



Основы электротехники

Отчет по лабораторной работе №2

Исследование переходных процессов в электрических цепях

Группа Р3332

Вариант 23

Выполнил: Чмурова Мария Владиславовна

Дата сдачи отчета:

Дата защиты: 09.10.2024

Контрольный срок защиты: 09.10.2024

Количество баллов:

СПБ – 2024

Оглавление

Цель работы	3
Схема исследуемой RC-цепи	3
Расчётные формулы и расчёты RC-цепи.	3
1.3. Графики переходных процессов RC-цепи.....	4
1.4. Заполненная таблица RC-цепи.....	5
1.5. Схема исследуемой RL-цепи	5
1.6. Расчётные формулы и расчёты RL-цепи	5
1.7. Графики переходных процессов RL-цепи	6
1.8. Заполненная таблица RL-цепи.....	7
1.9. Выводы по работе	7
2.1. Схема исследуемой RLC-цепи. Аперидический процесс	8
2.2. Расчёты RLC-цепи. Аперидический процесс.....	8
2.3. Графики переходных процессов. Аперидический процесс.	10
2.4. Заполненная таблица RLC-цепи. Аперидический процесс	11
2.5. Схема исследуемой RLC-цепи. Колебательный процесс	11
2.6. Расчёты RLC-цепи. Колебательный процесс	11
2.7. Графики переходных процессов. Колебательный процесс	12
2.8. Заполненная таблица RLC-цепи. Колебательный процесс.....	13
2.9. Выводы по работе.	14

Цель работы

Исследование переходных процессов в электрических цепях первого и второго порядков с источником постоянного и переменного напряжения.

Схема исследуемой RC-цепи

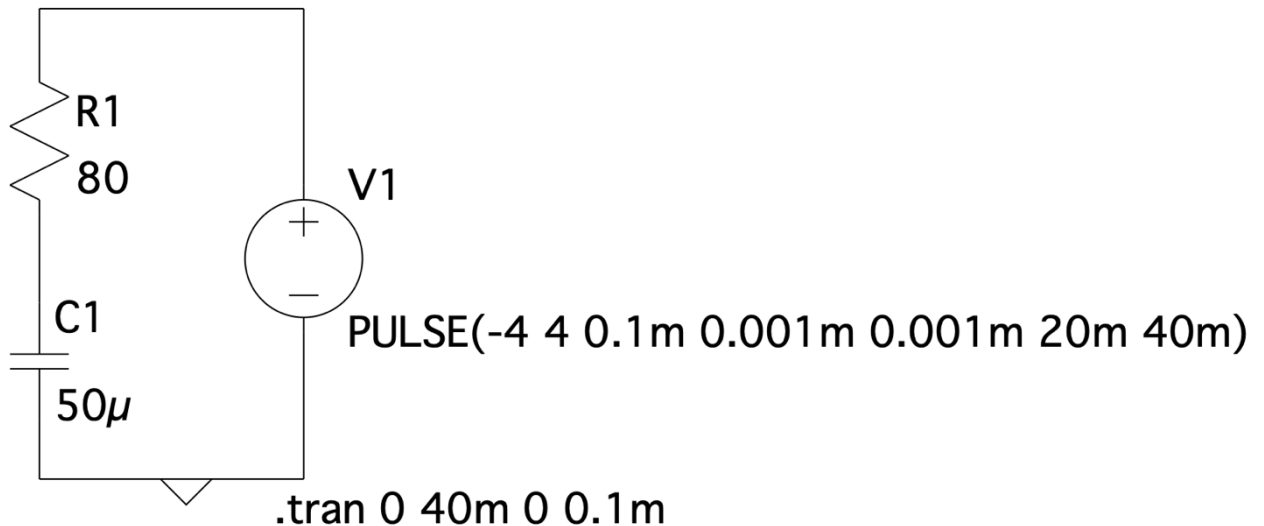


Рисунок 1. Схема RC-цепи

Дано:

$$U_m = 4 \text{ [В]}$$

$$R = 80 \text{ [Ом]}$$

$$C = 50 \text{ [Мкф]} = 0.00005 \text{ [ф]}$$

Расчётные формулы и расчёты RC-цепи.

Расчёт постоянной времени τ :

$$\tau = R \cdot C = 80 \cdot 0.00005 = 4 \text{ [мкс]}$$

Расчёт тока в цепи в момент коммутации ($t = 0+$):

$$I(0+) = \frac{E + U_c}{R} = \frac{4 + 4}{80} = \frac{8}{80} = 0.1 \text{ [А]} = 100 \text{ [мА]}$$

Расчёт напряжения на конденсаторе в момент коммутации ($t = 0+$):

$$U_c(0+) = U_c(0-) = E(0-) = -4 \text{ [В]}$$

Расчёт тока в цепи в установившемся режиме ($t = \infty$):

$$I(\infty) = I(0-) = 0 \text{ [A]}$$

Расчёт напряжения на конденсаторе в установившемся режиме:

$$U_C(\infty) = E(0+) = 4 \text{ [B]}$$

1.3. Графики переходных процессов RC-цепи.

