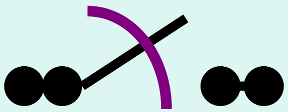
3. Переходные процессы в линейных электрических цепях

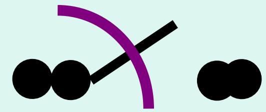
- ***Переходный процесс*** – режим работы электрической цепи, возникающий при переходе цепи из одного установившегося состояния в другое установившееся состояние

- ***Коммутация*** – любое изменение параметров цепей, приводящее к возникновению переходных процессов

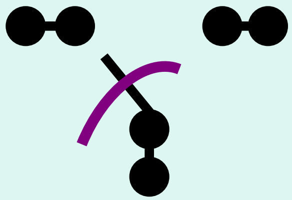
Виды коммутации:



замыкание



размыкание

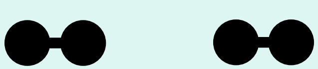


переключение

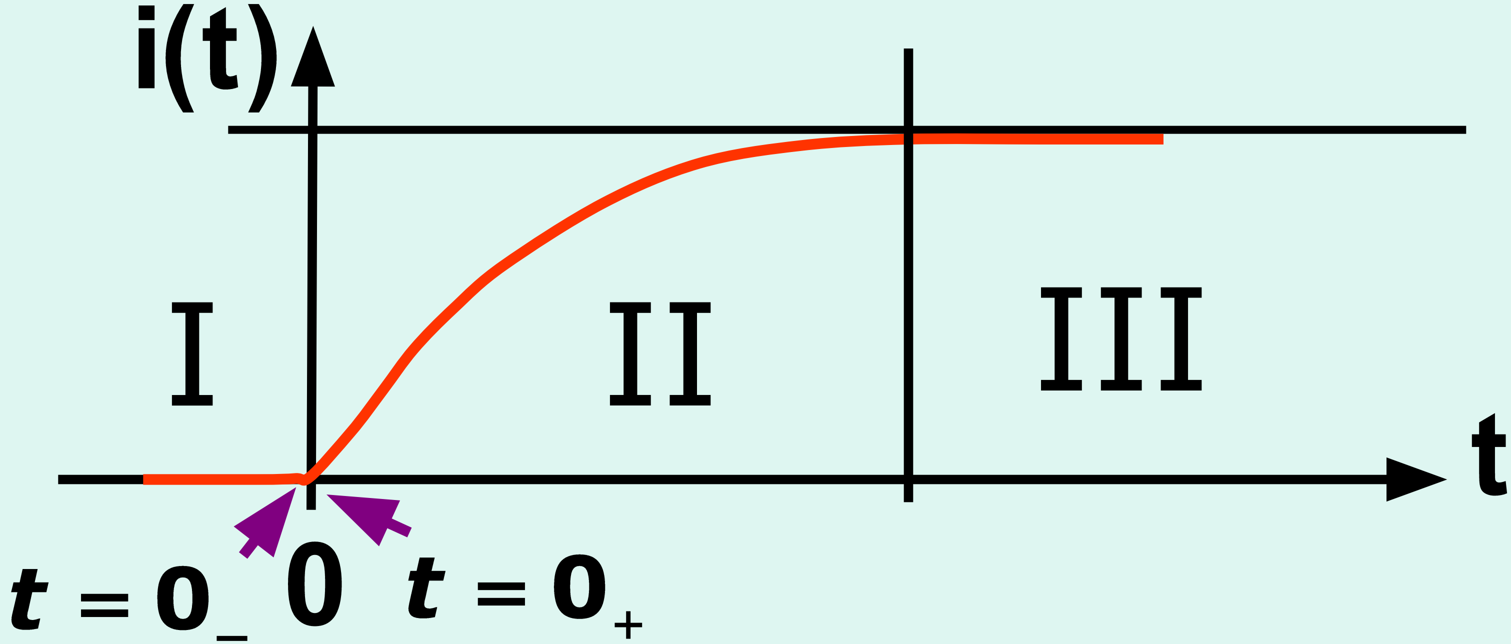
Коммутация осуществляется идеальным ключом

