Раздел 6. Переходные процессы в линейных электрических цепях

6.1. Законы коммутации

Переходным процессом называют процесс, возникающий при переходе цепи из одного устойчивого режима к другому.

Скачкообразное изменение в электрической цепи называется коммутацией.

Время, в течении которого происходит коммутация, значительно меньше времени, в течении которого проходит переходный процесс и считается равным нулю.

1-й закон коммутации: ток в ветви с индуктивным элементом не может измениться скачком.

(ток в индуктивности до коммутации равен току в индуктивности в начальный момент после коммутации)

$$i_L(0_-) = i_L(0_+)$$

2й закон коммутации: напряжение в ветви с емкостным элементом не может измениться скачком.

(напряжение на емкости до коммутации равно напряжению на емкости в начальный момент после коммутации)

$$u_C(0_-) = u_C(0_+)$$

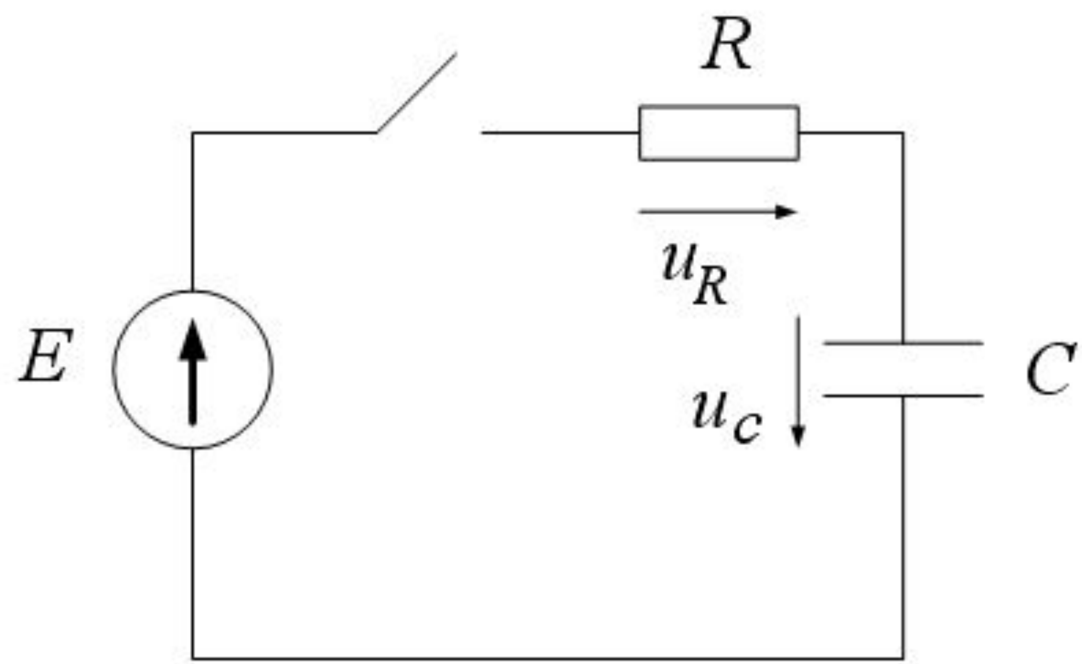
6.2. Переходный процесс в RC-цепи

Методы анализа переходного процесса

1. Классический метод анализа.
2. Операторный метод анализа.
3. Спектральный метод анализа.
4. На основе интеграла Дюамеля.

Классический метод анализа переходного процесса состоит в решении дифференциального уравнения, описывающего цепь (уравнение Кирхгофа), с учетом начальных и конечных условий (устойчивых состояний электрической цепи до и после коммутации)

6.2. Переходный процесс в RC-цепи



Начальные условия: до начала коммутации конденсатор был заряжен до напряжения U_{C0}.

