

Расчет переходных процессов в ЭЦ постоянного тока первого порядка

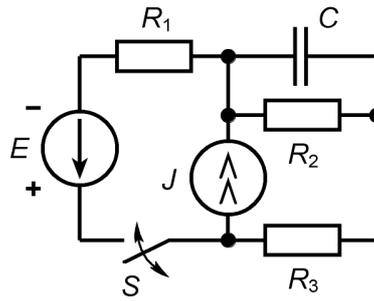


Схема X, вариант 3

Условия работы ключа: при $t < 0$ ключ S разомкнут. При $t \geq 0$ ключ замыкается на время $t = t_0$, а при $t \geq t_0$ размыкается. Определить законы изменения напряжений на всех резисторах цепи, изобразить сфазированные диаграммы переходных процессов на элементах цепи.

Исходные данные: $E = 12$ В; $J = 0,05$ А; $R_1 = 360$ Ом; $R_2 = 100$ Ом; $R_3 = 120$ Ом; $C = 3,6$ мкФ; $t_0 = 700$ мкс.

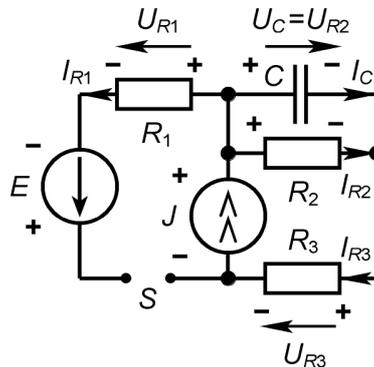
Используя соответствующие операторы, **перенести исходные данные в программу MathCad:**

$E := 12$ [В]; $J := 0.05$ [А]; $R_1 := 360$ [Ом]; $R_2 := 100$ [Ом]; $R_3 := 120$ Ом; $C := 3.6 \cdot 10^{-6}$ [Ф]; $t_0 := 700 \cdot 10^{-6}$ [с].

Задать шаг, с которым будут определяться параметры при расчете п/п: $t := 0, \frac{t_0}{50} \dots t_0$;

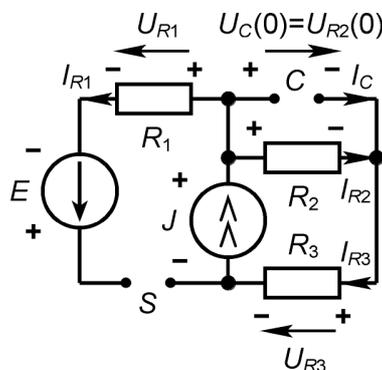
I переходный процесс (п/п)

1. Схема до коммутации



Подготовить схему для анализа: ввести все необходимые обозначения и выбрать положительные направления токов и напряжений (с учетом физики работы цепи!).

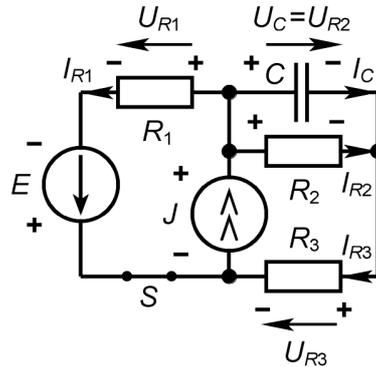
Используя метод наложения (суперпозиции) и схему замещения для установившегося режима цепи до коммутации, **определить** независимые начальные условия (ННУ):



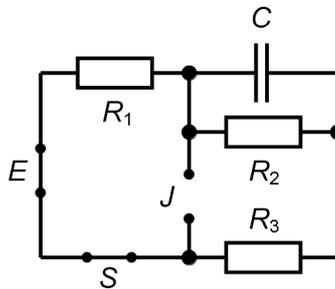
$U_{C0} := J \cdot R_2$.

Найти численное значение параметра: $U_{C0} = 5$ [В].