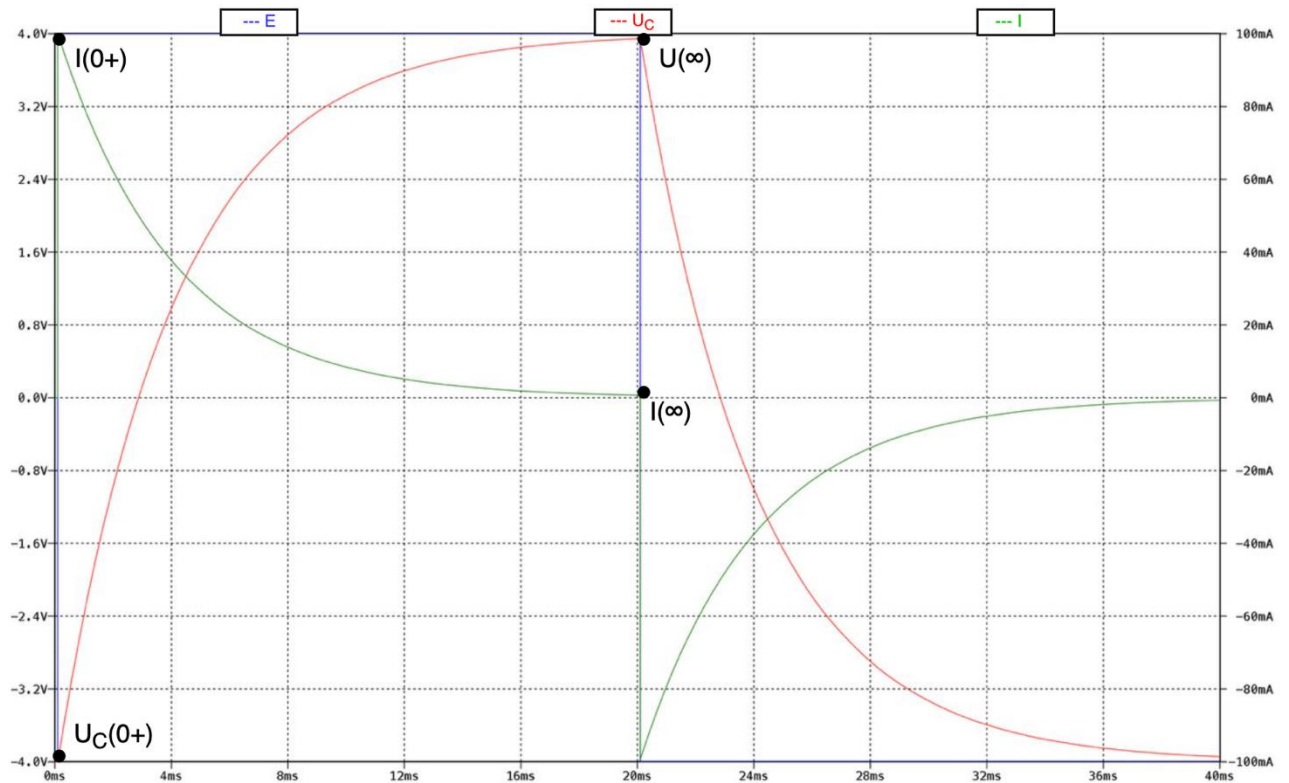


Рисунок 2. Графики переходных процессов RC-цепи

Экспериментальное определение постоянной времени τ :

$$\tau = \frac{t_{0.5}}{\ln 2} = \frac{2.876}{\ln 2} = 4.149 \text{ [мкс]}$$

Полученные экспериментальные значения:

$$I(0+) = 0.1 \text{ [A]} = 100 \text{ [мА]}$$

$$U_C(0+) = -3.947 \text{ [B]}$$

$$I(\infty) = 0.00067 \text{ [A]} = 0.67 \text{ [мА]}$$

$$U_C(\infty) = 3.944 \text{ [B]}$$

1.4. Заполненная таблица RC-цепи

Таблица 1. Результаты измерения и вычислений RC-цепи

R, [Ом]	C, [мкФ]	Тип данных	I(0+), [мА]	I(∞), [мА]	U _C (0+), [В]	U _C (∞), [В]	τ, [мкс]
80	50	Эксп.	100	0.67	-3.947	3.944	4.149
		Расч.	100	0	-4	4	4

