Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет информационных технологий и управления

Кафедра теоретических основ электротехники

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №13
на тему

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ С СОСРЕДОТОЧЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ
Вариант 4

Студент группы №950503	Полховский А.Ф.
Преподаватель	Батюков С. В.

Минск 2020

1 Цели работы

Экспериментальное исследование переходных процессов в линейных цепях с сосредоточенными параметрами при включении или отключении источника напряжения; определение влияния отдельных параметров на характер переходного процесса; выбор параметров и экспериментальное исследование дифференцирующих и интегрирующих цепей.

2 Расчет домашнего задания

2.1 Исходные данные представлены в таблице 2.1. Рассчитываемая схема, заданная по варианту, представлена на рисунке 2.1.

Таблица *2.1* – Исходные данные

Вариант	Схема	Исходные данные								
		r_1, Ом	r_2, кОм	r_3, кОм	r_4, Ом	C_1, мкФ	C_2, мкФ	C_3, мкФ	r_k, Ом	L, Гн
4	в	580	5,8	0,2; 0,15; 0,1	15; 30; 60	0,5	5,0	0,33; 0,47; 1,00	68	0,25

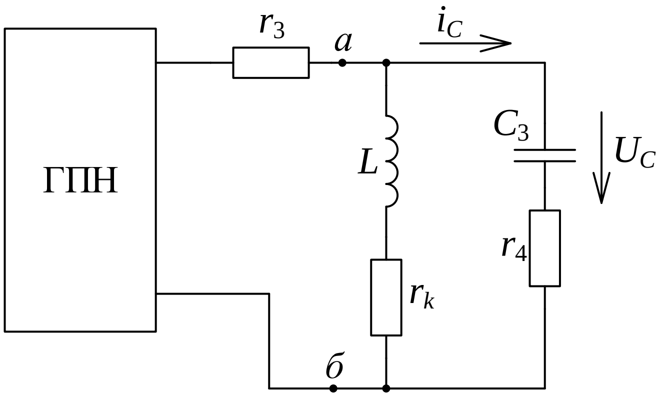


Рис. *2.1* – Заданная схема

2.2 Определить классическим методом ток в заданной цепи и напряжение на ёмкости при заряде конденсатора в схеме.

В качестве источника ЭДС используется генератор прямоугольных напряжений (ГПН).

2.2.1 Определим независимые начальные условия (ННУ). Для этого изобразим схему до коммутации (рис. 2.2).

Ключ в ветви с источником до коммутации был разомкнут. Значит значения тока и напряжения до коммутации были равны нулю (ННУ):

$U_C(0_-) = U_C(0_+) = 0$ - по второму закону коммутации,
$i_C(0_-) = 0.$

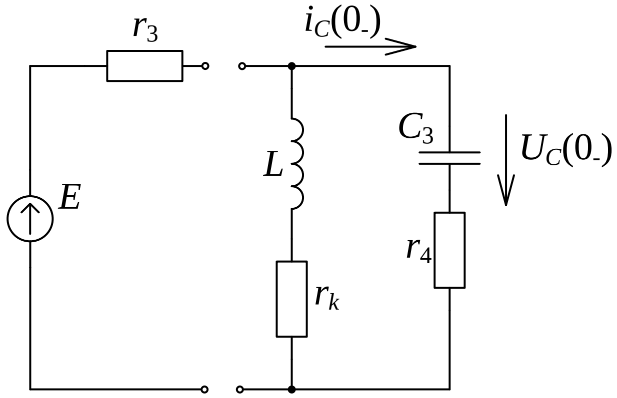


Рис. *2.2* – Цепь до коммутации

2.2.2 Определим значения силовых функций токов и напряжений в цепи при установившемся режиме (рис. 2.3).

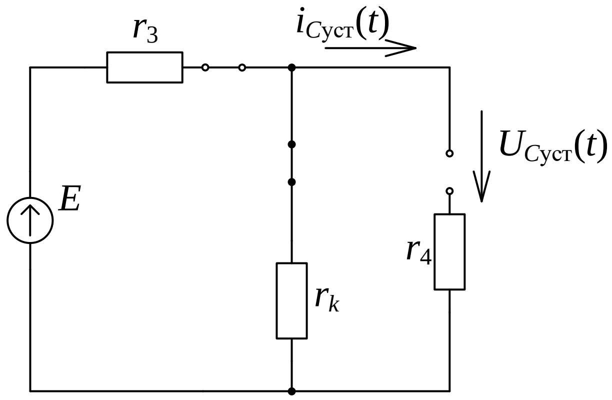


Рис. *2.3* – Цепь в установившемся режиме работы

$$i_{C\text{уст}}(t) = \frac{E}{r_3 + r_k} = \frac{10}{4000 + 68} = 2{,}458 \cdot 10^{-3}\ \text{А}$$
$$U_{C\text{уст}}(t) = i_{C\text{уст}}(t) \cdot r_k = 0{,}644\ \text{В}$$