$$R_{замк} = 0$$

$$t_{комм} = 0$$



$$R_{раз} = \infty$$



$t = 0_+$ – первый момент после коммутации

$t = 0$ – момент коммутации

$t = 0_-$ – *последний момент до коммутации*

Переходный процесс возможен в цепях, содержащих *реактивные* элементы

Законы коммутации

<u>1-ый закон</u> Ток в индуктивности не может измениться скачком

$$\boxed{i_L(0_-) = i_L(0_+)}$$

<u>2-ой закон</u> Напряжение на ёмкости не может измениться скачком

$$\boxed{u_c(0_-) = u_c(0_+)}$$

Начальные условия -
значения токов и напряжений в момент $t=0+$

Независимые начальные условия – не изменяются в момент коммутации – ННУ

$$i_L(0), u_C(0)$$

Определяют из схемы до коммутации

$$(t<0)$$

могут быть нулевыми и ненулевыми

Зависимые начальные условия –могут изменяться в момент коммутации –ЗНУ

$$i_C(0),\ u_L(0),\ i_R(0),\ u_R(0)$$

Определяют по законам Кирхгофа из схемы после коммутации

$$\left(t = 0_+\right)$$

Расчет переходных процессов первого порядка классическим методом

1. Задать направления токов
2. Определить начальные условия

   а) ННУ при $\mathbf{t = 0_-}$

   б) ЗНУ при $\mathbf{t = 0_+}$

3. Определить при $\mathbf{t \to \infty}$ принужденную составляющую $\boldsymbol{x_{пр}}$

4. Определить корень характеристического

уравнения $p\left[c^{-1}\right]$ из условия

для RL цепи $$p = -\frac{R_{экв}}{L}$$

для RC цепи $$p = -\frac{1}{R_{экв}C}$$

где $R_{экв}$ – эквивалентное сопротивление относительно реактивного элемента

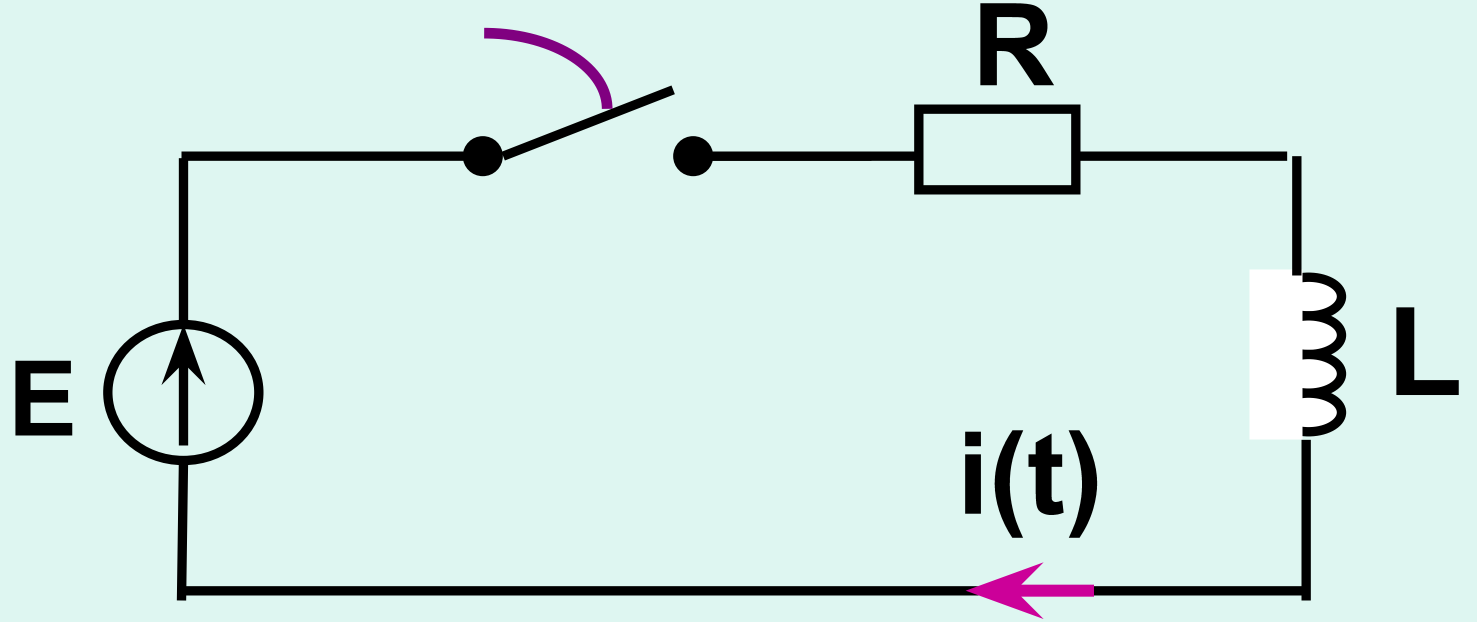
5. Для $x(t) = x_{пр} + A \cdot e^{pt}$
используя начальные условия, определить неизвестный коэффициент А