6.2. Переходный процесс в RC-цепи

Дифференциальное уравнение переходного процесса:

$$R \cdot C \cdot \left(\frac{d}{dt} u_c \right) + u_c = E$$

Начальные условия: $u_c = U_{C0}$

Конечные условия: $u_c = E$

6.2. Переходный процесс в RC-цепи

Решение дифференциального уравнения ищут в виде суммы свободной и принужденной составляющих

$$u_c = u_{св} + u_{пр}$$

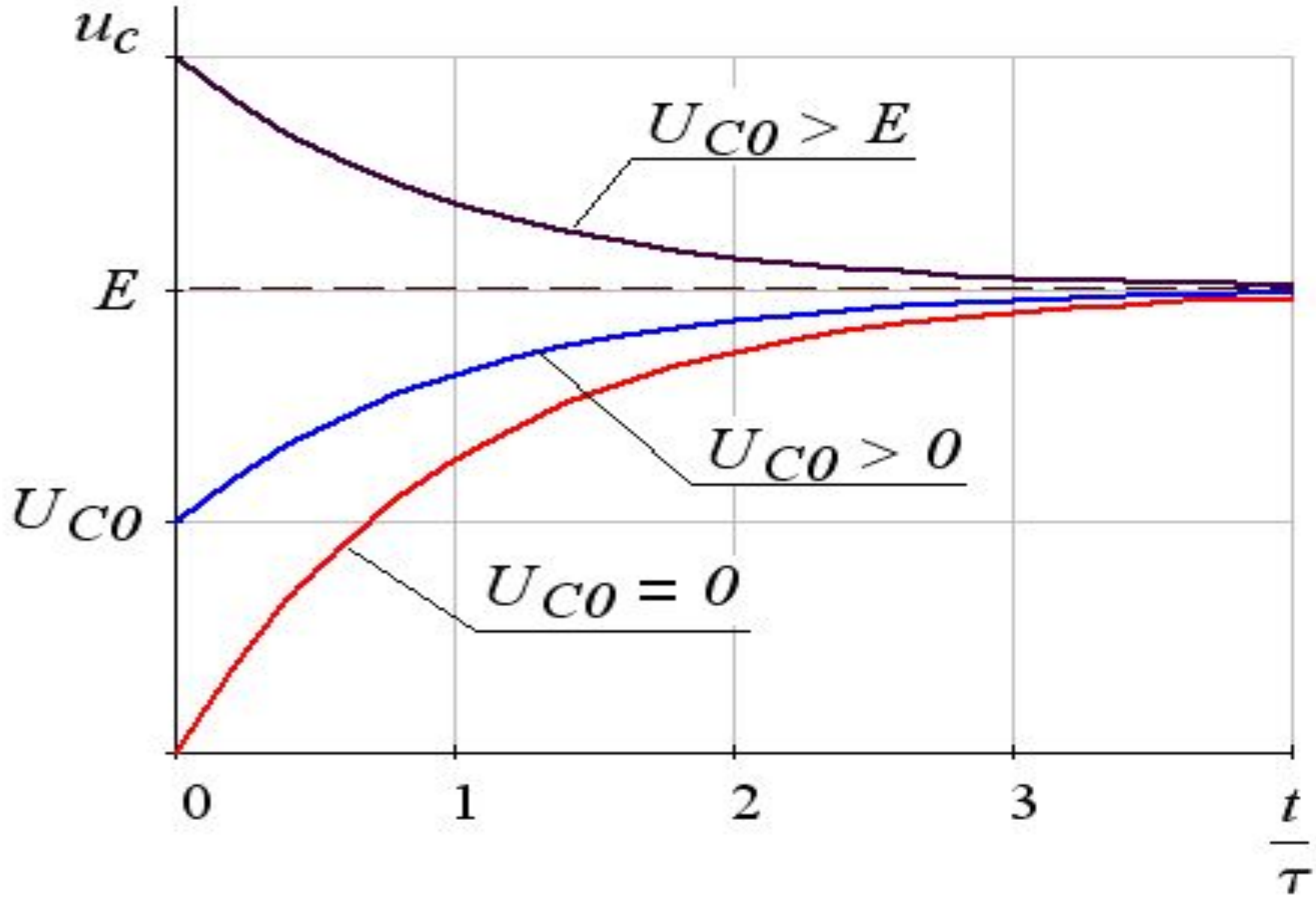
Свободная составляющая соответствует решению общего уравнения переходного процесса.

