

**Федеральное агентство по образованию
Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА**

А.А. Башев

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

**Кафедра “Теоретическая и общая
электротехника”**

**Для студентов электротехнических
специальностей всех форм обучения**

Тема 4

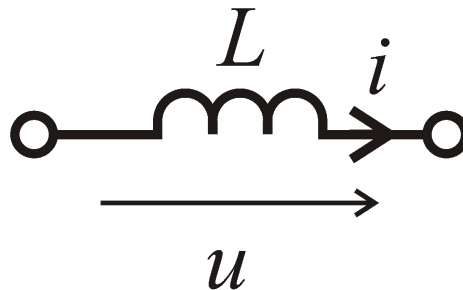
***АНАЛИЗ И РАСЧЕТ
ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ***

ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

Индуктивный элемент

В индуктивном элементе происходит запасание энергии, связанное с прохождением тока, потери и запасание электрической энергии отсутствуют.

Условное графическое обозначение индуктивного элемента

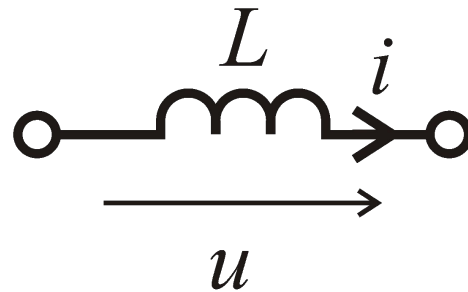


Индуктивные элементы

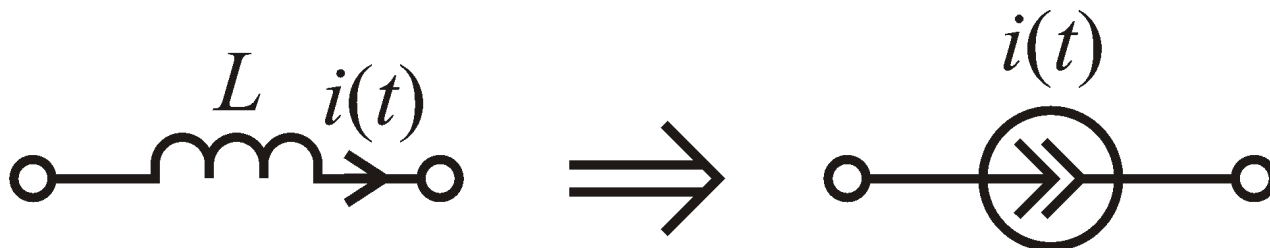


Индуктивный элемент

Условное графическое обозначение индуктивного элемента



$$u_L = L \frac{di_L}{dt}$$

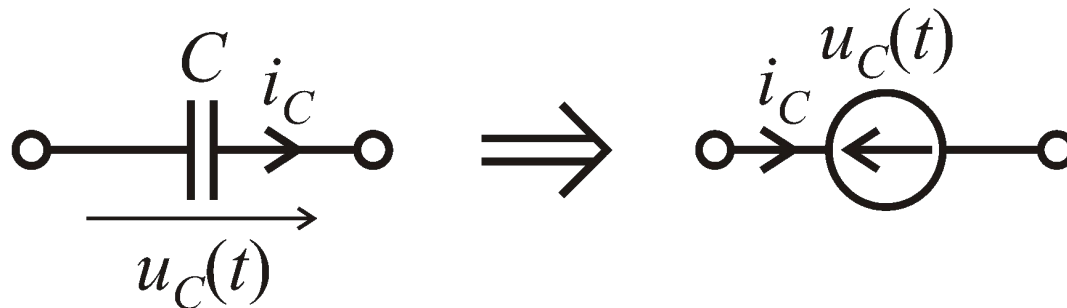


Емкостный элемент

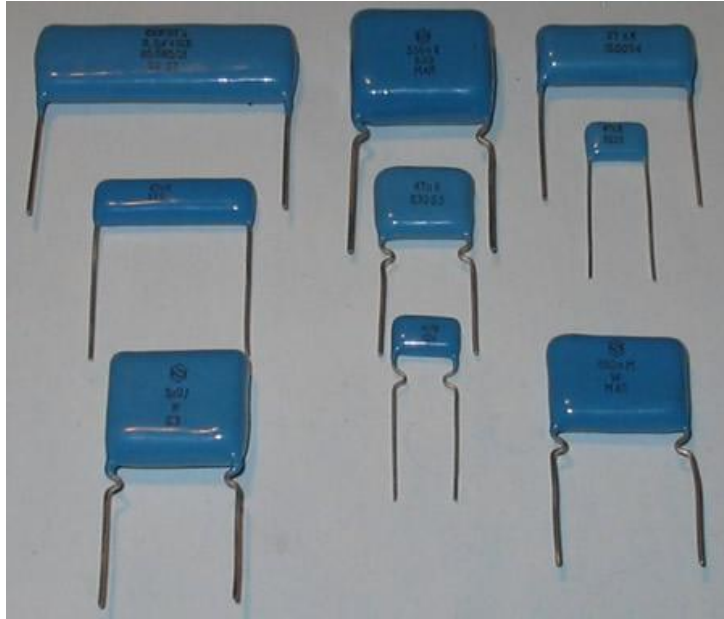
Емкостный элемент

В идеальном емкостном элементе происходит запасание электрической энергии, связанное с прохождением тока, потери и запасание магнитной энергии отсутствуют.