6. Построить график

Длительность переходного процесса

$$t_{пп} = (3 \div 5)\,\tau \qquad \text{где} \quad \tau = \frac{1}{|p|} \quad [\,c\,]$$

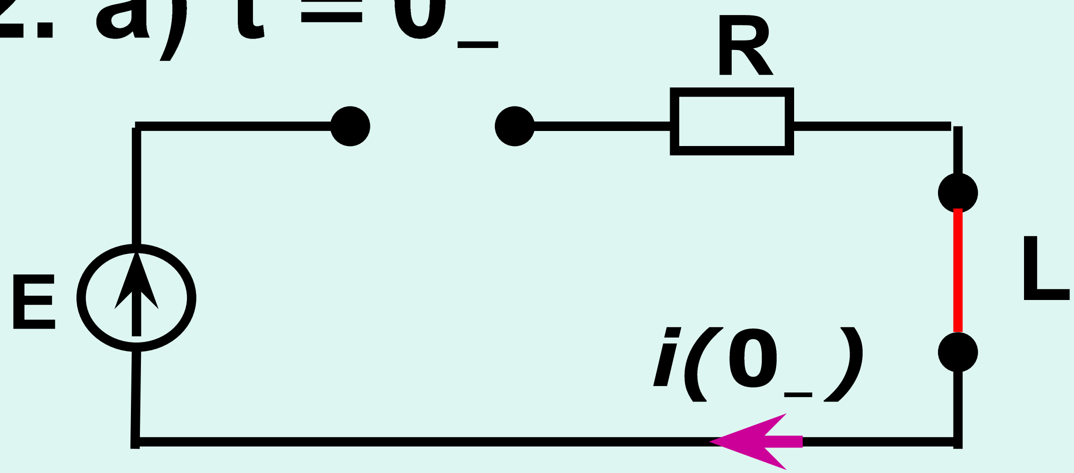
Пример



$i(t) - ?$

$u_L(t) - ?$

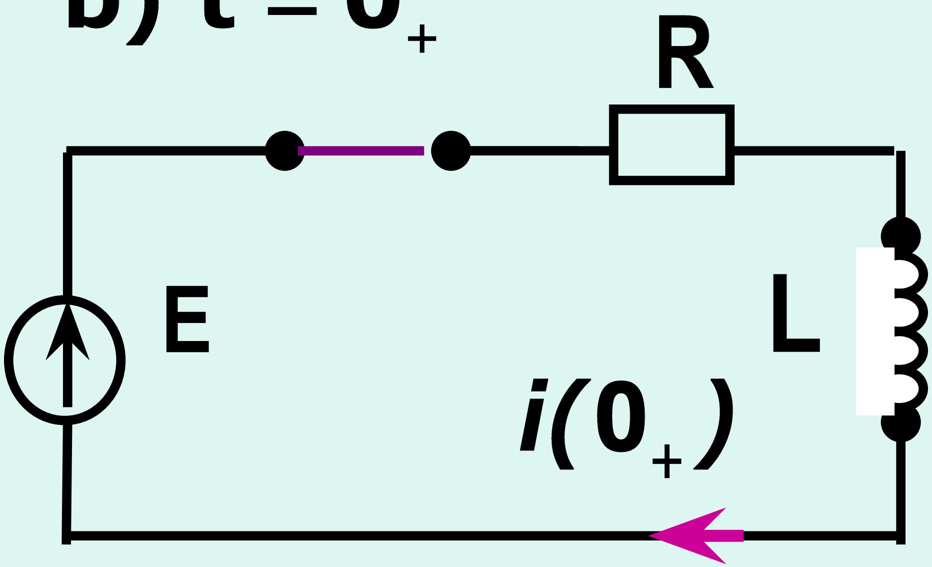
2. a) $t = 0_{-}$



$$i(0_{-}) = 0$$

