



«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана»

(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления»

КАФЕДРА «Компьютерные системы и сети»

**Отчет**

**по домашнему заданию №3**

**Дисциплина: Электротехника**

**Название лабораторной работы:  
Анализ переходных процессов электрической цепи.**

**Вариант 19.**

Студент гр. ИУ6-35

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Т.Ш. Магомедов

Преподаватель

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

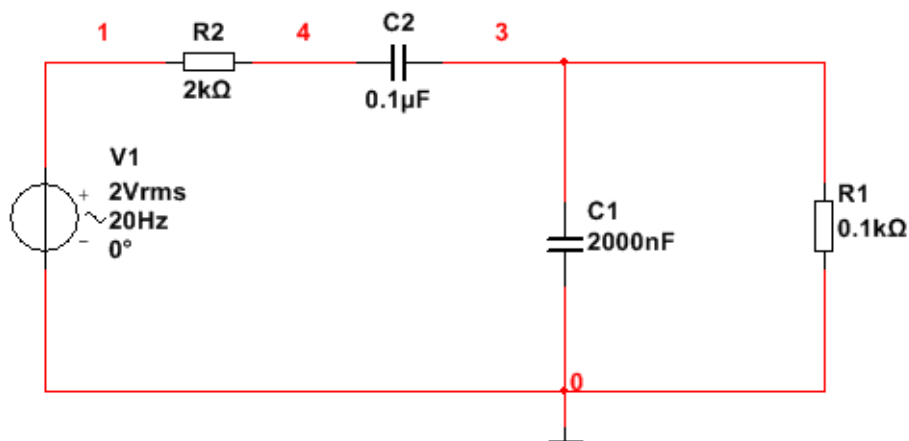
С.Р. Иванов

Москва, 2017

## Задание

1. Для приведенного на чертеже принципиальной электрической схемы анализируемой цепи составить операторное представление выходного напряжения.
2. Используя обратное преобразование Лапласа перейти к описанию выходного напряжения во временной области.
3. Построить временные диаграммы переходного процесса, используя полученные формулы для него.
4. Получить временные диаграммы для переходного процесса на выходе схемы с помощью пакета «Multisim».
5. Сравнить полученные результаты между собой и сделать заключение о характере поведения анализируемой цепи.

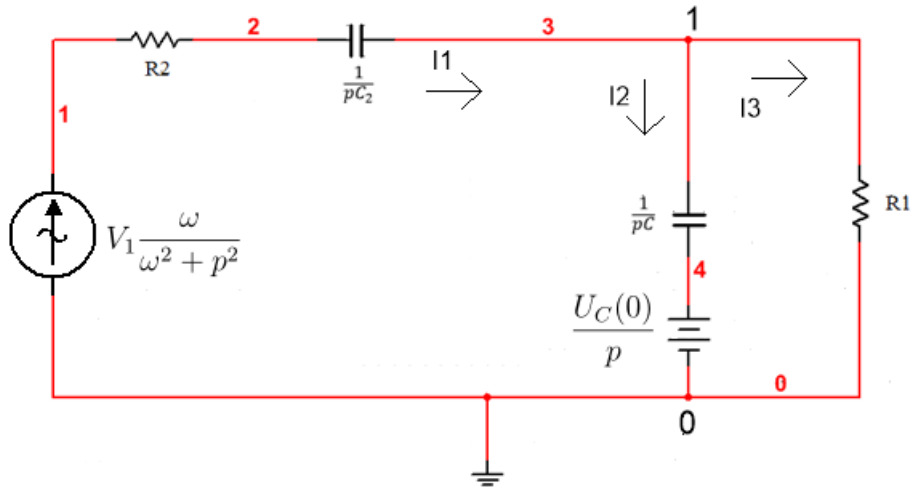
## Схема цепи



### Начальные условия:

$$\begin{aligned}U_{\text{вхм}} &= 2 \text{ В} \\F &= 20 \text{ кГц} \\R_1 &= 0,1 \text{ кОм} \\R_2 &= 2 \text{ кОм} \\C_1 &= 2000 \text{ нФ} \\C_2 &= 0,1 \text{ мкФ} \\U_c(0) &= 2 \text{ В} \\U_{\text{вых}} &= U_{R_1}\end{aligned}$$

$$Z_{C_1} = \frac{1}{pC_1}; \quad Z_{C_2} = \frac{1}{pC_2}$$



Представление расчетной схемы как операторный схемы замещения.