2.2.3 Составим и решим характеристические уравнения. Для этого представим цепь после коммутации (рис. 2.4), в которой источник ЭДС заменим на его внутреннее сопротивление, а сопротивления конденсатора и катушки индуктивности представим в операторной форме.

$$Z(p) = \frac{1}{pC_3} + r_4 + \frac{r_3 \cdot (pL + r_3)}{r_3 + pL + r_k} = 0$$
$$p^2 C_3 L (r_4 + r_3) + p\big(L + C_3(r_4 r_3 + r_4 r_k + r_3 r_k)\big) + r_3 + r_k = 0$$
$$p_{1,2} = -319{,}623 \mp j1{,}984 \cdot 10^3$$

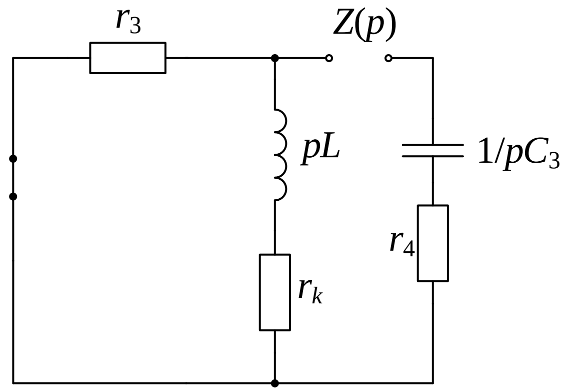


Рис. *2.4* – Схема после коммутации

В случае комплексно-сопряженных корней ($p_1 = \delta + j\omega_{св}$, $p_2 = \delta - j\omega_{св}$) свободные составляющие исходных функций будут иметь вид:

$$i_{Cсв}(t) = Ae^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_1)$$
$$U_{Cсв}(t) = Be^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_2)$$

Полные токи и напряжения:

$$i_C(t) = i_{Cуст}(t) + i_{Cсв}(t)$$
$$U_C(t) = U_{Cуст}(t) + U_{Cсв}(t)$$
$$i_C(t) = 2{,}458 \cdot 10^{-3} + Ae^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_1)$$
$$U_C(t) = 0{,}644 + Be^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_2)$$

2.2.4 Определим зависимые начальные условия (ЗНУ). Для этого изобразим эквивалентную схему замещения (рис. 2.5) для $t = 0_+$.

$$\begin{cases} U_C(t) = 0{,}644 + Be^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_2) \\ U_C'(t) = -319{,}623Be^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_2) + \\ 1984Be^{-319{,}623t}\cos(1984t + \psi_2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} U_C(0_+) = 0{,}644 + B\sin(\psi_2) \\ U_C'(0_+) = -319{,}623B\sin(\psi_2) + 1984B\cos(\psi_2) \end{cases}$$

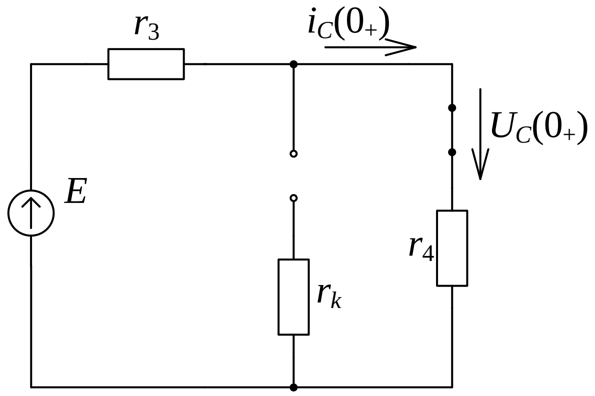


Рис. *2.5* – Эквивалентная схема замещения

$$i_C(0_+) = \frac{E}{r_3 + r_k} = \frac{10}{4000 + 68} = 2{,}458 \cdot 10^{-3}\ \text{А}$$

$$i_C(t) = C \cdot \frac{dU}{dt}$$

$$\left.\frac{dU}{dt}\right|_{t=0_+} = \frac{i_C(0_+)}{C}$$

$$U_C'(0_+) = \frac{i_C(0_+)}{C} = \frac{2{,}458 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-6}} = 2{,}458 \cdot 10^{3}\text{В}$$

$$\begin{cases} 0 = 0{,}644 + B\sin(\psi_2) \\ 2458 = -319{,}623B\sin(\psi_2) + 1984B\cos(\psi_2) \end{cases}$$

$$\psi_2 = -26{,}9°$$

$$B = 1{,}305$$

$$U_C(t) = 0{,}644 + 1{,}305e^{-319{,}623t}\sin(1984t - 26{,}9)$$

Значения $i_L(0_+)$ определим по схеме после коммутации (рис. 2.6).