2. Схема после коммутации



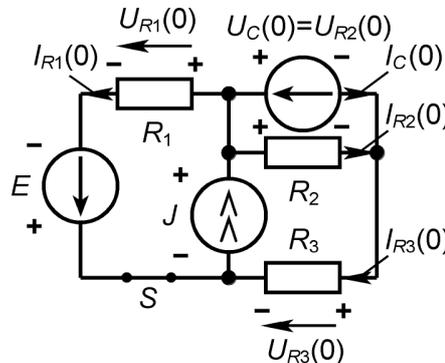
а) используя соответствующую схему замещения («закорачивается» источник напряжения E и «разрывается» источник тока J в соответствии с их внутренними сопротивлениями), **определить постоянную времени цепи τ** (в программе MathCad обозначена $\tau 1$):



$$\tau 1 := C \cdot \left[\frac{R2 \cdot (R1 + R3)}{R1 + R2 + R3} \right]$$

Рассчитать численное значение: $\tau 1 = 2.979 \times 10^{-4}$ [с].

б) используя схему замещения, построенную по известным правилам на основе схемы после коммутации, **определить методом наложения зависимые начальные условия (ЗНУ):**



$$U_{R10} := \frac{E \cdot R1}{R1 + R3} + \frac{J \cdot R1 \cdot R3}{R1 + R3} + \frac{U_{C0} \cdot R1}{R1 + R3}$$

Рассчитать численное значение: $U_{R10} = 17.25$ [В].

$$U_{R20} := U_{C0} \quad U_{R20} = 5 \text{ [В]}$$

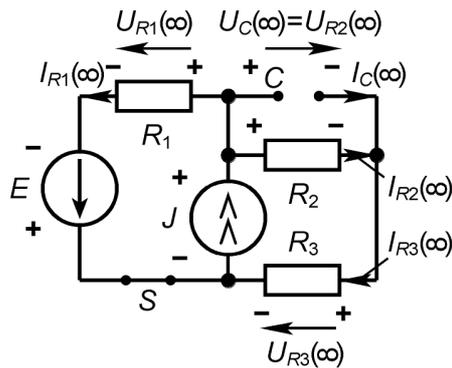
$$U_{R30} := \frac{-E \cdot R3}{R1 + R3} + \frac{J \cdot R1 \cdot R3}{R1 + R3} + \frac{-U_{C0} \cdot R3}{R1 + R3}$$

$U_{R30} = 0.25$ [В].

$$I_{C0} := \frac{-E}{R1 + R3} + \frac{J \cdot R1}{R1 + R3} + \frac{-U_{C0} \cdot (R1 + R2 + R3)}{R2 \cdot (R1 + R3)}$$

$I_{C0} = -0.048$ [А].

в) используя схему замещения, построенную по известным правилам на основе схемы после коммутации, **определить методом наложения значения параметров цепи в установившемся режиме ($t = \infty$)**; **рассчитать** численные значения всех величин:



$$U_{Cуст1} := \frac{-E \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} + \frac{J \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad U_{Cуст1} = 1.034 \text{ [В]}.$$

$$U_{R1уст1} := \frac{E \cdot R_1}{R_1 + R_2 + R_3} + \frac{J \cdot R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} \quad U_{R1уст1} = 14.276 \text{ [В]}.$$

$$U_{R2уст1} := U_{Cуст1} \quad U_{R2уст1} = 1.034 \text{ [В]}.$$

$$U_{R3уст1} := \frac{-E \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + \frac{J \cdot R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} \quad U_{R3уст1} = 0.621 \text{ [В]}.$$

$$I_{Cуст1} := 0$$

г) используя полученные выражения, определяющие значения искомых величин при $(t = 0)$ и $(t = \infty)$, **записать законы изменения этих параметров в ходе I переходного процесса:**

$$u_{C1}(t) := U_{Cуст1} + (U_{C0} - U_{Cуст1}) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_1}};$$