По первому закону Кирхгофа

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

$$I_1 = \frac{\varphi_0 - \varphi_1 + \frac{U_m \omega}{p^2 + \omega^2}}{R_2 + Z_{C_2}}$$

$$I_2 = \frac{\varphi_1 - \varphi_0 - \frac{U_C(0)}{p}}{Z_{C_1}}$$

$$I_3 = \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{R_1}$$

$$\frac{\varphi_0 - \varphi_1 + \frac{U_m \omega}{p^2 + \omega^2}}{R_2 + Z_{C_2}} - \frac{\varphi_1 - \varphi_0 - \frac{U_C(0)}{p}}{Z_{C_1}} - \frac{\varphi_1 - \varphi_0}{R_1} = 0$$

$$\frac{Z_{C_1} R_1 \left( \frac{U_m \omega}{p^2 + \omega^2} - \varphi_1 \right) - \left( \varphi_1 - \frac{U_C(0)}{p} \right) (R_2 + Z_{C_2}) R_1 - \varphi_1 (R_2 + Z_{C_2}) Z_{C_1}}{(R_2 + Z_{C_2}) Z_{C_1} R_1} = 0$$

$$\frac{\left( \frac{U_m \omega}{p^2 + \omega^2} Z_{C_1} R_1 + \frac{U_C(0)}{p} R_1 R_2 + \frac{U_C(0)}{p} Z_{C_2} R_1 \right) - \varphi_1 (Z_{C_1} R_1 + R_1 R_2 + Z_{C_2} R_1 + Z_{C_1} Z_{C_2} + Z_{C_1} R_2)}{(R_2 + Z_{C_2}) Z_{C_1} R_1} = 0$$

$$\varphi_1 = U(p) = \frac{\frac{U_m \omega}{p^2 + \omega^2} \frac{1}{p C_1} R_1 + \frac{U_C(0)}{p} R_1 R_2 + \frac{U_C(0)}{p} \frac{1}{p C_2} R_1}{\frac{1}{p C_1} R_1 + R_1 R_2 + \frac{1}{p C_2} R_1 + \frac{1}{p C_1} R_2 + \frac{1}{p C_1} \frac{1}{p C_2}}$$

$$U(p) = \frac{(U_m \omega R_1 p C_2 + U_C(0) p R_1 R_2 C_1 C_2 (p^2 + \omega^2) + U_C(0) R_1 C_1 (p^2 + \omega^2)) p C_1 C_2}{(p C_2 R_1 + p C_1 p C_2 R_1 R_2 + p C_1 R_1 + p C_2 R_2 + 1) (p^2 + \omega^2) p C_1 C_2}$$

Тогда операторное представление выходного напряжения будет выглядеть следующим образом

$$U(p) = R_1 \frac{U_{\text{вхм}} C_2 \omega p + U_c (C_1 + p C_1 C_2 R_2) (p^2 + \omega^2)}{(p^2 + \omega^2) (1 + p C_2 R_2 + p C_1 R_1 + p C_2 R_1 + p^2 C_1 C_2 R_1 R_2)}$$

Решим характеристическое уравнение

$$(p^2 + \omega^2) (1 + p C_2 R_2 + p C_1 R_1 + p C_2 R_1 + p^2 C_1 C_2 R_1 R_2) = 0$$

Корни

$$p_{1,2} = \pm j\omega$$

$$p^2 (C_1 C_2 R_1 R_2) + p (C_2 R_1 + C_1 R_1 + C_2 R_2) + 1 = 0$$

$$p_{3,4} = \frac{-(C_2 R_1 + C_1 R_1 + C_2 R_2) \pm \sqrt{(C_2 R_1 + C_1 R_1 + C_2 R_2)^2 - 4 C_1 C_2 R_1 R_2}}{2 C_1 C_2 R_1 R_2}$$

$$\begin{cases} p_1 = 125663,7j \\ p_2 = -125663,7j \\ p_3 = -6250 \\ p_4 = -4000 \end{cases}$$

$$U_{\text{вхм}}(t) = \sum_{i=1}^4 \frac{F_1(p_i)}{F_2'(p_i)} e^{p_i t}$$

$$F_2' = (p^2 + \omega^2) (C_2 R_2 + C_1 R_1 + C_2 R_1 + 2p C_1 C_2 R_1 R_2) + \\ + 1 + 2p (p C_2 R_2 + p C_1 R_1 + p C_2 R_1 + p^2 C_1 C_2 R_1 R_2)$$

$$F_2' = (p^2 + 15791365497,7) (0,00001 + 0,0002 + 0,0002 + 0,00000008p) + \\ + 2p (1 + 0,00001p + 0,0002p + 0,0002p + 0,00000004p^2)$$