$$\begin{cases} i_C(t) = 2{,}458 \cdot 10^{-3} + Ae^{-319{,}623t}\sin(1984t + \psi_1) \\ i_C'(t) = -319{,}623Ae^{-554{,}014t}\sin(1984t + \psi_1) + \\ 1984Ae^{-554{,}014t}\cos(1984t + \psi_1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} i_C(0_+) = 2{,}458 \cdot 10^{-3} + A\sin(\psi_1) \\ i_C'(0_+) = -319{,}623A\sin(\psi_2) + 1984A\cos(\psi_1) \end{cases}$$

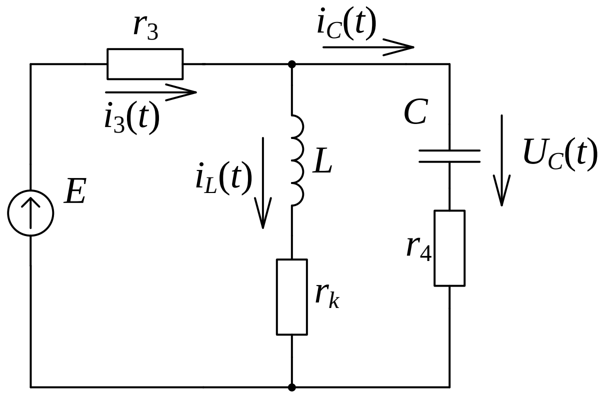


Рис. *2.6* – Схема после коммутации

$$\begin{cases} r_3 i_3(t) + L\dfrac{di_L(t)}{dt} + r_k i_L(t) = E \\ r_3 i_3(t) + \dfrac{1}{C}\displaystyle\int i_C(t)\,dt + r_4 i_C(t) = E \\ i_3(t) = i_L(t) + i_C(t) \end{cases}$$

$$\frac{d(r_3 i_3(t) + \frac{1}{C}\int i_C(t)\,dt + r_4 i_C(t))}{dt} = \frac{dE}{dt}$$

$$r_3\frac{di_3(t)}{dt} + r_4\frac{di_C(t)}{dt} + \frac{i_C(t)}{C} = 0$$

$$i_3(0_+) = i_C(0_+)$$

$$(r_3 + r_4)\frac{di_3(t)}{dt} + \frac{i_C(t)}{C} = 0$$

$$-\frac{i_C(t)}{(r_3 + r_4)C} = \frac{di_3(t)}{dt}$$

$$\left.\frac{di_3(t)}{dt}\right|_{t=0_+} = -\frac{i_C(0_+)}{(r_3 + r_4)C}$$

$$i_C'(0_+) = -0{,}6094$$

$$\begin{cases} 2{,}458\cdot 10^{-3} = 2{,}458\cdot 10^{-3} + A\sin(\psi_1) \\ -0{,}6094 = -319{,}623A\sin(\psi_2) + 1984A\cos(\psi_1) \end{cases}$$

$$\psi_1 = \pi$$

$$A = 3{,}071\cdot 10^{-4}$$

$$i_C(t) = 2{,}458\cdot 10^{-3} + 3{,}071\cdot 10^{-4}\cdot e^{-319{,}623t}\sin(1994t + \pi)$$