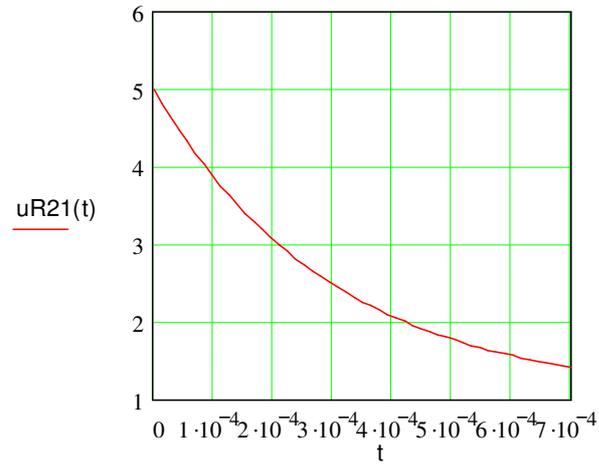
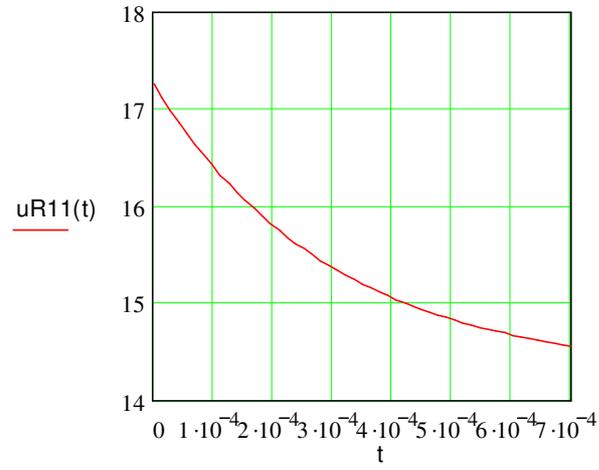
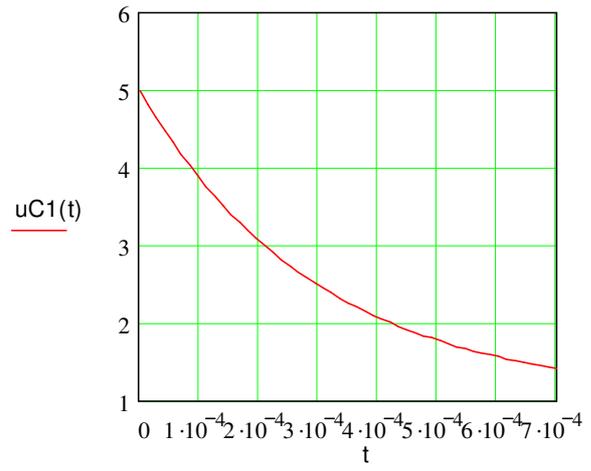
$$u_{R11}(t) := U_{R1уст1} + (U_{R10} - U_{R1уст1}) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_1}};$$

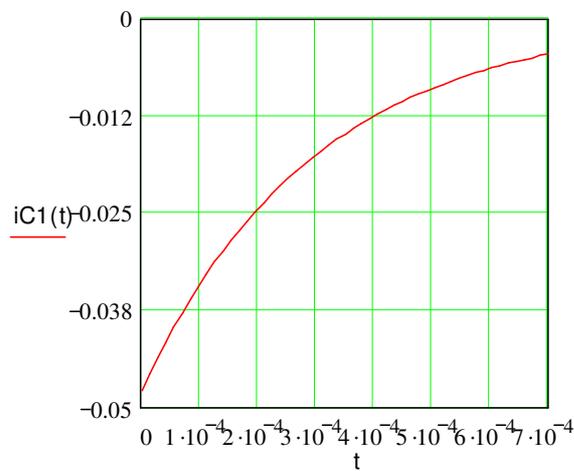
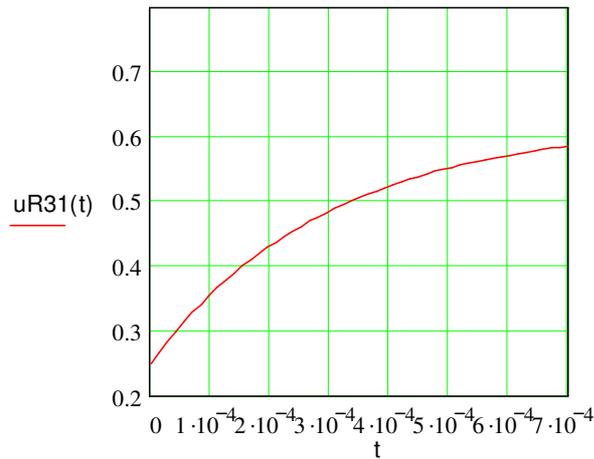
$$u_{R21}(t) := U_{R2уст1} + (U_{R20} - U_{R2уст1}) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_1}};$$

