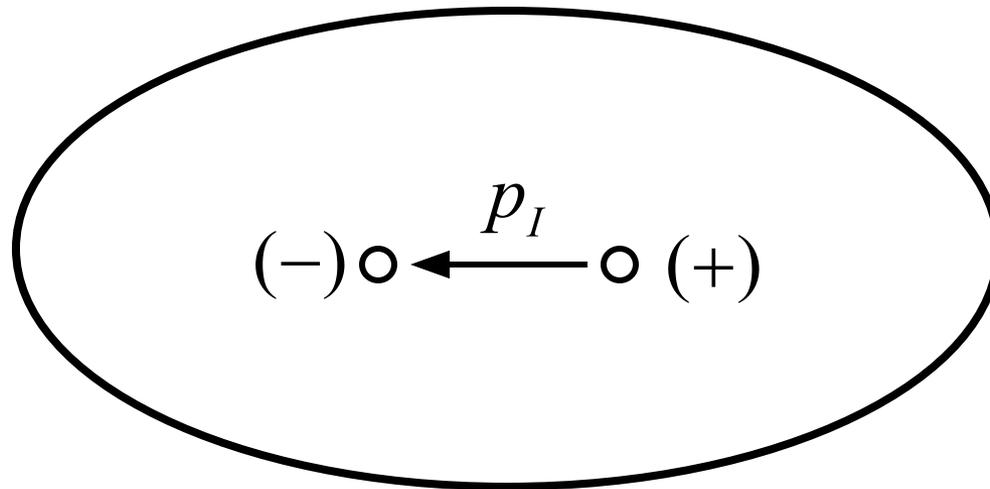


Активные электросвойства биологических тканей

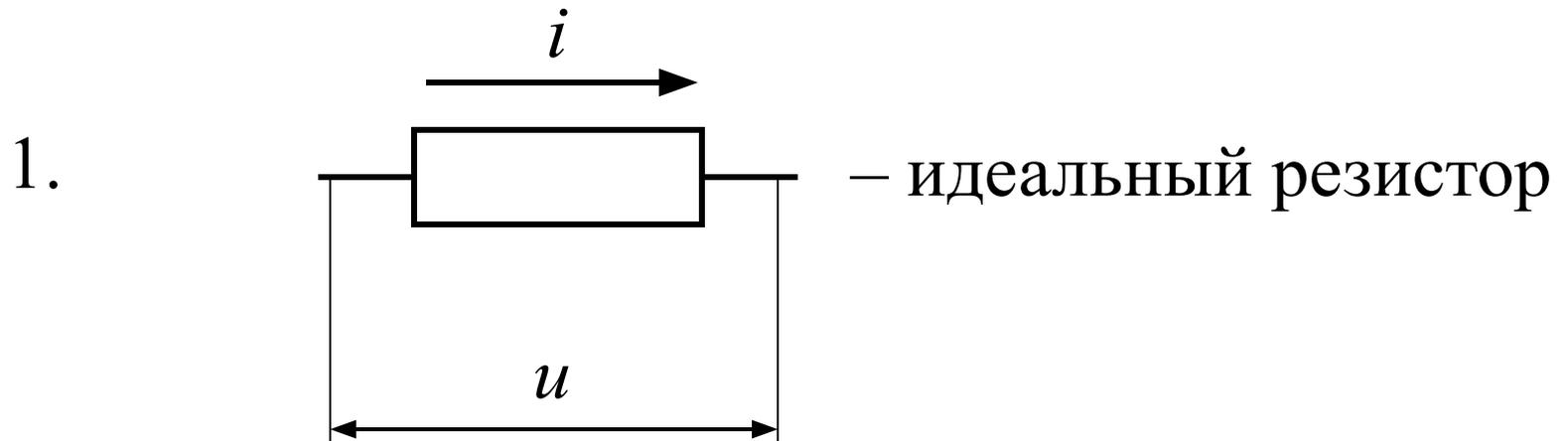
Моделируются «внутренними» токовыми генераторами



# Пассивные электросвойства биологических тканей

## Моделируются электрическими схемами с пассивными элементами

Пассивные элементы электрических цепей:



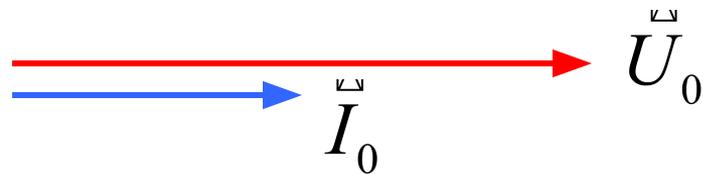
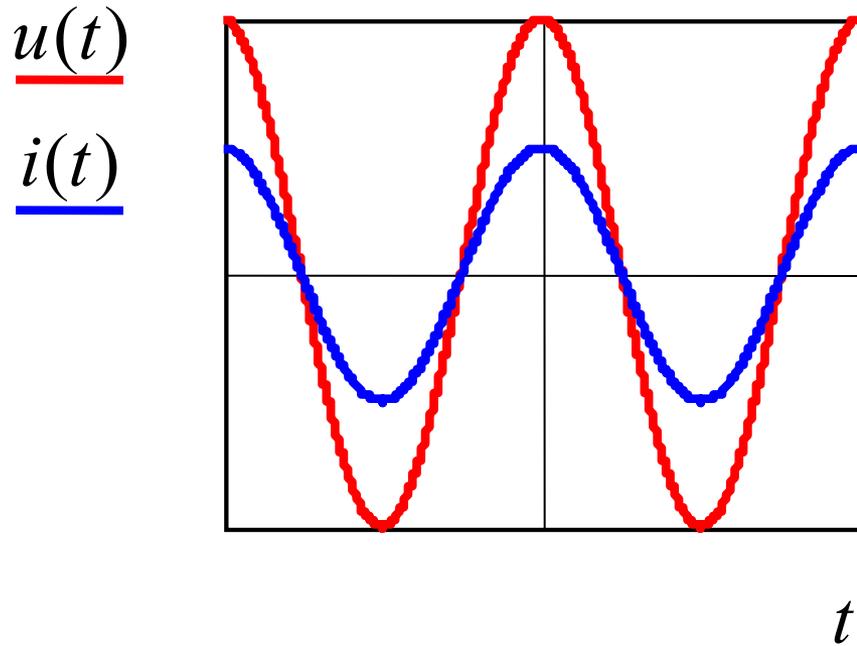
$i$  и  $u$  — МГНОВЕННЫЕ ток и напряжение

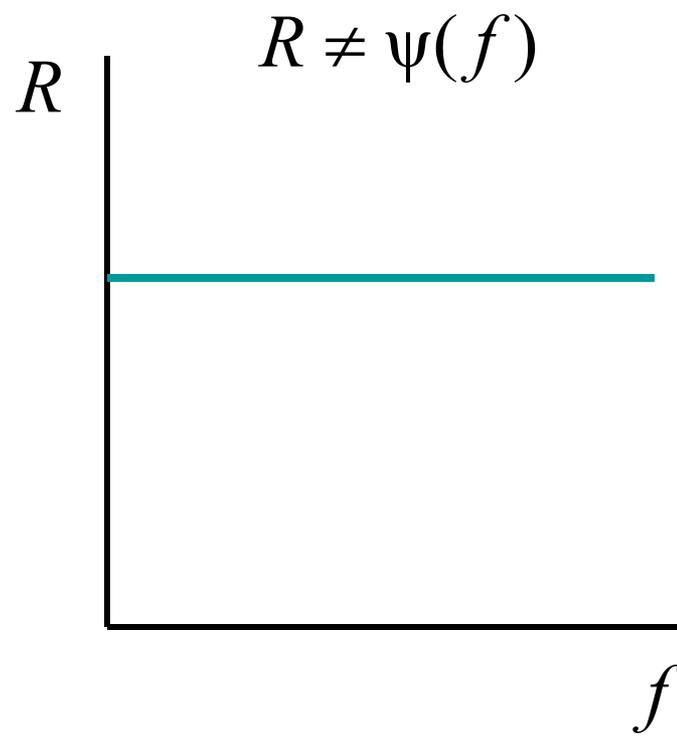
Закон Ома:

$$i = \frac{u}{R}$$

$$u = U_0 \cos \omega t = U_0 \cos(2\pi f t)$$

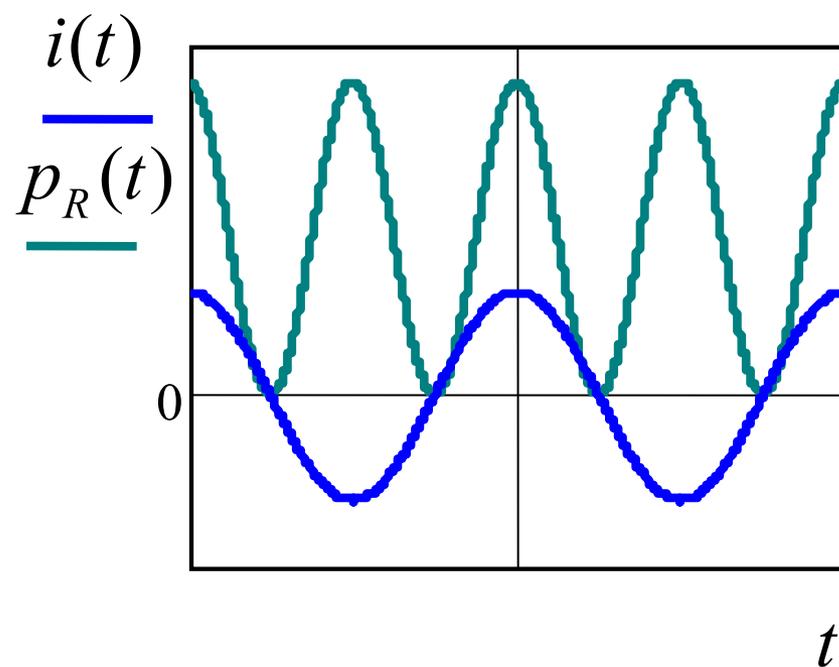
$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \left( t - \phi \right) \sin \left( 2\pi f t \right)$$