2.3 График зависимости

$$U_C(t) = 0{,}644 + 1{,}305e^{-319{,}623t}\sin(1984t - 26{,}9)$$

имеет вид

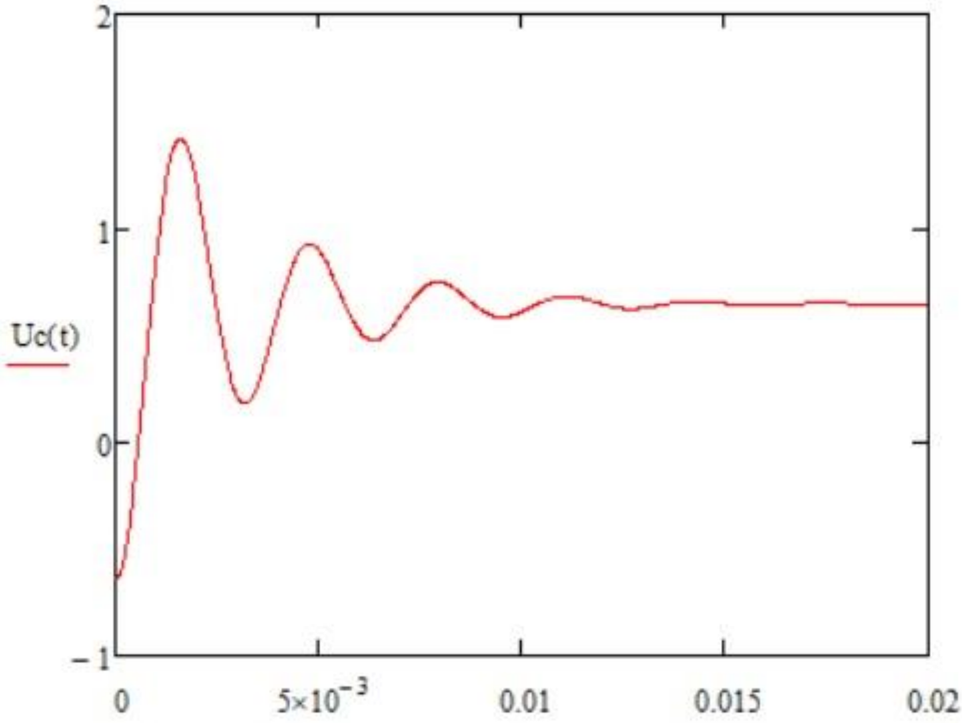


Рис. 2.7 – График зависимости $U_C(t)$

График зависимости

$$i_C(t) = 2{,}458 \cdot 10^{-3} + 3{,}071 \cdot 10^{-4} \cdot e^{-319{,}623t} \sin{(1994t + \pi)}$$

имеет вид

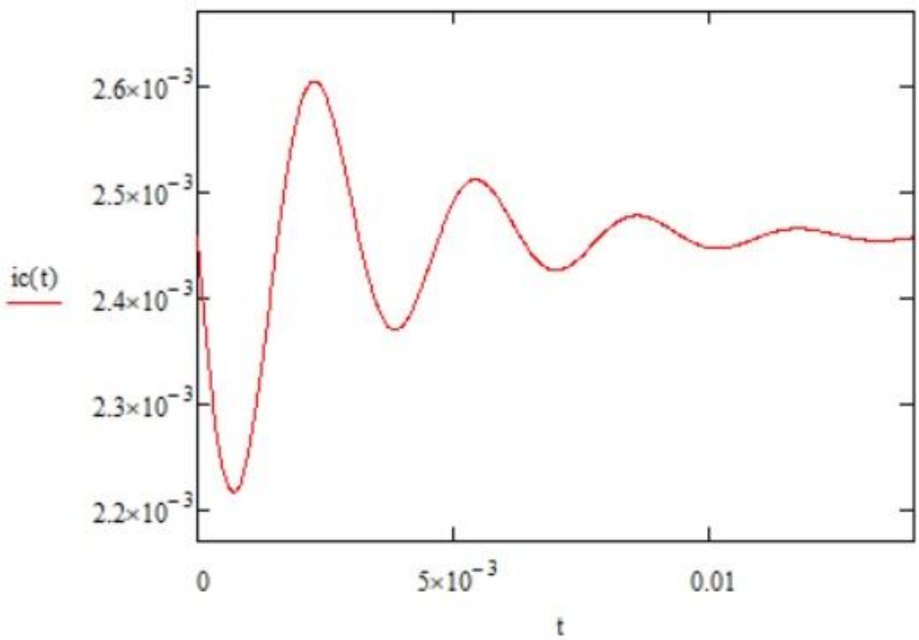


Рис. 2.8 – График зависимости $i_C(t)$

2.4 Определим декремент и логарифмический декремент затухания колебаний, а также частоту собственных колебаний.

$$\tau_ц = \left|\frac{1}{\delta}\right| = \left|\frac{1}{-319{,}623}\right| = 0{,}00313$$

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega} = 0{,}00313$$

$$\Delta = e^{|\delta|\cdot T_c} = e^{319{,}623\cdot 0{,}00313} = e^{1{,}0004} = 2{,}72918$$

$$\theta = |\delta| \cdot T_c = 1{,}0004$$

2.5 Рассчитаем сопротивления r_3 и постоянную времени $\tau_ц$ дифференцирующей цепи (рис. 2.9) в случае подачи на вход прямоугольного импульса длительностью $\tau_и$ = 0,01 с, с амплитудой 10В, при частоте повторения f = 50 Гц. Начальные данные ёмкости для трёх случаев имеют вид:

$$C_3 = 0{,}33 \cdot 10^{-6}$$

$$C_3' = 0{,}33 \cdot 10^{-6}$$

$$C_3'' = 1 \cdot 10^{-6}$$

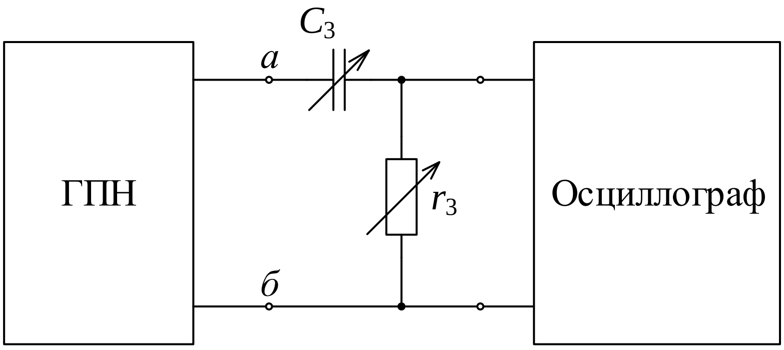


Рис. *2.9* – Схема дифференцирующей цепи

$$\omega = 2\pi f = 2 \cdot 50\pi$$

$$rC \le \frac{1}{11\omega}$$

$$r_{max} = \frac{1}{11\omega C_3} = \frac{1}{11 \cdot 100\pi \cdot 0{,}33 \cdot 10^{-6}} = 876{,}887$$

