

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 №2:**

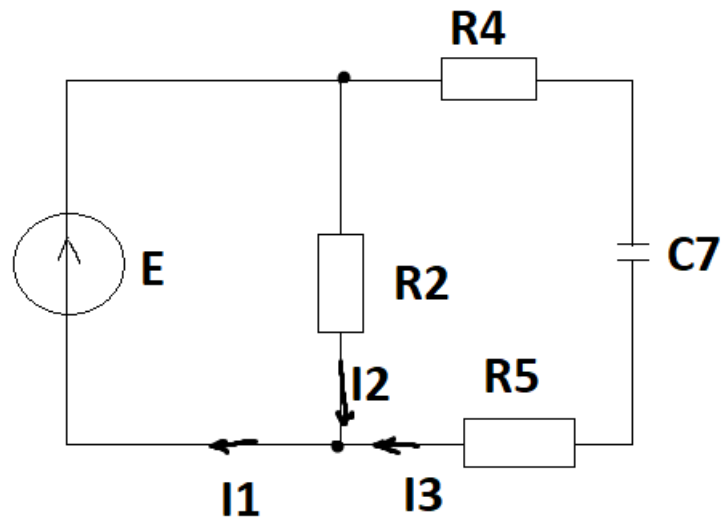
**Задание №4**

по дисциплине Электротехника

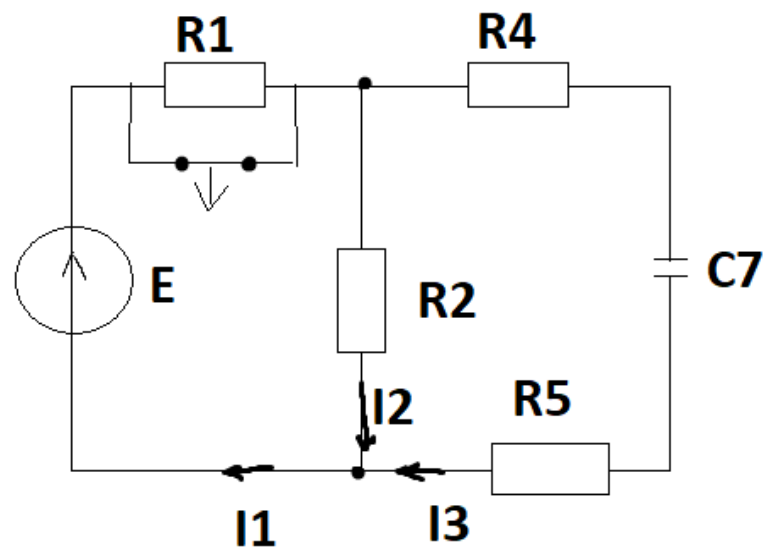
Вариант №12

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

**Дано:**



*1. Схема до размыкания*



*2. Схема после размыкания*

**Задание:** выполнить анализ переходного процесса в цепи первого порядка. Схема цепи изображена на рис.2. Начальные условия ненулевые, их можно определить с помощью рис. 1., до коммутации ключ был замкнут.

**Дано:**  $E=160$ ;  $R_1=R_2=R_4=R_5=1300$ ;  
 $C_7=6 \cdot 10^{-6}$

**Определить:**  $u_2(t)$ ,  $i_3(t)$

## Расчетная работа №2

## Задание №4

Дано:  $R := 1300$   $R1 := R$   $R2 := R$   $R4 := R$   $R5 := R$   $C7 := 6 \cdot 10^{-6}$   $E := 160$

Ключ расположен параллельно R1, в замкнутом положении

Искомые величины:  $u_2(t)$ ,  $i_3(t)$

## Решение:

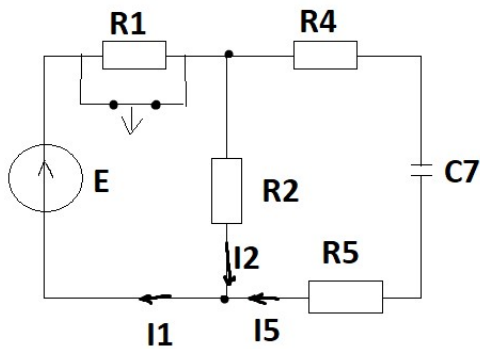
Для начала определим начальные условия:

$$I0 := \frac{E}{R} = 0,1231$$

$$UC0 := I0 \cdot R2 = 160$$

После работаем со схемой после размыкания.  
Составим уравнения Киргхофа.