Мгновенная мощность, выделяемая в резисторе:

$$p_R = i^2 R \geq 0$$

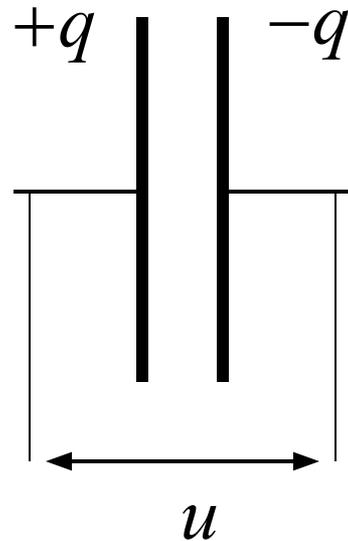


## Вывод:

резистор – частотно-независимый элемент,  
в котором происходит необратимое преобразование  
электрической энергии в тепловую;

колебания переменных напряжения и тока  
происходят в одной фазе

2.



— идеальный конденсатор

$q$  и  $u$  — мгновенные заряд конденсатора и напряжение на конденсаторе

$$q = Cu$$

$$u = U_0 \cos t = \frac{d\phi}{dt} (2\pi f) t$$

$$q = CU_0 \cos t = \epsilon q_0 (2\pi f) t$$

$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega C U_0 \sin \omega t = I_0 \cos \left( 2\pi f t + \frac{\pi}{2} \right)$$

$u(t)$

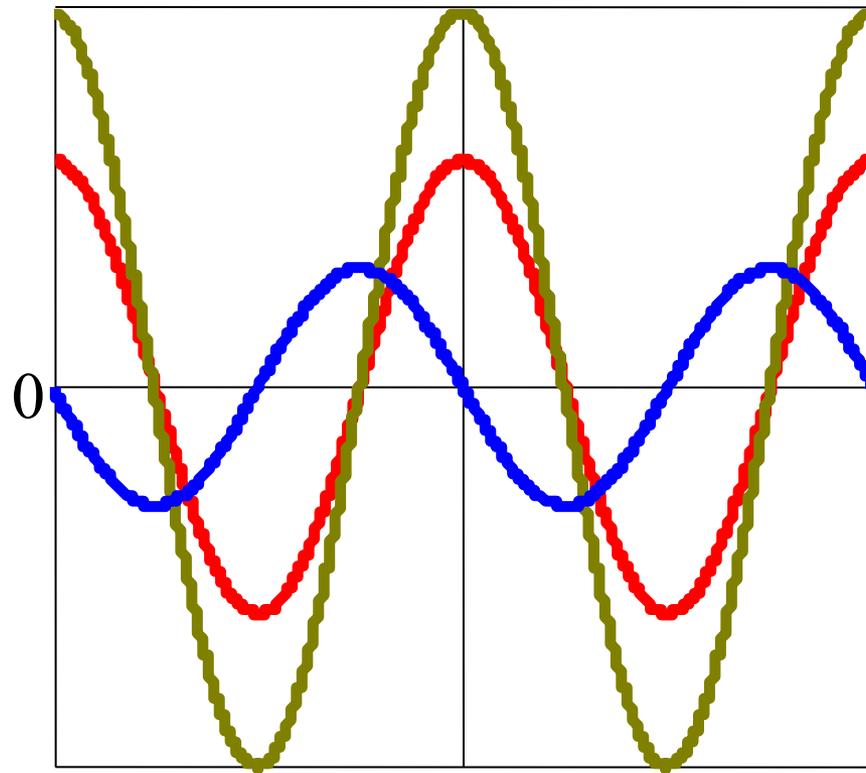
—

$q(t)$

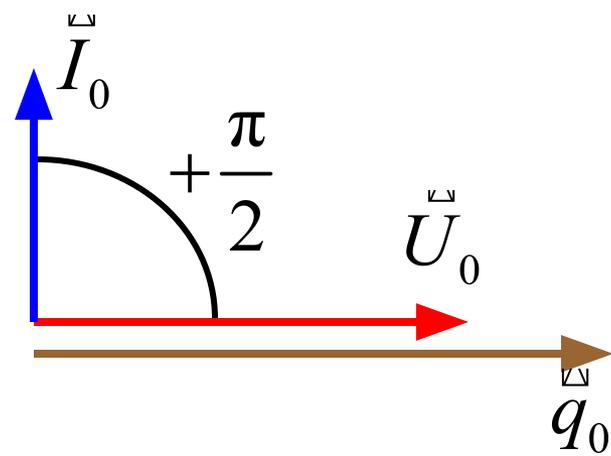
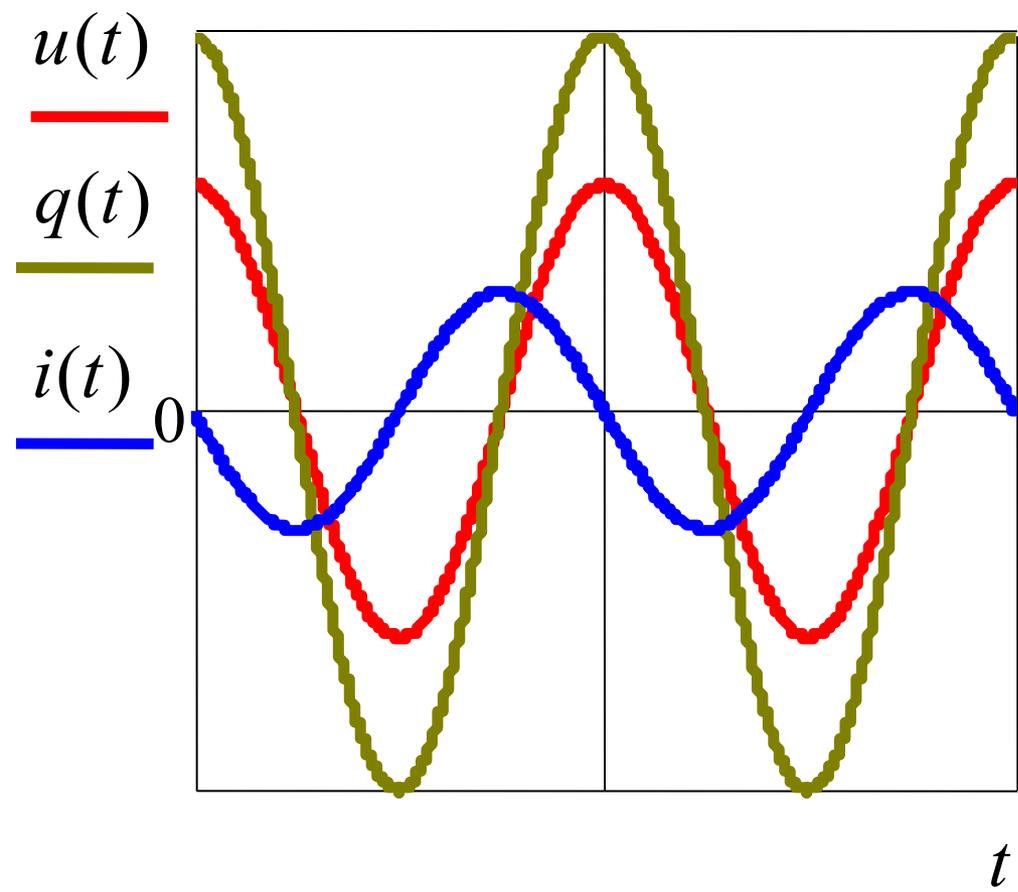
—

$i(t)$

—



$t$



$$i = \frac{dq}{dt} = -\omega C U_0 \sin \omega t = I_0 \cos \left( 2\pi f t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Формально закон Ома для амплитудных значений:

$$x_C = \frac{U_0}{I_0} = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Емкостное сопротивление конденсатора