$$r_{max}' = \frac{1}{11\omega C_3'} = \frac{1}{11 \cdot 100\pi \cdot 0{,}33 \cdot 10^{-6}} = 876{,}887$$

$$r_{max}'' = \frac{1}{11\omega C_3''} = \frac{1}{11 \cdot 100\pi \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 289{,}373$$

$$\tau_ц = r_{max} C_3 = 876{,}887 \cdot 0{,}33 \cdot 10^{-6} = 2{,}8937 \cdot 10^{-4}$$

$$U(t) = \frac{4U_{max}}{\pi}\left(sin\omega t + \frac{1}{3} sin3\omega t + \cdots\right)$$

$$U(t) = 10 \cdot e^{-\frac{t}{2{,}8937 \cdot 10^{-4}}}$$

График зависимости $U(t)$ имеет вид

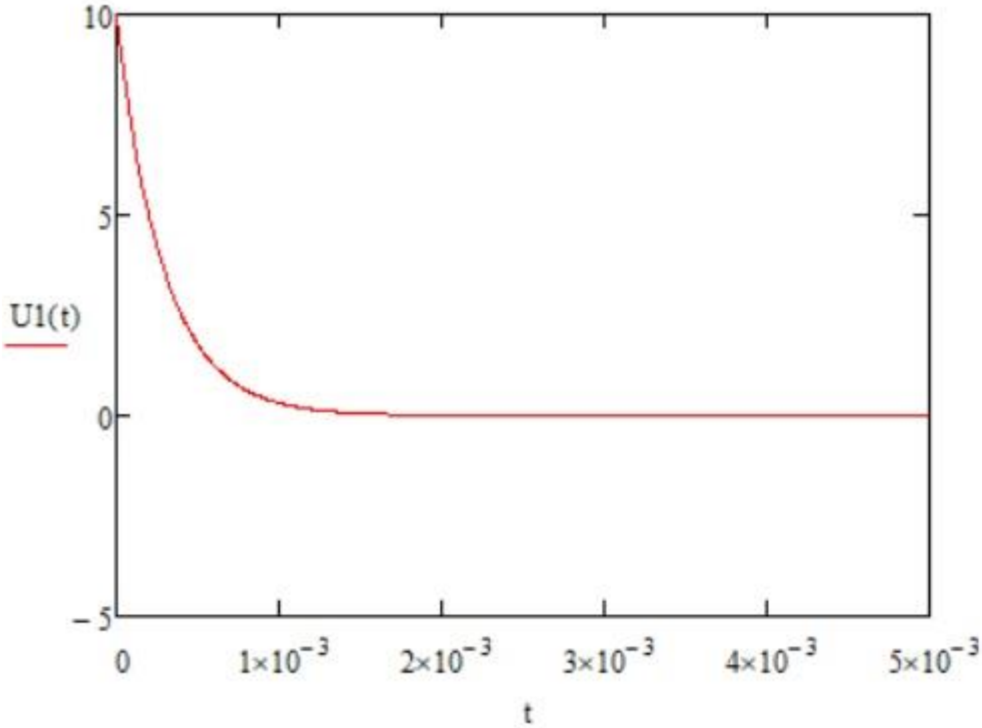


Рис. *2.10* – График зависимости $U(t)$

2.6 Рассчитаем ёмкость С и постоянную времени $\tau_ц$ интегрирующей цепи (рис. 2.11) при подаче на вход цепи прямоугольного импульса длительностью $\tau_и$ = 0,01 с, с амплитудой 10В, при частоте повторения f = 50 Гц. Начальные данные сопротивления для трёх случаев имеют вид:

$$r_3 = 100$$
$$r_3' = 200$$
$$r_3'' = 200$$
$$C_{min} = \frac{10}{\omega r_3} = \frac{10}{100\pi \cdot 100} = 3{,}1831 \cdot 10^{-4}$$