1.5. Схема исследуемой RL-цепи

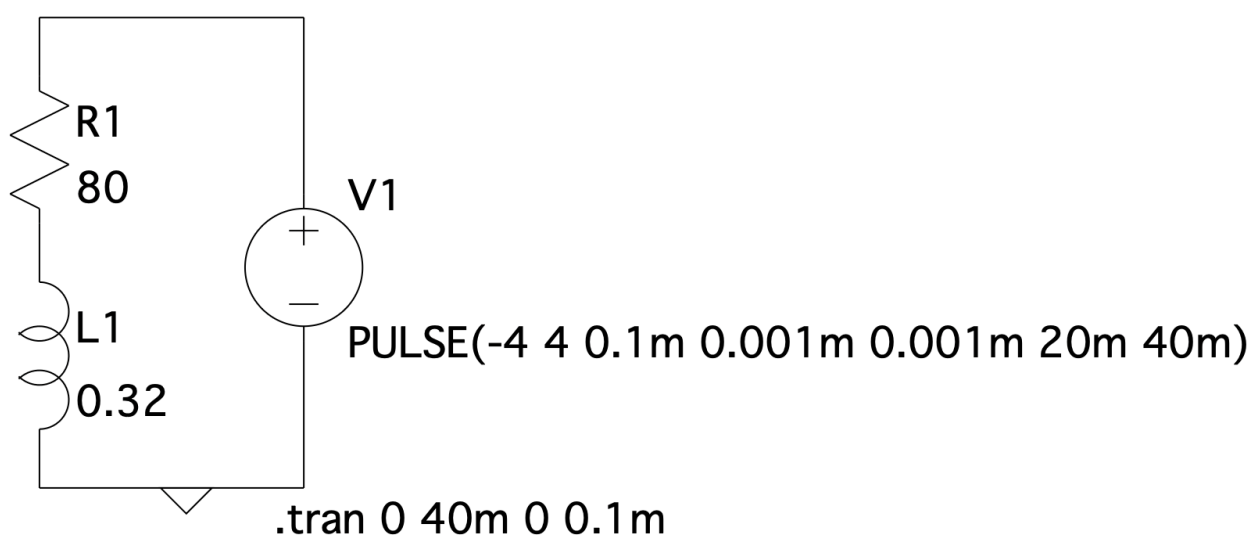


Рисунок 3. Схема RL-цепи

Дано:

$$U_m = 4 \text{ [В]}$$

$$R = 80 \text{ [Ом]}$$

$$R_k = 0 \text{ [Ом]}$$

$$L = 0.32 \text{ [Гн]}$$

1.6. Расчётные формулы и расчёты RL-цепи

Расчёт постоянной времени τ :

$$\tau = \frac{L}{R + R_k} = \frac{0.32}{80 + 0} = 4 \text{ [мкс]}$$

Расчёт тока в цепи в момент коммутации ($t = 0+$):

$$I(0+) = I(0-) = \frac{E(0-)}{R + R_k} = \frac{-4}{80 + 0} = -0.05 \text{ [A]} = -50 \text{ [мА]}$$

Расчёт напряжения на конденсаторе в момент коммутации ($t = 0+$):

$$U_L(0+) = E(0+) - I(0-) \cdot R = 4 - (-0.05) \cdot 80 = 8 \text{ [В]}$$

Расчёт тока в цепи в установившемся режиме ($t = \infty$):

$$I(\infty) = \frac{E(0+)}{R + R_k} = \frac{4}{80 + 0} = 0.05 \text{ [A]} = 50 \text{ [мА]}$$

Расчёт напряжения на конденсаторе в установившемся режиме:

$$U_L(\infty) = I(\infty) \cdot R_k = 0.05 \cdot 0 = 0 \text{ [В]}$$

1.7. Графики переходных процессов RL-цепи

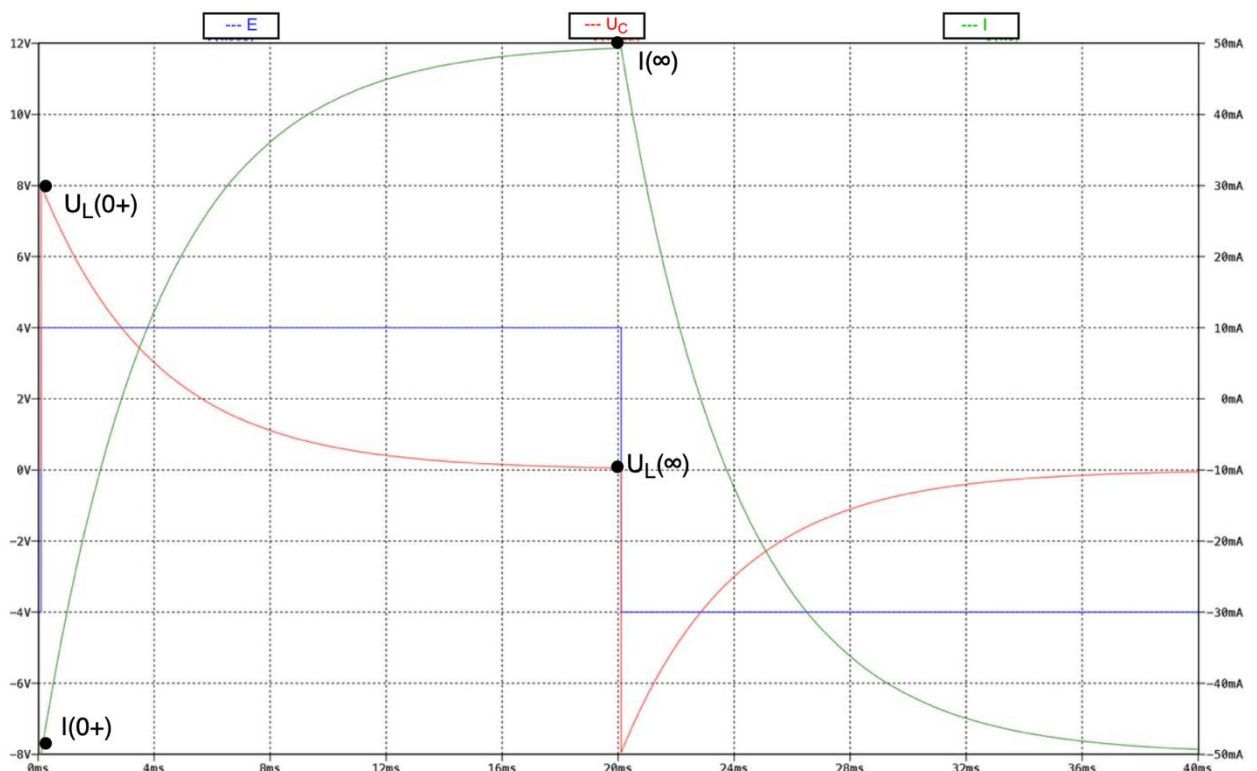


Рисунок 4. Графики переходных процессов RL-цепи

Экспериментальное определение постоянной времени τ :

$$\tau = \frac{t_{0.5}}{\ln 2} = \frac{2.877}{\ln 2} = 4.151 \text{ [мкс]}$$

Полученные экспериментальные значения:

$$I(0+) = -49.337 \text{ [мА]}$$

$$U_L(0+) = 8 \text{ [В]}$$

$$I(\infty) = 49.305 \text{ [мА]}$$

$$U_L(\infty) = 0.053 \text{ [В]}$$

1.8. Заполненная таблица RL-цепи

Таблица 2. Результаты измерения и вычислений RL-цепи

R, [Ом]	L, [мГн]	R _к , [Ом]	Тип данных	I(0+), [мА]	I(∞), [мА]	U _L (0+), [В]	U _L (∞), [В]	τ, [мкс]
80	320	0	Эксп.	-49.337	49.305	8	0.053	4.151
			Расч.	-50	50	8	0	4

1.9. Выводы по работе

Изучено поведение переходных процессов в цепях: RL- и RC- цепях с источником постоянного напряжения.

Основной характеристикой RC-цепи является напряжение на конденсаторе, который экспоненциально нарастает после подачи напряжение, а ток через цепь экспоненциально убывает, т.к. конденсатор накапливает заряд и ток убывает. В момент $t = 0+$ напряжение на конденсаторе равно 0, а ток максимален. В момент $t = \infty$ напряжение на конденсаторе равно напряжению на источнике, а ток равен нулю. Также определена постоянная времени τ , определяющая промежуток времени, за который завершается переходный процесс. Время полного переходного процесса $\sim 3\tau$.

В RL-цепи ток изменяется через катушку индуктивности. При источнике напряжения ток в цепи экспоненциально возрастает, а напряжение на катушке максимально. В установившемся режиме ток достигает максимального значения, а напряжение в катушке падает до нуля. Постоянная времени для RL-цепи τ определяет скорость нарастания тока в цепи.

Переходные процессы в электрических цепях зависят от сопротивления, емкости и индуктивности. Постоянная времени τ определяет длительности переходного процесса и позволяет оценить его.