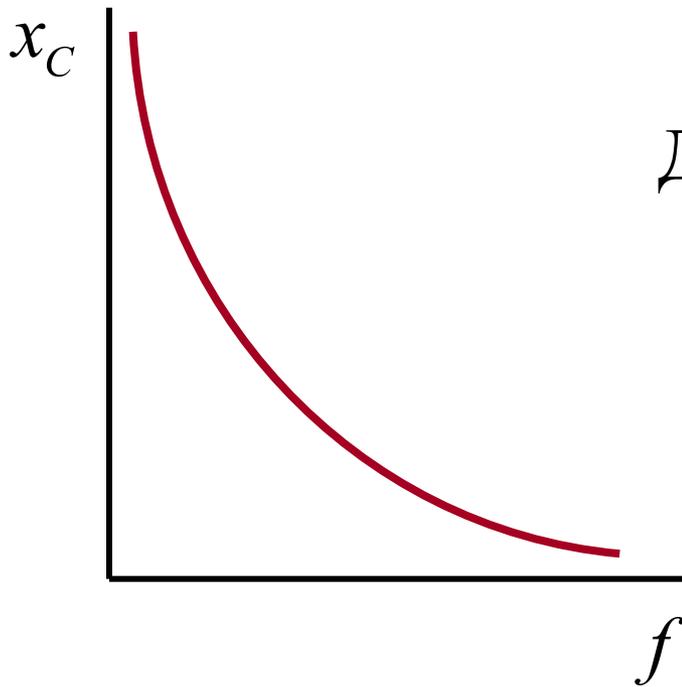
$$x_C = \frac{1}{\omega fC}$$

$$f = 0 \Rightarrow x_C = \infty$$

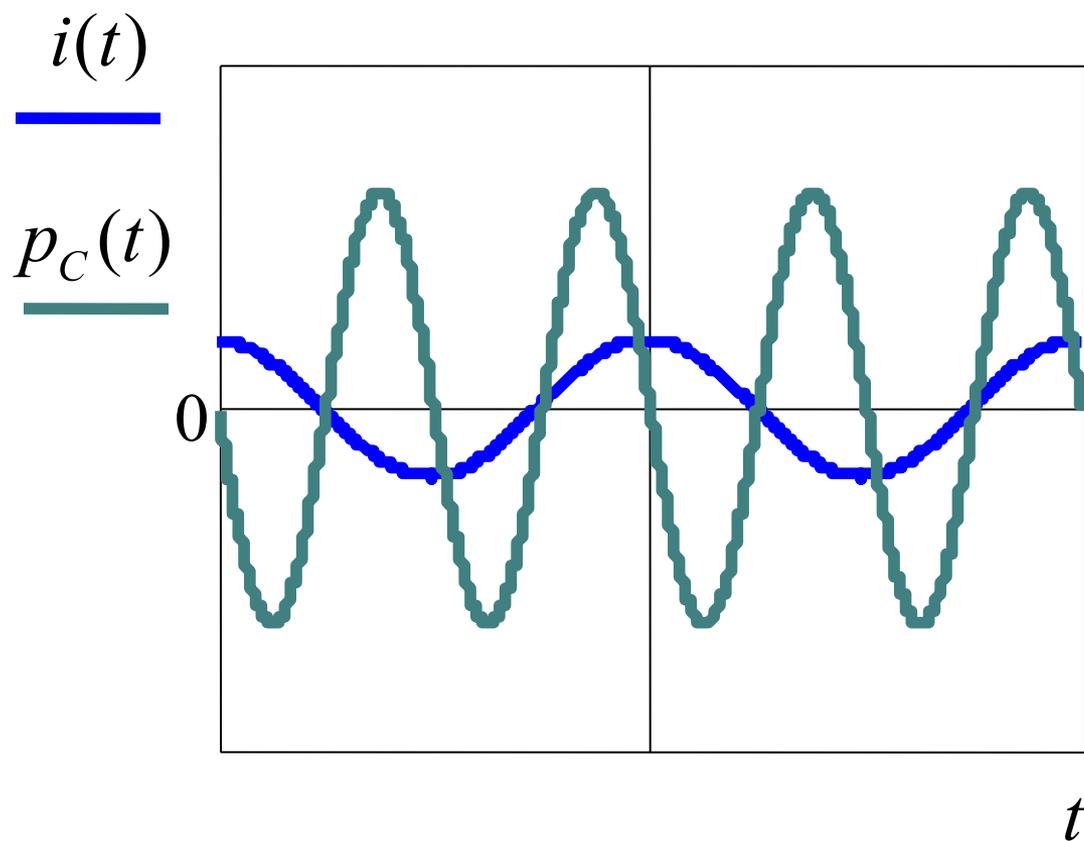
Для постоянного установившегося  
тока конденсатор – разрыв цепи

$$f = \infty \Rightarrow x_C = 0$$

Для высокочастотного  
переменного  
тока конденсатор –  
короткое замыкание



Мгновенная мощность, выделяемая в конденсаторе:



## Вывод:

конденсатор – частотно-зависимый элемент,  
который периодически обменивается  
электрической энергией с источником;

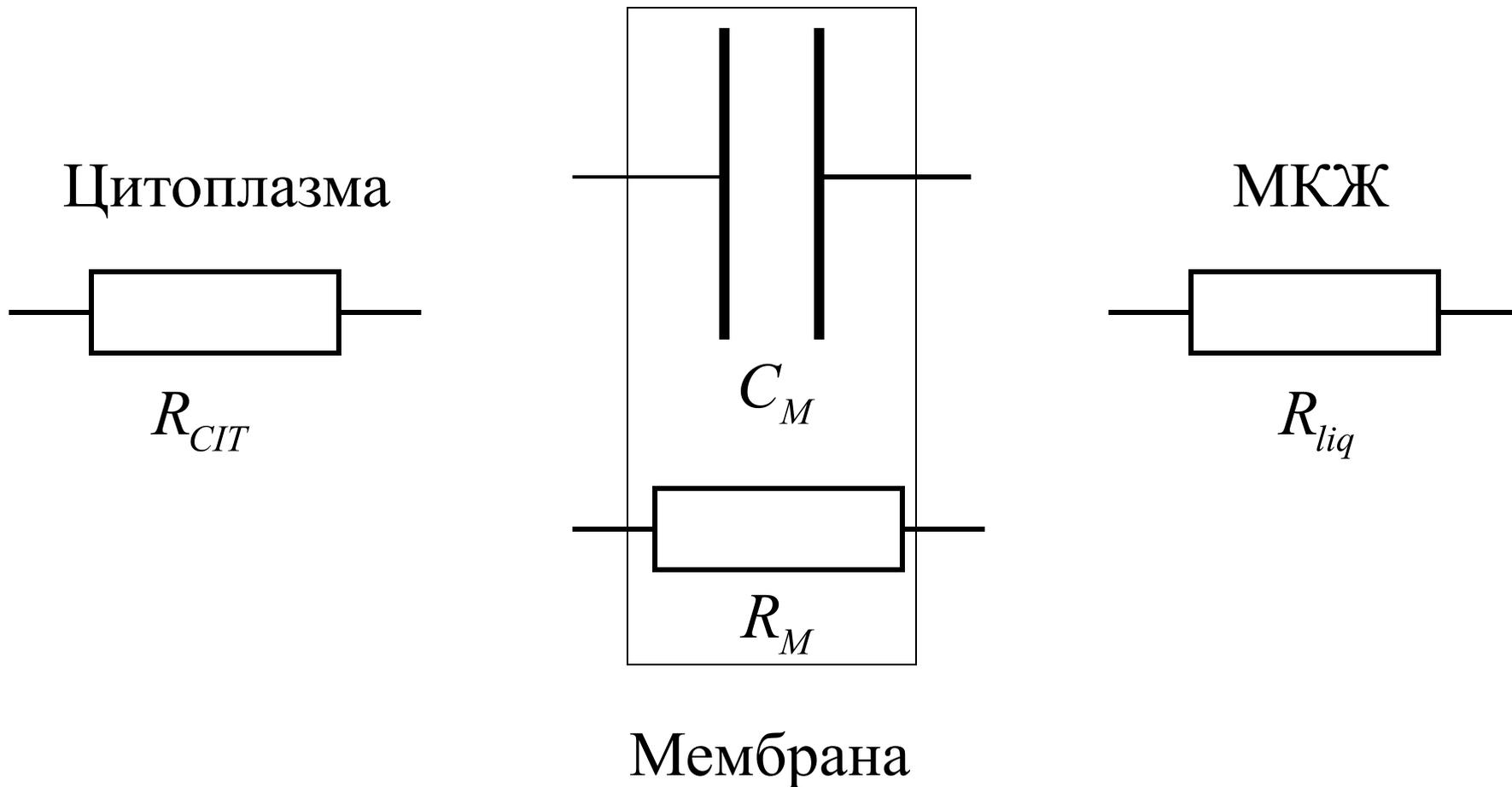
колебания переменных тока и напряжения  
происходят со сдвигом фаз  $\pi/2$  ( $90^\circ$ )

### 3. Идеальный дроссель (катушка индуктивности)

Индуктивные свойства биологических тканей  
на сегодняшний день не обнаружены

Действие стационарного магнитного поля?

