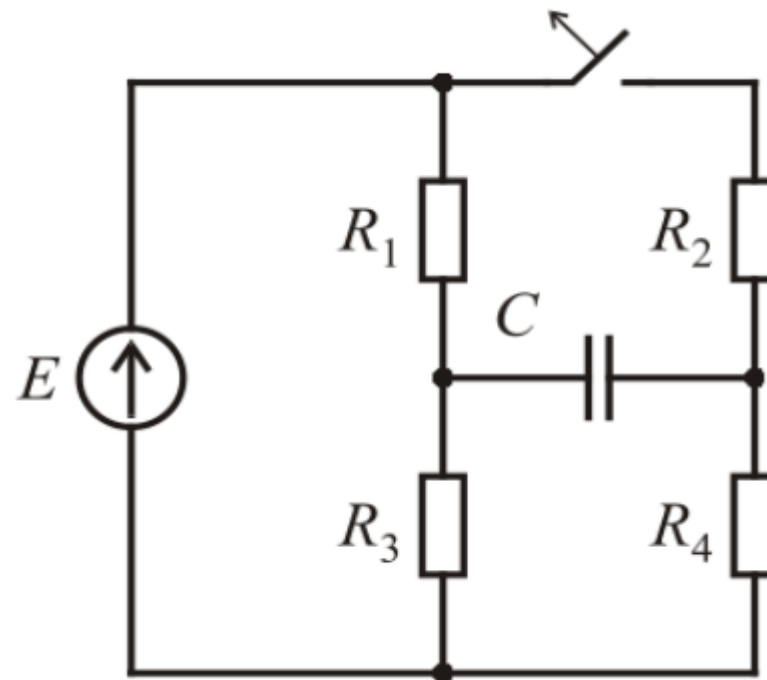


Расчет переходных процессов

1 Цепи первого порядка

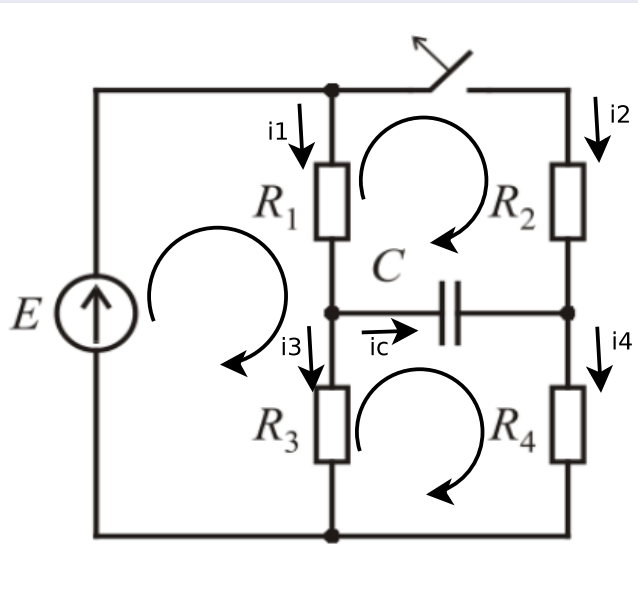
Пример 1

Рассчитать напряжение на конденсаторе до размыкания ключа и после размыкания ключа: $E = 25 \text{ В}$, $R_1 = R_4 = 15 \text{ кОм}$, $R_2 = R_3 = 10 \text{ кОм}$, $C = 0.25 \text{ мкФ}$



Пример 1

Расчет до размыкания ключа



Запишем основные уравнения:

$$i_1 R_1 + i_3 R_3 = E \quad (1)$$

$$i_2 R_2 + i_4 R_4 = E \quad (2)$$

$$i_2 R_2 - u_c - i_1 R_1 = 0 \quad (3)$$

$$i_4 R_4 + u_c - i_3 R_3 = 0 \quad (4)$$

$$i_c = C \frac{du_c}{dt} \quad (5)$$

$$i_1 = i_c + i_3 \quad (6)$$

$$i_c + i_2 = i_4 \quad (7)$$

$$(2): i_4 = (E - i_2 R_2) / R_4$$

$$(7): i_c + i_2 = (E - i_2 R_2) / R_4 \Rightarrow i_2 = \frac{E - i_c R_4}{R_2 + R_4}$$

$$(1): i_3 = (E - i_1 R_1) / R_3$$

$$(6): i_c + (E - i_1 R_1) / R_3 = i_1 \Rightarrow i_1 = \frac{E + i_c R_3}{R_1 + R_3}$$