$$u_{R31}(t) := U_{R3уст1} + (U_{R30} - U_{R3уст1}) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_1}};$$

$$i_{C1}(t) := I_{Cуст1} + (I_{C0} - I_{Cуст1}) \cdot e^{\frac{-t}{\tau_1}}.$$

д) используя возможности программы MathCad, **построить сфазированные диаграммы искомых параметров**, отражающие их зависимость от времени, на интервале от $t = 0$ до $t = t_0$ (в ходе I п/п). **Первой (основной!) целесообразно представить диаграмму, отражающую зависимость от времени параметра, для которого характерно независимое начальное условие. Разумно выбирать масштабы величин по осям абсцисс и ординат!**



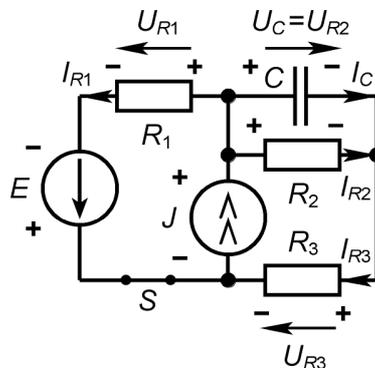


II переходный процесс

Для упрощения анализа начало отсчета времени перенести в точку $t = t_0 = 0_{II}$.

Задать шаг, с которым будут определяться параметры при расчете II п/п: $t := 0, \frac{t_0}{50} .. 20 \cdot t_0$;

1. Схема до коммутации. Схемой до II коммутации является, очевидно, схема после I коммутации, которая и используется для определения новых независимых начальных условий для II п/п.

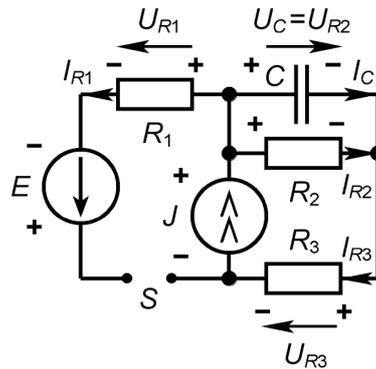


Для определения новых ННУ в уравнение, описывающее закон изменения $u_C(t)$ в ходе I п/п, вместо текущего времени t подставляется время t_0 .

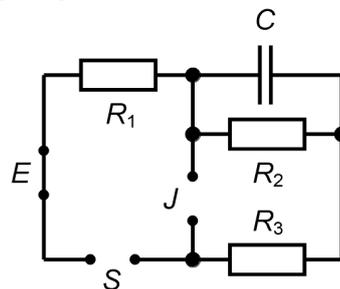
Выполнив это действие, получаем новое независимое начальное условие:

$UC02 := u_{C1}(t_0)$. Численное значение этого параметра: $UC02 = 1.413$ [В].