$$F_1 = 100 \times (0,025p + 2 \times (2000 * 10^{-9} + p^2 \times 40 * 10^{-9}) (p^2 + 15791365497,7))$$

$$F_1(p_3) = -1598750,8$$

$$F_1(p_4) = 1254536,4$$

$$F_2'(p_3) = -1424738,5$$

$$F_2'(p_4) = 1422662,9$$

$$\frac{F_1(p_1)}{F_2'(p_1)} e^{p_1 t} = \frac{U_{\text{вхм}} C_2 R_1 \omega}{2(1 + C_2 R_2 j \omega + C_1 R_1 j \omega + C_2 R_1 j \omega - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)} e^{j \omega t}$$

$$\frac{F_1(p_2)}{F_2'(p_2)} e^{p_2 t} = \frac{-U_{\text{вхм}} C_2 R_1 \omega}{-2(1 - C_2 R_2 j \omega - C_1 R_1 j \omega - C_2 R_1 j \omega - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)} e^{-j \omega t}$$

$$\text{Обозначим } D = \frac{U_{\text{вхм}} C_2 R_1 \omega}{2((C_2 R_2 j \omega + C_1 R_1 j \omega + C_2 R_1 j \omega)^2 + (1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)^2)}$$

Для суммы первых двух слагаемых

$$\begin{aligned} & D(e^{j \omega t}(-j(C_2 R_2 \omega + C_1 R_1 \omega + C_2 R_1 \omega)^2 + (1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)^2) + \\ & + e^{-j \omega t}(j(C_2 R_2 \omega + C_1 R_1 \omega + C_2 R_1 \omega)^2 + (1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)^2)) = \\ & = D \left( \frac{e^{j \omega t} + e^{-j \omega t}}{1} (1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2) - \frac{e^{j \omega t} - e^{-j \omega t}}{1} j(C_2 R_2 \omega + C_1 R_1 \omega + C_2 R_1 \omega) \right) \end{aligned}$$

Домножаем и делим второе слагаемое на  $j$  и выносим из общей части  $1/2$

$$\begin{aligned} & D \left( \frac{e^{j \omega t} + e^{-j \omega t}}{2} (1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2) - \frac{e^{j \omega t} + e^{-j \omega t}}{2j} (C_2 R_2 \omega + C_1 R_1 \omega + C_2 R_1 \omega) \right) = \\ & D (\cos(\omega t)(1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2) + \sin(\omega t)(C_2 R_2 \omega + C_1 R_1 \omega + C_2 R_1 \omega)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{U_{\text{вхм}} C_2 R_1 \omega}{2((C_2 R_2 j \omega + C_1 R_1 j \omega + C_2 R_1 j \omega)^2 + (1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2)^2)} \times \\ & \times (\cos(\omega t)(1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2) + \sin(\omega t)(C_2 R_2 \omega + C_1 R_1 \omega + C_2 R_1 \omega)) = \\ & = \frac{2,5}{((51,5)^2 + (-630,7)^2)} \times (\cos(125663,7t)(-630,7) + \sin(125663,7t)(51,2)) = \\ & = -0,004 \times \cos(125663,7t) + 0,0003 \times \sin(125663,7t) \end{aligned}$$

$$U_{\text{вхм}}(t) = -0,004 \cos(125663,7t) + 0,0003 \sin(125663,7t) + 1,1e^{-6250t} + 0,9e^{-4000t}$$

$$\text{arctg} \left( \frac{-0,004}{3} \right) = 0,00013$$

$$U_{\text{вых}}(t) = 3 \sin(125663,7t) + 0,00013^\circ + 1,1e^{-6250t} + 0,9e^{-4000t}$$

