

# Расчёт переходного процесса в линейной электрической цепи

## 1. Схема цепи и параметры элементов

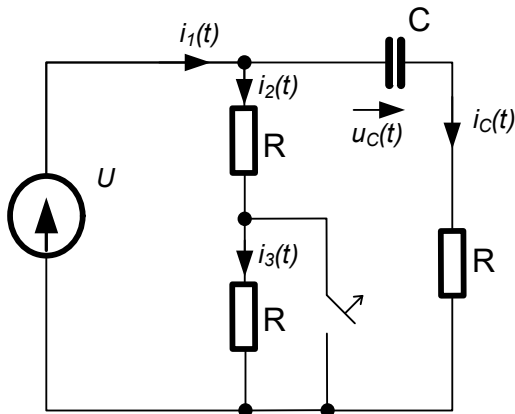


Рис. 1

$$\begin{aligned} R &:= 6 \quad \text{Ом} \\ U &:= 120 \quad \text{В} \\ C &:= 10 \cdot 10^{-6} \quad \text{Ф} \end{aligned}$$

Найти: все  $i(t)$ ,  $u_C(t)$   
классическим и операторным методом,  
построить графики.

## 2. Расчет переходного процесса классическим методом

### 2.1. Определение независимых начальных условий $U_C(0)$

Рассчитываем цепь до замыкания ключа и определяем напряжение на ёмкости до коммутации. Учитываем что в цепи установившийся режим (токи и напряжения постоянны).

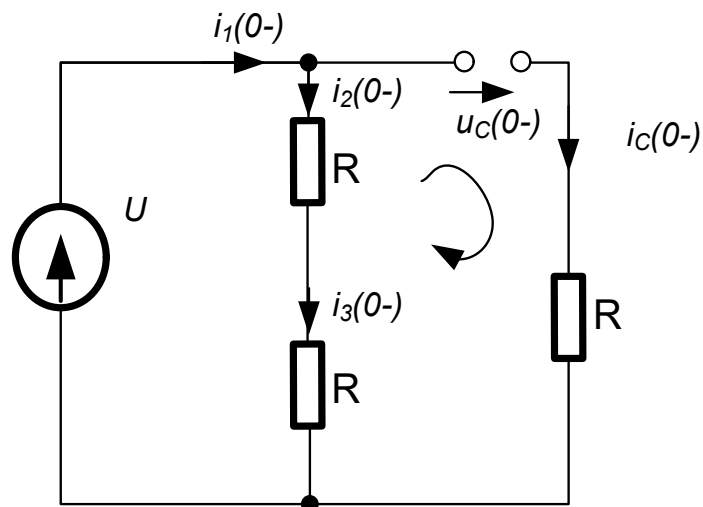


Рис. 2

Следовательно, по первому и второму законам Кирхгофа:

$$i_{C0\_} := 0 \quad (\text{разрыв в ветви})$$

$$U_{C0\_} + i_{C0\_} \cdot R = U$$

$$U_{C0\_} = U - i_{C0\_} \cdot R$$

$$U_{C0\_} := U - i_{C0\_} \cdot R$$

$$U_{C0\_} = 120 \quad \text{В}$$

На основании законов коммутации определяем независимые начальные условия.

$$U_{C0} := U_{C0\_} = 120 \quad \text{В}$$

## 2.2. Определение зависимых начальных условий $i_{l0}, i_{20}, i_{30}, i_{c0}$

Рассчитываем цепь после замыкания ключа и определяем токи цепи.