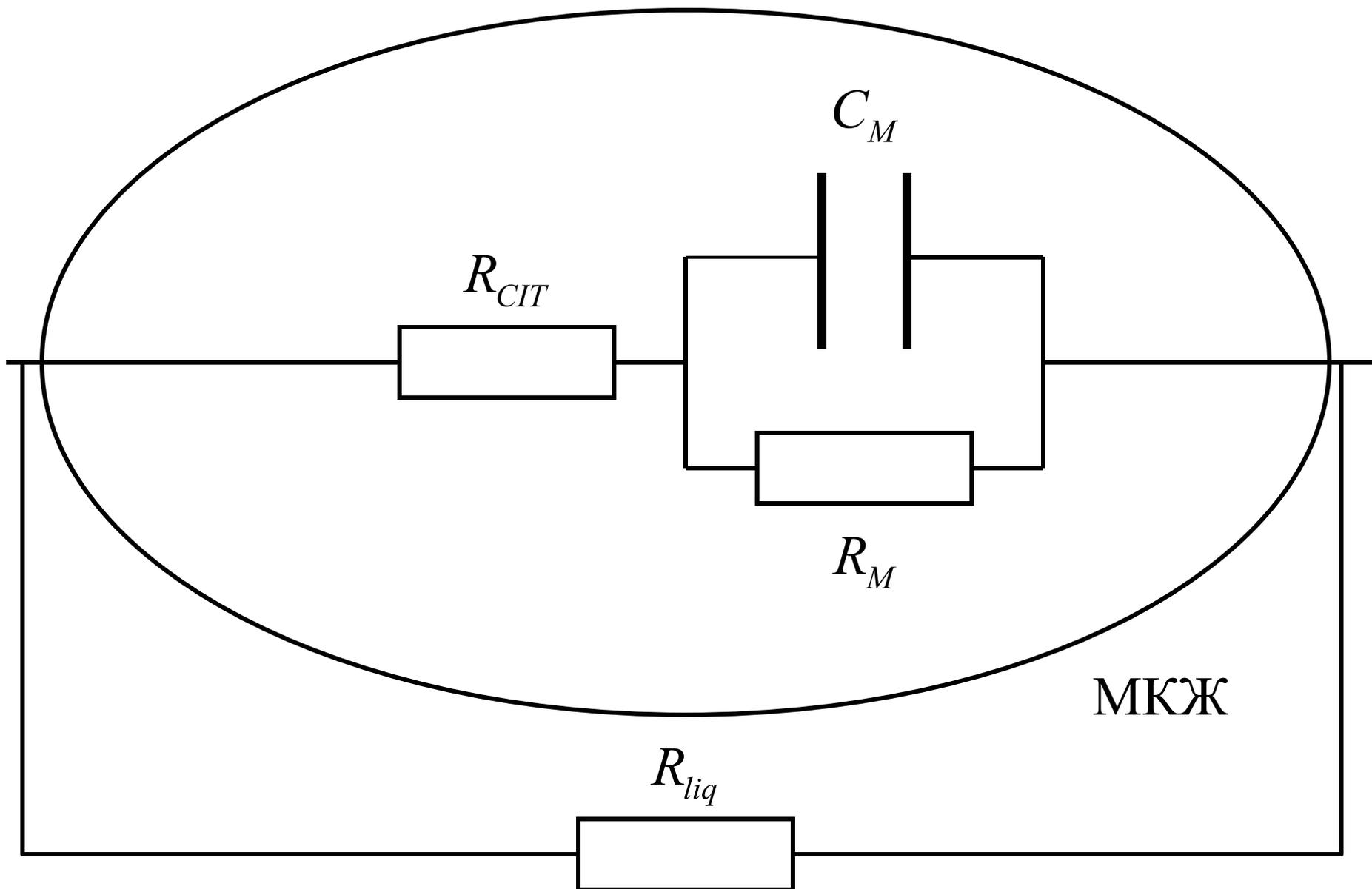
# Эквивалентная электрическая схема биологической ткани



Оценка  $C$ :

$$C = \varepsilon_0 \frac{\Phi}{d} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{нФ}}{\text{мм}} \frac{1}{10 \cdot 10^{-9}} \approx 10^{-3} \frac{1}{2} = 1 \frac{1}{2}$$

Клетка в целом:



$R_M$   $\boxtimes$   $\boxtimes$   $R_{CIT}$

$R_M$   $\boxtimes$   $\boxtimes$   $R_{liq}$

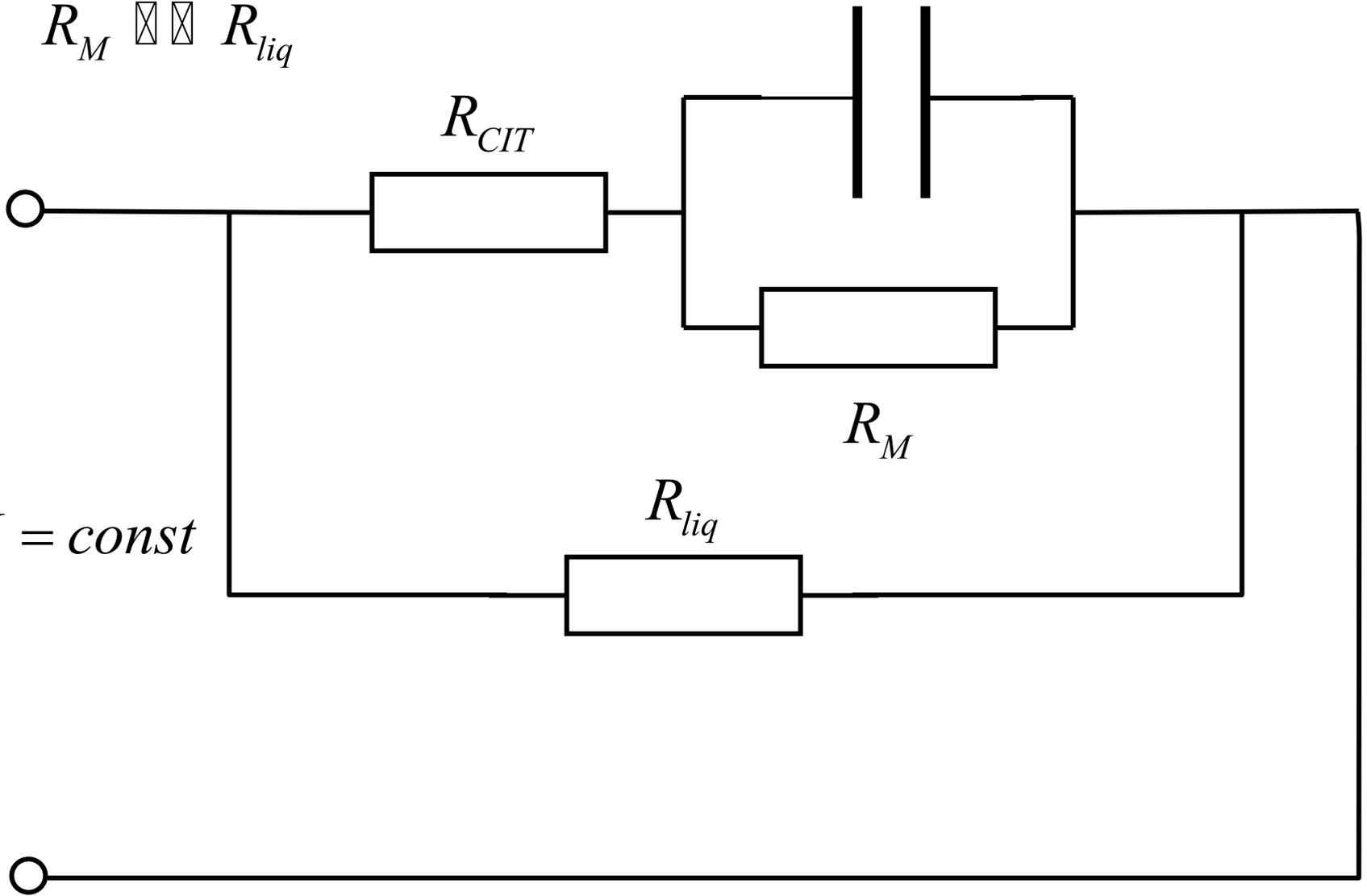
$C_M$

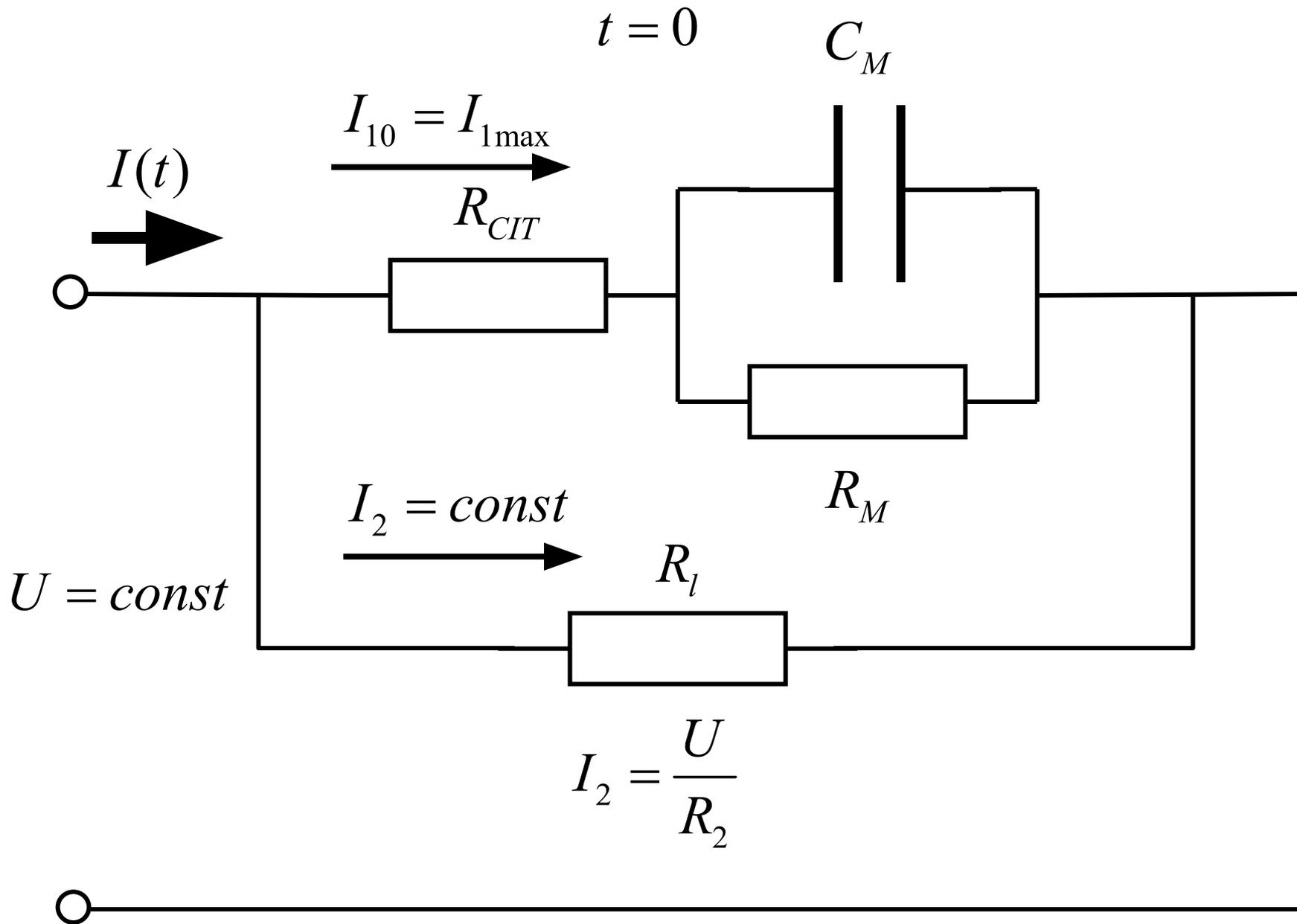
$R_{CIT}$