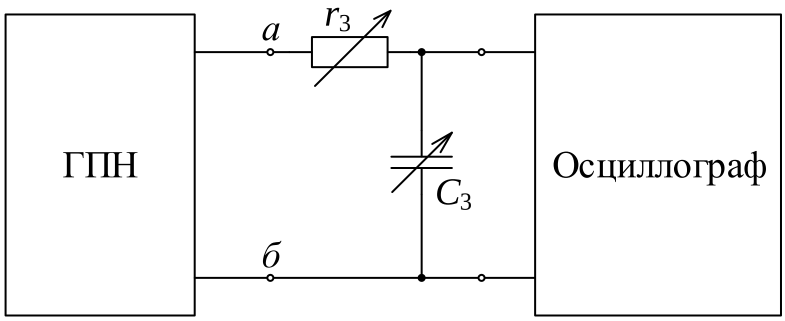


Рис. *2.11* – Схема интегрирующей цепи

$$\tau_{ц} = C_{min} r_3 = 3{,}1831 \cdot 10^{-4} \cdot 100 = 0{,}03183\ c$$

$$U(t) = 10 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{0{,}03183}})$$

График зависимости $U(t)$ имеет вид

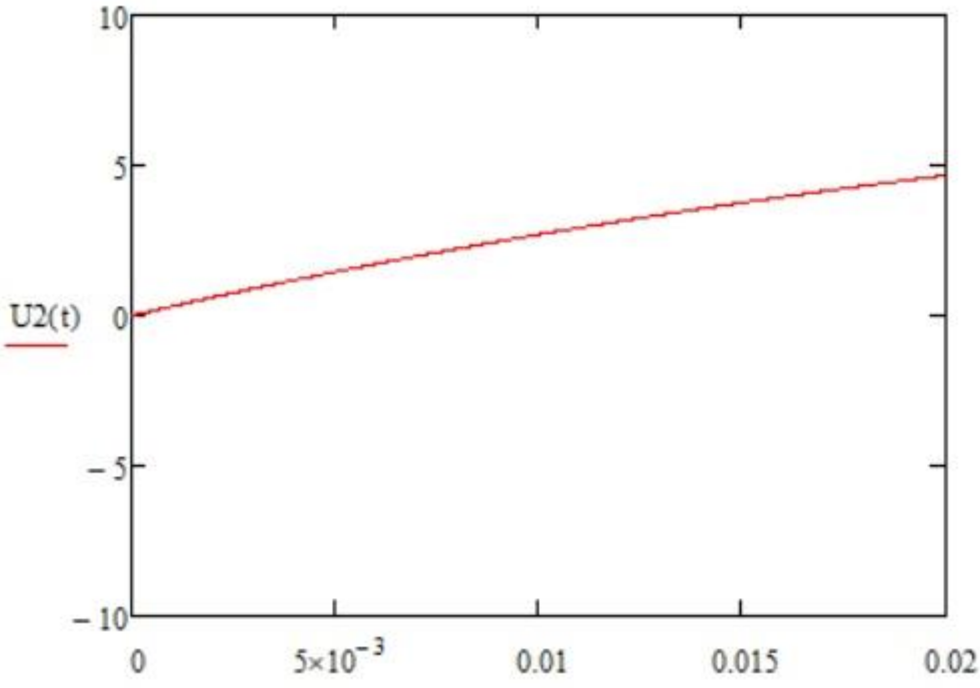


Рис. *2.12* – График зависимости $U(t)$

3 Результаты эксперимента.