$$i_C = \frac{dQ}{dt} = C \frac{du_C}{dt}$$



Конденсаторы



Законы коммутации и начальные условия

Законы коммутации

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

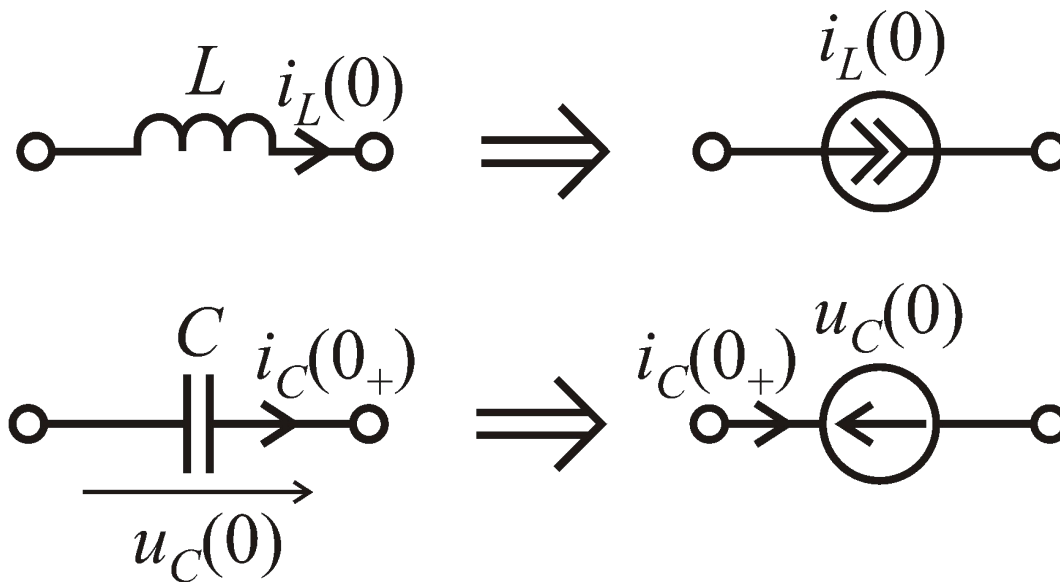
$$u_C(0_-) = u_C(0_+)$$

В начальный момент после коммутации токи индуктивных и напряжения емкостных элементов остаются такими же, какими они были перед коммутацией, а затем плавно изменяются.

Переходные процессы в электрических цепях

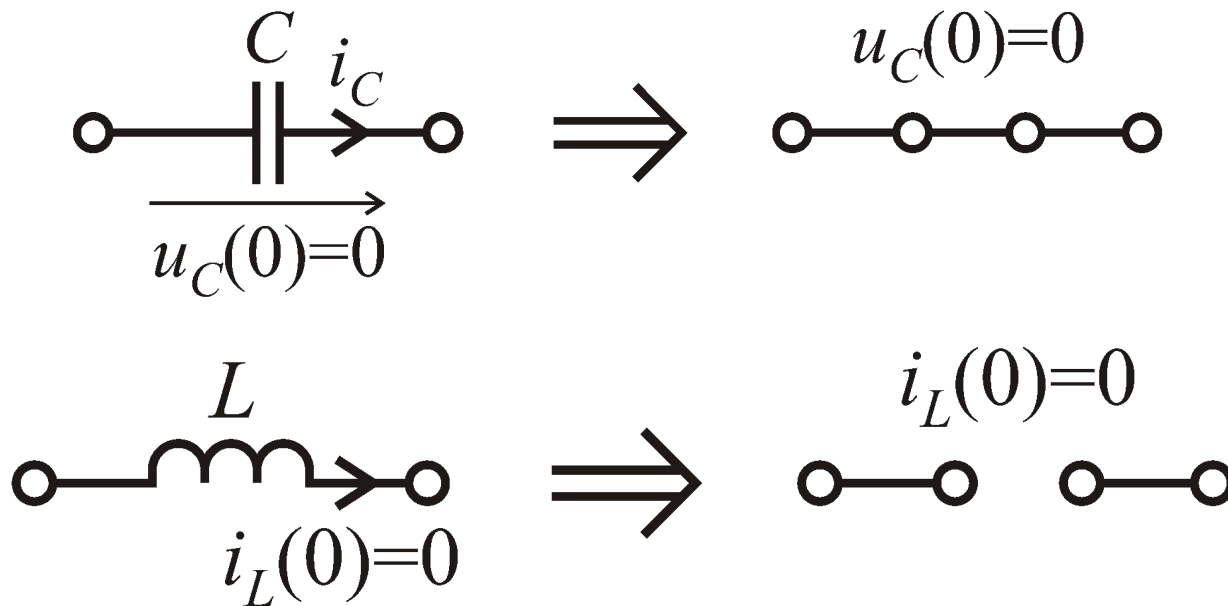
Значения тока индуктивного и напряжения емкостного элементов в момент коммутации называют **независимыми начальными условиями**.

Именно эти токи и напряжения, а также независимые источники, определяют режим цепи в первый момент после коммутации.



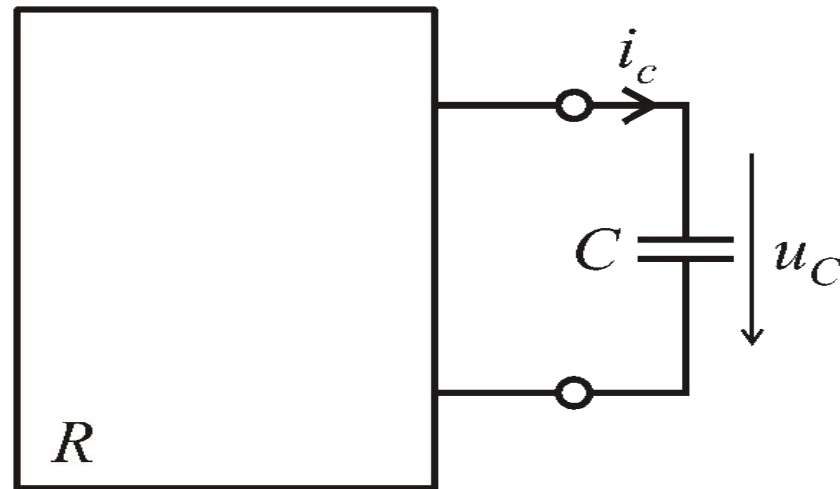
Переходные процессы в электрических цепях