$$u_L(0_{-}) = 0$$

b) $t = 0_{+}$



$$i(0_{-}) = i(0_{+}) = 0$$

$$u_R(0_{+}) + u_L(0_{+}) = E$$

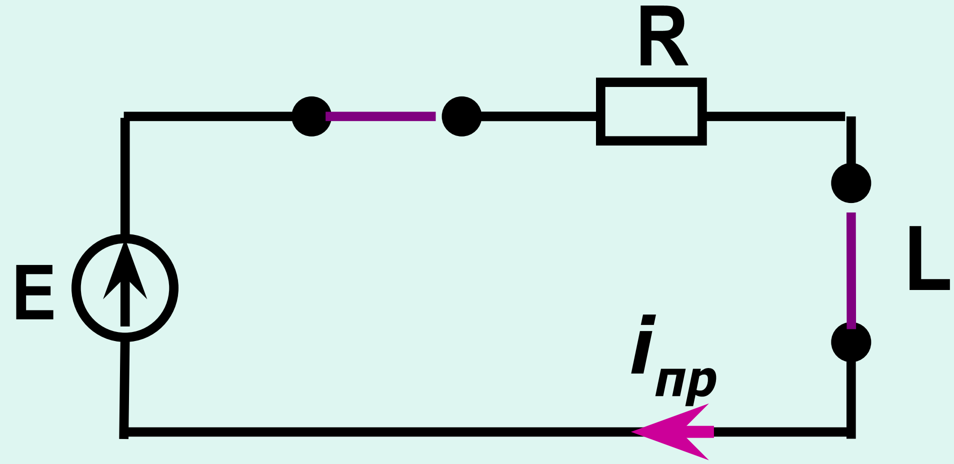
$$u_R(0_{+}) = 0$$

$$u_L(0_{+}) = E$$

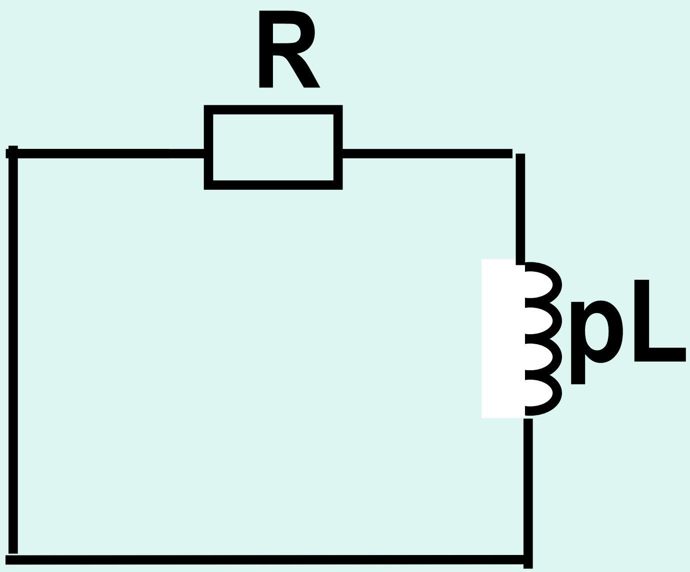
3. $t \to \infty$

$$i_{пр} = \frac{E}{R}$$

$$u_{Lпр} = 0$$



4.