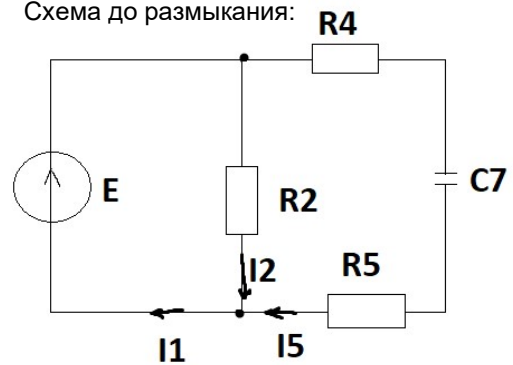
Схема после размыкания:



$$i1 = \frac{(E - i2 \cdot R2)}{R1} \quad i1 = \frac{E}{R} - i2$$

$$i1 = \frac{E}{R} - \left( 2 \cdot i5 + \frac{uc}{R} \right)$$

Схема до размыкания:



$$i1 - i2 - i5 = 0$$

$$i1 \cdot R1 + i2 \cdot R2 = E$$

$$i5 \cdot (R5 + R4) - i2 \cdot R2 + uc = 0$$

$$i5 = C7 \cdot \frac{d}{dt} uc$$

$$i2 = \frac{(i5 \cdot (R5 + R4) + uc)}{R2}$$

$$i2 = \frac{(i5 \cdot (2 \cdot R) + uc)}{R}$$

$$\frac{(i5 \cdot (2 \cdot R) - uc)}{R} = \left( 2 \cdot i5 + \frac{uc}{R} \right)$$

Подставляем формулы  $i1, i2$  первое уравнение Киргхофа:  $i1 - i2 - i5 = 0$

$$\frac{E}{R} - 2 \cdot i5 - \frac{uc}{R} - \left( 2 \cdot i5 + \frac{uc}{R} \right) - i5 = 0 \quad \text{Дальше приведем подобные:} \quad \frac{E}{R} = 5 \cdot i5 + \frac{2 \cdot uc}{R}$$

$$E = 5 \cdot i5 \cdot R + 2 \cdot uc$$

Дифференциально уравнение первого порядка:  $E = 5 \cdot C7 \cdot \frac{d}{dt} uc \cdot R + 2 \cdot uc$

Дальше найдем частное решение:

По схеме:

$$I_{пр} := \frac{E}{2 \cdot R}$$

$$U_{пр} := I_{пр} \cdot R = 80$$

По диффуру:

$$E = 5 \cdot C7 \cdot \frac{d}{dt} uc \cdot R + 2 \cdot uc$$

$$uc := \frac{E}{2} = 80$$

$$2 \cdot uc = E$$

## Общее решение:

$$E = 5 \cdot C7 \cdot \frac{d}{dt} u_c \cdot R + 2 \cdot u_c$$

$$5 \cdot C7 \cdot \frac{d}{dt} u_c \cdot R + 2 \cdot u_c = 0$$

Характеристическое уравнение:

$$5 \cdot C7 \cdot p \cdot R + 2 = 0$$

Корень уравнения:

$$p := -\frac{2}{5 \cdot C7 \cdot R} = -51,2821$$

Постоянная времени:

$$\tau := \frac{1}{|p|} = 0,0195$$

Переходной процесс завершиться через время равное:

$$5 \cdot \tau = 0,0975$$

$$u_c(t) := U_{пр} + A \cdot \exp(p \cdot t)$$

Находим А при начальных условиях:

$$u_c(0) = U_{c0} + A \cdot 1$$

$$A := U_{пр} - U_{c0} = -80$$

$$u_c := (U_{пр} + A \cdot \exp(p \cdot t)) = 80 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) \right)$$