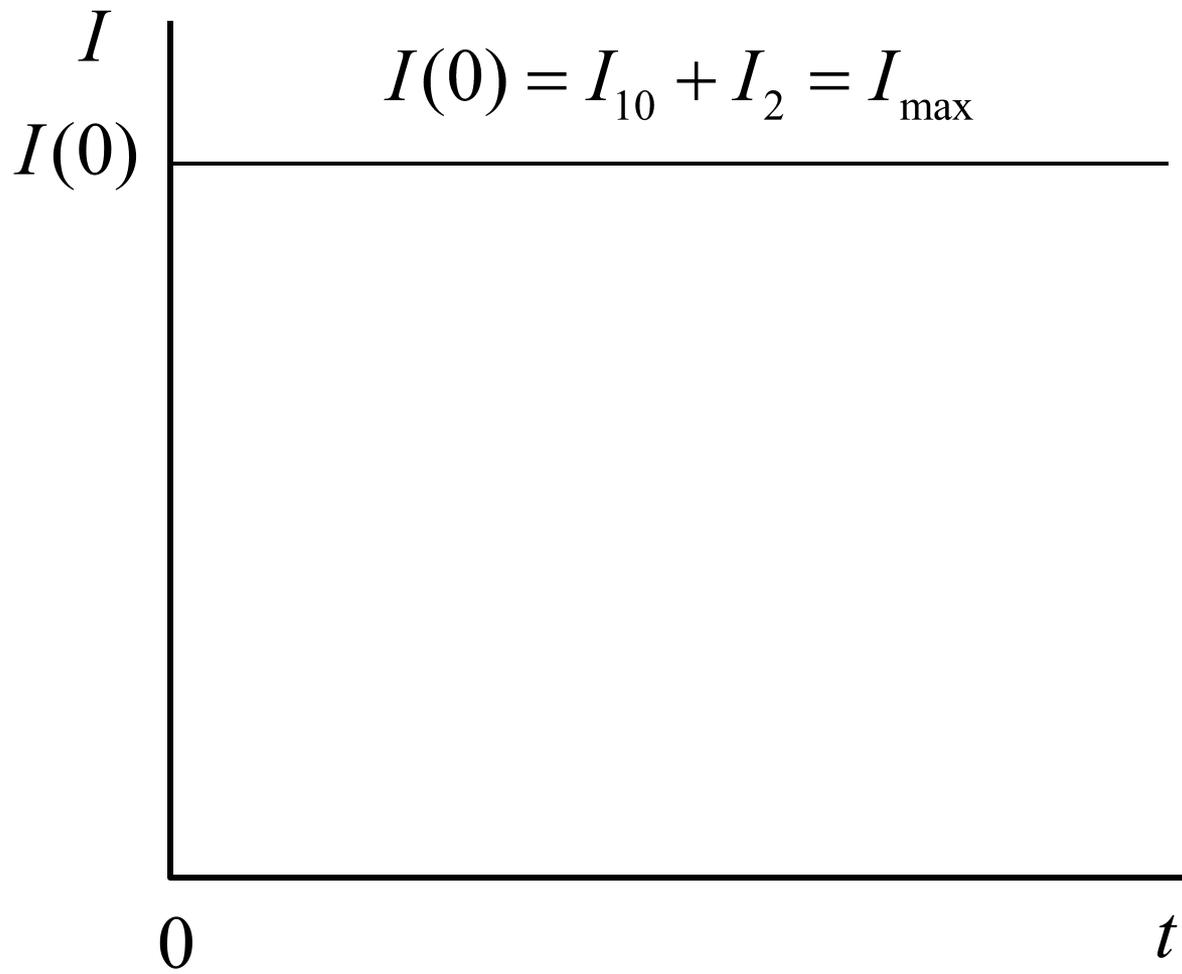
$R_M$

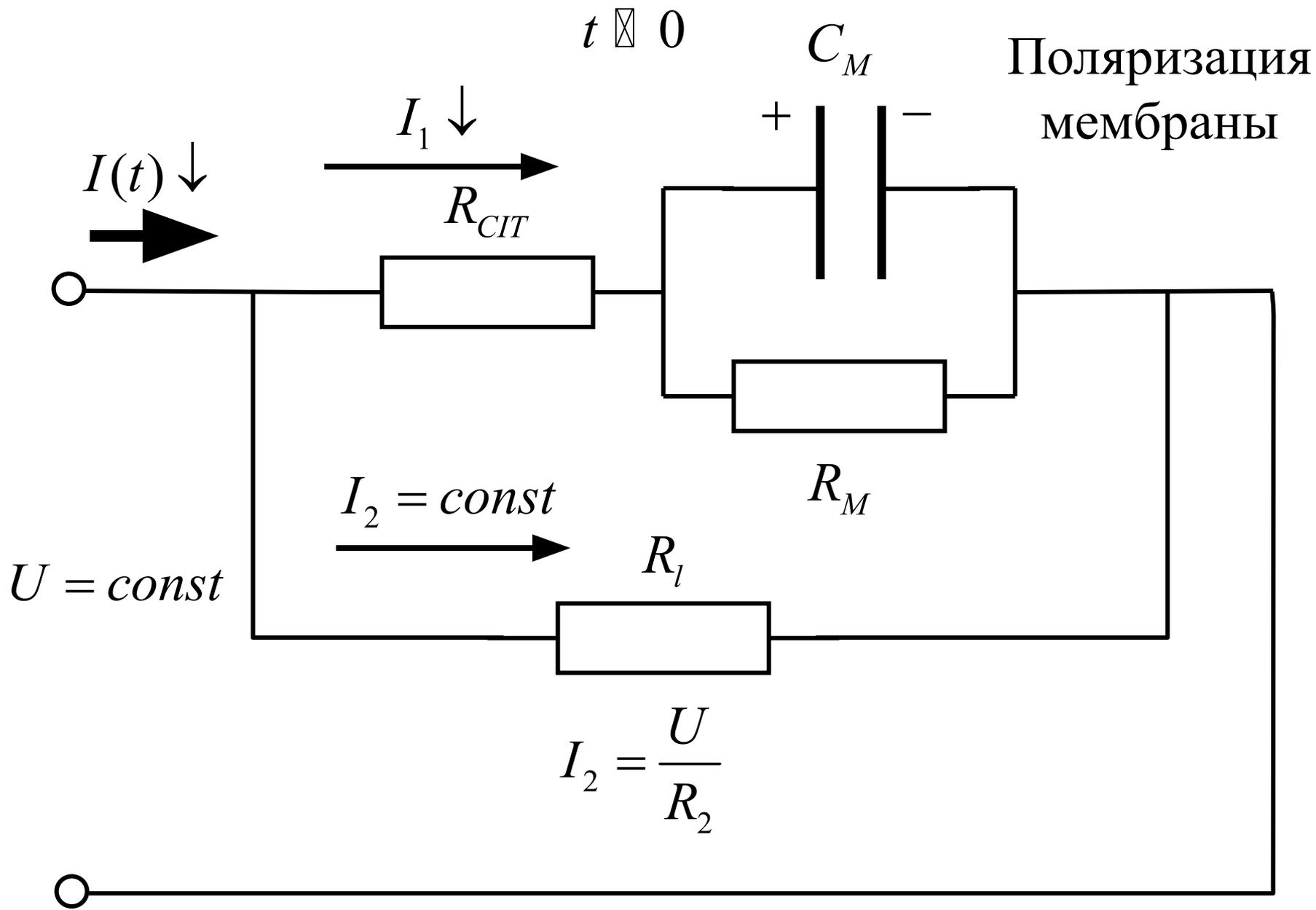
$R_{liq}$

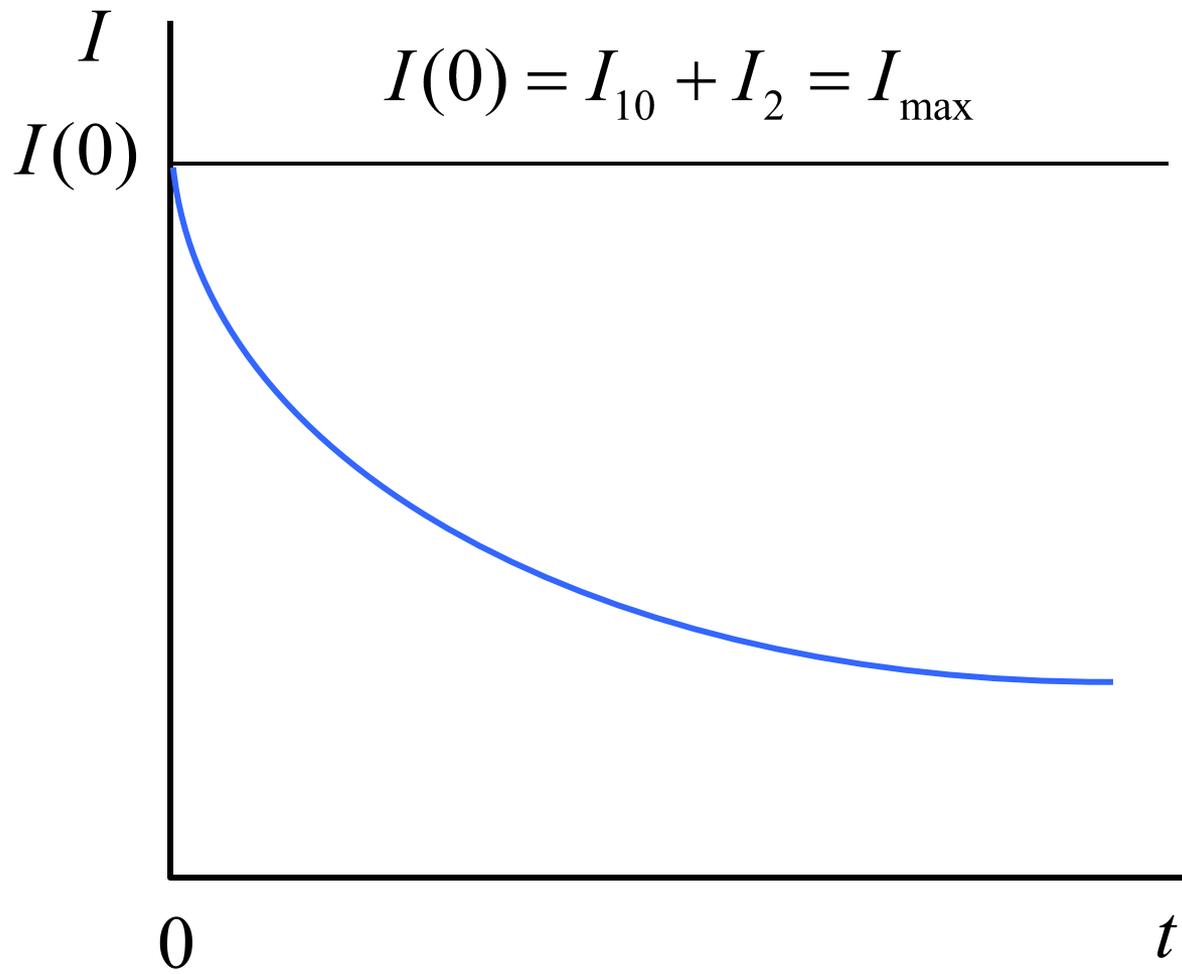
$U = const$

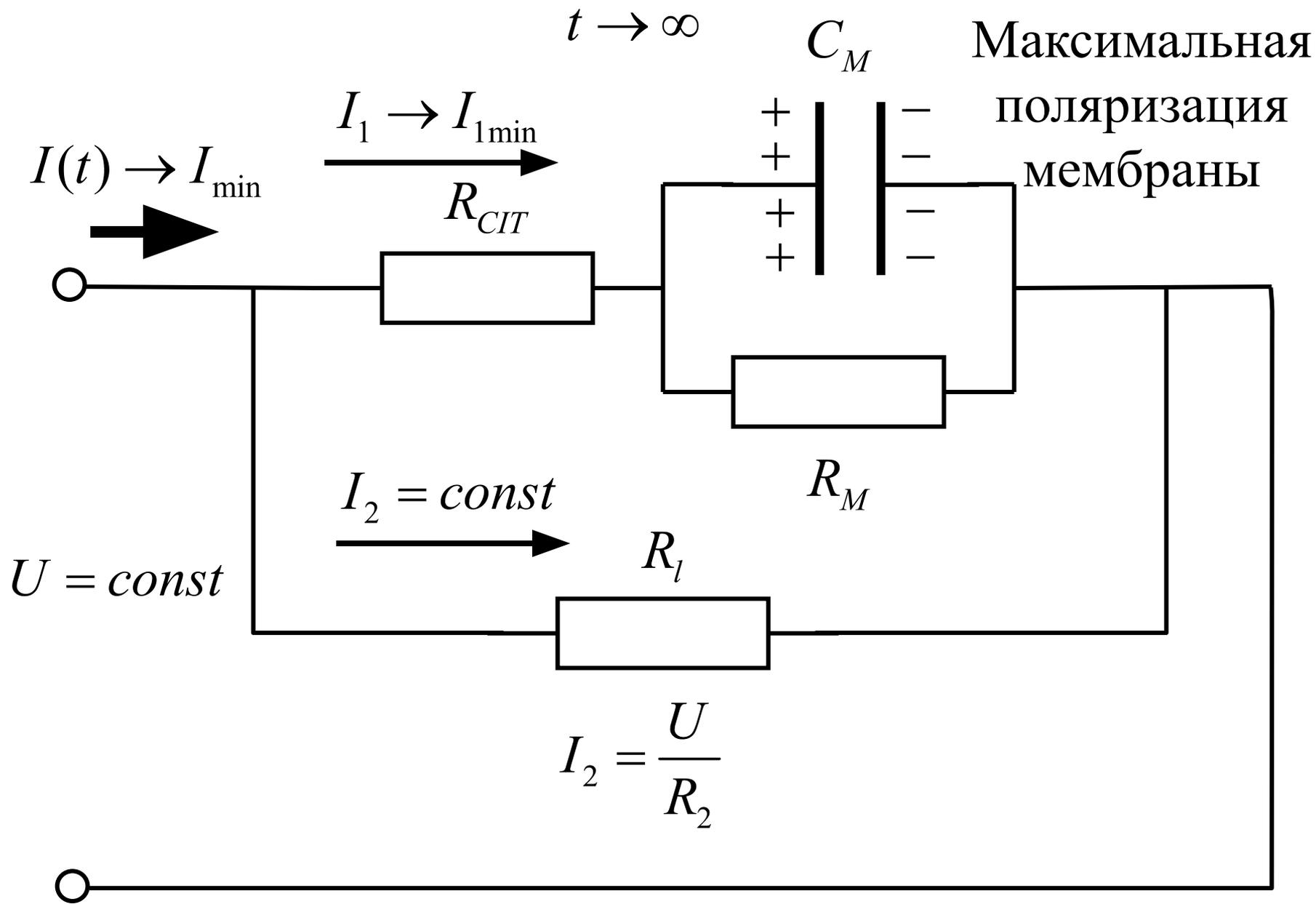