Если в момент коммутации токи всех индуктивных и напряжения всех емкостных элементов равны нулю, то соответствующие начальные условия называют **нулевыми**



Переходные процессы в RC -цепях первого порядка

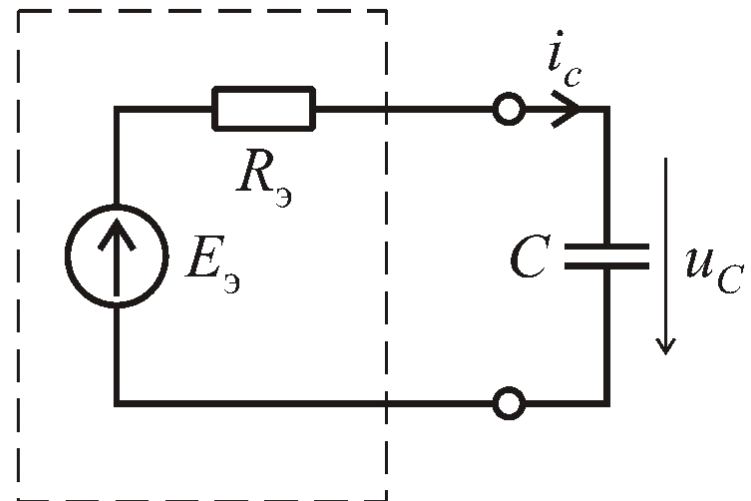
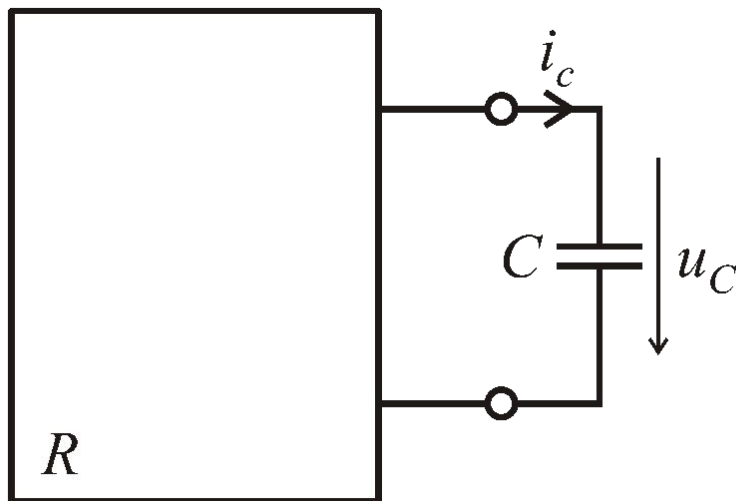
В RC -цепи в момент $t = 0$ происходит коммутация.
Необходимо определить токи и напряжения цепи при $t \geq 0$



Переходные процессы в RC -цепях первого порядка

Определим сначала закон изменения напряжения $u_C(t)$. Зная $u_C(t)$, мы можем представить емкостный элемент источником напряжения $e(t) = u_C(t)$ рассчитать токи и напряжения в резистивной цепи.

Чтобы упростить расчет, заменим резистивную подсхему эквивалентным двухполюсником



Переходные процессы в RC -цепях первого порядка

В соответствии со вторым законом Кирхгофа:

$$R_3 i_C + u_C = E_3$$

$$i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

Выполняя подстановку

и решая

$$\frac{du_C}{dt}$$

полученное уравнение относительно dt , получим

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{1}{R_3 C} u_C + \frac{1}{R_3 C} E_3 \quad (1)$$

$\tau = R_3 C$ - постоянная времени.