2. Схема после коммутации

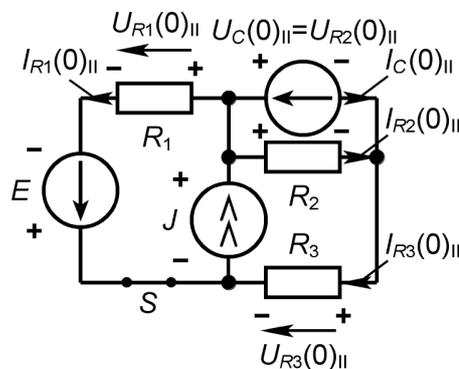


а) используя схему замещения, построенную из схемы после II коммутации, по известной методике **определить постоянную времени цепи τ_2** :



$\tau_2 := R_2 \cdot C$. **Найти численное значение** этого параметра: $\tau_2 = 3.6 \times 10^{-4}$ [с].

б) используя схему замещения, построенную по известным правилам на основе схемы после II коммутации, **определить методом наложения зависимые начальные условия (ЗНУ) для II п/п. Рассчитать** численные значения всех величин.



$$U_{R102} := 0$$

$$U_{R102} = 0 \text{ В}$$

$$U_{R202} := U_{C02}$$

$$U_{R202} = 1.413 \text{ В}$$

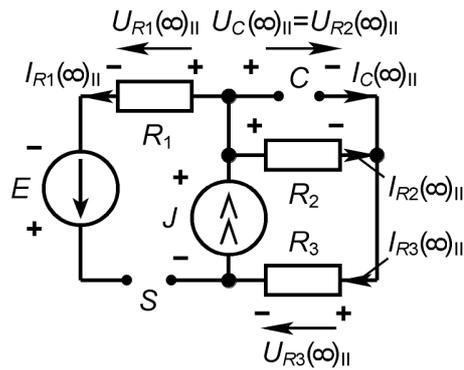
$$U_{R302} := J \cdot R_3$$

$$U_{R302} = 6 \text{ В}$$

$$I_{C02} := J - \frac{U_{C02}}{R_2}$$

$$I_{C02} = 0.036 \text{ А}$$

в) используя схему замещения, построенную по известным правилам на основе схемы после II коммутации, **определить методом наложения значения всех искомых параметров цепи в новом установившемся режиме ($t = \infty$)**. **Рассчитать** численные значения параметров.



$$\begin{aligned}
 U_{Cуст2} &:= J \cdot R_2; & U_{Cуст2} &= 5 \text{ В.} \\
 U_{R1уст2} &:= 0; & U_{R1уст2} &= 0 \text{ В.} \\
 U_{R2уст2} &:= U_{Cуст2}; & U_{R2уст2} &= 5 \text{ В.} \\
 U_{R3уст2} &:= J \cdot R_3; & U_{R3уст2} &= 6 \text{ В.} \\
 I_{Cуст2} &:= 0.
 \end{aligned}$$

г) используя общую формулу, а также выражения, определяющие начальные и установившиеся значения параметров, **записать законы изменения всех искомых параметров в ходе II переходного процесса.**

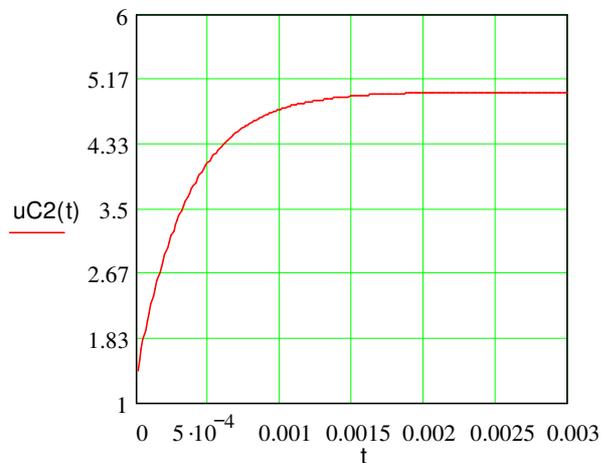
$$u_{C2}(t) := U_{Cуст2} + (U_{C02} - U_{Cуст2}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