Принужденная составляющая соответствует напряжению для установившегося после коммутации режима.

$$u_{св} = A \cdot e^{p \cdot t} \qquad u_{пр} = E$$

6.2. Переходный процесс в RC-цепи

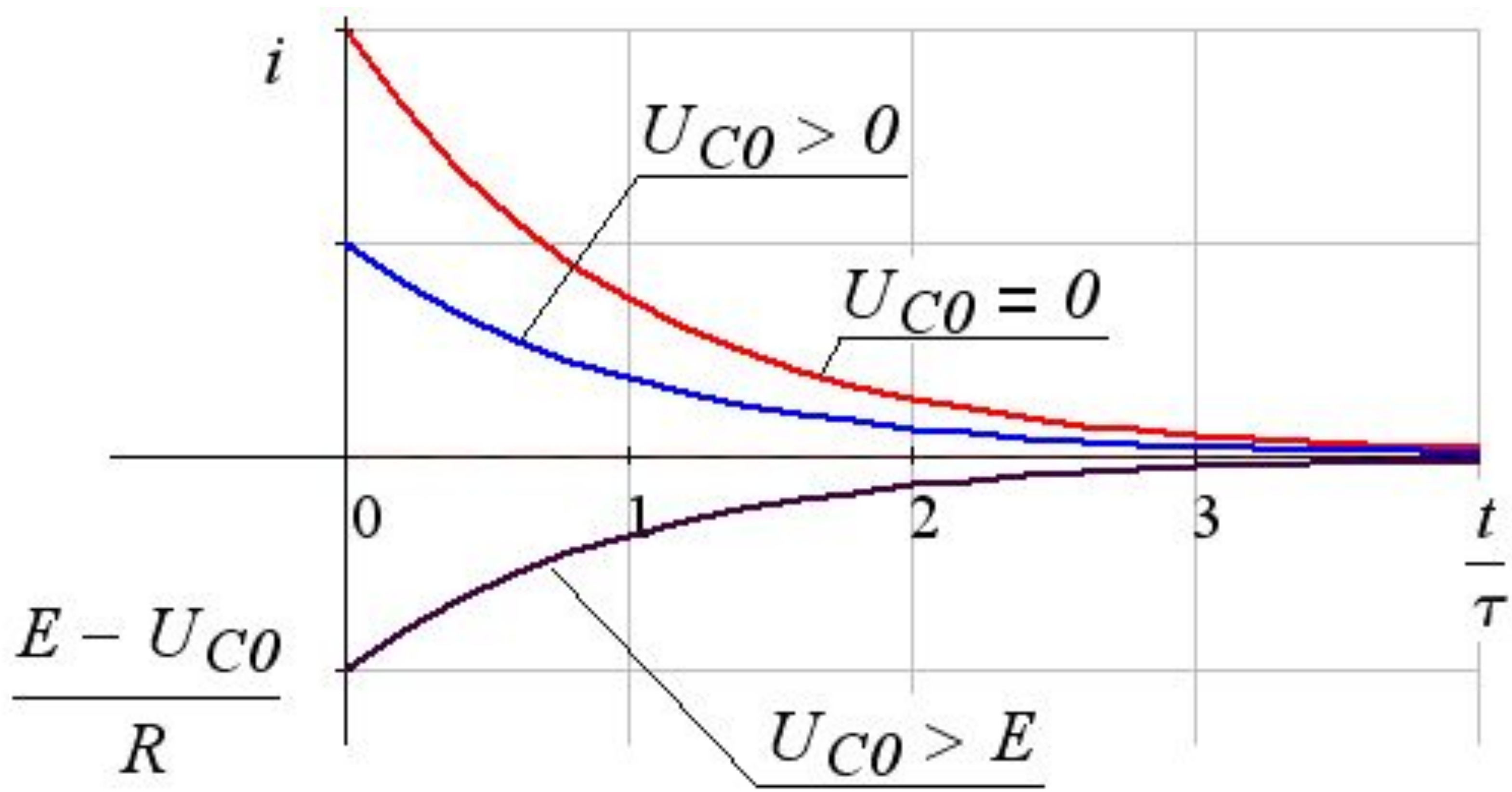
Зависимость напряжения конденсатора от времени



