

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЭВМ ДЛЯ АНАЛИЗА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ ВТОРОГО ПОРЯДКА

**М. Савченко**, студент электротехнического факультета

**Т.В. Кучер**, ассистент каф. ВМиП

Донецкий национальный технический университет

*В работе рассчитывается зависимость силы тока переходного процесса от времени для электрической цепи. Написана программа на Builder C++, которая определяет коэффициенты и строит графики зависимости силы тока от времени.*

*У роботі розраховується залежність сили струму перехідного процесу від часу для електричного ланцюга. Написана програма на Builder C, яка визначає коефіцієнти залежності і будує графіки сили струму від часу.*

*Dependence of strength of current of transient on time for an electric chain settles accounts . The program on Builder C determines the coefficients of dependence and builds the charts of strength of current from time.*

Под переходным процессом в электрических цепях понимается процесс перехода цепи из одного установившегося состояния в другое. Переходные процессы возникают при любых изменениях режима электрической цепи: при подключении и отключении цепи, при изменении нагрузки, при возникновении аварийных режимов. Изменения в электрической цепи можно представить в виде тех или иных переключений, называемых в общем случае коммутацией. Ток и напряжение в начальный момент времени после коммутации ( $i(0_+)$  и  $u(0_+)$ ) имеют те же значения, какие они имели непосредственно перед коммутацией ( $i(0_-)$  и  $u(0_-)$ ), а затем с этих значений они начинают плавно изменяться.

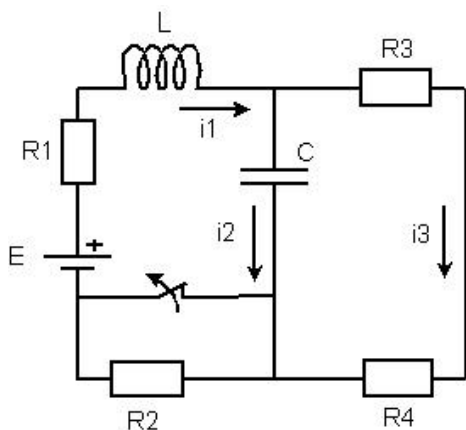


Рисунок 1

В работе рассматривается решение электротехнической задачи – для электрической схемы, представленной на рис. 1, необходимо вычислить силу тока при переходном процессе в цепи второго порядка (апериодический), если известны ЭДС источника  $E=50$  В, индуктивность катушки  $L=0,002$  Гн, емкость конденсатора  $C=0,00167$  Ф и сопротивление четырех нагрузок, включенных в цепь,  $R_1=1$  Ом,  $R_2=2$  Ом,  $R_3=1$  Ом,  $R_4=5$  Ом. Расчеты проводятся двумя методами: классическим и операторным.

Выполним расчет классическим методом [3]. Расчет режима до коммутации (при  $t=0_-$ ):

$$i_1(0_-) = i_3(0_-) = \frac{E}{R_1 + R_3 + R_4}, \quad i_2(0_-) = 0, \quad u_c(0_-) = i_2(0_-) \cdot (R_3 + R_4)$$

По независимым начальным условиям (законам коммутации):

$$i_1(0_+) = i_1(0_-), \quad u_c(0_+) = u_c(0_-)$$

Примем

$$R_5 = R_1 + R_2, \quad R_6 = R_3 + R_4$$

Составим характеристическое уравнение и найдем его корни:

$$Z(p) = R_5 + L \cdot p + \frac{1}{\frac{1}{C \cdot p} + R_6} \cdot R_6 = \frac{C \cdot L \cdot R_6 \cdot p^2 + p \cdot (C \cdot R_5 \cdot R_6 + L) + R_5 + R_6}{R_6 \cdot C \cdot p + 1} = 0$$

$$C \cdot L \cdot R_6 \cdot p^2 + p \cdot (C \cdot R_5 \cdot R_6 + L) + R_5 + R_6 = 0$$

Запишем свободную составляющую тока  $i_1$

$$i_{1cв}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t},$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – постоянные интегрирования.

