МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИТМО”

ФАКУЛЬТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РОБОТОТЕХНИКИ

Расчетно-графическая работа №3:
Задание №7

по дисциплине Электротехника
Вариант №12

Выполнил: Студент группы R3237 Осинина Т. С
Преподаватель: Горшков К.С.

Санкт-Петербург, 2022

Задание: выполнить анализ переходного процесса в цепи второго порядка, варианты схем которой изображены на рис.1 в обобщенном виде. Начальные условия ненулевые.

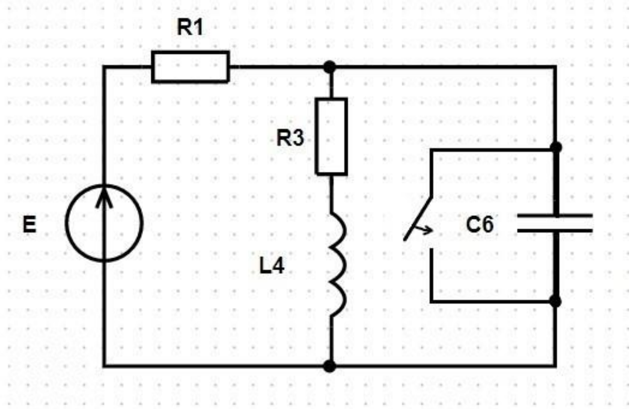


Рисунок 1. Схема цепи второго порядка

Дано: E=145; R_1=70; R_3=75;
L_4=60; C_6=5

Определить: $u_{R3}(t)$, $u_C(t)$

Схема до коммутации:

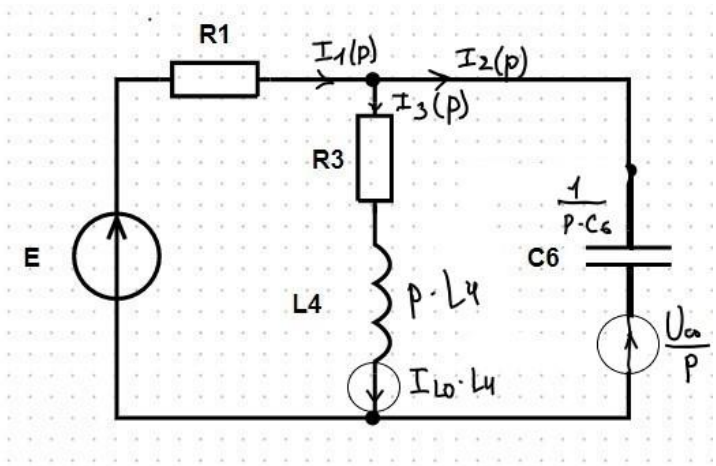


Рисунок 2. Схема до коммутации

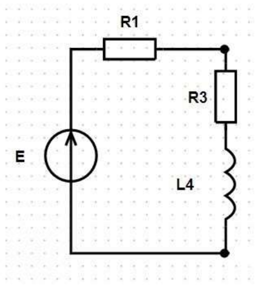
Расчетная работы №3

Дано: $E := 145$ $\quad R1 := 70$ $\quad R3 := 75$ $\quad L4 := 0{,}06$ $\quad C6 := 5 \cdot 10^{-6}$

Ключ расположен параллельно C6, до коммутации ключ разомкнут

Найти: uc(t), uR3(t)

Схема после коммутации:

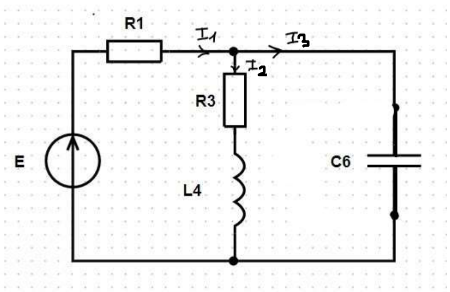


$$IL0 := I0$$

$$I0 := \frac{E}{R1 + R3} = 1$$

$$Uc := I0 \cdot R3 = 75$$

Схема до коммутации



Распишем законы Кирхгофа:

$$I1(p) - I2(p) - I3(p) = 0$$

$$I1(p) \cdot R1 + I2(p) \cdot (R3 + p \cdot L4) = IL0 \cdot L4 + \frac{E}{p}$$

$$I3(p) \cdot \frac{1}{C6 \cdot p} - I2 \cdot (R3 + p \cdot L4) = \frac{Uc}{p} - IL0 \cdot L4$$