Постоянная времени $\tau = R \cdot C$

6.2. Переходный процесс в RC-цепи

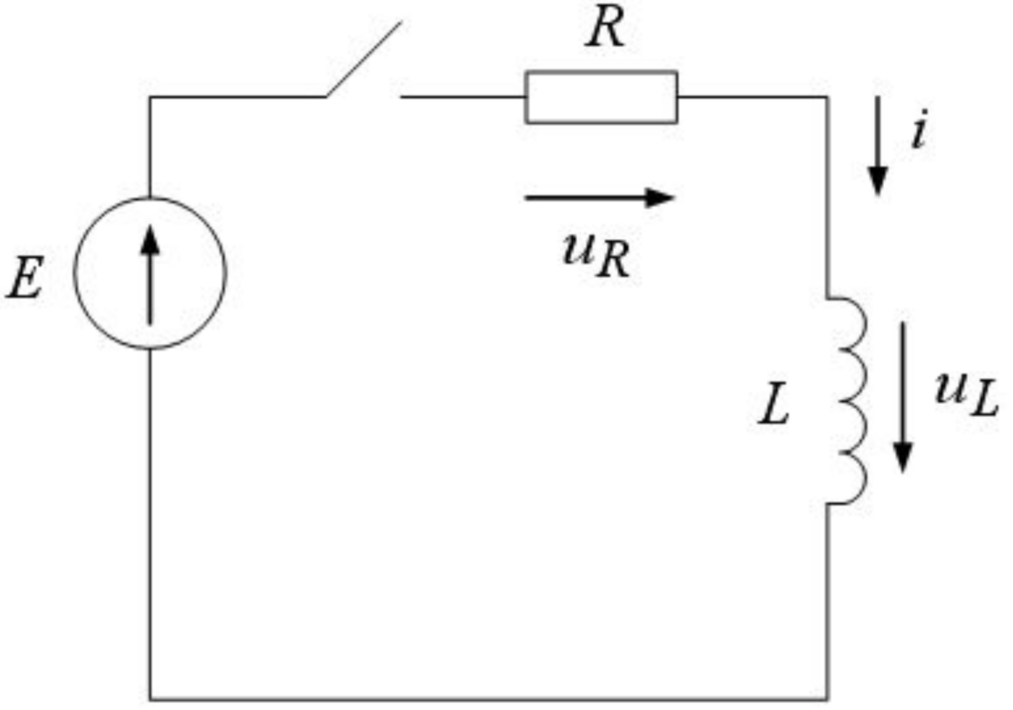
Зависимость тока в цепи от времени



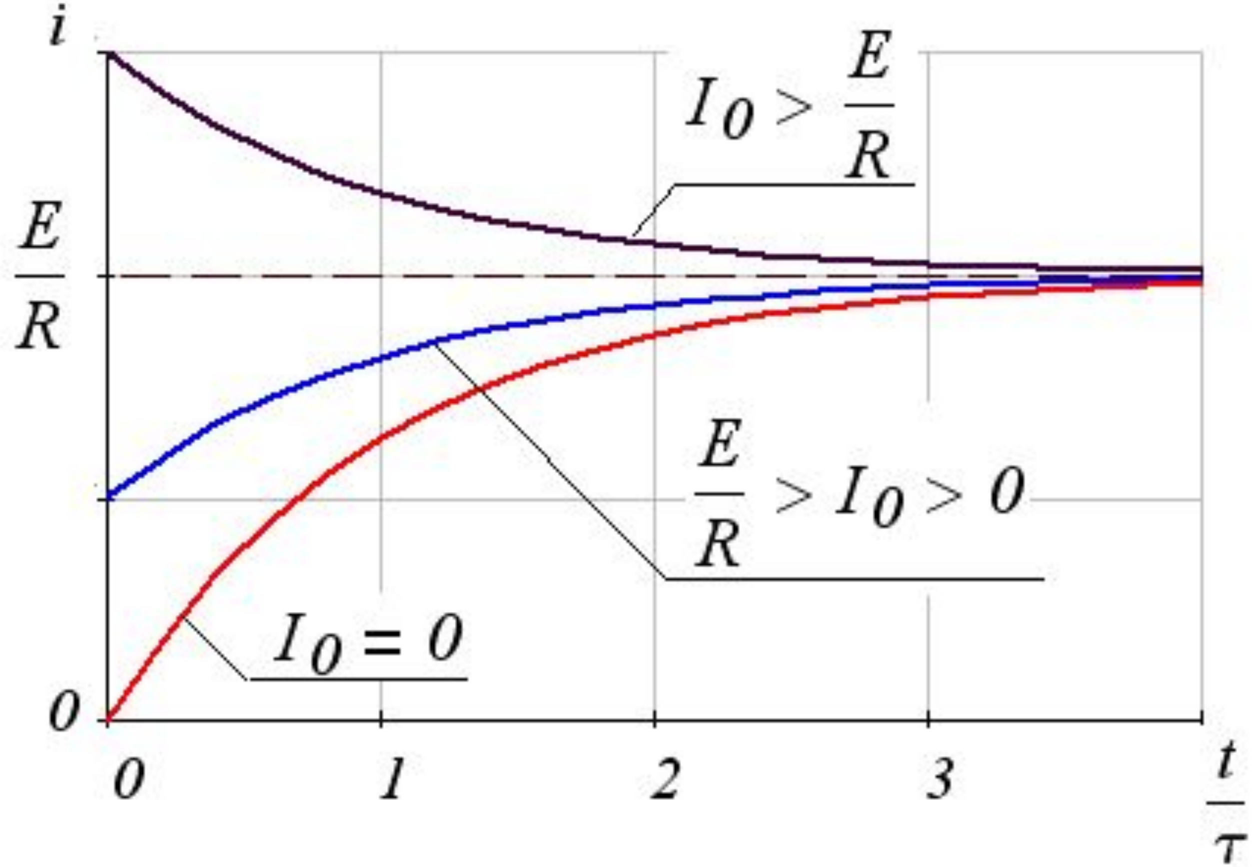
6.2. Переходный процесс в RC-цепи

- Изменение напряжения (и тока) происходит с постоянной относительной скоростью, которую характеризует постоянная времени.
- Постоянная времени зависит от параметров цепи: R и C.
- Напряжение на конденсаторе не может измениться скачком, но ток – может. Чем меньше сопротивление в цепи и чем больше разница начального и конечного напряжения конденсатора, тем больше импульс тока.