Форма кривой подаваемого напряжения на схему (рис. 2.1) имеет вид

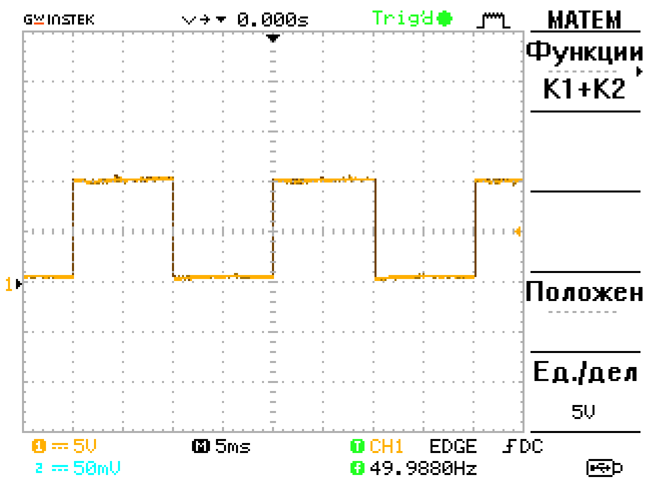
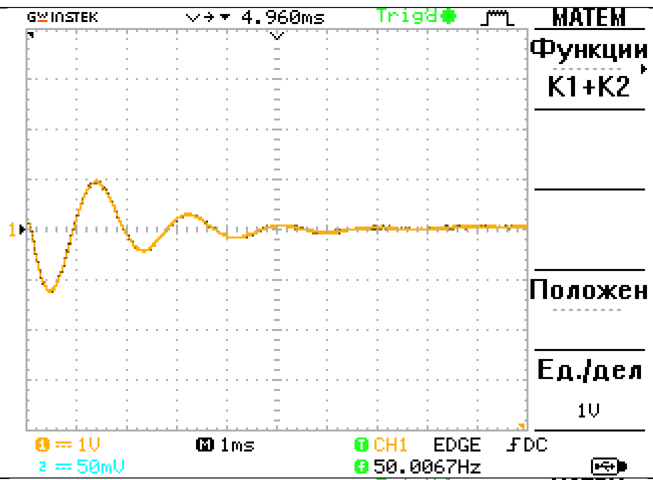
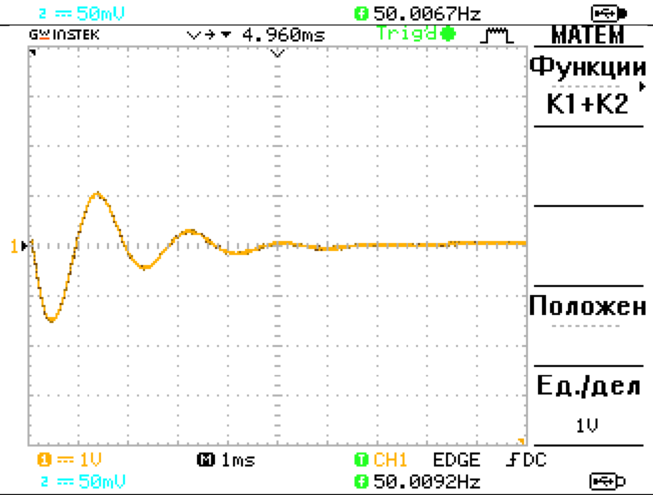
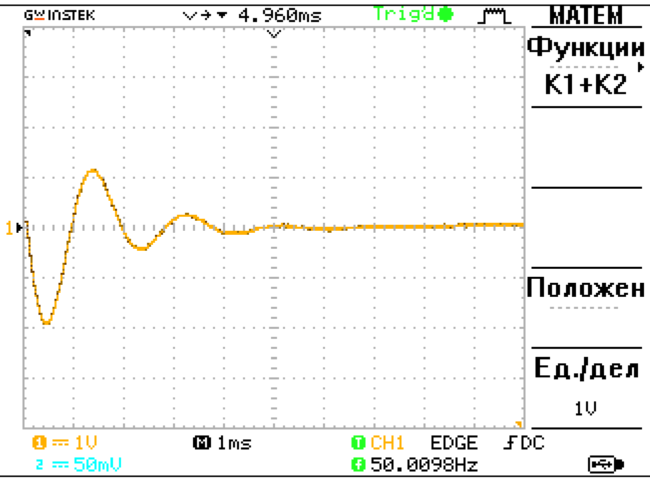


Рисунок *3.1* – Кривая напряжения ГПН

Результаты измерения напряжения U_C приведены в таблице 3.1.

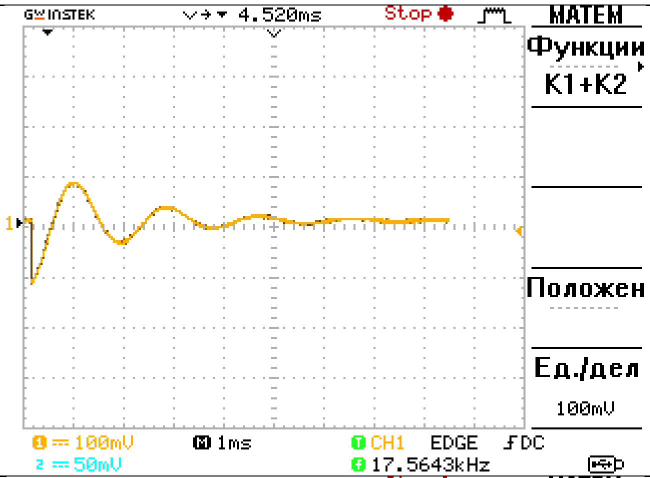
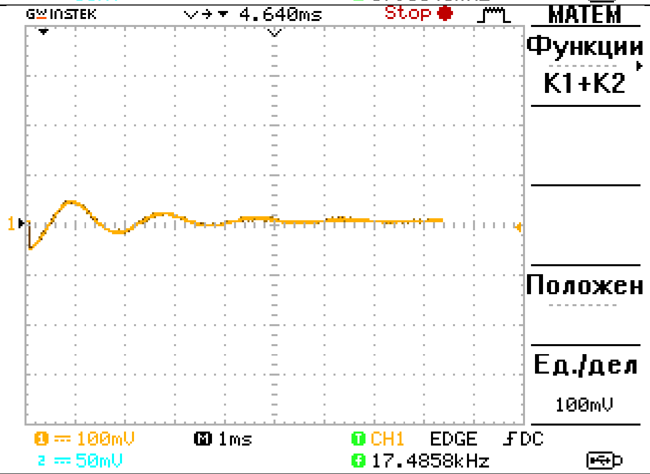
Таблица *3.1* – Графики напряжения при различных значениях *C*

C = 0,22 мкФ	
C = 0,22 мкФ	

C = 1 мкФ	

Результаты измерения тока I_C представлены в таблице 3.2.