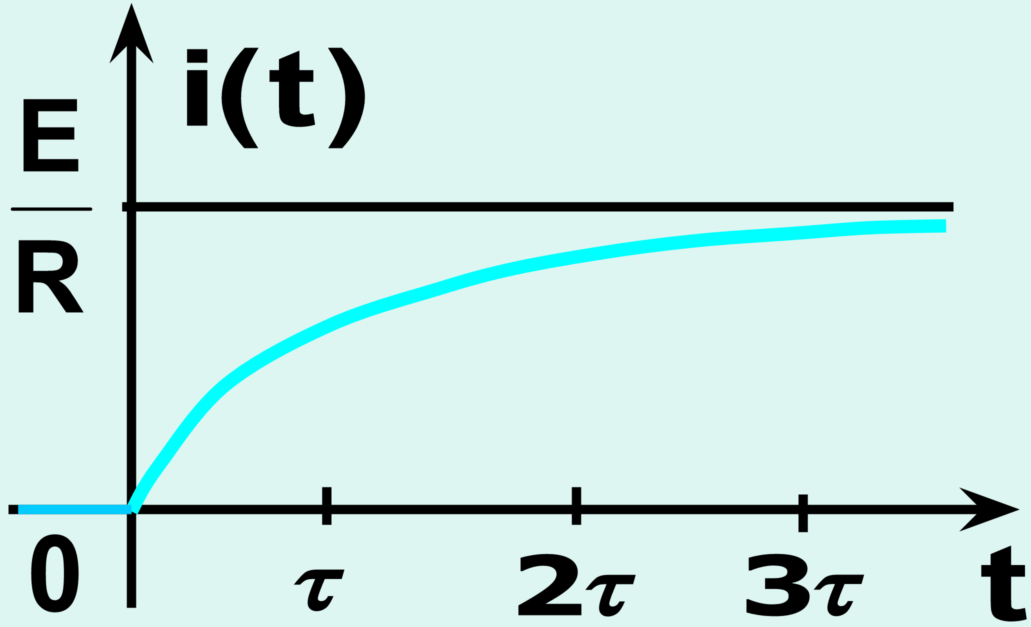


$$p = -\frac{R}{L} \quad \left[c^{-1}\right]$$

$$\tau = \frac{L}{R} \, [c]$$

5.

t	0_-	0_+	∞
i	0	$\boxed{0}$	$\boxed{E/R}$
u_L	0	E	0



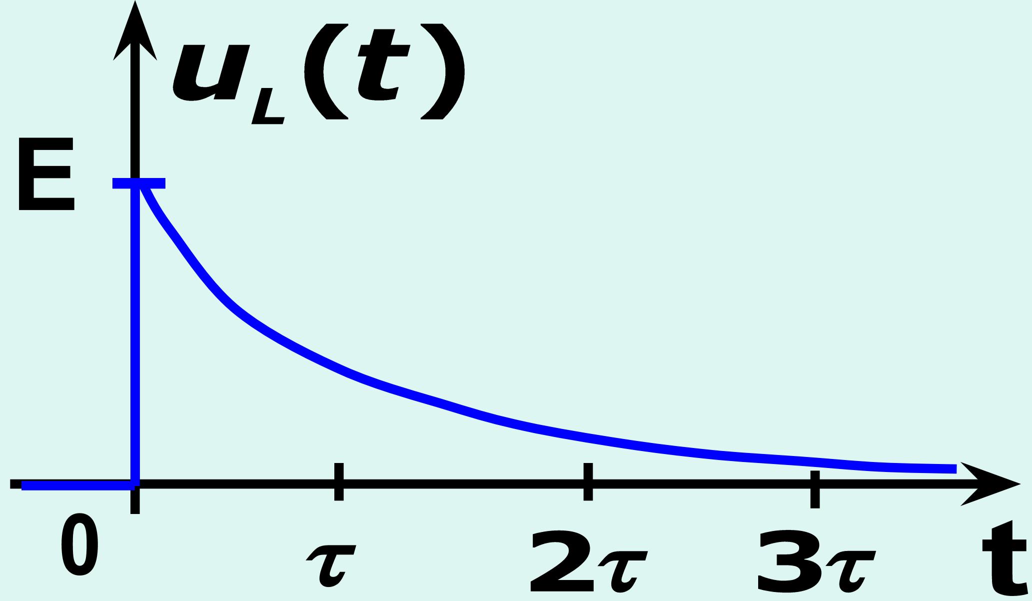
$$i(t) = \boxed{i_{np}} + A_1 e^{p \cdot t}$$