Пример 1

Расчет до размыкания ключа

Подставим полученные выражения для токов в уравнение (3):

$$R_2 \cdot \frac{E - i_c R_4}{R_2 + R_4} - u_c - R_1 \cdot \frac{E + i_c R_3}{R_1 + R_3} = 0$$

$$\frac{ER_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \cdot C \cdot \frac{du_c}{dt} - u_c - \frac{ER_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \cdot C \frac{du_c}{dt} = 0$$

$$C \cdot \left(\frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = E \left(\frac{R_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_3} \right)$$

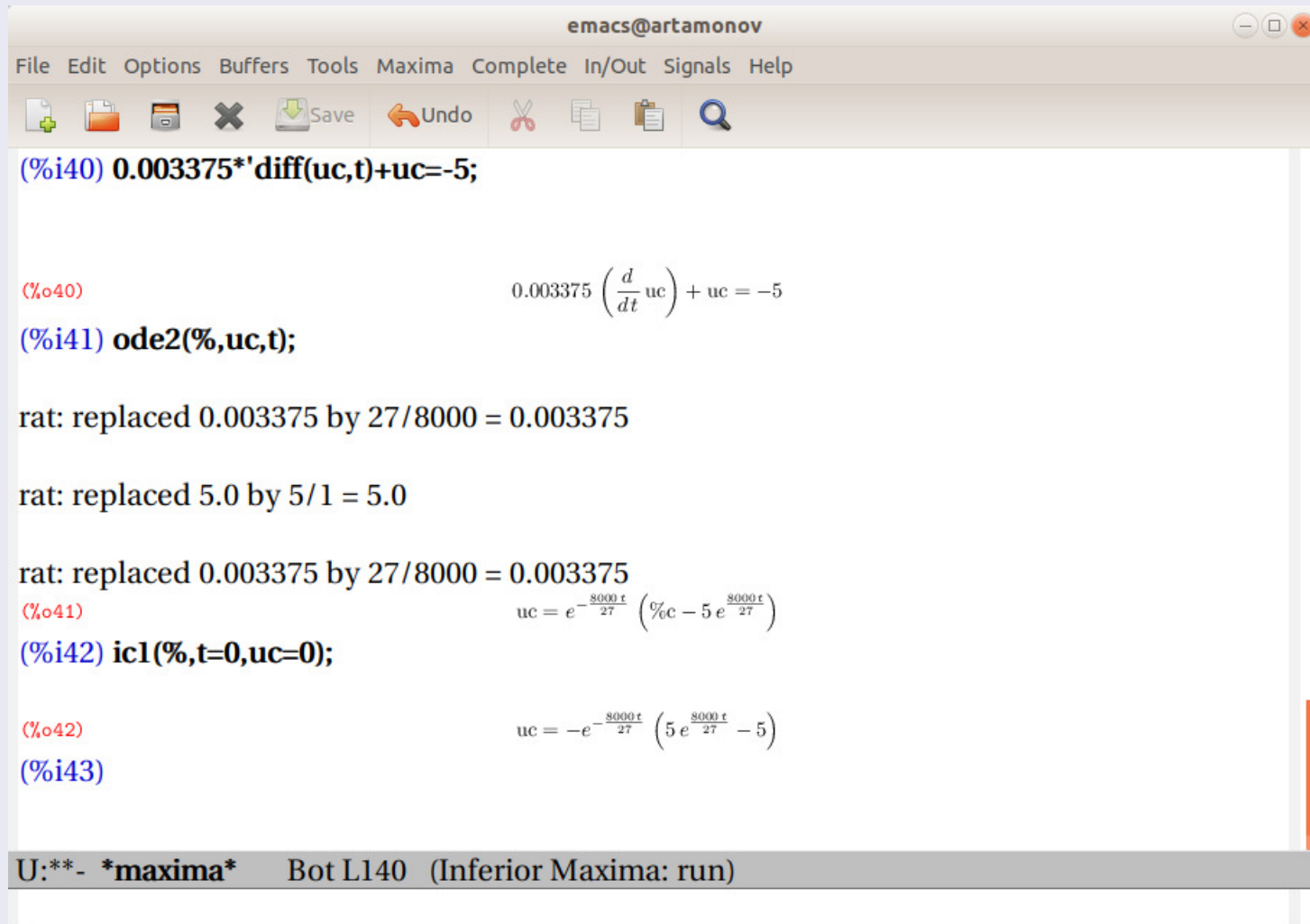
Подставим численные значения:

$$0.003375 \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = -5$$

Пример 1

Расчет до размыкания ключа

Решаем полученное уравнение в maxima: $u_c(t) = -5 \cdot \left(1 - e^{-\frac{8000}{27}t}\right)$



```
emacs@artamonov
File Edit Options Buffers Tools Maxima Complete In/Out Signals Help
[Icons: New, Open, Save, Close, Save As, Undo, Cut, Copy, Paste, Find]

(%i40) 0.003375*'diff(uc,t)+uc=-5;

(%o40)
0.003375  $\left(\frac{d}{dt}uc\right) + uc = -5$ 

(%i41) ode2(%,uc,t);

rat: replaced 0.003375 by 27/8000 = 0.003375
rat: replaced 5.0 by 5/1 = 5.0
rat: replaced 0.003375 by 27/8000 = 0.003375
(%o41)
uc =  $e^{-\frac{8000}{27}t} \left( \%c - 5 e^{\frac{8000}{27}t} \right)$ 

(%i42) ic1(%,t=0,uc=0);

(%o42)
uc =  $-e^{-\frac{8000}{27}t} \left( 5 e^{\frac{8000}{27}t} - 5 \right)$ 

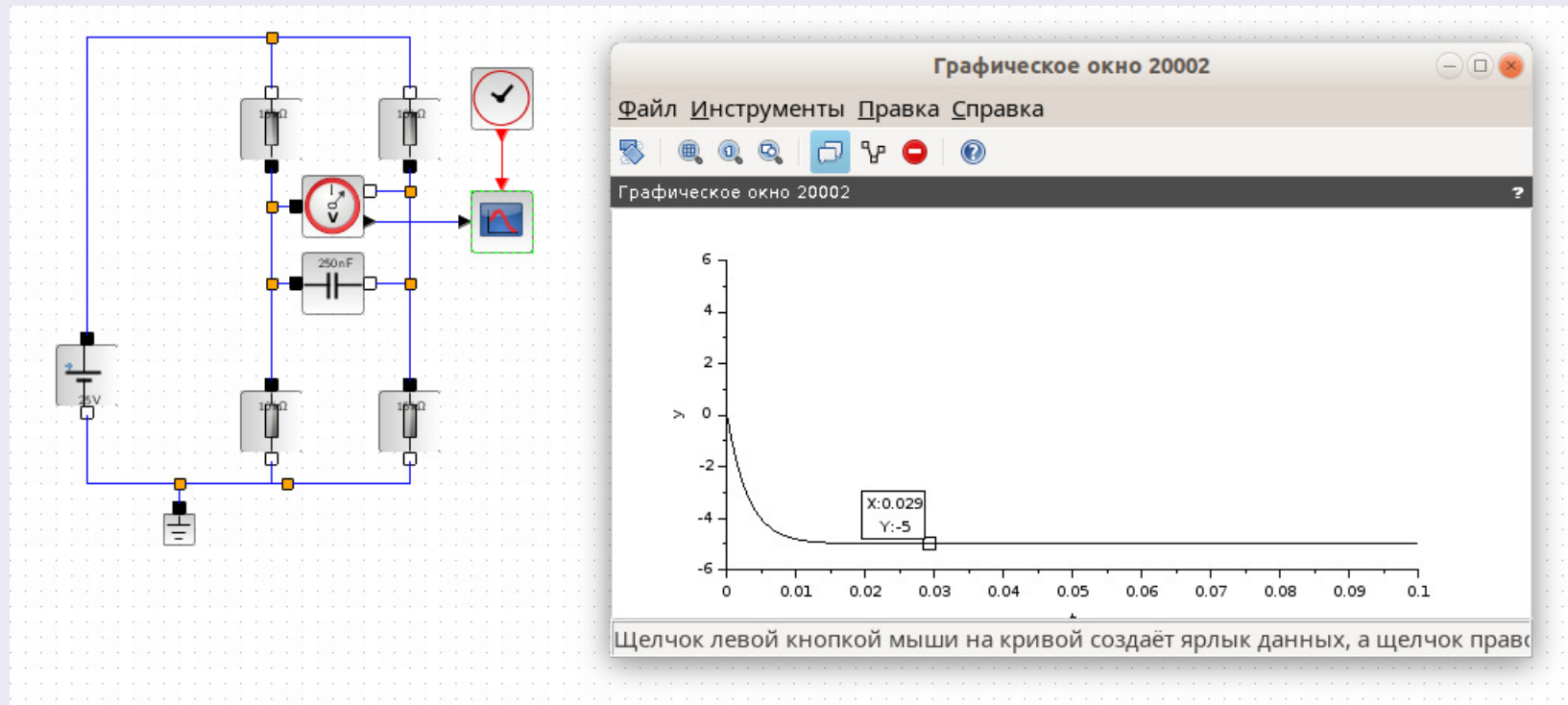
(%i43)

U:**- *maxima* Bot L140 (Inferior Maxima: run)
```