$$\frac{du_C}{dt} = -\frac{1}{\tau} u_C + \frac{1}{\tau} E_3 \quad (2)$$

Переходные процессы в RC -цепях первого порядка

$$u_C(t) = (U_0 - u_{уст}) e^{-t/\tau} + u_{уст}. \quad (3)$$

$$u_C(0) = U_0$$

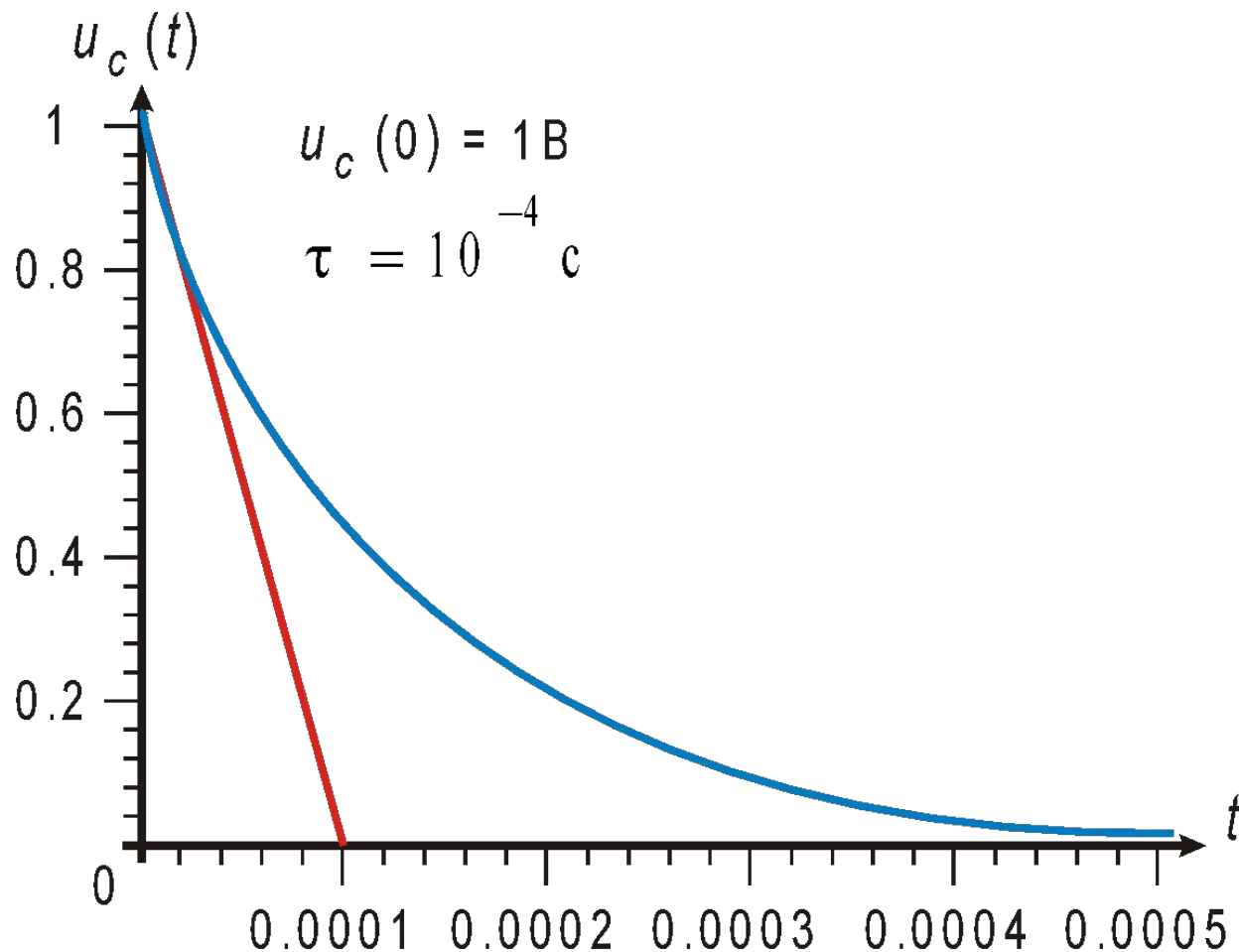
Первое слагаемое в (3) - **свободная составляющая**

Второе слагаемое в (3) - **принужденная (установившаяся) составляющая**

Переходные процессы в RC -цепях первого порядка

Случай 1. $E_s = 0$

Решение уравнения (2) имеет вид: $u_C(t) = u_C(0)e^{-t/\tau}$



Переходные процессы в RC -цепях первого порядка

Случай 2. $E_{\text{э}} \neq 0$

Запишем уравнение (2) в виде:

$$\frac{d}{dt}(u_C - E_{\text{э}}) = -\frac{1}{\tau}(u_C - E_{\text{э}})$$

Решение:

$$u_C(t) - E_{\text{э}} = (u_C(0) - E_{\text{э}})e^{-t/\tau}$$

Поскольку $u_C(\infty) = E_{\text{э}}$

$$u_C(t) = (u_C(0) - u_C(\infty))e^{-t/\tau} + u_C(\infty)$$

Порядок расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка

Считаем, что переходный процесс вызван замыканием или размыканием идеального ключа в момент $t = 0$ и нужно определить ток k -й ветви.

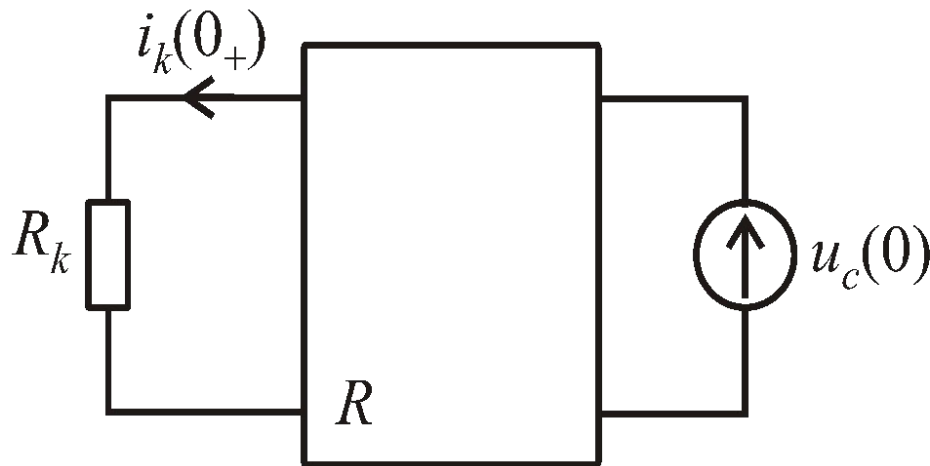
1. Анализируем цепь в момент, предшествующий коммутации (при $t = 0_-$), и определяем напряжение емкостного элемента $U_C(0)$.

2. Заменяем емкостный элемент источником напряжения $E = U_C(0)$ (рис. а). Анализируя полученную резистивную схему замещения, находим начальные значения искомых токов и напряжений $i_k(0_+), u_k(0_+)$.