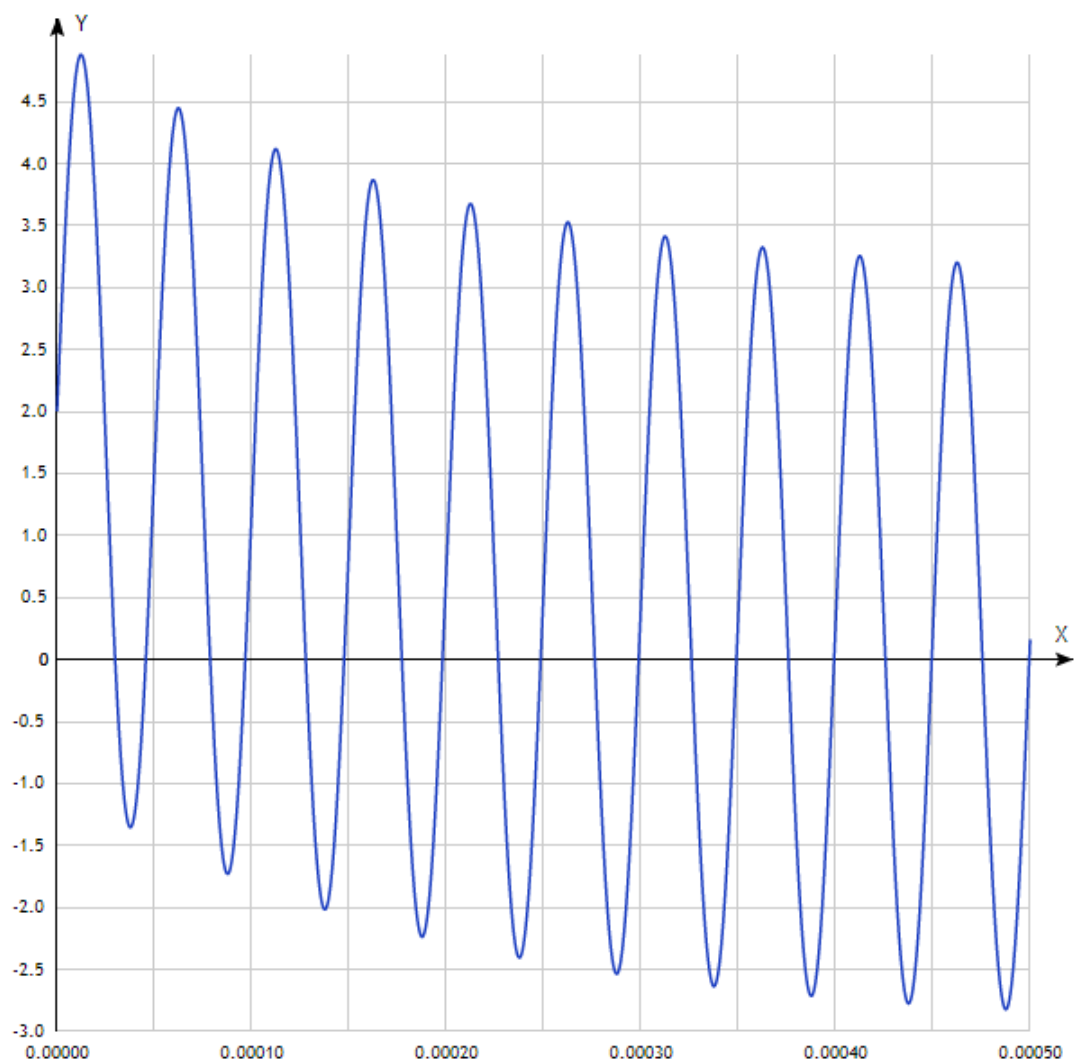


Рис.3 - Построенный итоговый график

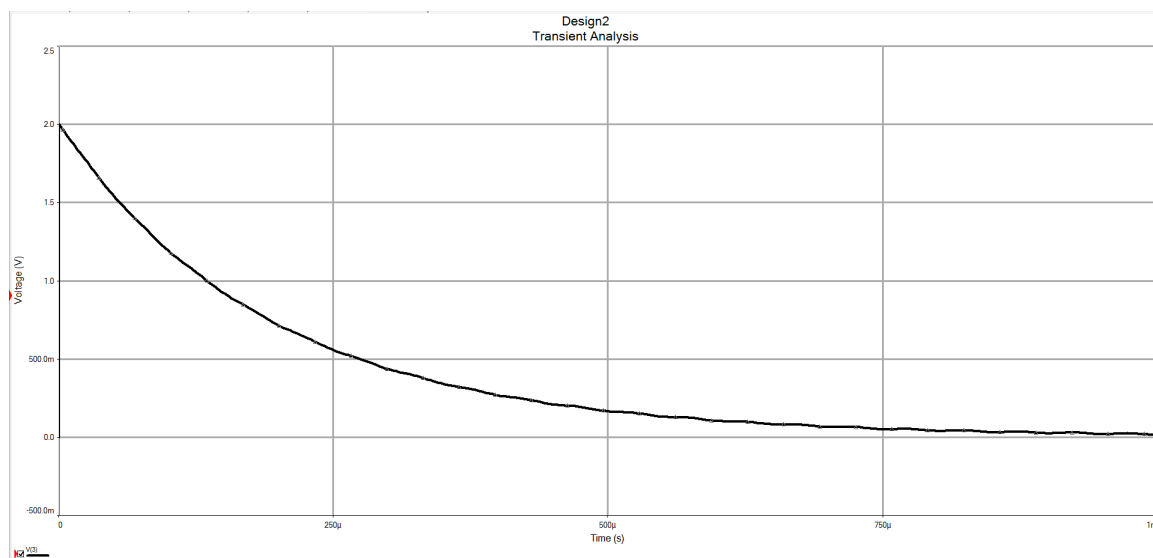