Пример 1

Расчет до размыкания ключа

Проведем моделирование в scilab:



Пример 1

Расчет после размыкания ключа

Как видно из рисунка предыдущего слайда, через 0.03 секунды переходный процесс полностью завершится и напряжение на конденсаторе станет равно -5 В. Исходя из этих начальных условий, выполним расчеты при замыкании ключа.

Заметим, что для получения уравнений можно воспользоваться уже полученным соотношением:

$$C \cdot \left(\frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = E \left(\frac{R_2}{R_2 + R_4} - \frac{R_1}{R_1 + R_3} \right)$$

устремив в нем $R_2 \rightarrow \infty$.

Имеем: $R_2 \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} \rightarrow R_4, \frac{R_2}{R_2 + R_4} \rightarrow 1, 1 - \frac{R_1}{R_1 + R_3} = \frac{R_3}{R_1 + R_3}$

Окончательно получаем:

$$C \cdot \left(R_4 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} \right) \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = E \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3}$$

Подставим численные значения и найдем решение полученного дифференциального уравнения первого порядка:

$$0.00525 \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = 10$$

Пример 1

Расчет после размыкания ключа

$$0.00525 \cdot \frac{du_c}{dt} + u_c = 10$$

$$0.00525 \cdot \frac{du_c}{dt} = 10 - u_c$$

$$\int_{-5}^{u_c} \frac{du_c}{10 - u_c} = \frac{1}{0.00525} \cdot \int_{0.03}^t dt$$