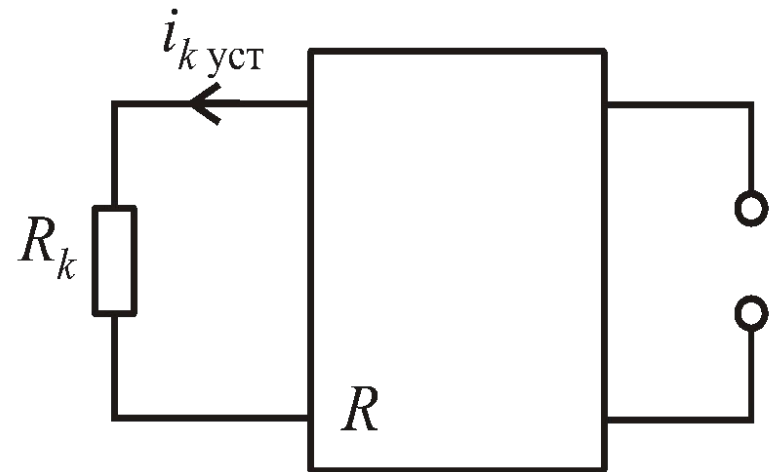
Порядок расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка

3. Рассчитываем установившиеся значения искомых токов и напряжений, анализируя цепь в момент времени $t \rightarrow \infty$

$t = 0_+$



$t \rightarrow \infty$



Порядок расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.

4. Определяем входное сопротивление резистивной цепи со стороны зажимов, к которым подключен емкостный элемент. Рассчитываем постоянную времени цепи по формуле

$$\tau = R_{\text{ВХ}} C .$$

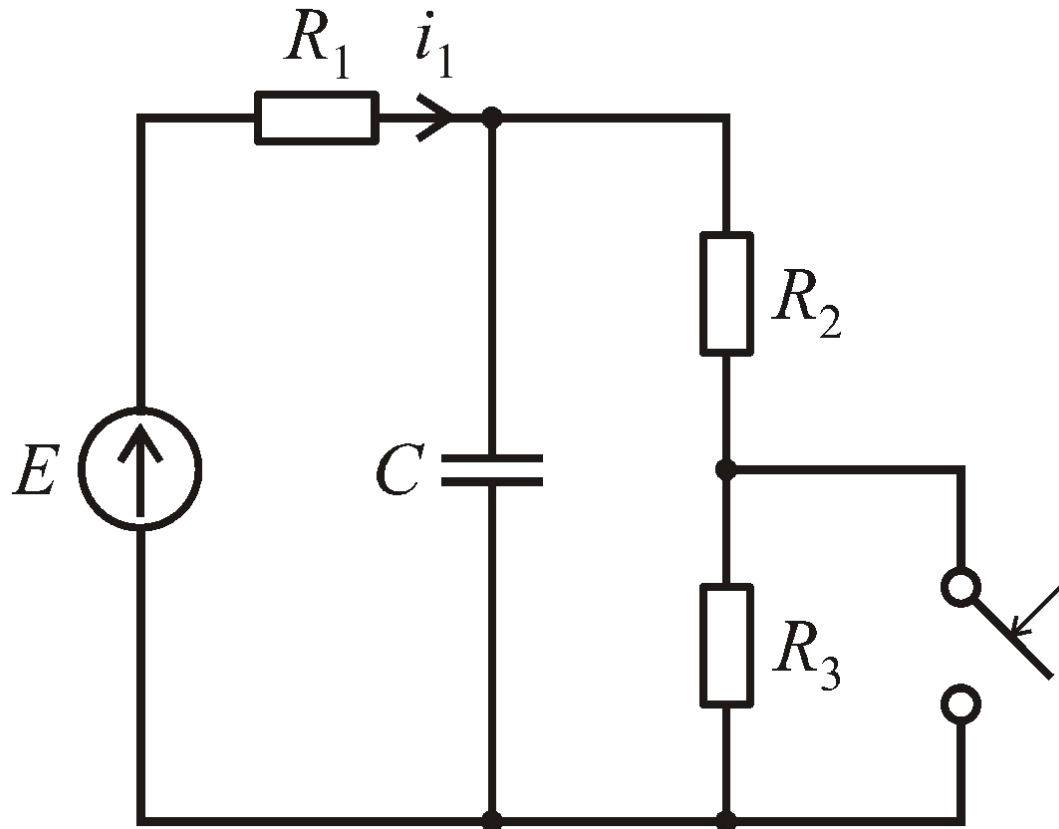
5. Решение записываем в виде

$$i_k(t) = \left[i_k(0_+) - i_{k_{\text{уст}}} \right] e^{-t/\tau} + i_{\text{уст}}$$

Важно! Все переходные токи и напряжения имеют одинаковую постоянную времени.

Пример расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.

Пример. Ключ в цепи на рис. 1 замыкается. Рассчитать ток после коммутации, если $R_1 = R_2 = R_3 = 100$ Ом, $C = 1$ мкФ, $E = 60$ В.