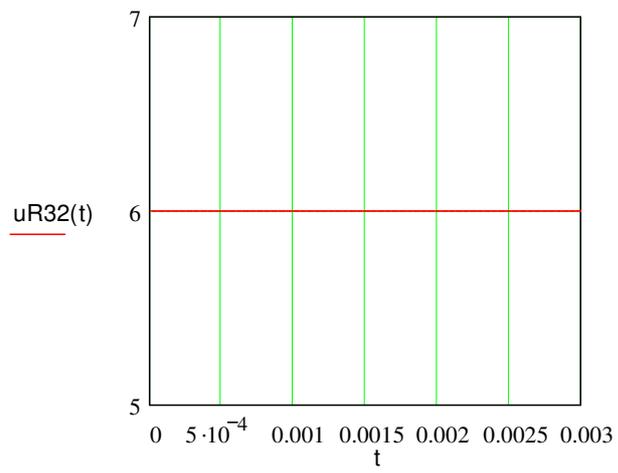
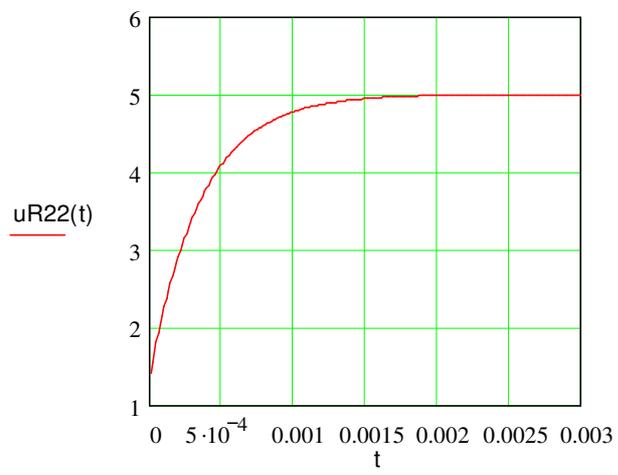
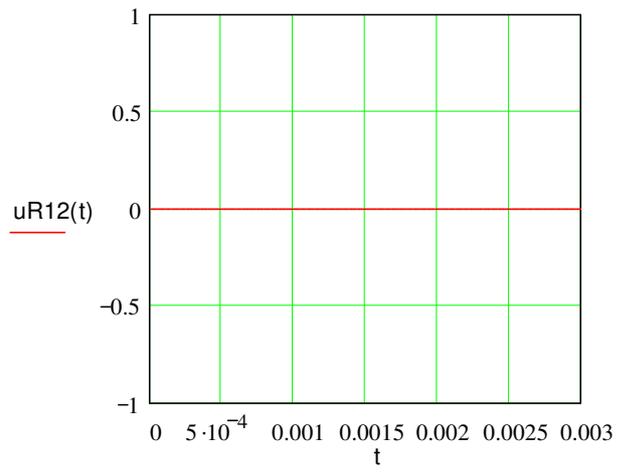
$$u_{R12}(t) := U_{R1уст2} + (U_{R102} - U_{R1уст2}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

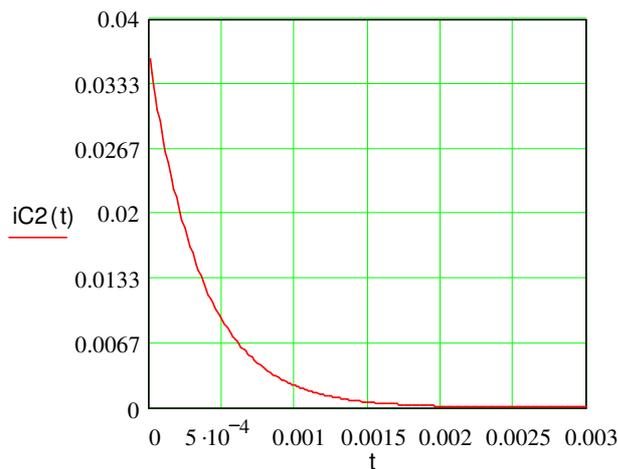
$$u_{R22}(t) := U_{R2уст2} + (U_{R202} - U_{R2уст2}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

$$u_{R32}(t) := U_{R3уст2} + (U_{R302} - U_{R3уст2}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$

$$i_{C2}(t) := I_{Cуст2} + (I_{C02} - I_{Cуст2}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}}$$