2.1. Схема исследуемой RLC-цепи. Аперидический процесс

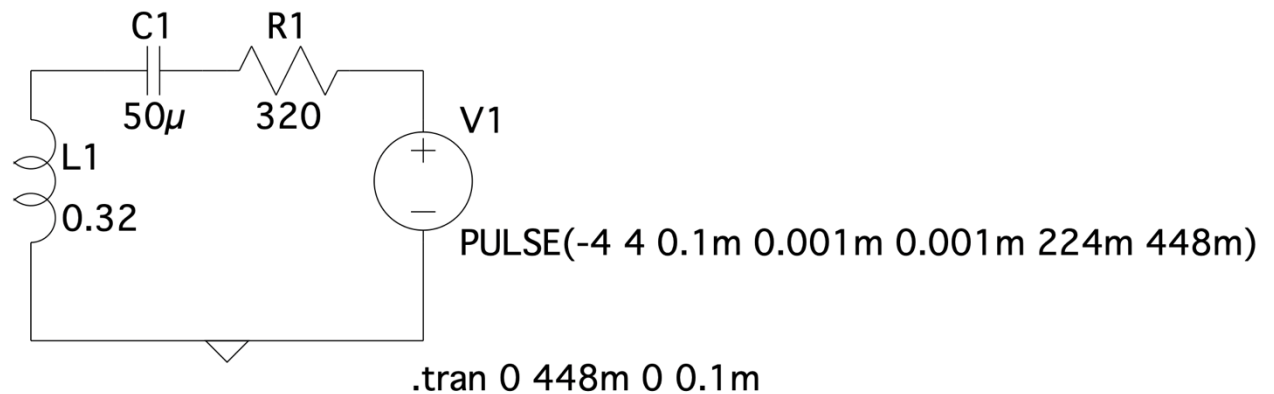


Рисунок 5. Схема исследуемой RLC-цепи

Дано:

$$U_m = 4 \text{ [В]}$$

$$R = 4 \cdot \rho = 4 \cdot 80 = 320 \text{ [Ом]}$$

$$L = 0.32 \text{ [Гн]}$$

$$C = 50 \text{ [мкФ]}$$

2.2. Расчёты RLC-цепи. Аперидический процесс

$$E_{sum} = (|E(0-)| + |E(0+)|) \cdot \text{sign}(E(0+)) = (4 + 4) \cdot 1 = 8 \text{ [В]}$$

Ток в цепи в момент коммутации:

$$I(0+) = \frac{E_{sum}}{L(s_1 - s_2)} (s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}) =$$

$$= \frac{8}{0.32(-66.987 + 933.013)} (e^{-66.987 \cdot 0} + e^{-933.013 \cdot 0}) = 0 \text{ [A]}$$

Рассчитанное напряжение на конденсаторе:

$$U_C(0+) = E(0+) - \frac{E_{sum}}{s_1 - s_2} (s_1 e^{s_2 t} - s_2 e^{s_1 t}) =$$

$$= 4 - \frac{8}{-66.987 + 933.013} (-66.987 \cdot e^{933.013 \cdot 0} + 933.013 e^{-66.987 \cdot 0}) = -4 \text{ [B]}$$

Рассчитанное напряжение на катушке индуктивности:

$$U_L(0+) = \frac{E_{sum}}{s_1 - s_2} (s_1 e^{s_1 t} - s_2 e^{s_2 t}) =$$

$$= \frac{8}{-66.987 + 933.013} (-66.987 \cdot e^{-66.987 \cdot 0} + 933.013 e^{-933.013 \cdot 0}) = 8 \text{ [B]}$$

Расчет времени переходного процесса t_p :

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{320}{2 \cdot 0.32} = 500 \text{ [c}^{-1}\text{]}$$

$$\omega_c = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \sqrt{\frac{1}{0.32 \cdot 0.00005}} = 250 \text{ [c}^{-1}\text{]}$$

$$t_p = \frac{3}{\delta - \sqrt{\delta^2 - \omega_c^2}} = \frac{3}{500 - \sqrt{500^2 - 250^2}} = 0.0448 \text{ [c]}$$

2.3. Графики переходных процессов. Аperiodический процесс.