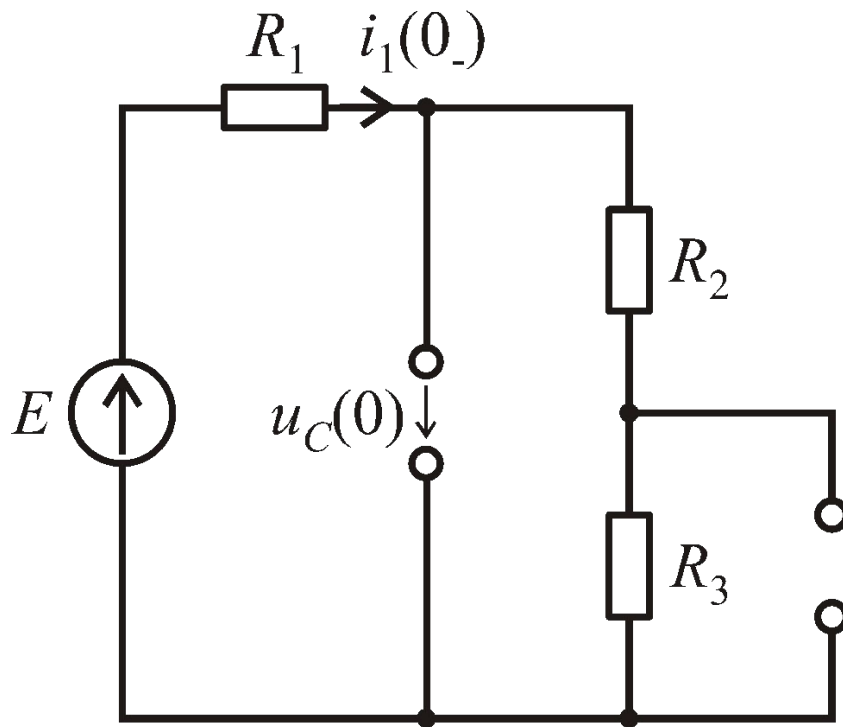
Пример расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.

Решение.

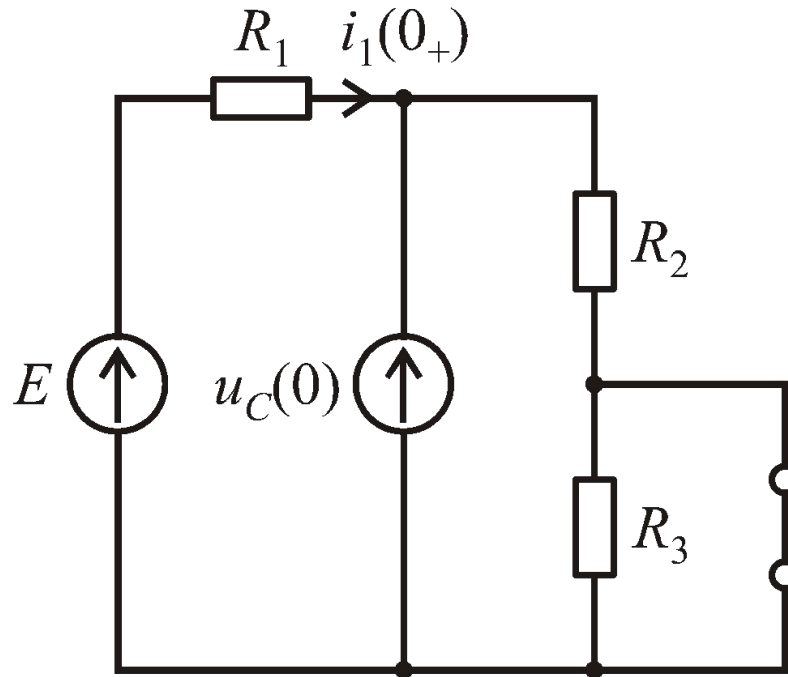
1. Определим независимые начальные условия. Для этого рассчитаем режим в цепи при $t = 0_-$.

Эквивалентная схема для момента $t = 0_-$.

$$i_1(0_-) = 0.2 \text{ А}, u_C(0) = 40 \text{ В.}$$



Пример расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.



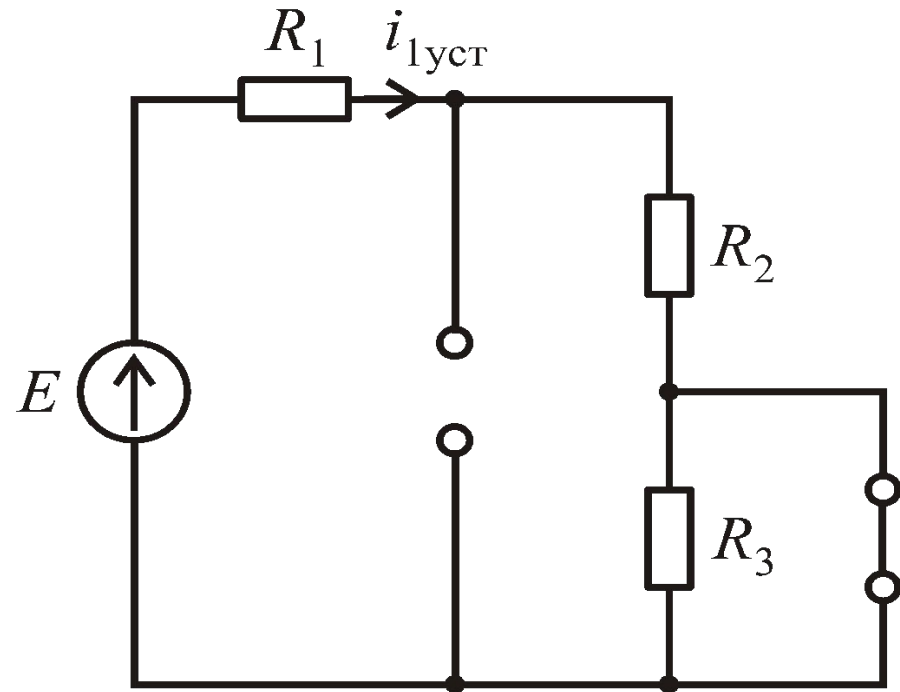
Начальное значение тока i_1 при $t = 0_+$.

$$i_1(0_+) = \frac{E - u_C(0)}{R_1} = \frac{60 - 40}{100} = 0.2 \text{ A.}$$

Пример расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.

Определим установившееся значение искомого тока.