Таблица *3.2* – Графики токов при различных значениях r_3.

r_3 = 100 Ом	
r_3 = 100 Ом	

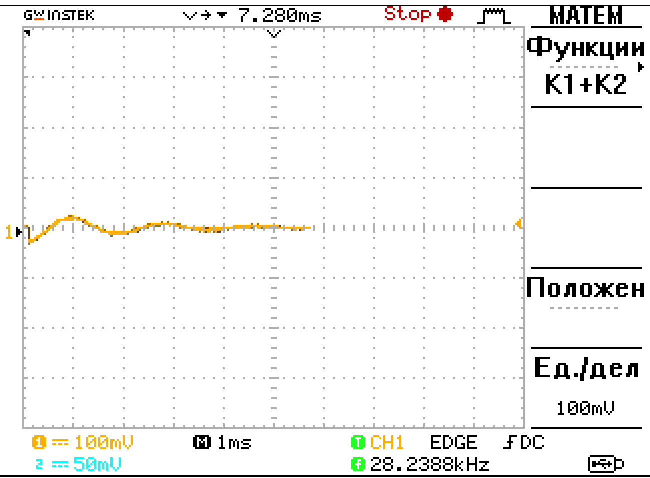
r_3 = 200 Ом	

График напряжения U в дифференцирующей цепи принимает вид

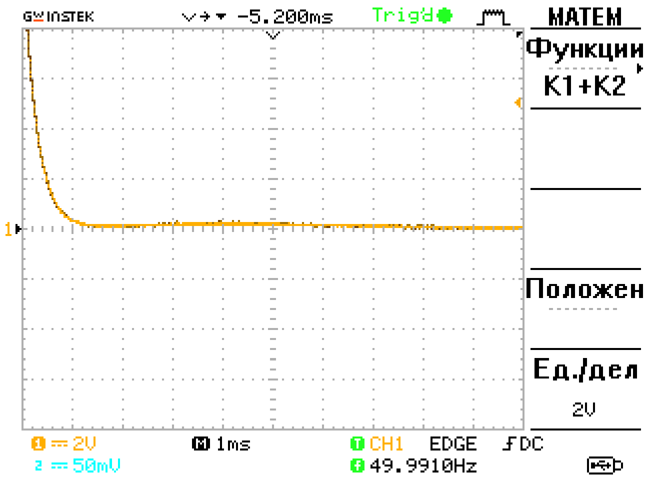


Рисунок *3.2* – График напряжения в дифференцирующей цепи

График напряжения U в интегрирующей цепи принимает вид

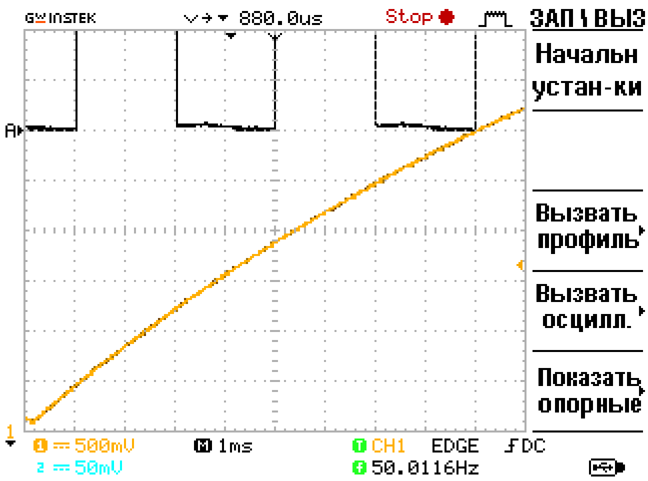


Рисунок *3.3* – График напряжения в интегрирующей цепи

4 Выводы.

В результате проведенных экспериментальных измерений были получены результаты, сопоставимые с результатами теоретических расчетов и графиков. А также экспериментально были выявлены зависимости напряжения и тока от значений емкости конденсатора C_3 и сопротивления r_3:

1) при увеличении емкости конденсатора увеличивается амплитуда затухающих колебаний напряжения U_C;
2) при увеличении значения сопротивления r_3 уменьшается амплитуде затухающих колебаний тока I_3.

При этом период затухающих колебаний напряжения и тока не изменяется. Для напряжения T = 2 мс, для тока T = 2 мс.

Постоянная времени цепи при эксперименте равна:

$$\tau = \left|\frac{1}{\delta}\right| = 0,0018 \text{ с.}$$

Период затухающих колебаний (определяем по графикам в таблице 3.1) равен:

$$T = 2 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Определим декремент и логарифмический декремент затухающих колебаний:

$$\Delta = e^{|\delta| \cdot T} = e^{\frac{T}{\tau}} = e^{\frac{0,002}{0,0018}} = 3,038;$$

$$\theta = \frac{T}{\tau} = \frac{0,002}{0,0018} = 1,111.$$