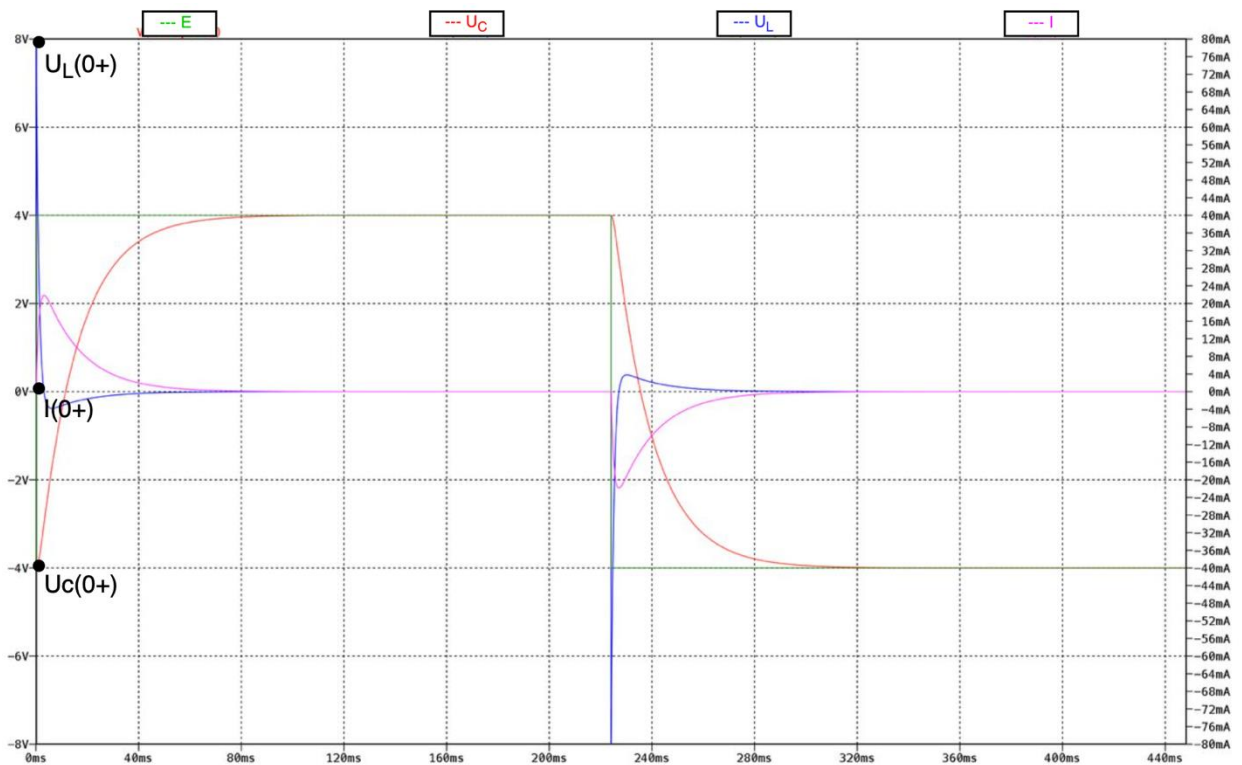


Рисунок 6. Графики переходных процессов RLC-цепи

Экспериментальный расчет времени переходного процесса t_p :

$$t_p = \tau \cdot 3 = \frac{t_{0.5}}{\ln 2} \cdot 3 = \frac{0.01152}{\ln 2} \cdot 3 = 0.0498 [c]$$

Измеренный ток в момент коммутации:

$$I(0+) = 0.001 [mA]$$

Измеренное напряжение на конденсаторе:

$$U_C(0+) = 7.995 [V]$$

Измеренное напряжение на катушке индуктивности:

$$U_L(0+) = -4.001 [V]$$

2.4. Заполненная таблица RLC-цепи. Аперiodический процесс

Таблица 3. Таблица вычисления RLC-цепи. Аперiodический процесс

Параметры элементов цепи			$U_C(0+)$		$U_L(0+)$		$I(0+)$		t_p	
R [Ом]	L [мГн]	C [мкФ]	расч [В]	эсп [В]	расч [В]	эсп [В]	расч [В]	эсп [В]	расч [мкс]	эсп [мкс]
320	320	50	-4	-4.001	8	7.995	0	0.001	0.0448	0.0498