6.3. Переходный процесс в RL-цепи

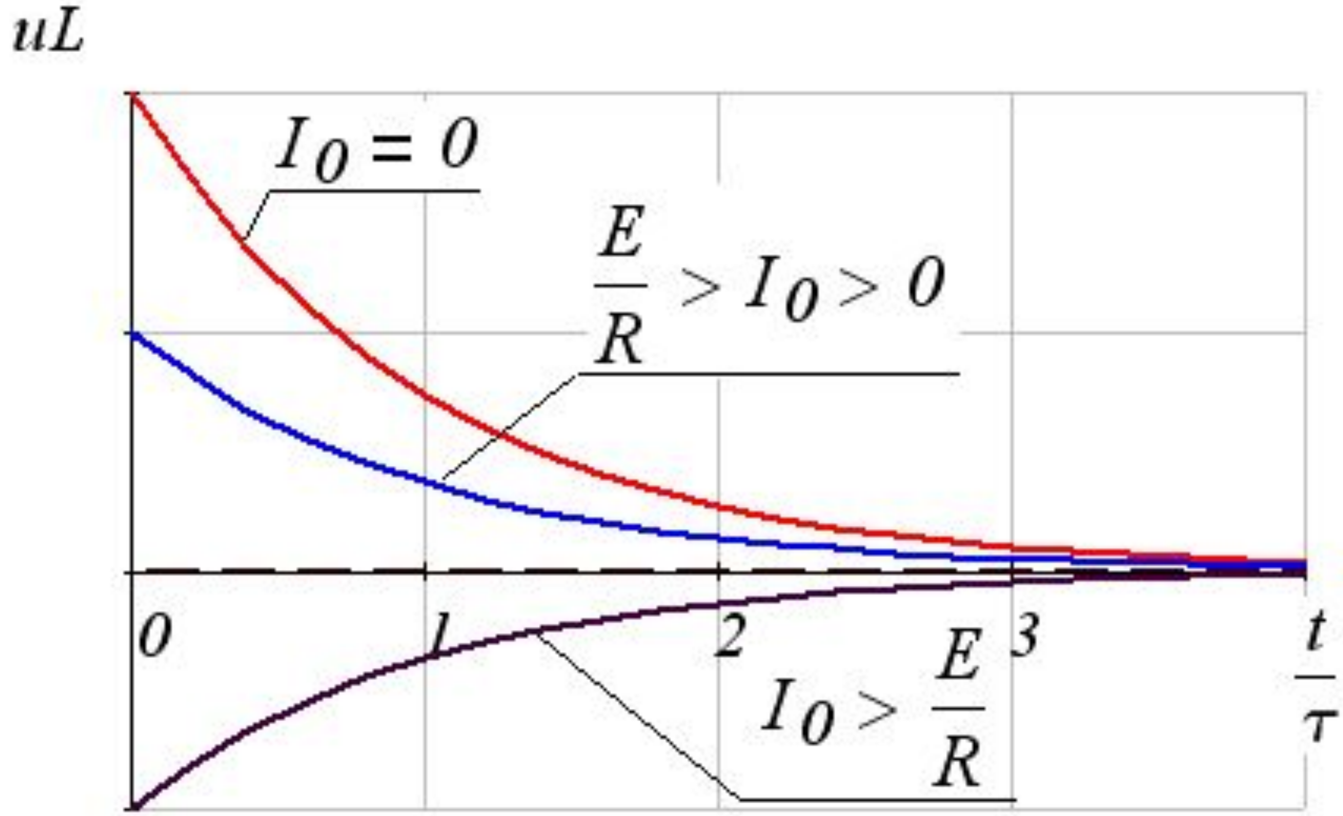


Зависимость тока в цепи от времени



Постоянная времени $\tau = \frac{R}{L}$

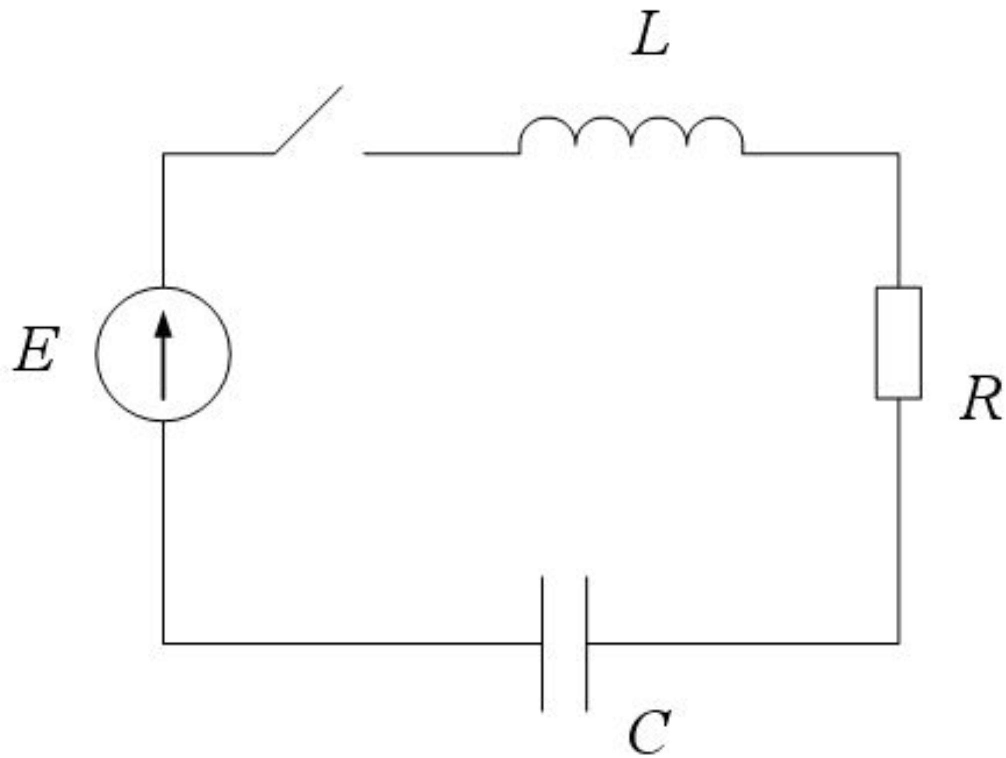
Зависимость напряжения на катушке от времени



6.3. Переходный процесс в RL-цепи

- Изменение тока в RL-цепи происходит с постоянной относительной скоростью, характеризующейся постоянной времени.
- Ток в индуктивном элементе не может измениться скачком, но напряжение – может. Чем выше активное сопротивление цепи, тем выше скачки напряжения.