$$\boxed{i(0_+)} = i_{np} + A_1$$

$$\boxed{i(t) = \frac{E}{R} - \frac{E}{R} e^{p \cdot t}}$$

$$A_1 = i(0_+) - i_{np} = 0 - \frac{E}{R} = -\frac{E}{R}$$

t	0_-	0_+	∞
i	0	0	E/R
u_L	$\boxed{0}$	$\boxed{E}$	$\boxed{0}$



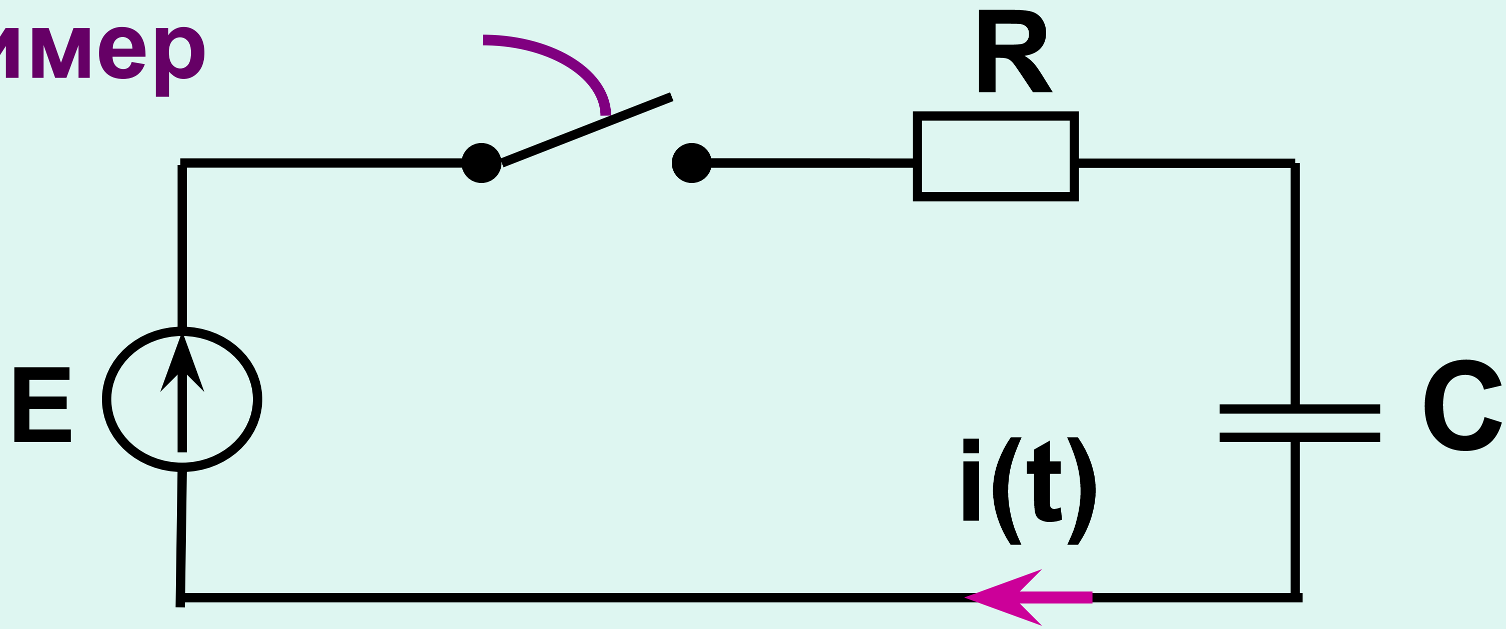
$$u_L(t) = \boxed{u_{Lnp}} + A_2 e^{p \cdot t}$$