Схема замещения,
соответствующая
Установившемуся
режиму



Установившееся значение тока

$$i_{1уст} = \frac{E}{R_1 + R_2} = \frac{60}{100 + 100} = 0.3 \text{ A}$$

Пример расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.

Определим входное сопротивление схемы относительно зажимов, к которым подключен емкостный элемент. Исключая источник напряжения, найдем, что

$$R_{\text{вх}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \cdot 100}{100 + 100} = 50 \text{ Ом}$$

Постоянная времени цепи

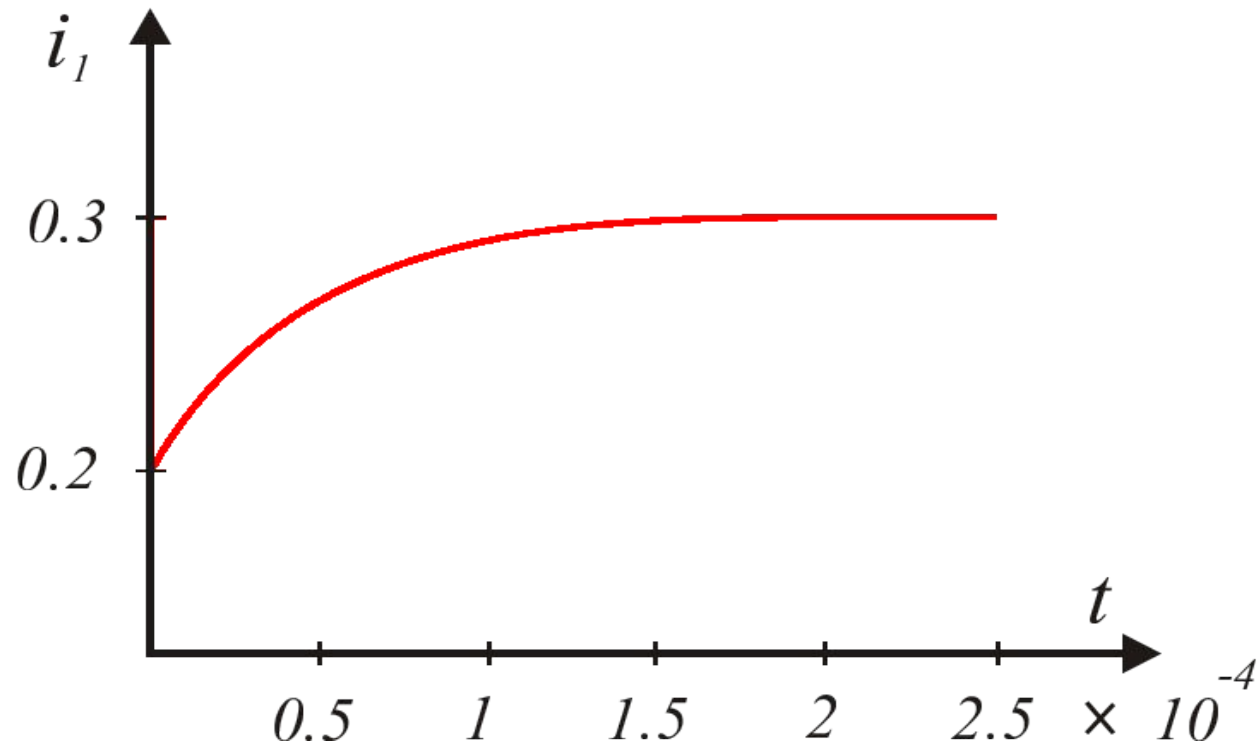
$$\tau = R_{\text{вх}} C = 50 \cdot 10^{-6} = 0.5 \cdot 10^{-4} \text{ с}$$

Закон изменения тока

$$i_1(t) = [i_1(0_+) - i_{1\text{уст}}] e^{-t/\tau} + i_{1\text{уст}} = -0,1 e^{-2 \cdot 10^4 t} + 0,3$$

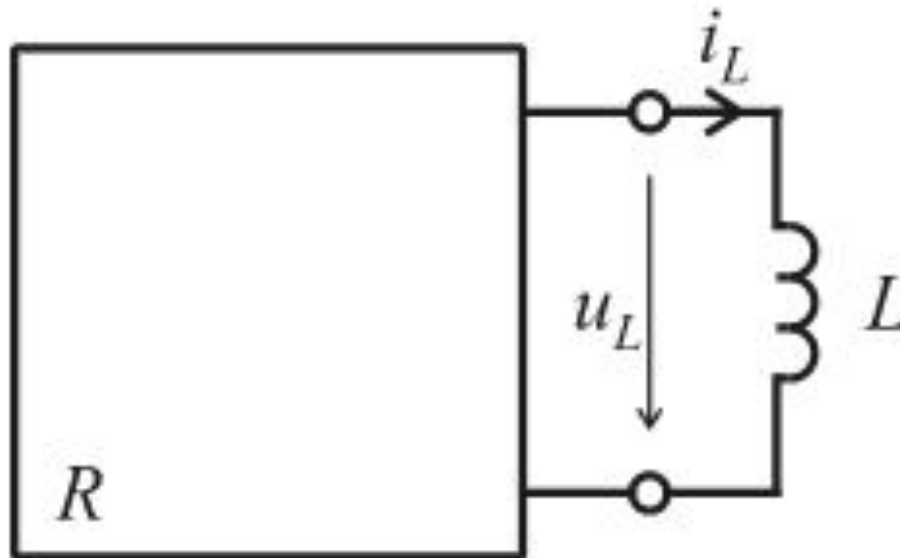
Пример расчета переходных процессов в RC -цепях первого порядка.