6.4. Переходный процесс в RLC-цепи



$$L \cdot C \cdot \frac{d^2}{dt^2} u_c + R \cdot C \cdot \frac{d}{dt} u_c + u_c = E$$

6.4. Переходный процесс в RLC-цепи

$$u_c = u_{св} + u_{пр}$$

Принужденная составляющая напряжения конденсатора

$$u_{пр} = E$$

Свободная составляющая – решение дифференциального уравнения

$$L \cdot C \cdot \frac{d^2}{dt^2} u_{св} + R \cdot C \cdot \frac{d}{dt} u_{св} + u_{св} = 0$$

6.4. Переходный процесс в RLC-цепи

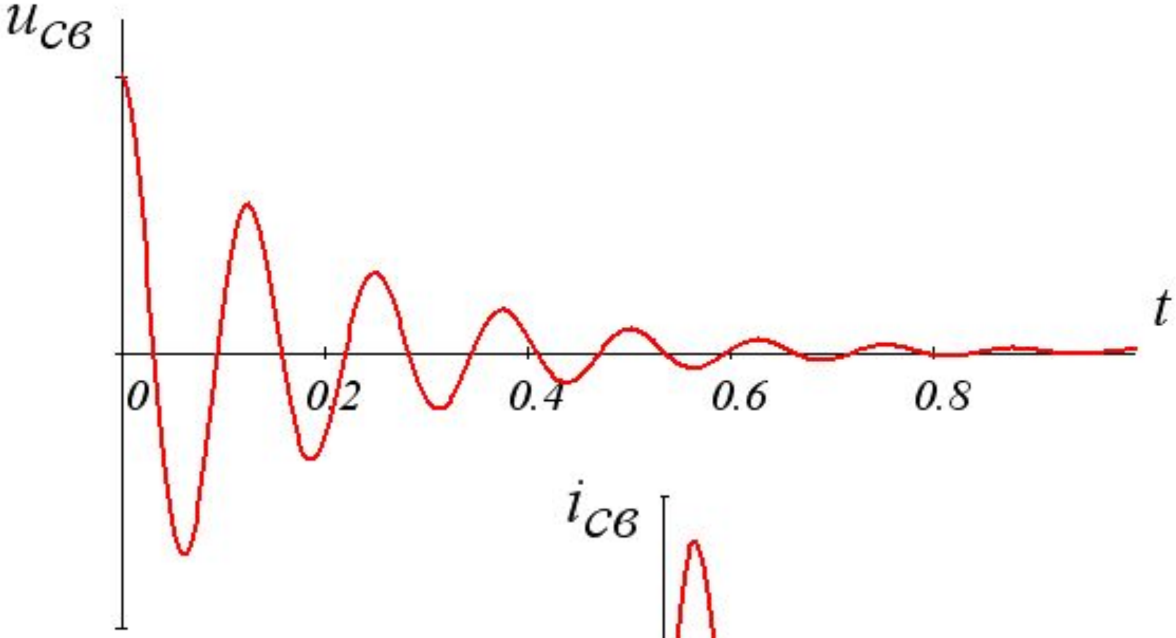
Решение уравнения ищем в виде

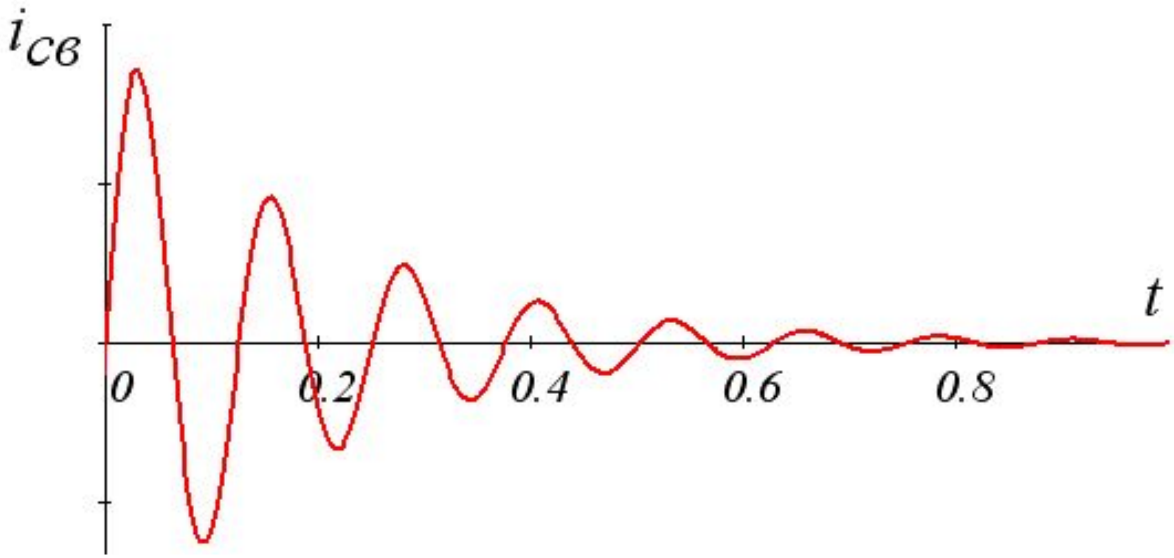
$$u_{св} = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t}$$