$$\boxed{u_L(0_+)} = u_{Lnp} + A_2$$

$$\boxed{u_L(t) = E e^{p \cdot t}}$$

$$A_2 = u_L(0_+) - u_{Lnp} = \mathrm{E} - 0 = \mathrm{E}$$

Пример



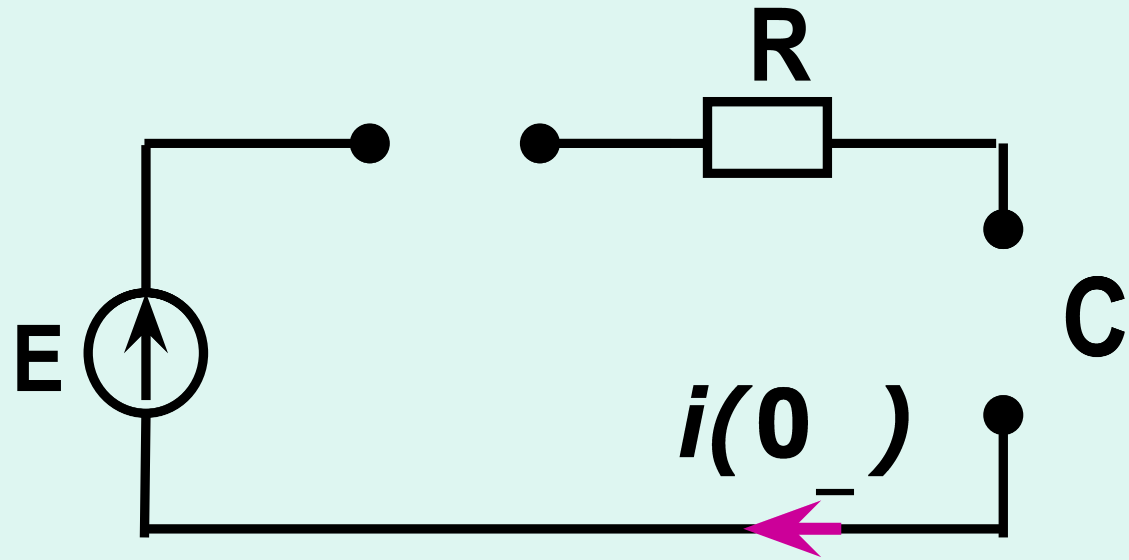
$i(t) - ?$

$u_C(t) - ?$

2. a) $t = 0_-$

$i(0_-) = 0$

$u_C(0_-) = 0$



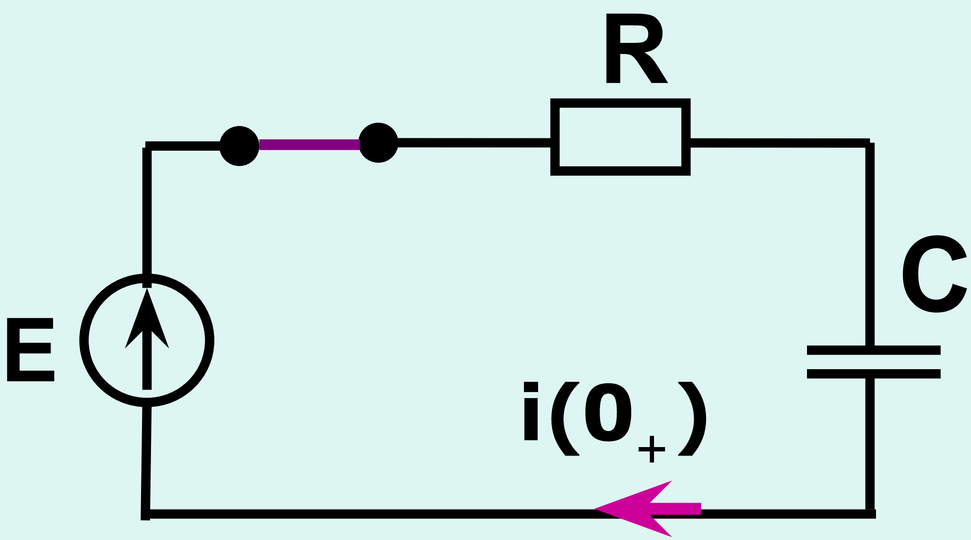
b) $t = 0_+$

$$u_R(0_+) + u(0_+) = E$$

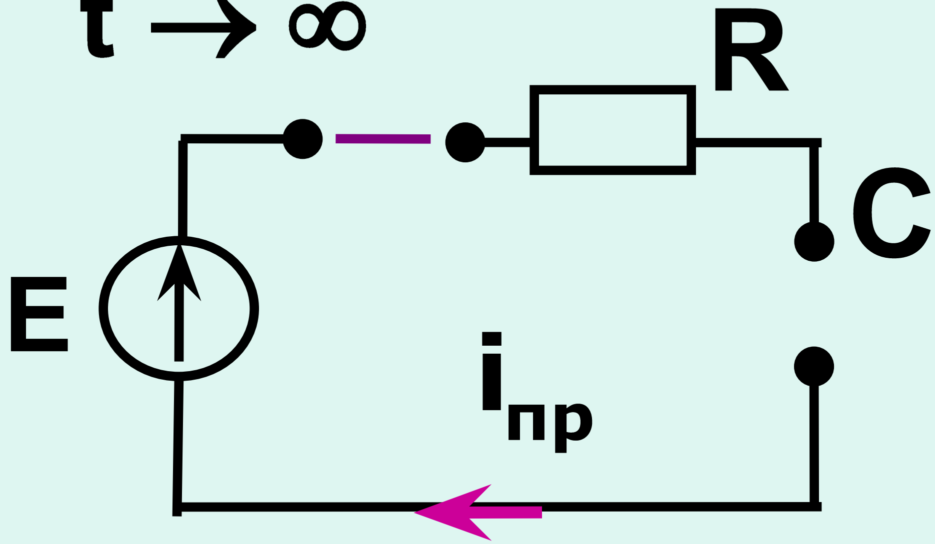
$$u_C(0_-) = u_C(0_+) = 0$$

$$u_R(0_+) = E$$