2.5. Схема исследуемой RLC-цепи. Колебательный процесс

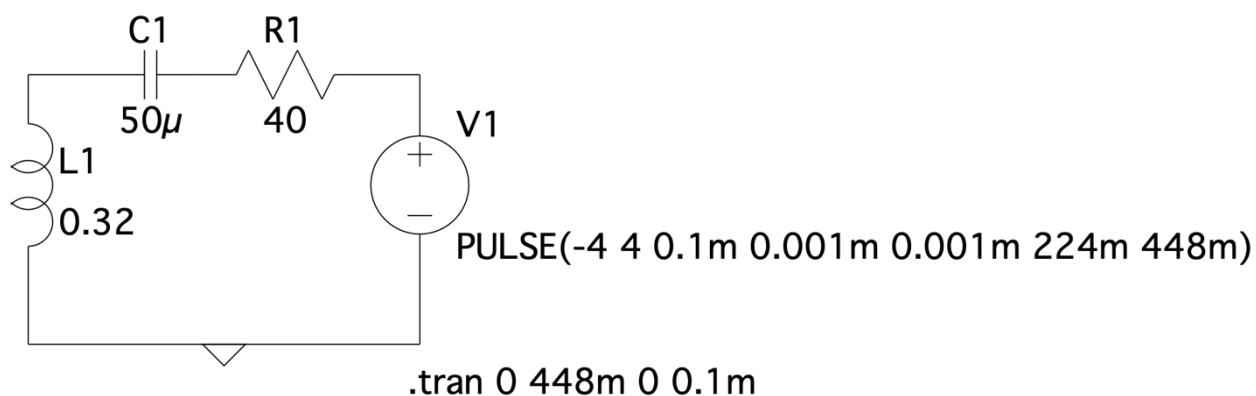


Рисунок 7. Схема исследуемой RLC-цепи

Дано:

$$U_m = 4 \text{ [В]}$$

$$R = \frac{\rho}{2} = \frac{80}{2} = 40 \text{ [Ом]}$$

$$L = 0.32 \text{ [Гн]}$$

$$C = 50 \text{ [мкФ]}$$

2.6. Расчёты RLC-цепи. Колебательный процесс

Расчет коэффициента затухания:

$$\delta = \frac{R}{2L} = \frac{40}{2 \cdot 0.32} = 62.5 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

Расчет частоты собственных колебаний:

$$\omega_c = \sqrt{\frac{1}{LC} - \delta^2} = \sqrt{\frac{1}{0.32 \cdot 0.00005} - 62.5^2} = 242.061 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

2.7. Графики переходных процессов. Колебательный процесс

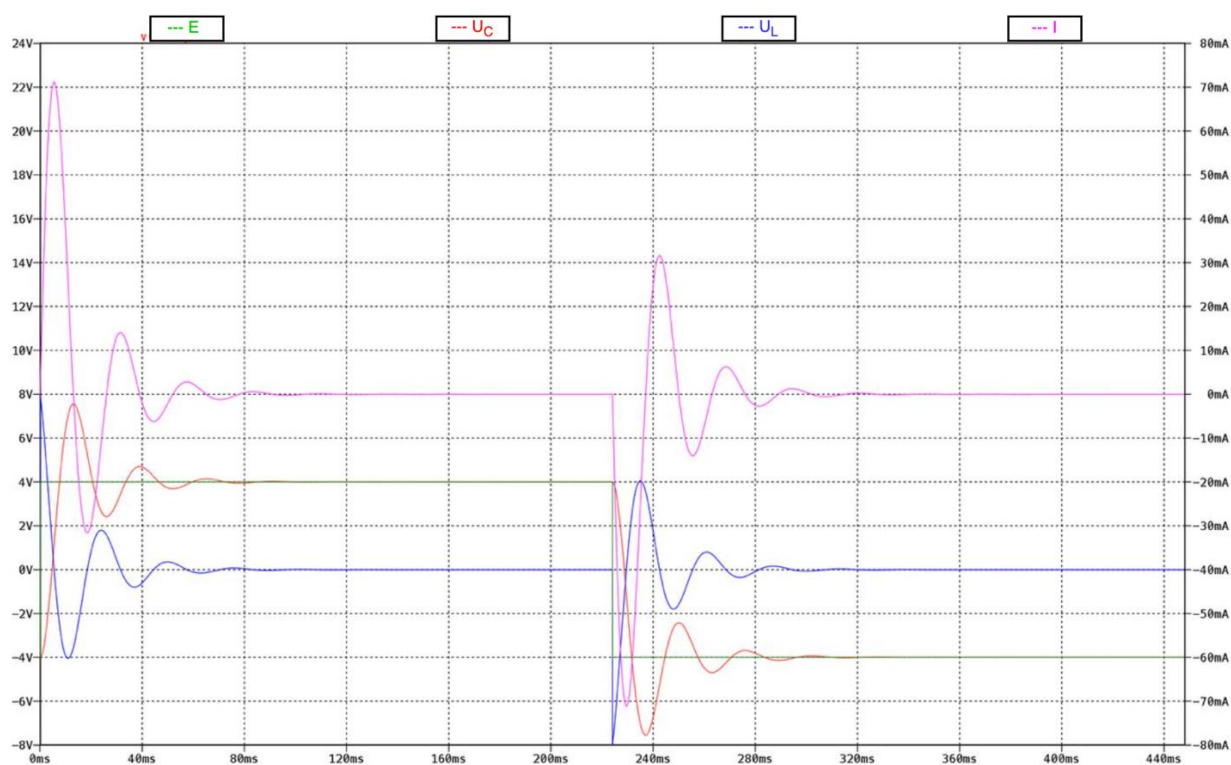


Рисунок 8. Графики переходных процессов RLC-цепи

Для экспериментального расчета значений коэффициента затухания и частоты собственных колебаний воспользуемся графиком тока (I):

