21{,}23 \text{ мкА};$$

$$I_{к3}=\frac{\Delta_3}{\Delta}=\frac{\begin{vmatrix}22260 & -160 & 12{,}6\\ -160 & 5940 & -2{,}7\\ -100 & -5100 & 2{,}7\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}22260 & -160 & -100\\ -160 & 5940 & -5100\\ -100 & -5100 & 5440\end{vmatrix}}=\frac{6{,}8193\cdot 10^{7}}{1{,}3996\cdot 10^{11}}=4{,}8686\cdot 10^{-4}\ \text{А}=486{,}86\ \text{мкА}.$$

По известным значениям контурных токов определяем токи в ветвях схемы:

$$I_1=I_{к1}=568{,}07\ \text{мкА};$$

$$I_2=I_{к3}-I_{к2}=486{,}86+21{,}23=508{,}09\ \text{мкА};$$

$$I_3=I_{к1}-I_{к2}=568{,}07+21{,}23=589{,}3\ \text{мкА};$$

$$I_4=I_{к2}=-21{,}23\ \text{мкА};$$

$$I_5=I_{к1}-I_{к3}=568{,}07-486{,}86=81{,}21\ \text{мкА};$$

$$I_6=I_{к3}=486{,}86\ \text{мкА}.$$

Приведенный алгоритм вычислений был реализован в программе расчета, написанной на языке высокого уровня C++, выполненный в среде программирования Borland Builder C++ 6.0. Код программы представлен в приложении А. Вычисления, выполненные при помощи программы, также подтверждают правильность выполненных расчетов (рисунок 3).

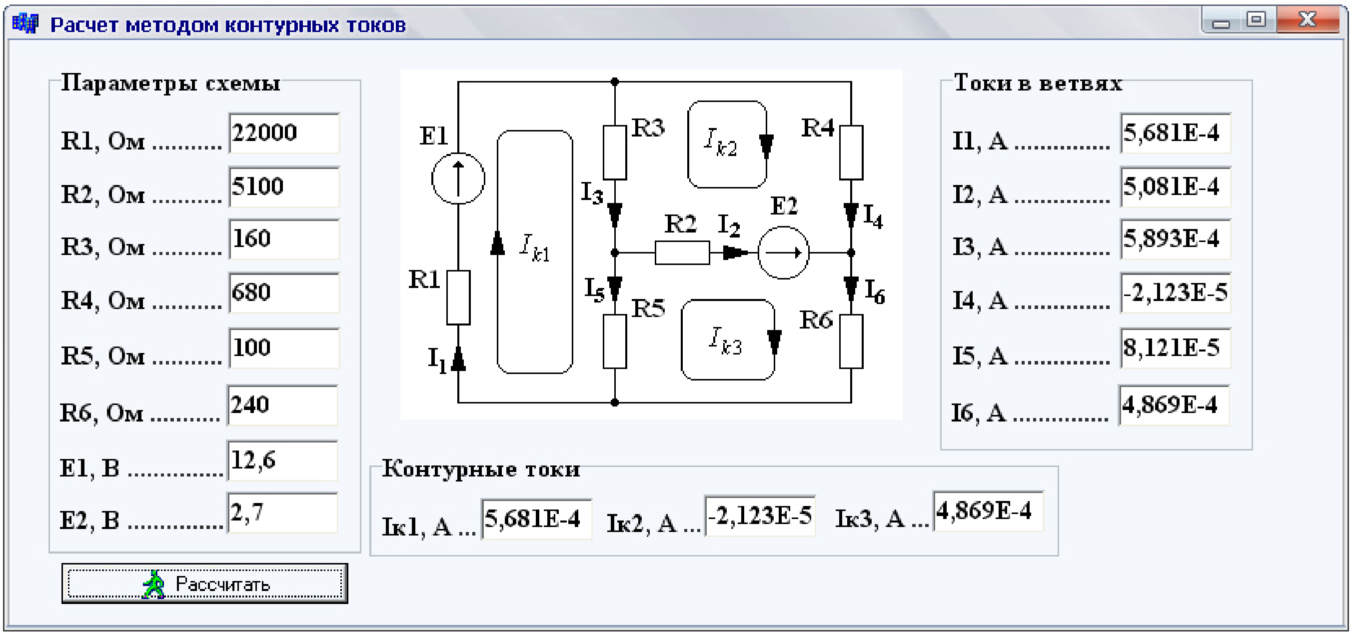

Рисунок 3 – Внешний вид программы вычисления

3 Моделирование схемы в среде MicroCap 10.0

Выполним проверку расчетов в среде моделирования электрических схем MicroCap 10.0. Схема модели представлена на рисунке 4.