$$i(0_+) = \frac{E}{R}$$



3. $t \to \infty$

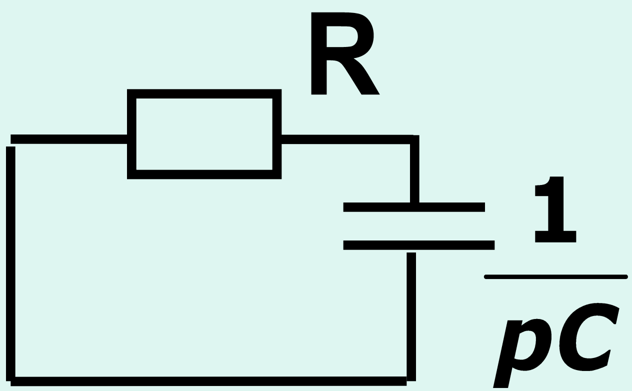


$$i_{\text{пр}} = 0$$

$$u_{R\text{пр}} = 0$$

$$u_{C\text{пр}} = E$$

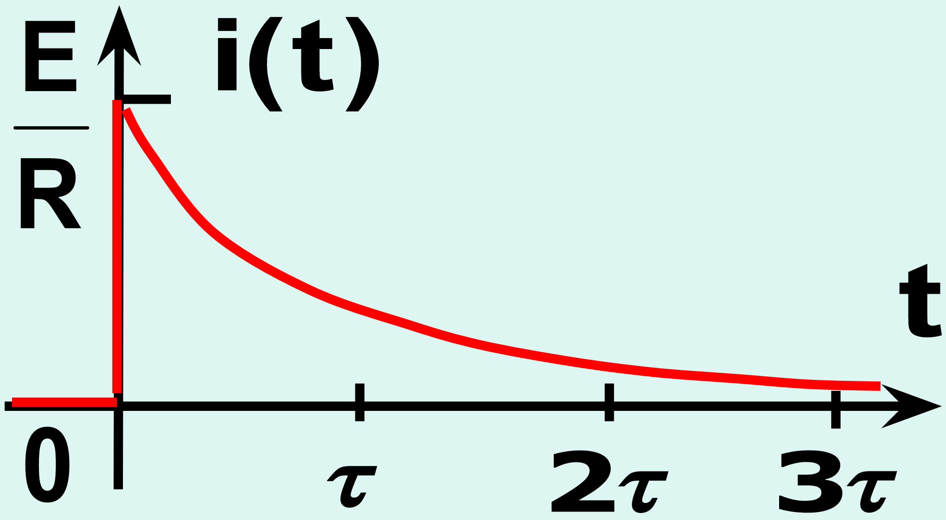
4.



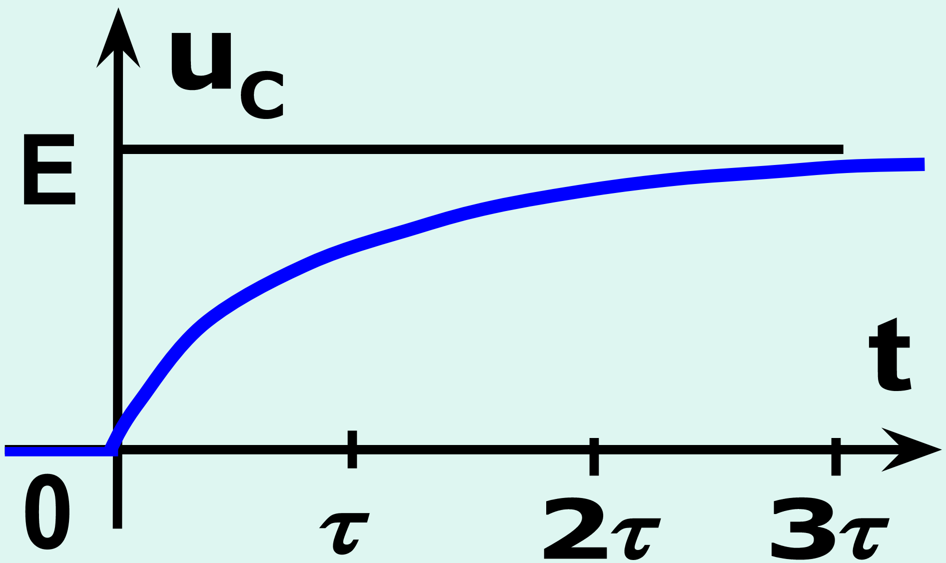
$$p = -\frac{1}{RC} \quad [c^{-1}]$$

$$\tau = \frac{1}{|p|} = RC \; [c]$$

t	0_-	0_+	∞
i	0	E/R	0
u_C	0	0	E



$$i(t) = E/R \cdot e^{p\cdot t}$$



$$u_C(t) = E - E \cdot e^{p\cdot t}$$