График изменения тока $i_1(t)$



Переходные процессы в RL -цепях первого порядка

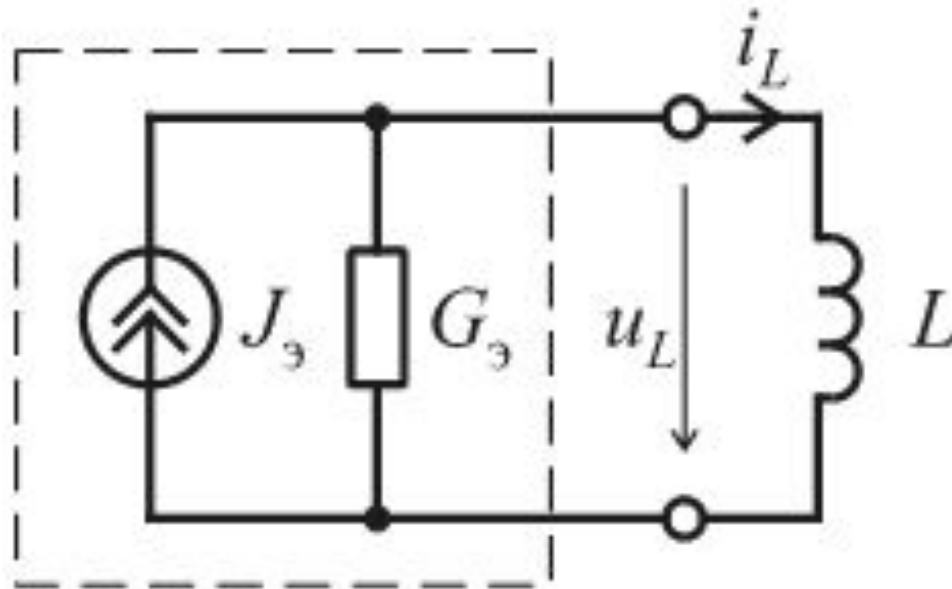
В цепи, показанной на рисунке, в момент $t = 0$ происходит коммутация



Необходимо определить закон изменения тока $i_L(t)$.

Переходные процессы в RL -цепях первого порядка

Представим резистивный двухполюсник эквивалентной схемой Нортон



Параметры эквивалентного резистивного двухполюсника

$$J_3 = I_{кз}, \quad G_3 = 1/R_{вх}.$$

Переходные процессы в RL -цепях первого порядка

Уравнение по первому закону Кирхгофа:

$$-J_{\vartheta} + G_{\vartheta} u_L + i_L = 0$$

Учитывая, что $u_L = L \frac{di_L}{dt}$, запишем уравнение состояния:

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{R_{\vartheta}}{L} i_L + \frac{R_{\vartheta}}{L} J_{\vartheta}. \quad (1)$$

Переходные процессы в RL -цепях первого порядка

Обозначим $\tau = L/R_3$, уравнение (1) примет вид

$$\frac{di_L}{dt} = -\frac{1}{\tau}i_L + \frac{1}{\tau}J_3. \quad (2)$$

τ называют *постоянной времени*.

Решение уравнения (2) можно представить в следующем виде:

$$i_L(t) = (I_0 - i_{уст})e^{-t/\tau} + i_{уст} \quad (3)$$

Первое слагаемое - свободная составляющая тока $i_L(t)$, а второе – установившаяся, или принужденная, составляющая.

Переходные процессы в RL -цепях первого порядка

Порядок расчета переходных процессов в RL -цепях первого порядка.

Переходный процесс вызван замыканием или размыканием идеального ключа в момент $t = 0$.

1. Анализируем цепь в момент, предшествующий коммутации (при $t = 0_-$), и определяем ток индуктивного элемента $i_L(0)$.

2. Заменяем индуктивный элемент источником тока $i_L(0)$. Анализируя полученную схему замещения, определим начальные значения искомых напряжений или токов $u_k(0_+)$, $i_k(0_+)$

Переходные процессы в RL -цепях первого порядка

3. Замыкаем накоротко зажимы, к которым подключен индуктивный элемент. Определяем установившиеся значения интересующих нас токов и напряжений

$$i_{уст}, u_{уст}$$

4. Определяем входное сопротивление резистивной цепи со стороны зажимов, к которым подключен индуктивный элемент. Рассчитываем постоянную времени цепи по формуле $\tau = L/R_э$ или $\tau = L/R_э$.

Записываем решение в виде

$$i_k(t) = (i_k(0_+) - i_{уст})e^{-t/\tau} + i_{уст}$$

Рекомендуемая литература

- 1. Алтунин Б.Ю., Панкова Н.Г. Теоретические основы электротехники:** Комплекс учебно - методических материалов: Часть 1 / Б.Ю. Алтунин, Н.Г. Панкова; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-130 с.
- 2. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.1/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2007.-98 с.
- 3. Алтунин Б.Ю., Кралин А.А. Электротехника и электроника:** комплекс учебно-методических материалов: Ч.2/ Б.Ю. Алтунин, А.А. Кралин; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н.Новгород, 2008.-98 с
- 4. Касаткин, А.С. Электротехника** /А.С. Касаткин, М.В. Немцов.-М.: Энергоатомиздат, 2000.
- 5. Справочное пособие по основам электротехники и электроники** /под. ред. А.В. Нетушила.-М.: Энергоатомиздат, 1995.
- 6. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники.**-3-е изд., перераб. И доп.-М.: Радио и связь, 1990.-512 с.: ил.
- 7. Новожилов, О. П. Электротехника и электроника:** учебник / О. П. Новожилов. – М.: Гардарики, 2008. – 653 с.

Тема 4 Закончена

Благодарю за внимание