p_1 и p_2 – корни характеристического уравнения

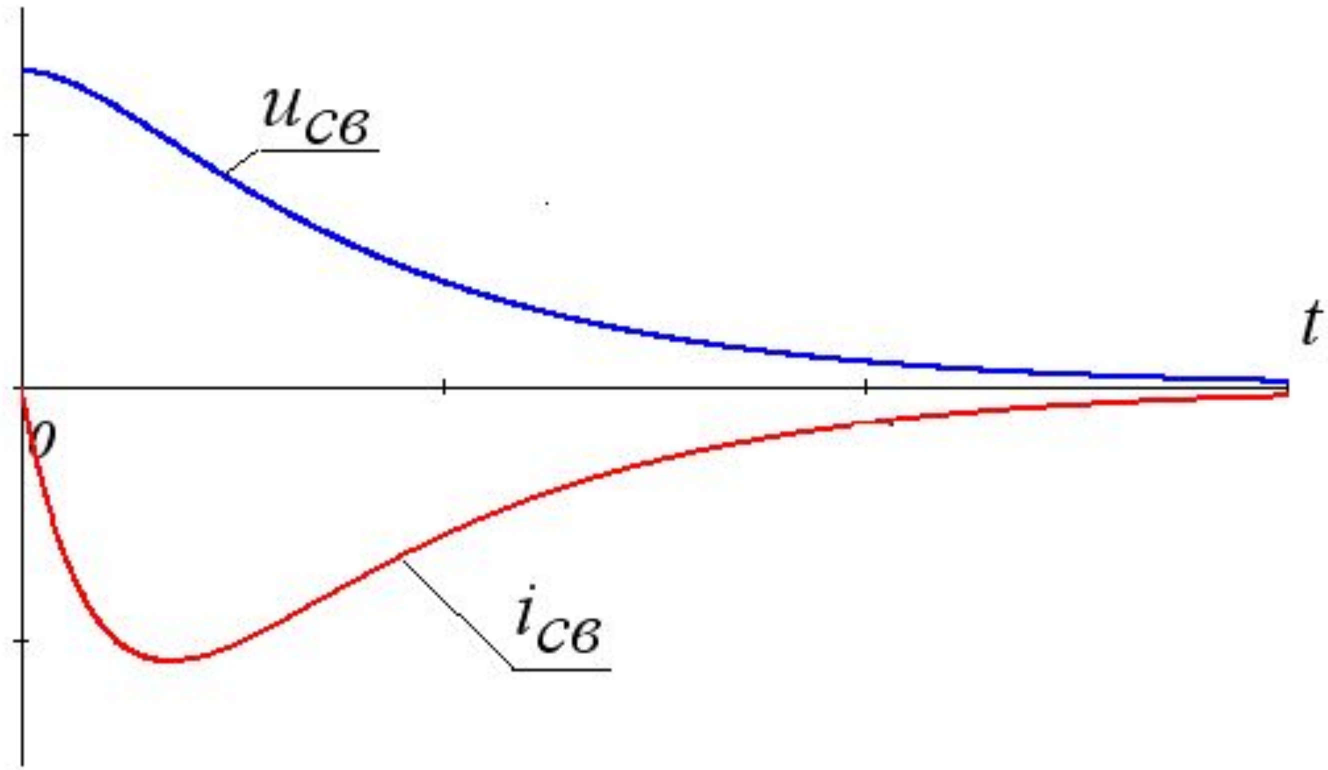
$$L \cdot C \cdot p^2 + R \cdot C \cdot p + 1 = 0$$

Вариант 1: корни характеристического уравнения – комплексно-сопряженные числа





Вариант 2: корни – действительные числа



6.4. Переходный процесс в RLC-цепи

Вариант 3: корни уравнения совпадают