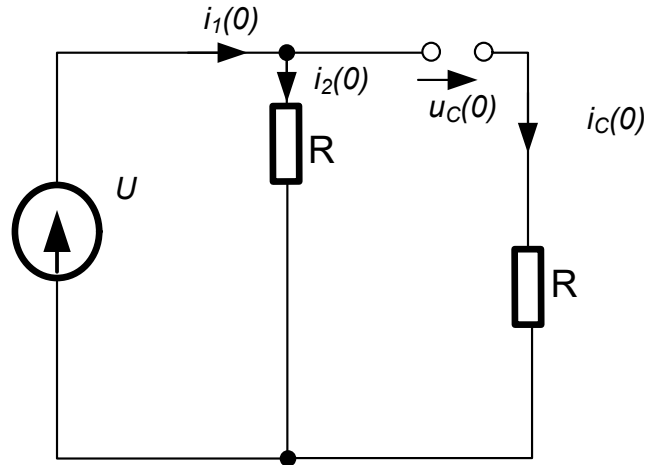


Рис. 3

$$U_{c0} + i_{c0} \cdot R = U$$

$$i_{c0} \cdot R = U - U_{c0} = 120 - 120 = 0 \quad i_{c0} := 0$$

$$i_{20} := \frac{U}{R} \rightarrow \frac{120}{6} = 20 \text{ A} \quad i_{l0} := i_{20} = 20 \text{ A}$$

## 2.3. Определение установившихся составляющих тока.

Рассчитываем цепь после замыкания ключа и определяем токи цепи для нового энергетического состояния в установившемся режиме.

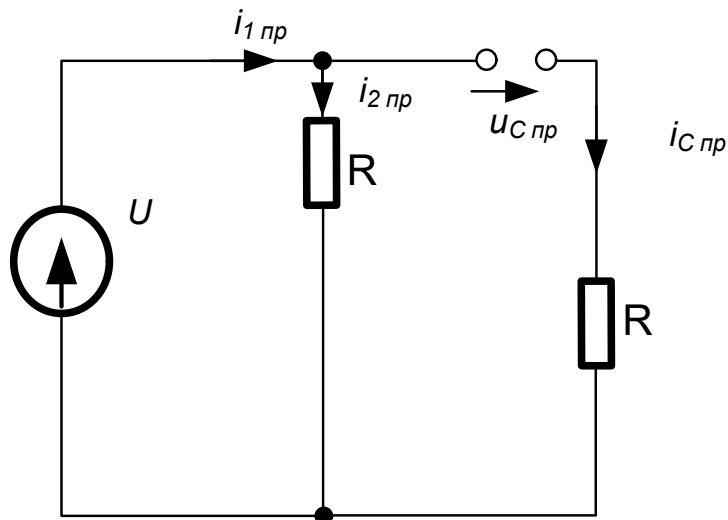


Рис. 4

По первому и второму закону Кирхгофа, считая емкость разрывом:

$$i_{lnp} = i_{2np} = \frac{U}{R}$$

$$I_{lnp} := \frac{U}{R} \rightarrow \frac{120}{6} = 20 \text{ A} \quad I_{2np} := I_{lnp} = 20 \text{ A}$$

$$I_{cnp} := 0$$

$$U_{cnp} := U - I_{cnp} \cdot R$$

$$U_{cnp} = 120 \text{ B}$$

## 2.4. Характеристическое уравнение и его корни

Характеристическое уравнение можно получить, используя любой метод расчёта эл.цепей ( на основании законов Кирхгофа, контурных токов, узловых напряжений, эквивалентирования схемы к одному сопротивлению и .т. д.).

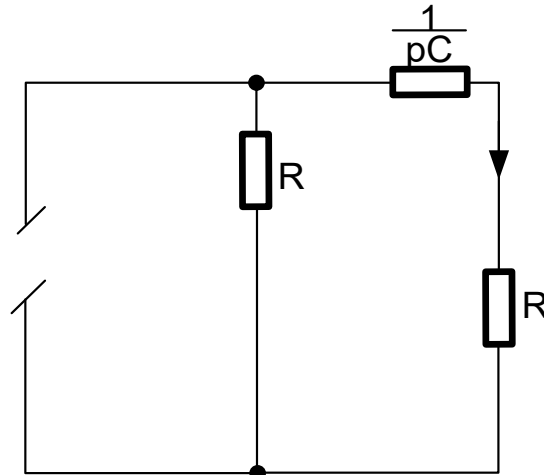


Рис. 5

Определим входное характеристическое сопротивление относительно любого из элементов цепи.