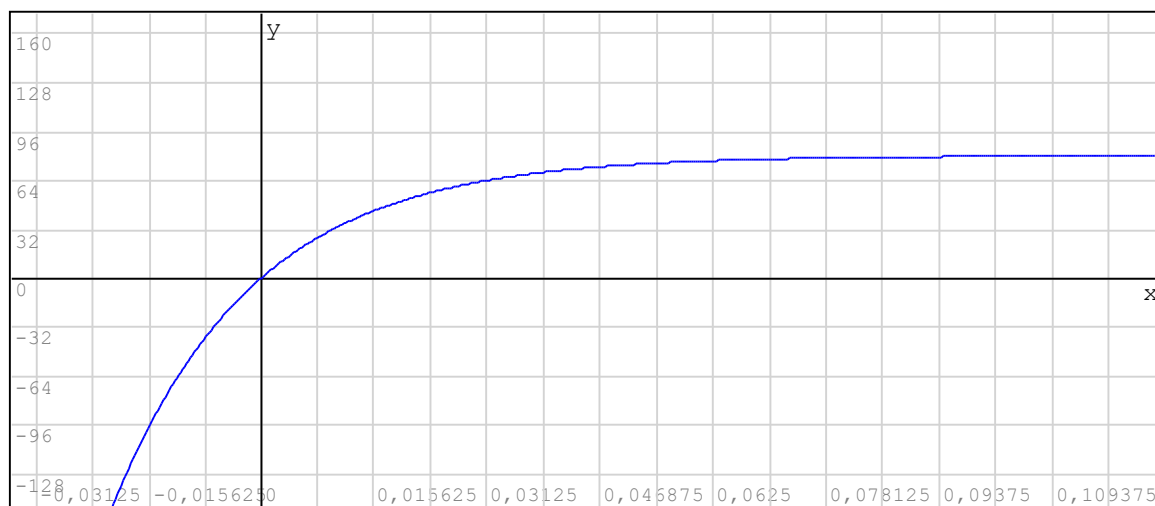
$$i5 := C7 \cdot \frac{d}{dt} u_c = \frac{8 \cdot \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right)}{325}$$

$$i2 := 2 \cdot i5 + \frac{u_c}{R} = \frac{4 \cdot \left( 4 \cdot \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) + 5 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) \right) \right)}{325}$$

$$i3 := i2 = \frac{4 \cdot \left( 4 \cdot \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) + 5 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) \right) \right)}{325}$$

$$u2 := i2 \cdot R2 = 16 \cdot \left( 4 \cdot \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) + 5 \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2000 \cdot t}{39}\right) \right) \right)$$

$$t := x$$



u\_c

## Операторный метод

$$U_{c0} := I_0 \cdot R_2 = 160$$

$$I_1(p) - I_2(p) - I_5(p) = 0$$

$$I_1(p) \cdot R_1 + I_2(p) \cdot R_2 = \frac{E}{p}$$

$$I_5(p) \cdot (R_5 + R_4) - I_2(p) \cdot R_2 + I_5(p) \cdot \frac{1}{p \cdot C_7} = -\frac{U_{c0}}{p}$$

$$p := s$$

$$X := \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 \\ R_1 & R_2 & 0 \\ 0 & -R_2 & 2 \cdot R + \frac{1}{p \cdot C_7} \end{bmatrix} \quad Y := \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{E}{p} \\ -\frac{U_{c0}}{p} \end{bmatrix}$$

$$\Delta_5 := \begin{vmatrix} 1 & -1 & 0 \\ R_1 & R_2 & \frac{E}{p} \\ 0 & -R_2 & -\frac{U_{c0}}{p} \end{vmatrix} = -\frac{208000}{s}$$

$$\Delta := |X| = \frac{130000 \cdot (4 \cdot (2500 + 39 \cdot s) + 39 \cdot s)}{3 \cdot s}$$

$$I_5 := \frac{\Delta_5}{\Delta} = -\frac{24}{5 \cdot (4 \cdot (2500 + 39 \cdot s) + 39 \cdot s)}$$

$$U_{c7} := I_5 \cdot \frac{1}{s \cdot C_7} + \frac{U_{c0}}{p} = \frac{160 \cdot (4 \cdot (2500 + 39 \cdot s) + 39 \cdot s - 5000)}{s \cdot (4 \cdot (2500 + 39 \cdot s) + 39 \cdot s)}$$

$$D := s \cdot (10000 + 195 \cdot s)$$

$$s_0 := 0 \quad s_1 := -\frac{10000}{195} = -51,2821$$

$$Dd := \frac{d}{ds} D = 10 \cdot (1000 + 39 \cdot s)$$

$$s := s_0$$

$$W_1 := \frac{N}{Dd} \cdot \exp(s \cdot t)$$

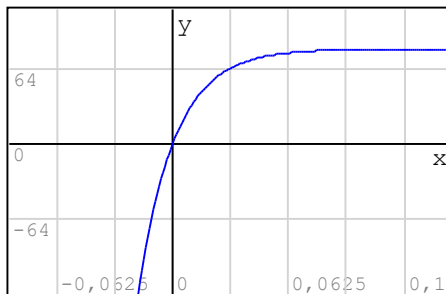
$$N := 160 \cdot (4 \cdot (2500 + 39 \cdot s) + 39 \cdot s - 5000)$$