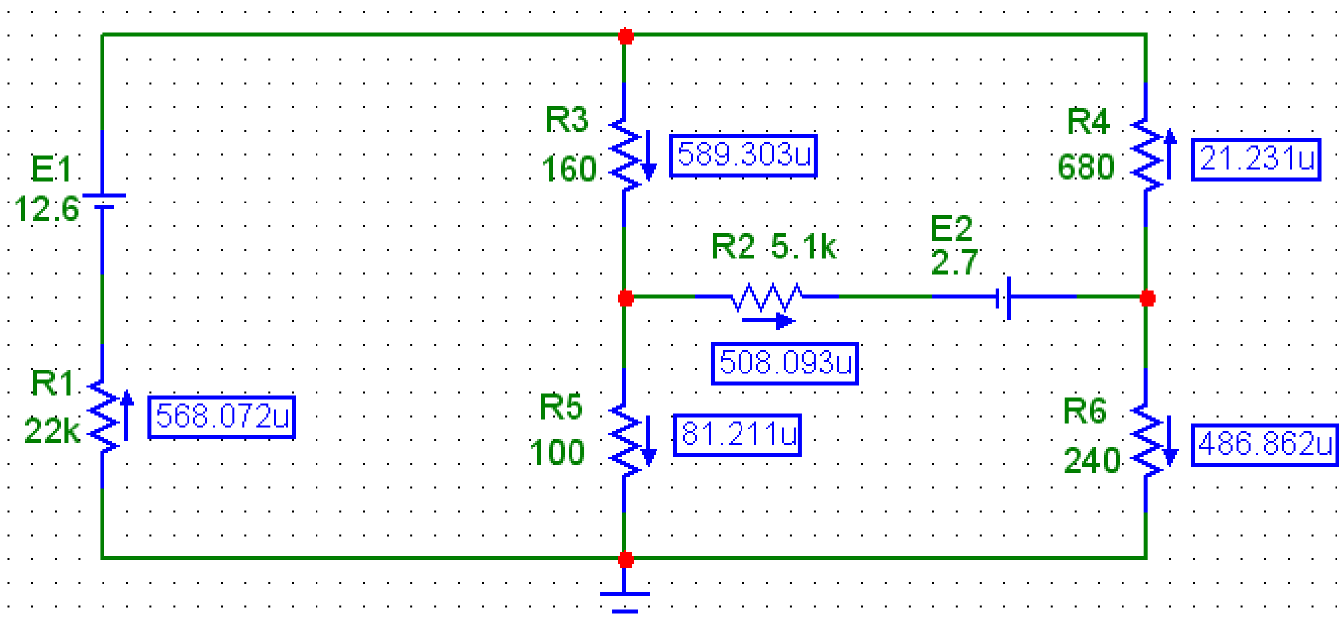

Рисунок 4 – Модель схемы в среде MicroCap 10.0

Анализ схемы выполнен в режиме динамического анализа по постоянному току, в соответствии с этим указанные токи на схеме являются истинными.

Отличие моделирования от численного расчета заключается в том, что расчетное значение тока I_4 имело знак минус, а это говорит, что его истинное направление имеет обратное направление, чем выбранное на рисунке 2, что видно по результатам моделирования (рисунок 4).

4 Оценка погрешности расчетов

Моделирование показало, что проведенные ранее численные расчеты совпадают с моделированием в среде MicroCap 10.0.

Выполним оценку погрешности расчета:

$$\Delta_{I1} = \frac{I_{1мод} - I_{1расч}}{I_{1мод}} \cdot 100\% = \frac{568{,}072 - 568{,}07}{568{,}072} \cdot 100\% = 0{,}0035\ \%;$$

$$\Delta_{I2} = \frac{I_{2мод} - I_{2расч}}{I_{2мод}} \cdot 100\% = \frac{508{,}093 - 508{,}09}{508{,}093} \cdot 100\% = 0{,}006\ \%;$$

$$\Delta_{I3} = \frac{I_{3мод} - I_{3расч}}{I_{3мод}} \cdot 100\% = \frac{589{,}303 - 589{,}3}{589{,}303} \cdot 100\% = 0{,}0005\ \%;$$