Далее составляем матрицы:

$$M := \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R1 & R3 + p \cdot L4 & 0 \\ 0 & -R3 - p \cdot L4 & \frac{1}{C6 \cdot p} \end{bmatrix} \qquad B := \begin{bmatrix} 0 \\ IL0 \cdot L4 + \frac{E}{p} \\ \frac{Uc(0)}{p} - IL0 \cdot L4 \end{bmatrix}$$

Находим IR3 = I2:

$$I2 := \frac{|M2|}{|M|} = \frac{5 \cdot |M2| \cdot p}{20000 \cdot (3 \cdot (1250 + p) + 3500) + 21 \cdot (1250 + p) \cdot p}$$

$$M2 := \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ R1 & IL0 \cdot L4 + \frac{E}{p} & 0 \\ 0 & \frac{Uc}{p} - IL0 \cdot L4 & \frac{1}{C6 \cdot p} \end{bmatrix}$$

$$N2 := 20000 \cdot (7250 + 3 \cdot p) - 21 \cdot (1250 - p) \cdot p$$

$$D2(p) := p \cdot (20000 \cdot (3 \cdot (1250 + p) + 3500) + 21 \cdot (1250 + p) \cdot p)$$

$$Maclaurin(f(x); n) := \left| \begin{array}{l} v_1 := f(x) \\ \text{for } i \in [1..n] \\ \quad v_{i+1} := \dfrac{\frac{d}{dx} v_i}{i} \\ x := 0 \\ v \end{array} \right.$$

$$Maclaurin\left(D2\left(p\right);\ 2\right)=\begin{bmatrix}0\\1{,}45\cdot 10^{8}\\86250\end{bmatrix}$$

Нахождение корней:

$$\operatorname{polyroots}\left(\begin{bmatrix}0\\1{,}45\cdot 10^{8}\\86250\end{bmatrix}\right)=\begin{bmatrix}0\\-1681{,}1594\end{bmatrix}$$

$p2 := -1681{,}1594$ $\qquad\qquad$ $\tau := \dfrac{1}{\left|p2\right|}=0{,}0006$

$p1 := 0$ $\qquad\qquad$ $5\cdot\tau=0{,}003$

Нахождение производной

$$D2d := \frac{d}{d\,p}D2\left(p\right)=2\cdot\left(10000\cdot\left(3500+3\cdot\left(1250+p\right)\right)+3\cdot\left(10000+7\cdot\left(625+p\right)\right)\cdot p\right)+21\cdot\left(1250+p\right)\cdot p$$

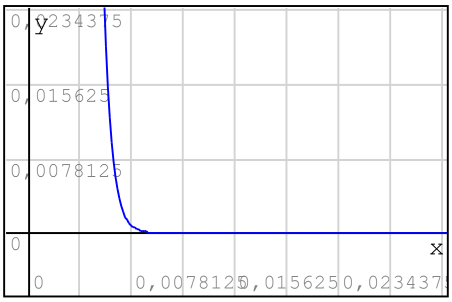
Подстановка корней $\quad p := p2$

$$X2 := \frac{N2}{D2d}\cdot\exp\left(p\cdot t\right)=\frac{699236133254884\cdot\exp\left(-\dfrac{8405797\cdot t}{5000}\right)}{156588034282505}$$

Результат:

$i2 := X2$ $\qquad\qquad$ $t := x$

$u3 := R3\cdot i2$



$u3$

Далее находим uc(t):

Для этого сначала определим I3:

$p := s$ $\quad$ (используем присвоение переменной p, так как значение p уже использовалось (в нем уже есть значение))

$$M3 := \begin{bmatrix}1 & -1 & 0\\ R1 & R3+p\cdot L4 & IL0\cdot L4+\dfrac{E}{p}\\ 0 & -R3-p\cdot L4 & \dfrac{Uc}{p}-IL0\cdot L4\end{bmatrix}$$

$$I3 := \frac{|M3|}{|M|} = \frac{3 \cdot \left(\left(3500 + 3 \cdot (1250 + s) \right) \cdot (1250 - s) + (1250 + s) \cdot (7250 + 3 \cdot s) \right)}{500 \cdot \left(20000 \cdot \left(3 \cdot (1250 + s) + 3500 \right) + 21 \cdot (1250 + s) \cdot s \right)}$$