$$s := s_1$$

$$W_2 := \frac{N}{Dd} \cdot \exp(s \cdot t)$$

$$u_{c7} := W_1 + W_2$$

$$I_5 := \frac{\Delta_5}{\Delta} = -\frac{24}{5 \cdot (4 \cdot (2500 + 39 \cdot s) + 39 \cdot s)}$$



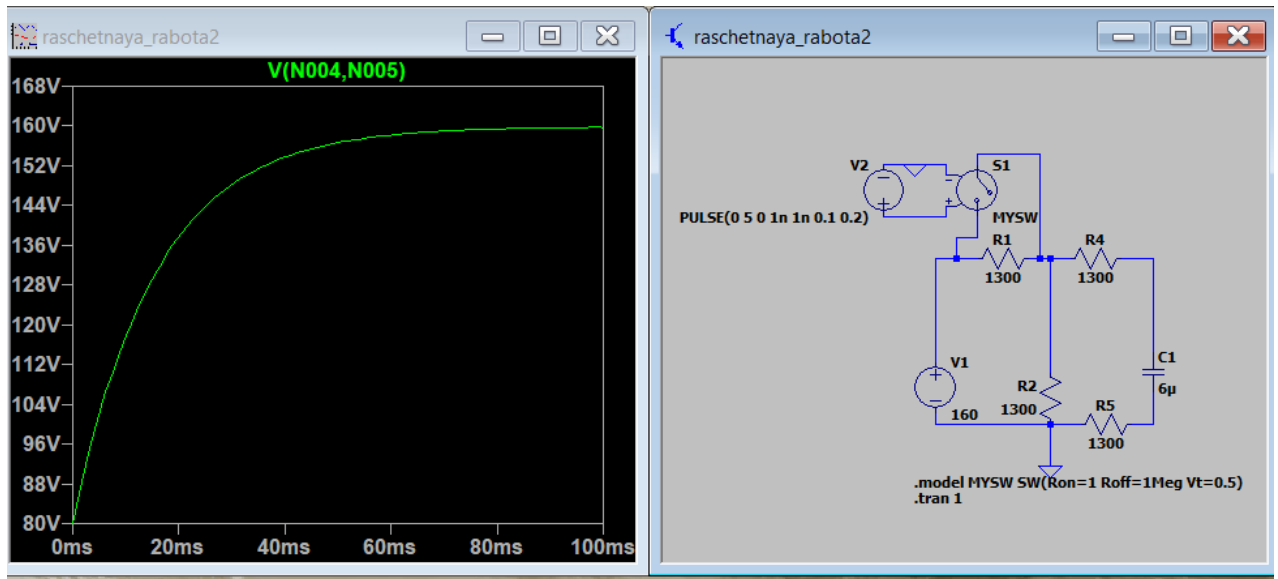
$u_{c7}$

$$N := 24 \quad D := 50000 + 975 \cdot s$$

$$Dd := \frac{d}{ds} D = 0 \quad s := -\frac{50000}{975} = -51,2821$$

$$i_5 := \frac{N}{Dd} \cdot \exp(s \cdot t) = \frac{8 \cdot \exp\left(-\frac{2000 \cdot x}{39}\right)}{325}$$

## Результаты моделирование в LTspice:



**Вывод:** в процессе выполнения расчетной работы №2 был рассмотрен переходный процесс, был построен график зависимости напряжения от времени на конденсаторе, освоен классический и операторный метод. С помощью изученных методов были найдены следующие значения:

$$i_3 := i_2 = \frac{4 \cdot \left( 4 \cdot \exp \left( -\frac{2000 \cdot t}{39} \right) + 5 \cdot \left( 1 - \exp \left( -\frac{2000 \cdot t}{39} \right) \right) \right)}{325}$$

$$u_2 := i_2 \cdot R_2 = 16 \cdot \left( 4 \cdot \exp \left( -\frac{2000 \cdot t}{39} \right) + 5 \cdot \left( 1 - \exp \left( -\frac{2000 \cdot t}{39} \right) \right) \right)$$