Для того чтобы корректно отобразить на одном графике диаграммы I и II переходных процессов, необходимо выполнить следующие действия:

1. Переписать выражения в программе MathCad, определяющие законы всех искомых параметров в ходе II п/п, введя в текущее время временной сдвиг t_0 :

$$u_{C2}(t) := U_{Cуст2} + (U_{C02} - U_{Cуст2}) \cdot e^{\frac{-(t-t_0)}{\tau^2}} ;$$

$$u_{R22}(t) := U_{R2уст2} + (U_{R202} - U_{R2уст2}) \cdot e^{\frac{-(t-t_0)}{\tau^2}} ;$$

$$u_{R32}(t) := U_{R3уст2} + (U_{R302} - U_{R3уст2}) \cdot e^{\frac{-(t-t_0)}{\tau^2}} ;$$

$$i_{C2}(t) := I_{Cуст2} + (I_{C02} - I_{Cуст2}) \cdot e^{\frac{-(t-t_0)}{\tau^2}} ;$$

$$u_{R12}(t) := U_{R1уст2} + (U_{R102} - U_{R1уст2}) \cdot e^{\frac{-(t-t_0)}{\tau^2}} .$$

2. Для корректного расчета **каждого параметра** воспользоваться «условным» оператором **if** (если), регламентирующим порядок использования программой нужной расчетной формулы в зависимости от выполнения (или невыполнения) определенного заданного пользователем условия.

Например, выражение для $u_C(t)$ (**см. ниже**) следует понимать следующим образом: если $t \leq t_0$, то расчет напряжения на конденсаторе производится по формуле $u_{C1}(t)$. Если же условие $t \leq t_0$ не выполняется (т.е. текущее время превысило значение t_0), программа использует для расчета $u_C(t)$ выражение $u_{C2}(t)$.

$$u_C(t) := \text{if}(t \leq t_0, u_{C1}(t), u_{C2}(t))$$

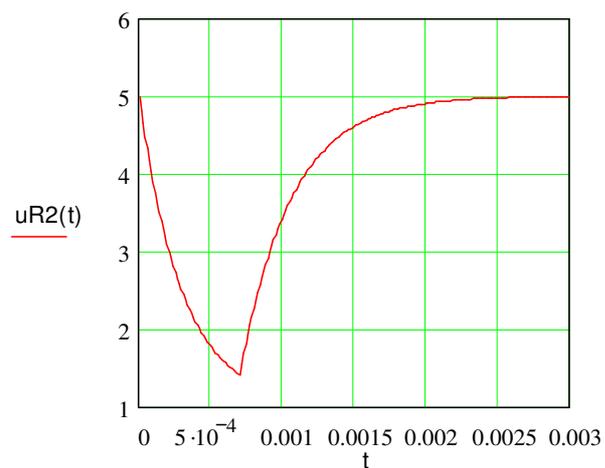
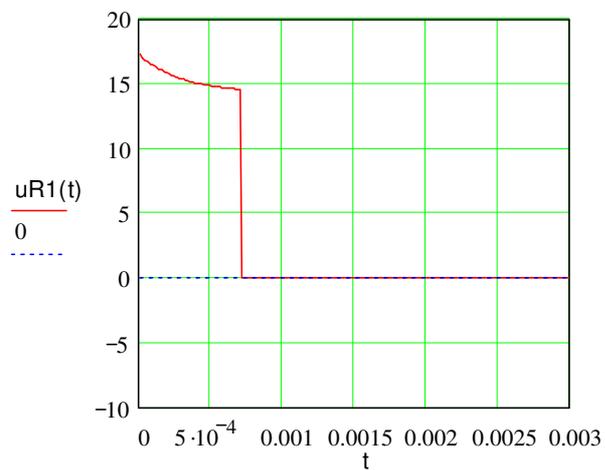
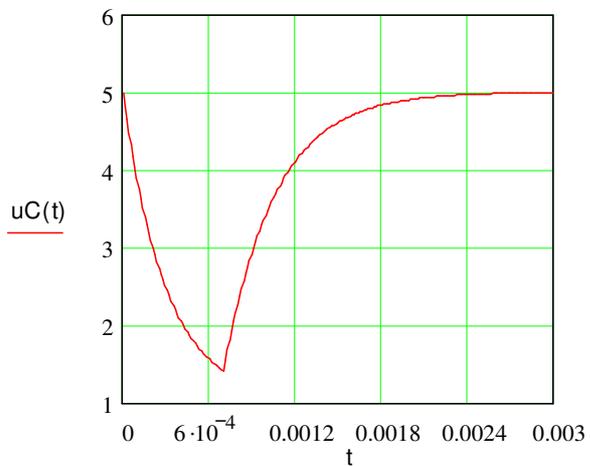
$$u_{R1}(t) := \text{if}(t \leq t_0, u_{R11}(t), u_{R12}(t))$$