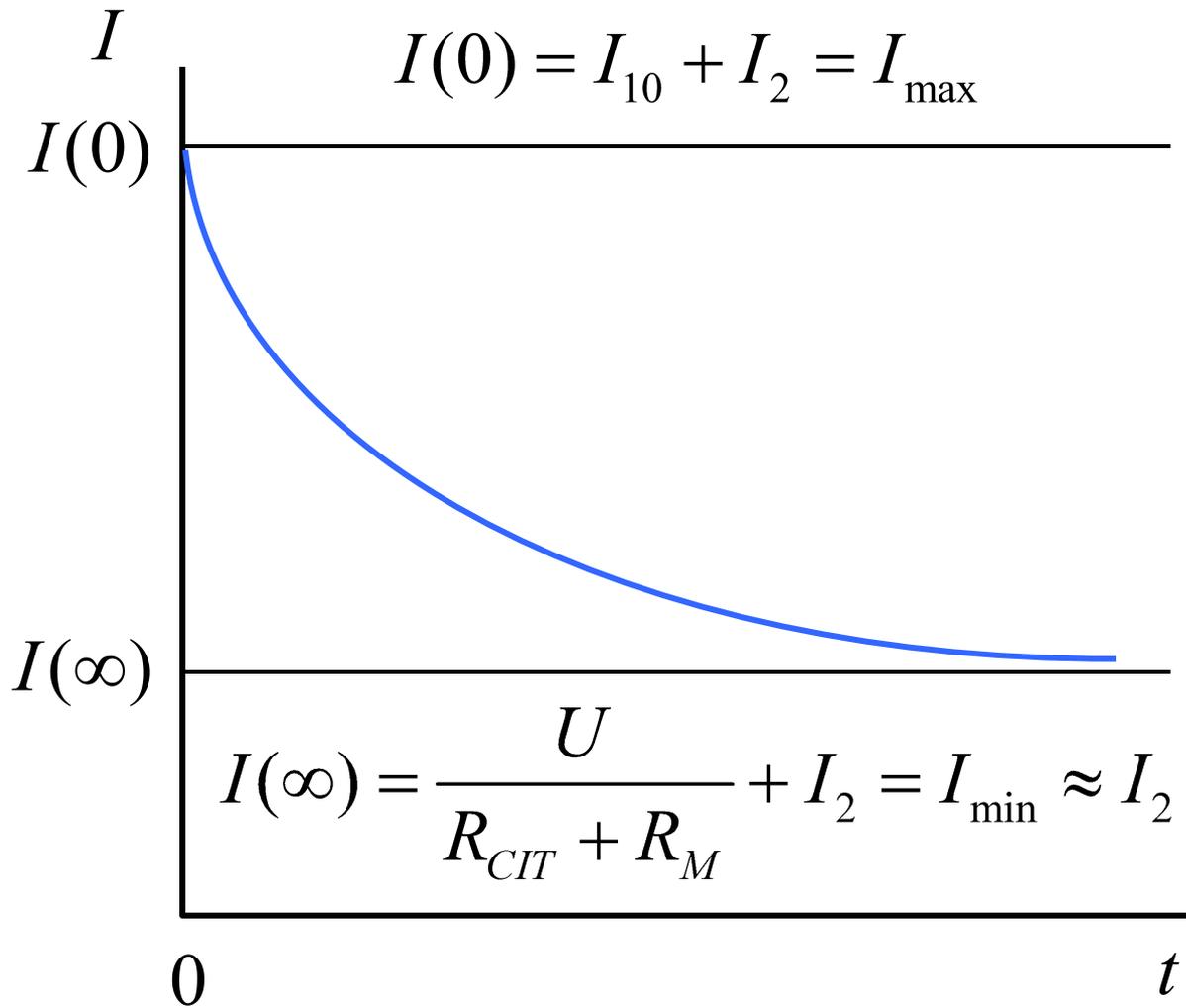










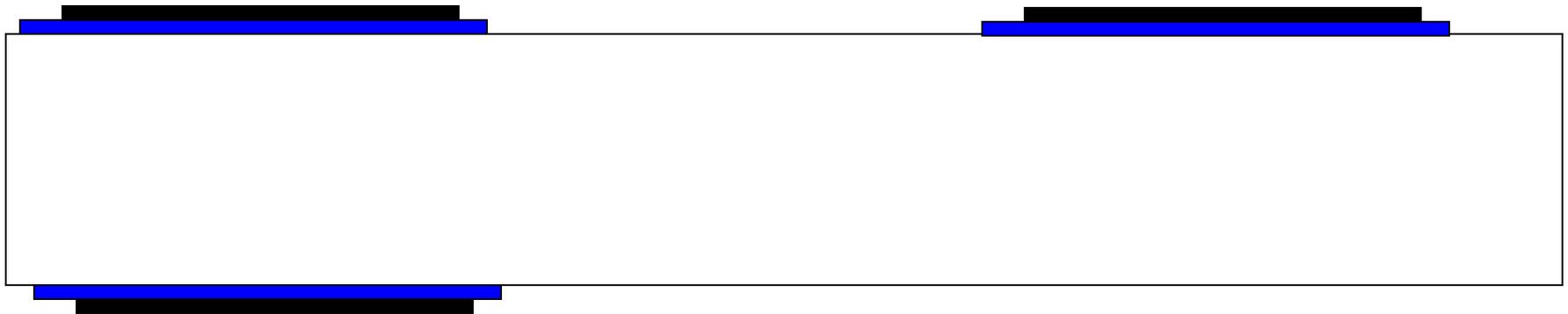


Воздействие постоянным током:

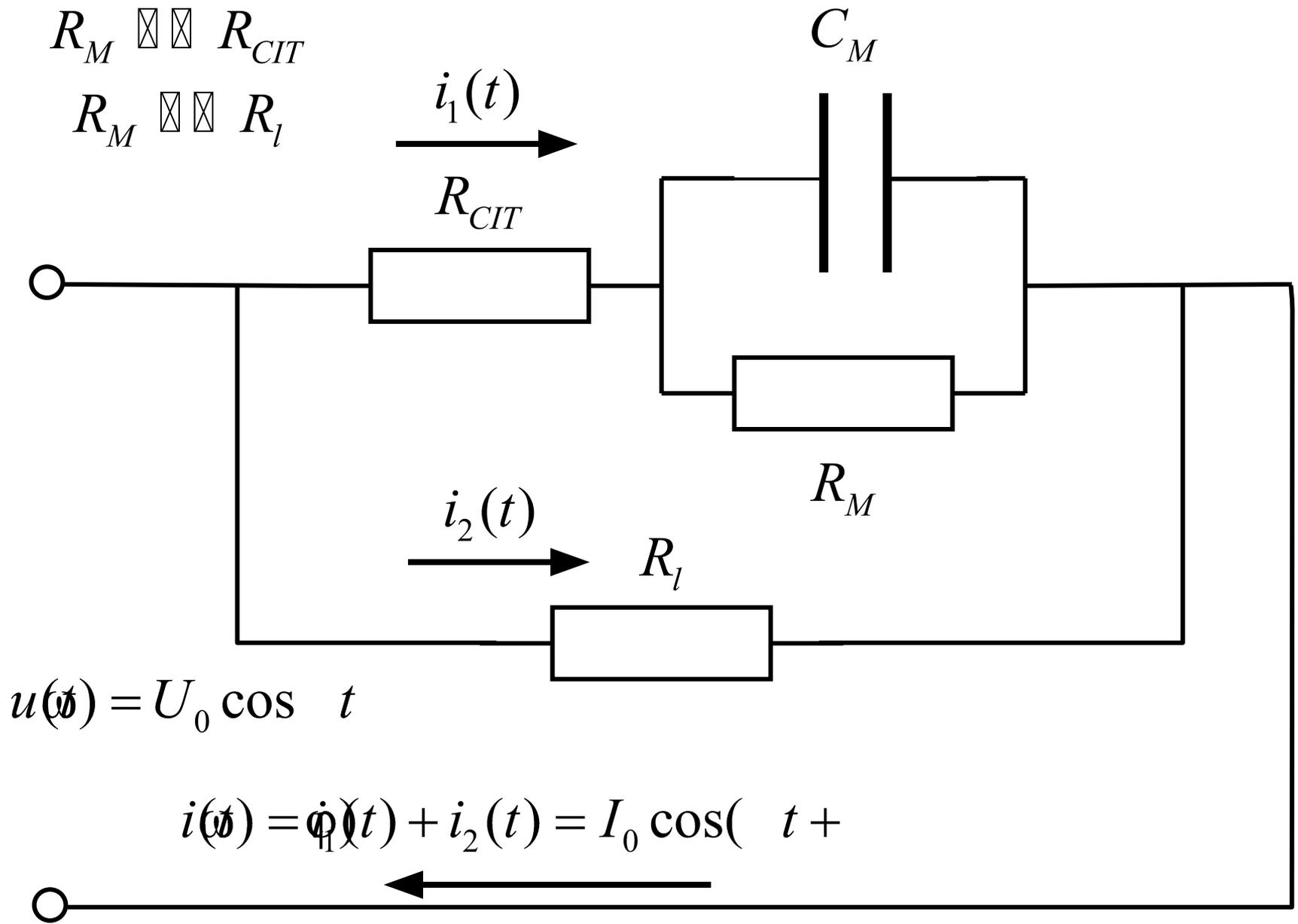
гальванизация: 60 – 80 В,  $j_{\max} = 0,1 \text{ мА/см}^2$