$$\Delta_{I4} = \frac{I_{4мод} - I_{4расч}}{I_{4мод}} \cdot 100\% = \frac{21{,}231 - 21{,}23}{21{,}231} \cdot 100\% = 0{,}005\ \%;$$

$$\Delta_{I5} = \frac{I_{5мод} - I_{5расч}}{I_{5мод}} \cdot 100\% = \frac{81{,}211 - 81{,}21}{81{,}211} \cdot 100\% = 0{,}0012\ \%;$$

$$\Delta_{I6} = \frac{I_{6мод} - I_{6расч}}{I_{6мод}} \cdot 100\% = \frac{486{,}862 - 486{,}86}{486{,}862} \cdot 100\% = 0{,}0004\ \%.$$

Видим, что погрешность расчета не превышает 0,006 %. Полученные погрешности не носят критический характер и связаны только с погрешностями округления расчетных величин.

Заключение

В результате выполнения расчётно-графической работы было получено аналитическое решение поставленной задачи, нахождение всех требуемых численных значений токов ветвей путем программирования на языке высокого уровня и была выполнена проверка результата с помощью программы моделирования электрических схем MicroCap 10.0. Сравнение различных путей решения показало одинаковость результатов. При этом погрешность расчета не превышает 0,006%.

Список использованных источников

1 Л. А. Бессонов, «Теоретические основы электротехники: электрические цепи» - М.: 1984., 559 с.

2. В. П. Бакалов, А. Н. Игнатов, Б. И. Крук, «Основы теории электрических цепей и электроники» - М.: Радио и связь, 1989., 528 с.

Приложение А

Программа расчета методом контурных токов

```
void __fastcall TForm1::btnCalculateClick(TObject *Sender)
{
   double R1 = StrToInt (eR1->Text);
   double R2 = StrToInt (eR2->Text);
   double R3 = StrToInt (eR3->Text);
   double R4 = StrToInt (eR4->Text);
   double R5 = StrToInt (eR5->Text);
   double R6 = StrToInt (eR6->Text);
   double E1 = StrToFloat (eE1->Text);
   double E2 = StrToFloat (eE2->Text);

   double R11 = R1+R3+R5;
   double R22 = R2+R3+R4;
   double R33 = R2+R5+R6;
   double R12 = -R3;
   double R21 = R12;
   double R13 = -R5;
   double R31 = R13;
   double R23 = -R2;
   double R32 = R23;
   double E11 = E1;
   double E22 = -E2;
   double E33 = E2;

   // Находим определитель для контурного тока Ik1
   double D1 = (E11*R22*R33+R12*R23*E33+E22*R32*R13) - (E33*R22*R13+R32*R23*E11+E22*R12*R33);
   // Находим определитель для контурного тока Ik2
   double D2 = (R11*E22*R33+E11*R23*R31+R21*E33*R13) - (R31*E22*R13+E33*R23*R11+E11*R21*R33);
   // Находим определитель для контурного тока Ik3
   double D3 = (R11*R22*E33+R12*E22*R31+R21*R32*E11) - (R31*R22*E11+R32*E22*R11+E33*R12*R21);
   // Находим определитель матрицы сопротивления
   double DR = (R11*R22*R33+R12*R23*R31+R21*R32*R13) - (R31*R22*R13+R32*R23*R11+R21*R12*R33);
   // Вычисляем контурные токи
   double Ik1 = D1/DR;
   double Ik2 = D2/DR;
   double Ik3 = D3/DR;
   eIk1->Text = FloatToStrF (Ik1, ffExponent, 4, 4);
   eIk2->Text = FloatToStrF (Ik2, ffExponent, 4, 4);
   eIk3->Text = FloatToStrF (Ik3, ffExponent, 4, 4);
```

```
    // Вычисляем токи в ветвях
    double I1 = Ik1;
    double I2 = Ik3-Ik2;
    double I3 = Ik1-Ik2;
    double I4 = Ik2;
    double I5 = Ik1-Ik3;
    double I6 = Ik3;
    eI1->Text = FloatToStrF (I1, ffExponent, 4, 4);
    eI2->Text = FloatToStrF (I2, ffExponent, 4, 4);
    eI3->Text = FloatToStrF (I3, ffExponent, 4, 4);
    eI4->Text = FloatToStrF (I4, ffExponent, 4, 4);
    eI5->Text = FloatToStrF (I5, ffExponent, 4, 4);
    eI6->Text = FloatToStrF (I6, ffExponent, 4, 4);
}
```