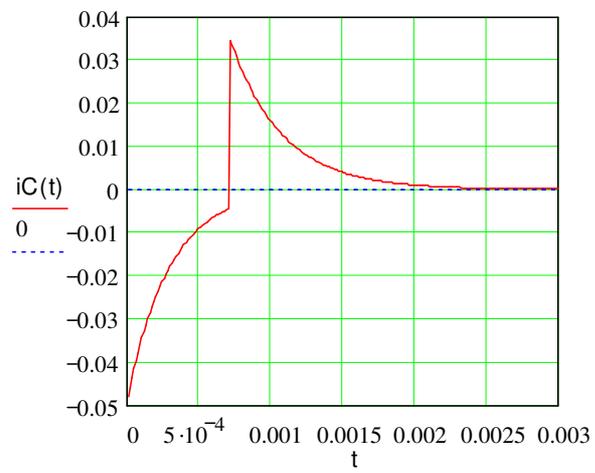
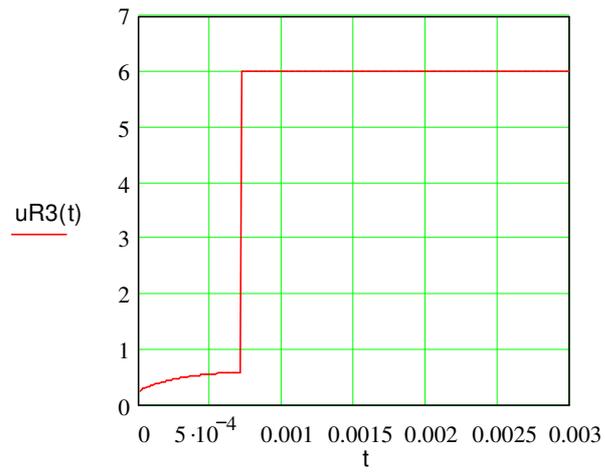
$$u_{R2}(t) := \text{if}(t \leq t_0, u_{R21}(t), u_{R22}(t))$$

$$u_{R3}(t) := \text{if}(t \leq t_0, u_{R31}(t), u_{R32}(t))$$

$$i_C(t) := \text{if}(t \leq t_0, i_{C1}(t), i_{C2}(t))$$

Используя возможности программы MathCad, **построить** сфазированные диаграммы переходных процессов, отражающие законы изменения всех искомым параметров в ходе I и II п/п.





По результатам выполненной работы сделать грамотные выводы.