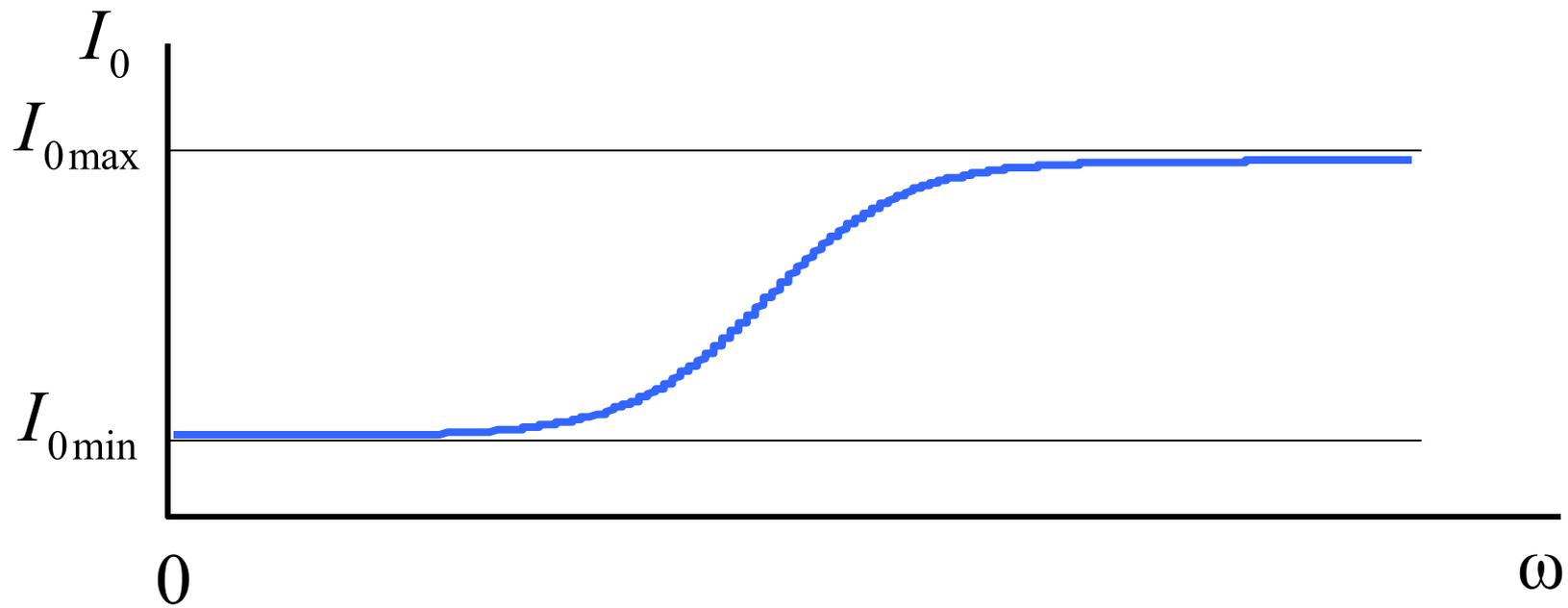
электрофорез лекарственной ионной формы

Электрод 1      ИТР или  
раствор ЛИФ      Электрод 2



Электрод 2'





$$\omega = 0$$

$$x_C = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \infty$$

$$i_1(t) \rightarrow 0$$

$$i(t) \approx i_2(t) \rightarrow \min$$

$$\omega \rightarrow \infty$$

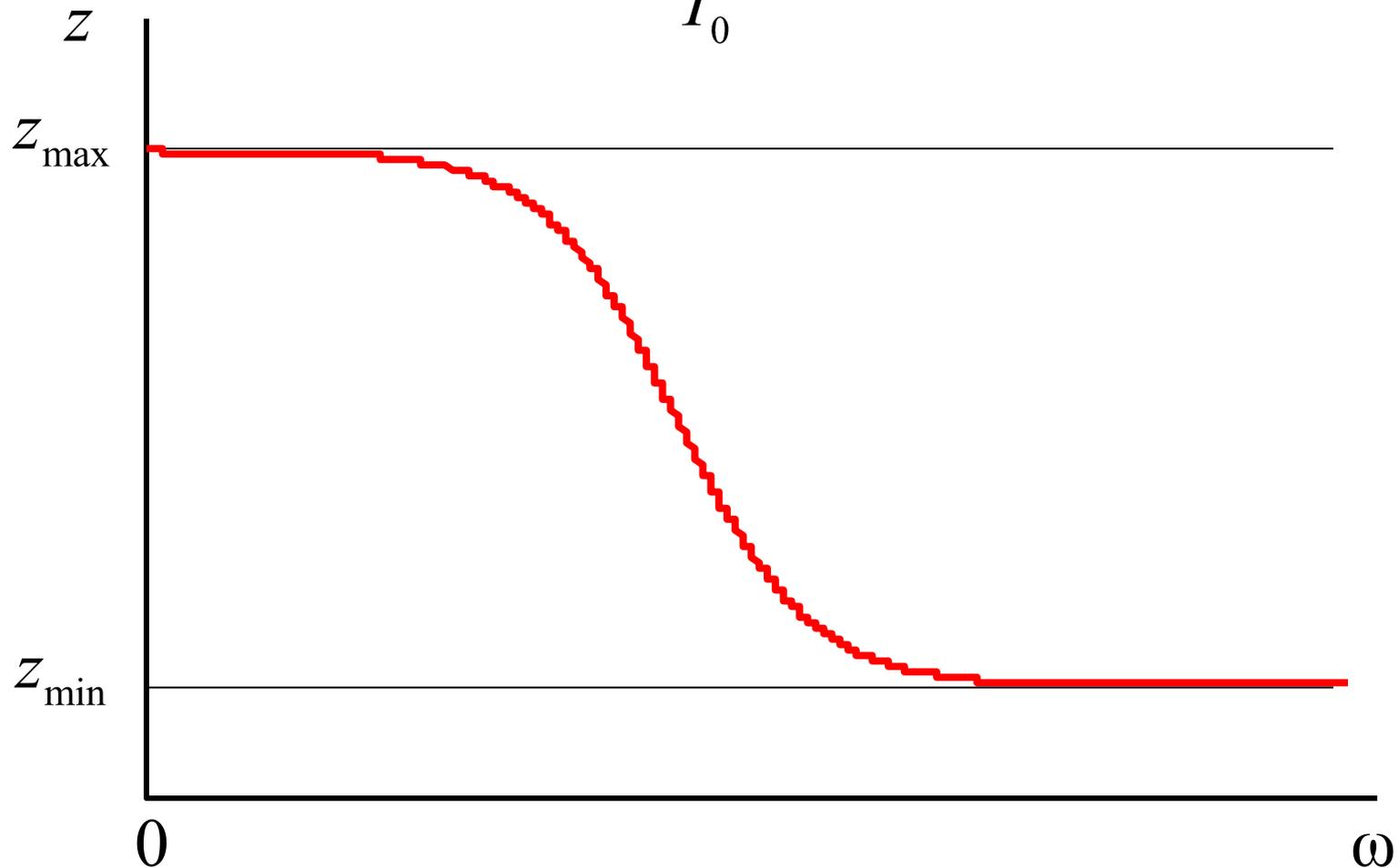
$$x_C = \frac{1}{\omega C} \rightarrow 0$$

$$i_1(t) \rightarrow \max$$

$$i(t) = i_1(t) + i_2(t) \rightarrow \max$$

Полное сопротивление участка (импеданс):

$$z = \frac{U_0}{I_0} = z(\omega)$$



Диагностика:

$$z(\omega) \leftrightarrow \dot{z}(\omega)_N$$

$$z(\omega_\Phi) \leftrightarrow \dot{z}(\omega_\Phi)_N$$

Связь  $z(\omega_\Phi)$  с деятельностью органа – реография  
(импеданс-плетизмография)

Реокардиография – измерение изменения импеданса грудной клетки, связанного с динамикой кровенаполнения сердца и крупных сосудов в течение сердечного цикла.

Реоэнцефалография – исследование сосудистой системы головного мозга.