Расчет установившегося режима после коммутации:

$$i_{1np} = i_{3np} = \frac{E}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}, \quad i_{2np} = 0, \quad u_{cнп} = i_{3np} \cdot (R_3 + R_4)$$

Свободные составляющие токов и напряжений при  $t=0_+$  находятся как разницы между переходными и принужденными величинами

$$i_{1cв}(0_+) = i_1(0_+) - i_{1np}, \quad u_{cсв}(0_+) = u_c(0_+) - u_{cнп}$$

По второму закону Кирхгофа для свободных составляющих:

$$L \frac{di_{1cв}(0_+)}{dt} + i_{1cв}(0_+) \cdot R_5 + u_{cсв}(0_+) = 0; \quad \Rightarrow \quad \frac{di_{1cв}(0_+)}{dt} = \frac{-i_{1cв}(0_+) \cdot R_5 + u_{cсв}(0_+)}{L}$$

Постоянные интегрирования определим по начальным условиям

$$\begin{cases} i_{1cв}(t) = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \\ \frac{di_{1cв}(t)}{dt} = A_1 \cdot p_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot p_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \end{cases}$$

Используя метод Гаусса для решения системы линейных алгебраических уравнений, найдем значения коэффициентов  $A_1$  и  $A_2$ .

Ток  $i_1$  найдем как сумму его принужденной и свободной составляющих

$$i_{1cв}(t) = i_{1np} + i_{1cв}(t) = i_{1np} + A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t},$$

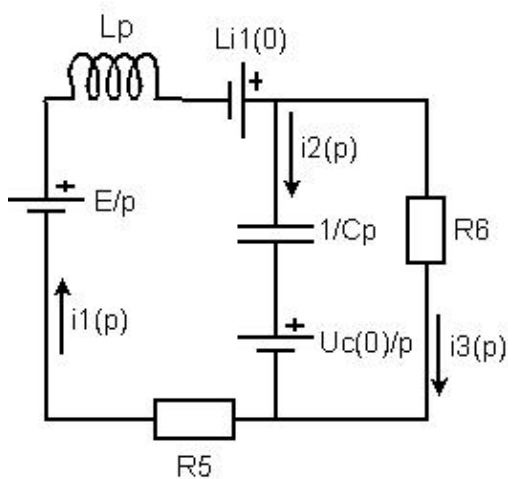


Рисунок 2

Найдем изображение тока  $I_1(p)$  с помощью уравнений составленных по первому и второму законам Кирхгофа:

$$\begin{cases} I_1(p) - I_2(p) - I_3(p) = 0 \\ I_1(p) \cdot (R_5 + L \cdot p) + I_2(p) \cdot \frac{1}{C \cdot p} = \frac{E}{p} + L \cdot i_1(0) - \frac{u_c(0)}{p} \\ I_1(p) \cdot (R_5 + L \cdot p) + I_3(p) \cdot R_6 = \frac{E}{p} + L \cdot i_1(0) \end{cases}$$

Выразим из второго уравнения системы  $I_2(p)$  через  $I_1(p)$ . Выразим из третьего уравнения системы  $I_3(p)$  через  $I_1(p)$ . Подставим найденные выражения в первое уравнение и найдем  $I_1(p)$ , получим

$$I_1(p) = \frac{R_6 \cdot c \cdot L \cdot i_1(0) \cdot p^2 + p \cdot (c \cdot R_6 \cdot (E - u_c(0)) + L \cdot i_1(0)) + E}{p \cdot (c \cdot L \cdot R_6 \cdot p^2 + p \cdot (c \cdot R_5 \cdot R_6 + L) + R_5 + R_6)}$$

$$I_1(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \frac{R_6 \cdot c \cdot L \cdot i_1(0) \cdot p^2 + p \cdot (c \cdot R_6 \cdot (E - u_c(0)) + L \cdot i_1(0)) + E}{p \cdot (c \cdot L \cdot R_6 \cdot p^2 + p \cdot (c \cdot R_5 \cdot R_6 + L) + R_5 + R_6)}$$

Приравняв знаменатель к нулю ( $F_2(p)=0$ ), нужно найти действительные корни уравнения. Для перехода от изображения к оригиналу применяется формула разложения простых корней

$$I_1(p) = \frac{F_1(p)}{F_2(p)} = \sum_{k=1}^n \frac{F_1(p_k) \cdot e^{p_k t}}{F_2(p_k)}$$

Трудоемкость ручного просчета состоит в том, что необходимо помимо простых расчетов решить квадратное уравнение и систему линейных алгебраических уравнений. Поэтому для автоматизации расчетов написана программа на языке С++ в которой для решения системы линейных алгебраических уравнений используется метод Гаусса. Реализация программы осуществлена в среде Builder С++, версия 5. При запуске программы появляется диалоговое окно, изображенное на рис.3.

Для проверки подставим в это уравнение  $t=0_+$ . Найденное значение должно совпадать с  $i_1(0_-)$ .