$$Z(p) = \frac{R \cdot \left( R + \frac{1}{p \cdot C} \right)}{R + \left( R + \frac{1}{p \cdot C} \right)} = 0$$

Подставим численные значения и представим в виде дроби.

$$\frac{R \cdot \left( R + \frac{1}{p \cdot C} \right)}{R + \left( R + \frac{1}{p \cdot C} \right)} \text{ collect} \rightarrow \frac{9 \cdot p + 150000}{3 \cdot p + 25000}$$

Решим уравнение.

$$\frac{9 \cdot p + 150000}{3 \cdot p + 25000} = 0 \text{ solve} \rightarrow -\frac{50000}{3} = -16666.7$$

$$p := -16666.7 \quad c^{-1}$$

Свободная составляющая токов и напряжений определяется следующими выражениями:

$$i1_{св}(t) = A1 \cdot e^{p1 \cdot t}$$

$$i_{св}(t) = A3 \cdot e^{p1 \cdot t}$$

$$i2_{св}(t) = A2 \cdot e^{p1 \cdot t}$$

$$u_{св}(t) = A4 \cdot e^{p1 \cdot t}$$

а выражения переходных характеристик:

$$i1(t) = I1_{np} + i1_{св}(t) = I1_{np} + A1 \cdot e^{p \cdot t}$$

$$i2(t) = I2_{np} + i2_{св}(t) = I2_{np} + A2 \cdot e^{p \cdot t}$$

$$ic(t) = Ic_{np} + ic_{св}(t) = Ic_{np} + A3 \cdot e^{p \cdot t}$$

$$uc(t) = Uc_{np} + uc_{св}(t) = Uc_{np} + A4 \cdot e^{p \cdot t}$$

## 2.4. Постоянные интегрирования

Постоянные интегрирования A1-A4 находятся из начальных условий, для момента времени  $t = 0$ , найденных в пунктах 2.1-2.2.