$$N3 := 3 \cdot \left(\left(3500 + 3 \cdot (1250 + p) \right) \cdot (1250 - p) + (1250 + p) \cdot (7250 + 3 \cdot p) \right)$$
$$D3(p) := 500 \cdot \left(20000 \cdot \left(3 \cdot (1250 + p) + 3500 \right) + 21 \cdot (1250 + p) \cdot p \right)$$

$$Uc6 := \frac{I3}{p \cdot C6} + \frac{Uc}{p} = \frac{75 \cdot \left(20000 \cdot \left(3500 + 3 \cdot (1250 + s) \right) + 21 \cdot (1250 + s) \cdot s + 16 \cdot \left(\left(3500 + 3 \cdot (1250 + s) \right) \cdot (1250 - s) + (1250 + s) \cdot (7250 + 3 \cdot s) \right) \right)}{s \cdot \left(20000 \cdot \left(3 \cdot (1250 + s) + 3500 \right) + 21 \cdot (1250 + s) \cdot s \right)}$$

$$N := 75 \cdot \left(20000 \cdot \left(3500 + 3 \cdot (1250 + s) \right) + 21 \cdot (1250 + s) \cdot s + 16 \cdot \left(\left(3500 + 3 \cdot (1250 + s) \right) \cdot (1250 - s) + (1250 + s) \cdot (7250 + 3 \cdot s) \right) \right)$$

$$D(s) := s \cdot \left(20000 \cdot \left(3 \cdot (1250 + s) + 3500 \right) + 21 \cdot (1250 + s) \cdot s \right)$$

$$Maclaurin(D(s); 3) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1,45 \cdot 10^{8} \\ 86250 \\ 21 \end{bmatrix}$$

Нахождение корней:

$$\text{polyroots}\left(\begin{bmatrix} 0 \\ 1,45 \cdot 10^{8} \\ 86250 \\ 21 \end{bmatrix} \right) = \begin{bmatrix} -1,3208 \cdot 10^{-19} \\ -2053,5714 + 1639,392 \cdot i \\ -2053,5714 - 1639,392 \cdot i \end{bmatrix}$$

$$s1 := -1,3208 \cdot 10^{-19}$$

$$\tau 1 := \frac{1}{|s1|} = 7,5712 \cdot 10^{18}$$

$$s2 := -2053,5714 + 1639,392 \cdot i$$

$$\tau 2 := \frac{1}{|s2|} = 0,0004$$

$$s3 := -2053,5714 - 1639,392 \cdot i$$

$$\tau 3 := \frac{1}{|s3|} = 0,0004$$

Производная от D(s) по s:

$$Dd := \frac{d}{d\,s} D(s) = 2 \cdot \left(10000 \cdot \left(3500 + 3 \cdot (1250 + s) \right) + 3 \cdot \left(10000 + 7 \cdot (625 + s) \right) \cdot s \right) + 21 \cdot (1250 + s) \cdot s$$

$$s := s1$$

$$X1 := \frac{N}{Dd} \cdot \exp(s \cdot t) = \frac{109030089477130000 \cdot \exp\left(-\frac{1651 \cdot x}{12500000000000000000000} \right)}{484578175453915}$$

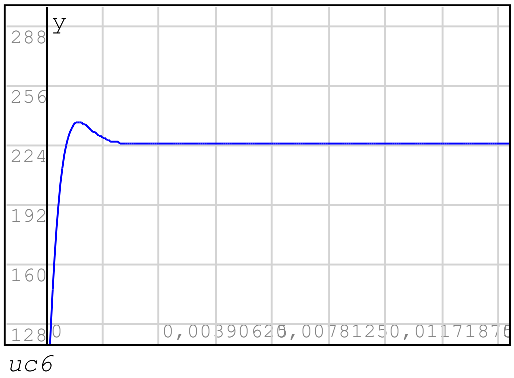
$$s := s2$$

$$X2 := \frac{N}{Dd} \cdot \exp(s \cdot t)$$

$$s := s3$$

$$X3 := \frac{N}{Dd} \cdot \exp(s \cdot t)$$

$uc6 := X1 + X2 + X3$ $\qquad s := x$



Результаты моделирование в LTspice:

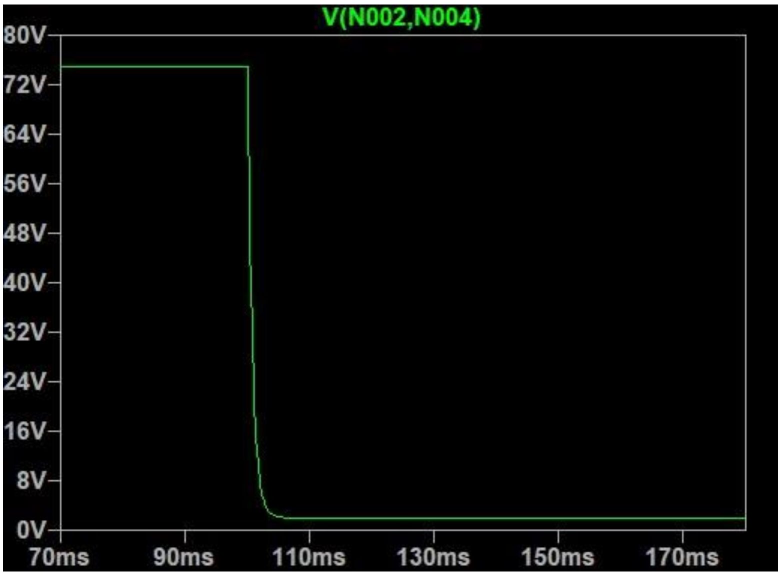


Рисунок 3. Зависимость uR3(t)

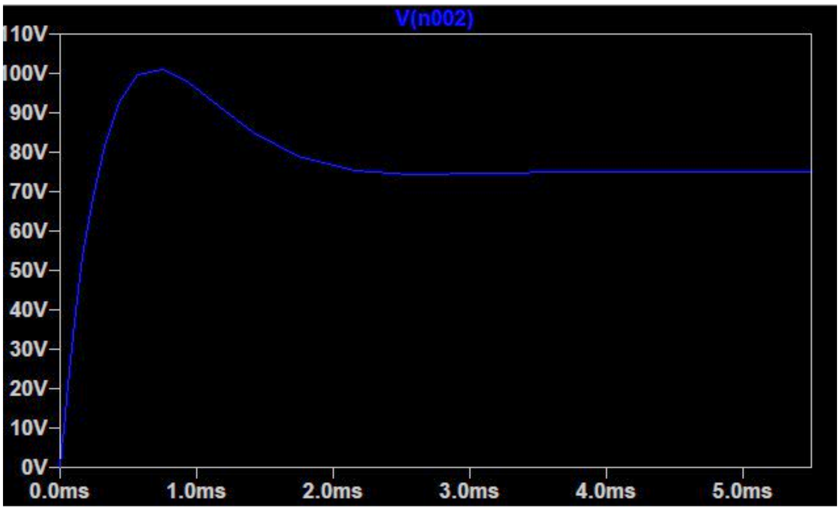


Рисунок 4. Зависимость uc(t)

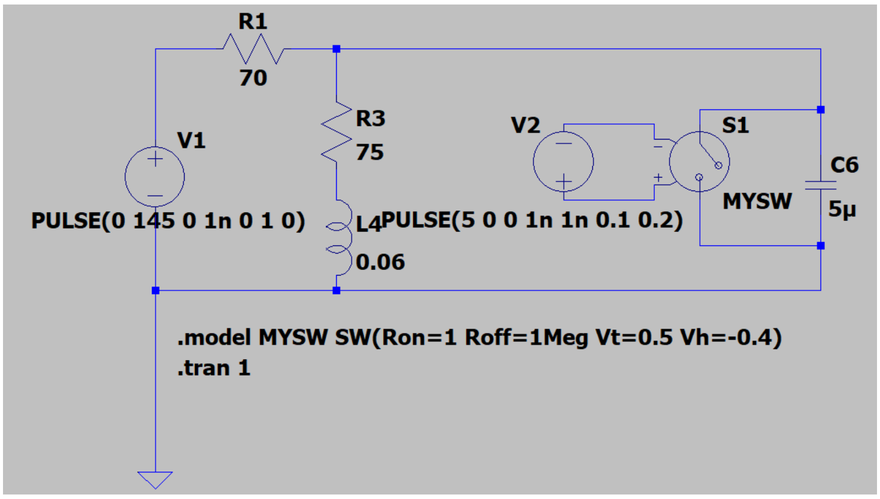


Рисунок 5. Схема цепи в LTspice

Вывод: в процессе выполнения расчетной работы №3 был рассмотрен переходный процесс цепи второго порядка, были построены графики зависимости напряжения от времени на конденсаторе(C6) и резисторе(R3). Также был освоен операторный метод для нахождения тока и напряжения при переходном процессе второго порядка.