Второй способ расчета – это операторный метод [4]. Эквивалентная схема для изображений момента времени  $t=0_+$  показана на рис. 2, где

$$R_5 = R_1 + R_2 \quad R_6 = R_3 + R_4.$$

Начальные условия:

$$i_1(0) = i_1(0_-) = i_1(0_+) = 7,143 \text{ A},$$

$$u_c(0) = u_c(0_-) = u_c(0_+)$$

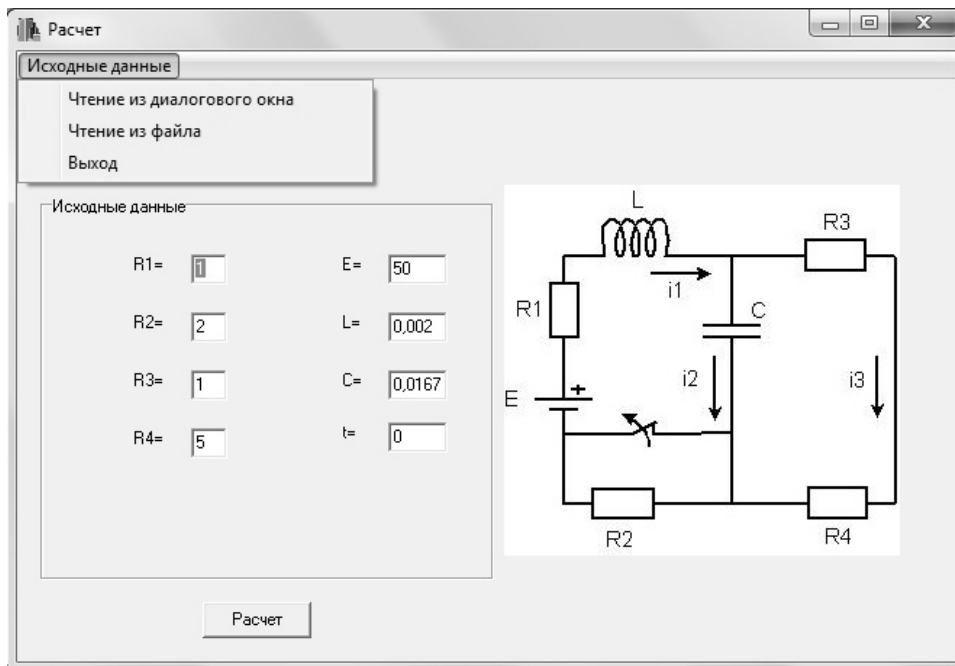


Рисунок 3

В меню *Исходные данные* можно выбрать вариант ввода исходных данных – из текстового файла или ввод непосредственно из полей ввода открытого окна. После ввода данных необходимо нажать кнопку *Расчет*. Если расчеты двумя способами сошлись, то на экран выводится соответствующее информационное окно, а затем открывается окно с результатами расчета классическим и операторным методами (рис. 4).

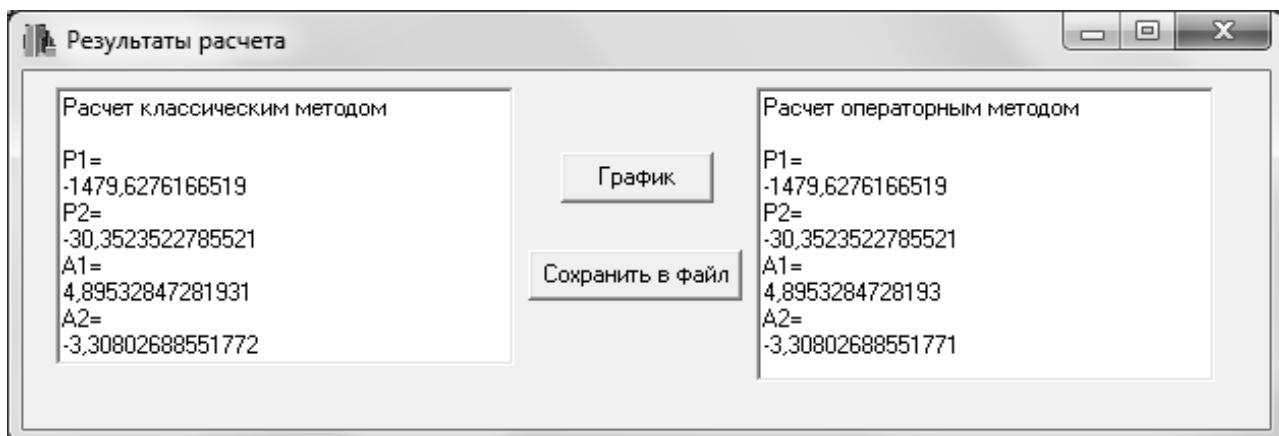


Рисунок 4

В окне с результатами расчета имеется кнопка *Сохранить в файл*. При нажатии этой кнопки информация из текстовых элементов *Мето* сохраняется в файл, выбор имени и местоположения файла выбирает пользователь. Также имеется кнопка *График*, при нажатии на которую открывается окно с построением графиков (рис. 5). Рисунок с графиками также можно сохранить в файл.