$$\ln |10 - u_c| \Big|_{-5}^{u_c} = -\frac{1}{0.00525} \cdot (t - 0.03)$$

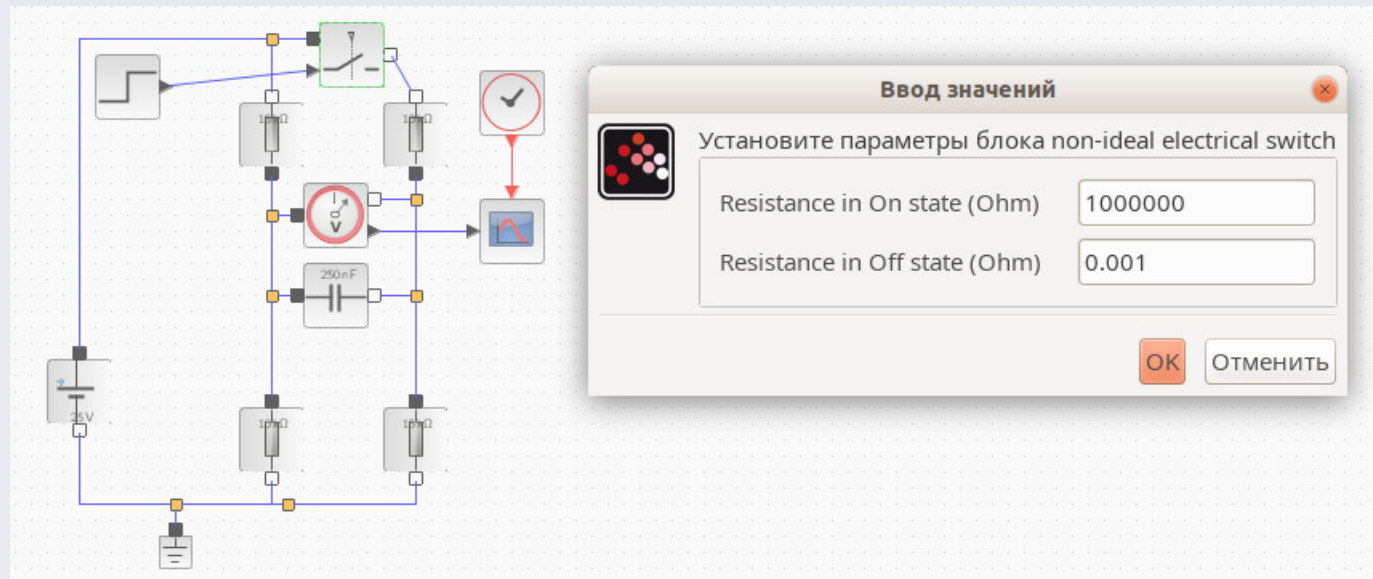
$$\frac{10 - u_c}{10 + 5} = e^{-\frac{1}{0.00525} \cdot (t - 0.03)}$$

$$u_c(t) = 10 - 15 \cdot e^{-\frac{1}{0.00525} \cdot (t - 0.03)}$$

Пример 1

Расчет после размыкания ключа

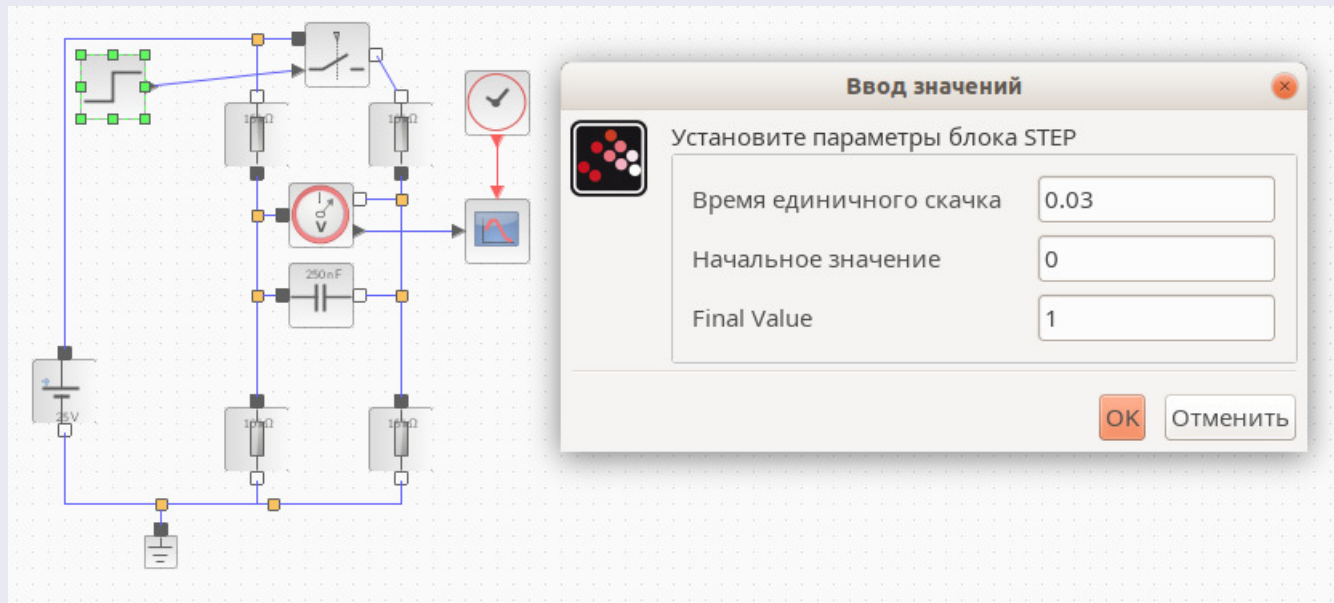
Проведем моделирование работы схемы: настроим параметры нормально замкнутого ключа:



Пример 1

Расчет после размыкания ключа

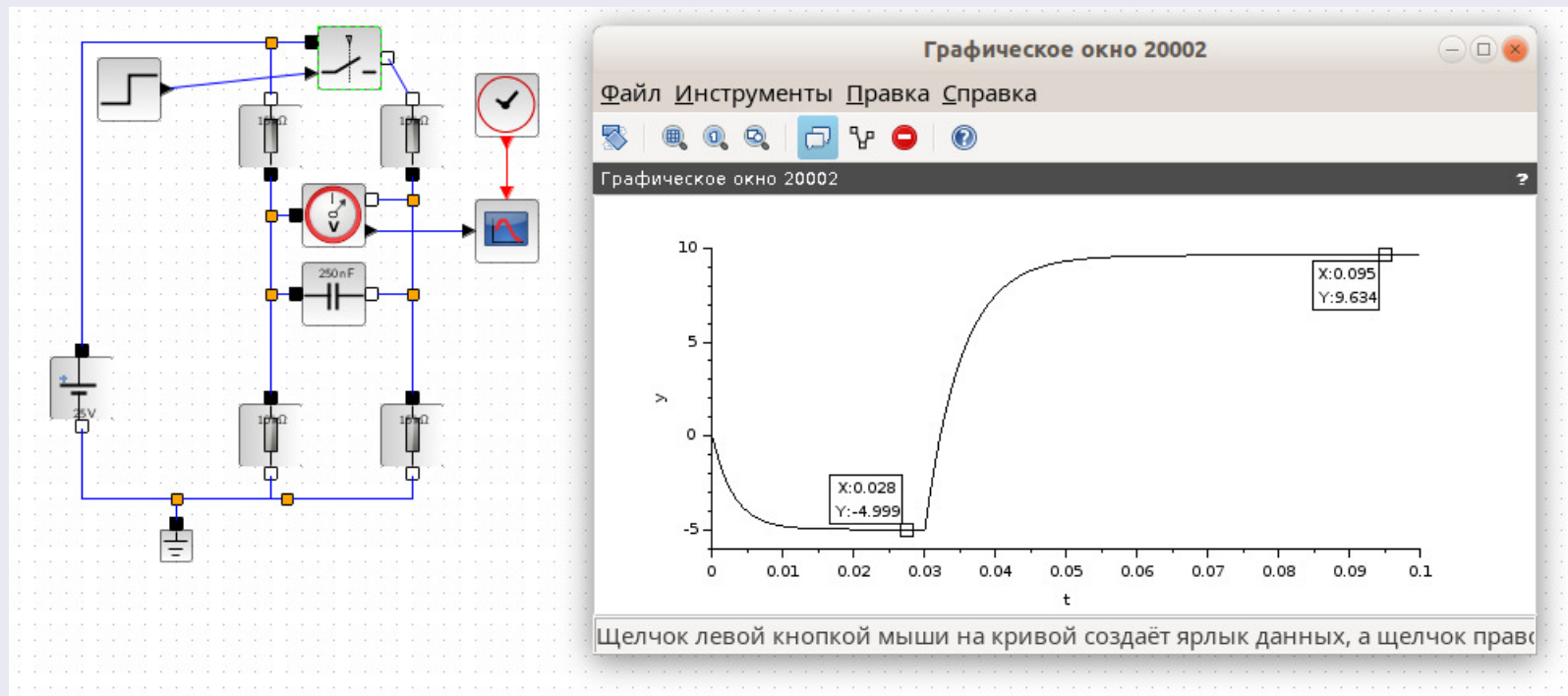
Настраиваем параметры задержки:



Пример 1

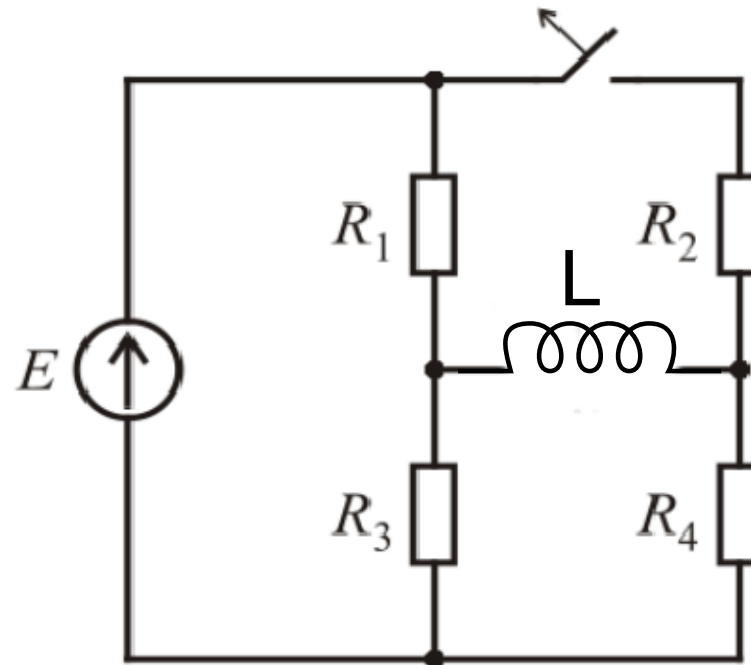
Расчет после размыкания ключа

Моделирование:



Пример 2

Найти ток в катушке при размыкании ключа. Параметры схемы аналогичны примеру 1, $L = 0.01$ Гн.



Пример 3

Задача В цепи, показанной на рис. 1, рассчитать закон изменения напряжения $u_{\text{вых}}(t)$. Построить график. $E = 12 \text{ В}$, $R_1 = 500 \text{ Ом}$, $R_2 = R_3 = 1 \text{ кОм}$, $C = 0,25 \text{ мкФ}$.

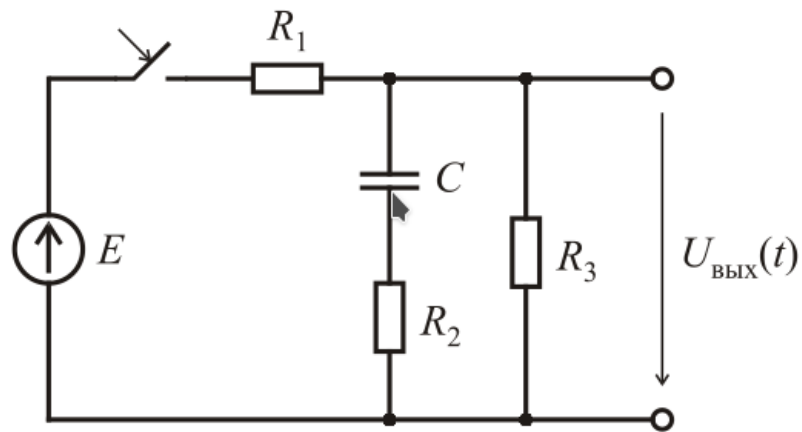


Рис. 1

Пример 4

Задача Рассчитать ток в резисторе R_2 после замыкания ключа.
Построить график. $E = 20\text{ В}$, $R_1 = 200\text{ Ом}$, $R_2 = 300\text{ Ом}$, $R_3 = 600\text{ Ом}$, $L = 0,4\text{ Гн}$.

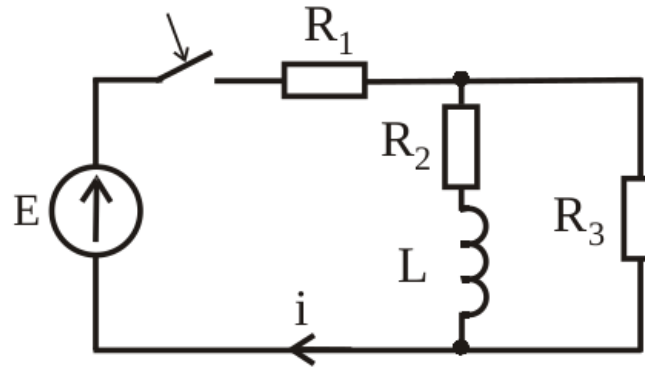


Рис. 2