$$i1(0) = I1_{np} + A1 = 20$$

$$i2(0) = I2_{np} + A2 = 20$$

$$ic(0) = Ic_{np} + A3 = 0$$

$$uc(0) = Uc_{np} + A4 = 120$$

$$A1 = 20 - I1_{np} = 20 - 20 = 0$$

$$A2 = 20 - I2_{np} = 20 - 20 = 0$$

$$A3 = -Ic_{np} = 0$$

$$A4 = 120 - Uc_{np} = 120 - 120 = 0$$

## 2.5. Окончательное решение для искомых функций

$$i1(t) := 20 + 0 \cdot e^{-16666.7 \cdot t} \rightarrow 20$$

$$i2(t) := 20 + 0 \cdot e^{-16666.7 \cdot t} \rightarrow 20$$

$$ic(t) := 0 + 0 \cdot e^{-16666.7 \cdot t} \rightarrow 0$$

$$uc(t) := 120 + 0 \cdot e^{-16666.7 \cdot t} \rightarrow 120$$

$$T_{nn} := \frac{5}{|p|} = 0.0003 \text{ с}$$

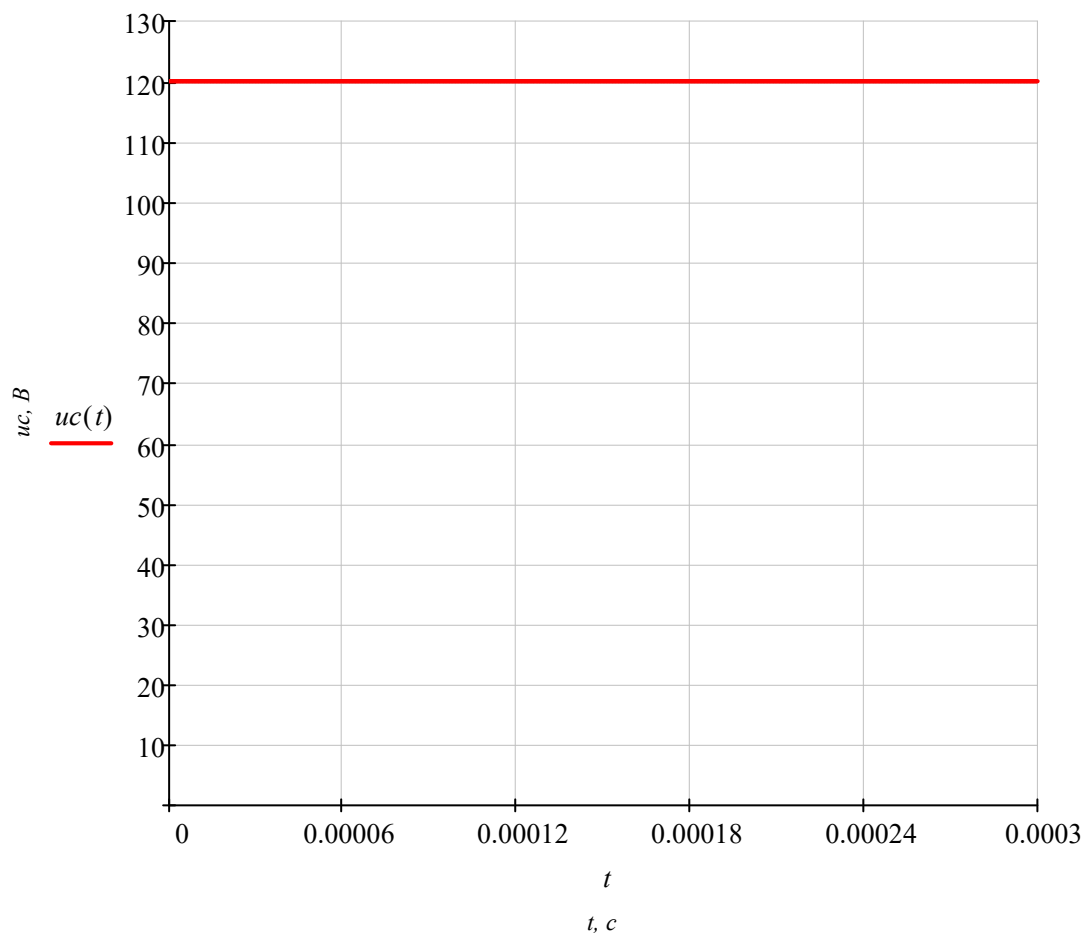


Рис. 6

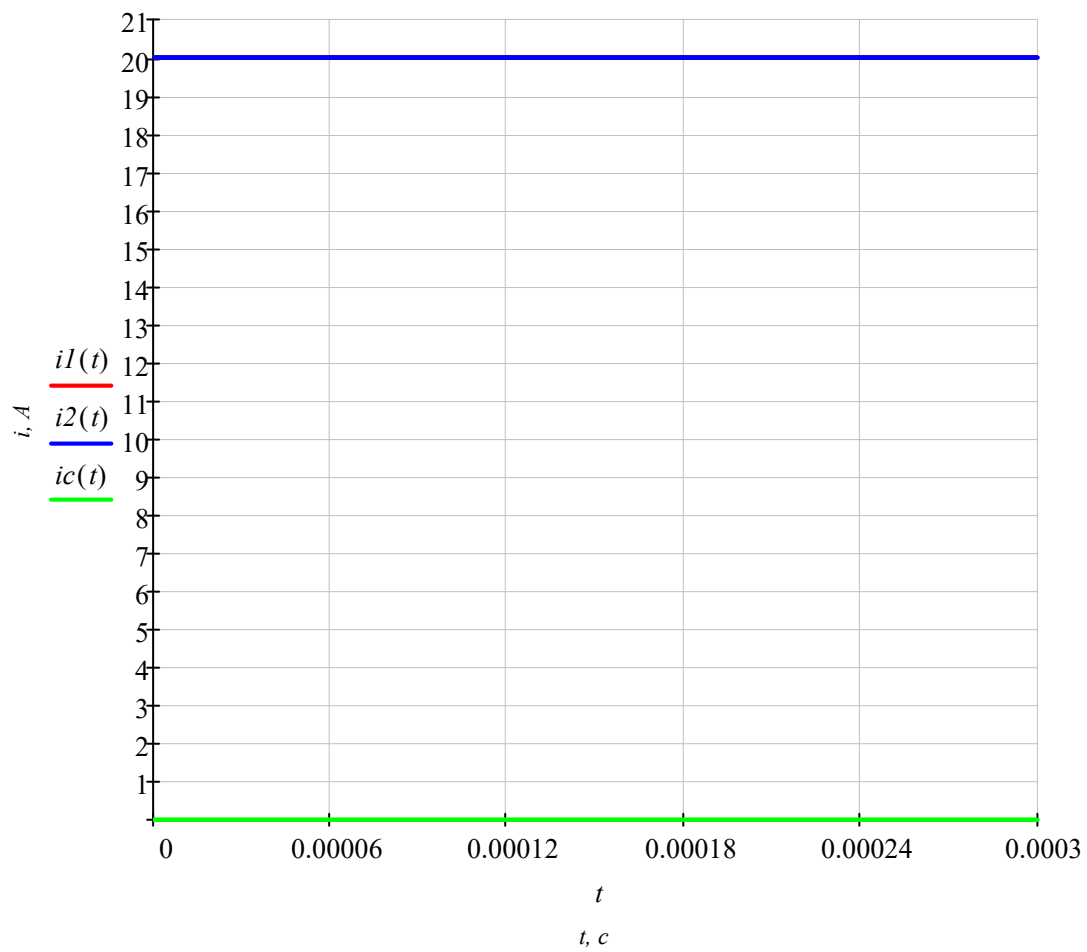


Рис. 7

### 3. Расчет переходного процесса операторным методом

#### 3.1. Операторная схема замещения

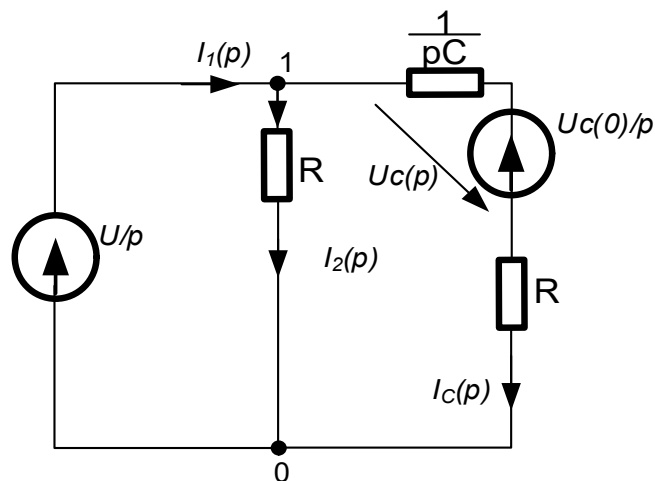


Рис. 8

#### 3.2. Независимые начальные условия

$$U_{C0} = 120 \quad B \quad p := p \quad (\text{для обнуления переменной})$$

#### 3.3. Определяем выражения токов ветвей и напряжения на конденсаторе.

$$I_2(p) := \frac{\frac{U}{p}}{R} \rightarrow \frac{20}{p}$$

$$I_C(p) := \frac{\frac{U}{p} - \frac{U_{C0}}{p}}{R + \frac{1}{p \cdot C}} \rightarrow 0$$

$$I_1(p) := I_2(p) + I_C(p) \rightarrow \frac{20}{p}$$

$$U_C(p) := I_C(p) \cdot \frac{1}{p \cdot C} + \frac{U_{C0}}{p} \rightarrow \frac{120}{p}$$

#### 3.4. Определяем оригиналы токов ветвей и напряжения на конденсаторе с помощью обратного преобразования Лапласа.

$$i_1(t) := I_1(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow 20$$

$$i_2(t) := I_2(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow 20$$

$$i_C(t) := I_C(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow 0$$

$$u_C(t) := U_C(p) \text{ invlaplace, } p \rightarrow 120$$

Выражения токов и напряжения на конденсаторе, определенные двумя методами одинаковые. Расчет верен.