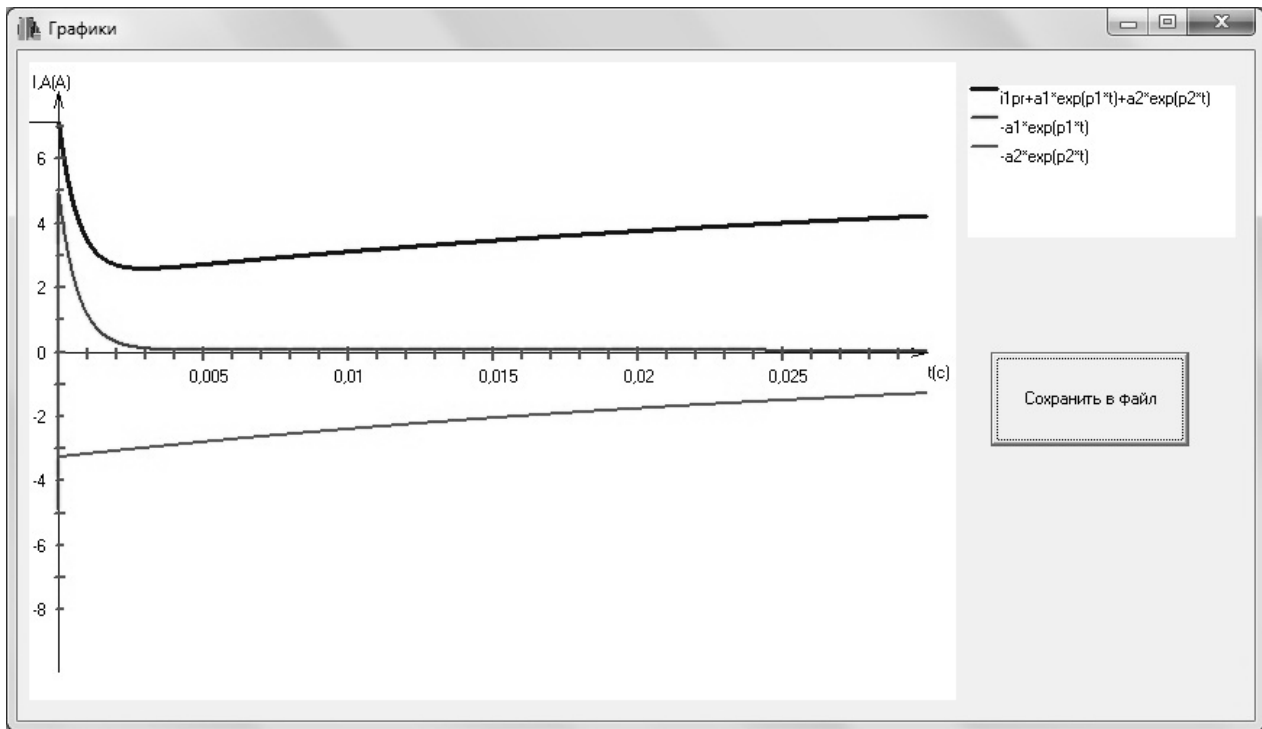


Рисунок 5

Главная трудность в решения задач классическим методом для уравнений высоких порядков состоит в отыскании корней характеристического уравнения и постоянных интегрирования. Поэтому для решения уравнений порядка выше второго применяют операторный метод, основанный на применении преобразования Лапласа и исключаяющей трудоемкую процедуру отыскания постоянных интегрирования.

Разработана программа, позволяющая быстро рассчитать ток для заданной электрической схемы и построить графическую зависимость силы тока от времени. Программу можно легко модифицировать для решения аналогичных задач с подобными электрическими схемами. В дальнейшем планируется адаптация программы для моделирования нескольких классов электрических схем.

Литература:

1. Архангельский А. Я., Тагин М. А.. Программирование в С++ Builder 6 и 2006. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2007. – 1184 с.
2. Алексеев Е. Р. Учимся программировать на Microsoft Visual С++ и Turbo С++ Explorer (под общей редакцией Чесноковой О. В.) - М.: ИТ Пресс, 2007. - 352 с.
3. Электротехника. URL: <http://model.exponenta.ru/electro/index.htm>, (дата посещения 30.04.2011).
4. Ученик. Теоретические основы электротехники. URL <http://electrofaq.com/TOEbook/toe.html>, (дата посещения 30.04.2011).