Рис.4 - График начального условия

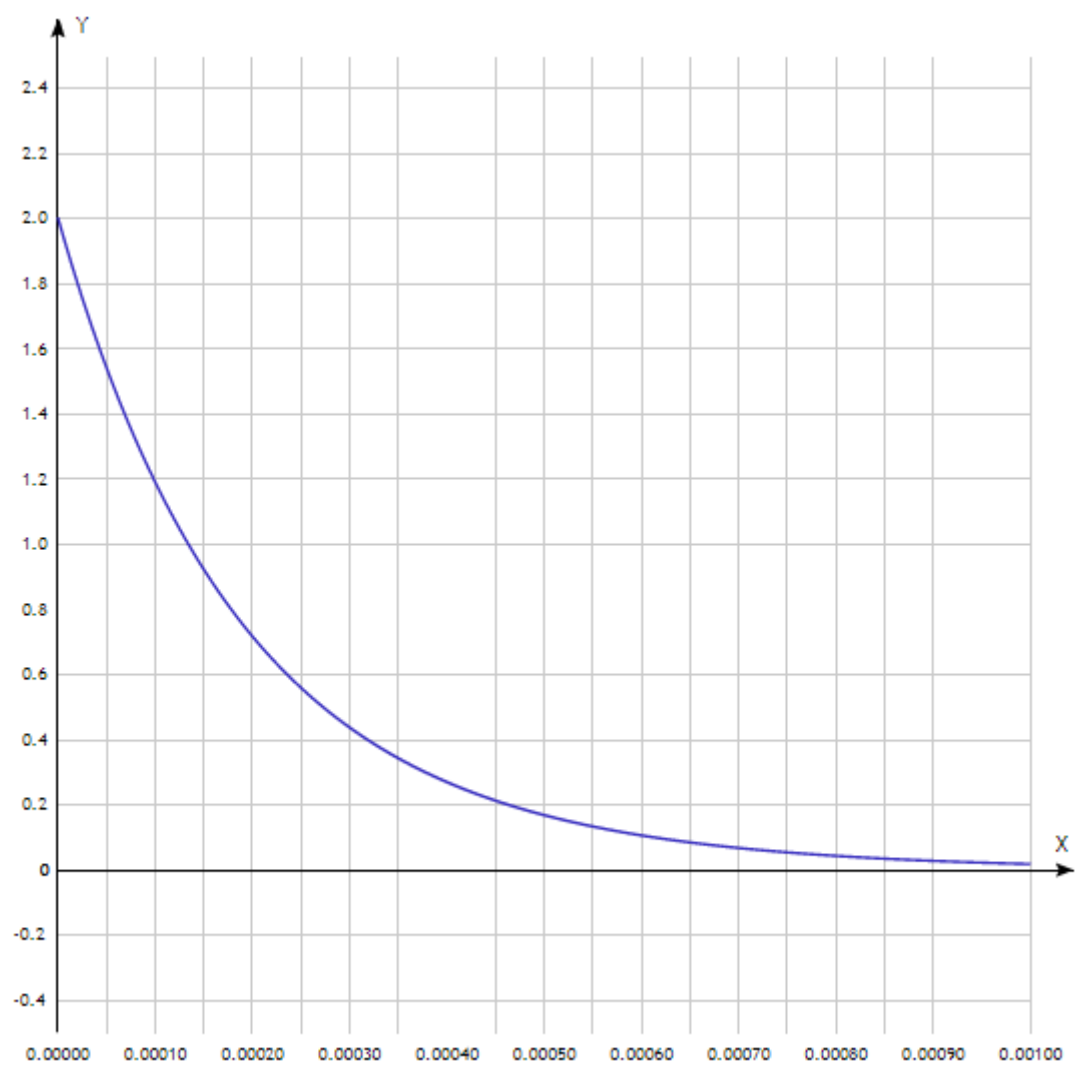


Рис.5 - График экспоненты