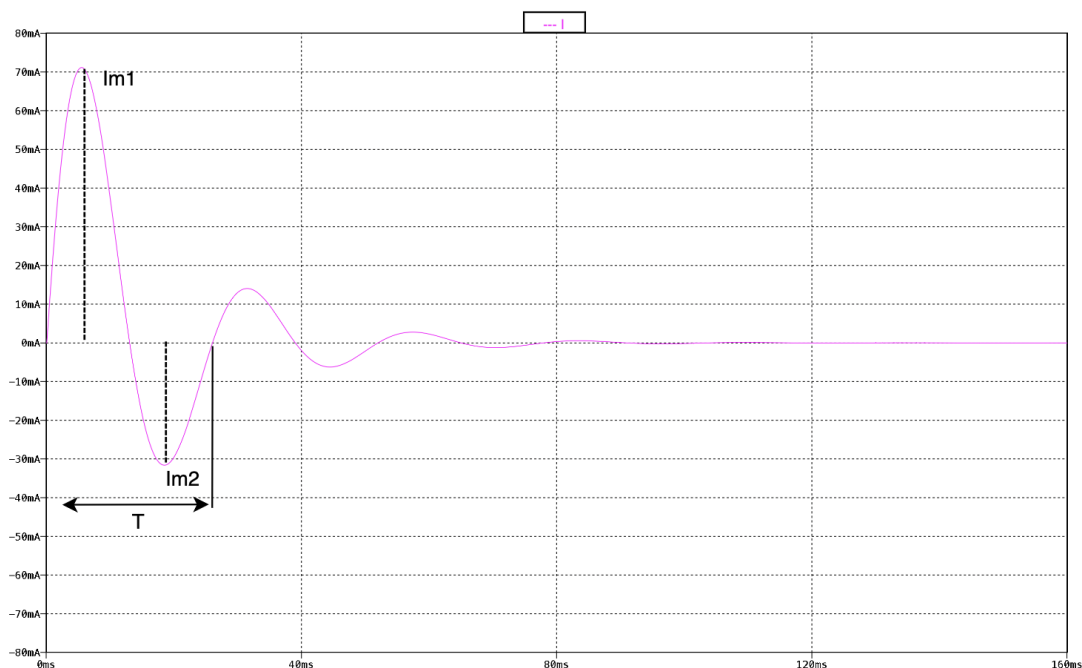


Рисунок 9. Определение коэффициентов RLC-цепи

$$I_{m1} = 71 \text{ [mA]} = 0.071 \text{ [A]}$$

$$I_{m2} = 31 \text{ [mA]} = 0.031 \text{ [A]}$$

$$T = 26 \text{ [мс]} = 0.026 \text{ [с]}$$

Тогда соответственный расчёт значений коэффициента затухания и частоты собственных колебаний:

$$\delta = \frac{\ln\left(\frac{0.071}{0.031}\right)}{0.026} = 31.126 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

$$\omega_c = \frac{2\pi}{T} = 241.66 \text{ [с}^{-1}\text{]}$$

2.8. Заполненная таблица RLC-цепи. Колебательный процесс

Таблица 4. Таблица вычисления RLC-цепи. Колебательный процесс

Параметры элементов цепи			δ		ω_c	
R [Ом]	L [мГн]	C [мкФ]	расч [с ⁻¹]	эксп [с ⁻¹]	расч [с ⁻¹]	эксп [с ⁻¹]
40	320	50	62.5	31.126	242.061	241.66

2.9. Выводы по работе.

Были исследованы переходные процессы второго порядка с источником постоянного напряжения: апериодические и колебательные процессы.

Было изучено, что в апериодическом характере все корни характеристического уравнения являются действительными. Это подтверждается тем, что напряжение и ток в цепи затухают экспоненциально без колебаний. Характер переходного процесса изменялся за счет изменения резистивного сопротивления.

В колебательном поведении цепи наблюдаются комплексно-сопряженные корни характеристического уравнения. Это указывает на наличие затухающих колебаний в цепи. Определение коэффициента затухания и частоты собственных колебаний по формулам и экспериментальным путем показало согласованность теоретических и экспериментальных данных. Затухание зависит от сопротивления, а частота связана с параметрами индуктивности и емкости. В ходе эксперимента подтверждено, что при меньших значениях сопротивления резистора колебания становятся выраженными, тогда как увеличение сопротивления резистора приводит к затуханию колебаний.

Переходные процессы второго порядка изменяются от апериодического к колебательному при изменении сопротивления резистора. Таким образом, сопротивление резистора оказывает решающее влияние на характер процесса.