



# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК ЗАКОН ОМА.

# ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК. ЗАКОН ОМА

- Явление самоиндукции.
- Энергия магнитного поля.
- Квазистационарный ток.
- Цепь, содержащая катушку индуктивности и резистор.
- Цепь, содержащая конденсатор и резистор.
- Полная цепь переменного тока. Закон Ома для цепи переменного тока.
- Резонанс напряжений в цепи переменного тока.



# ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ.

Явление самоиндукции открыл американский ученый **Дж. Генри**.

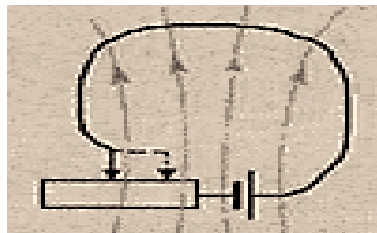


**Генри Джозеф** (1797–1878) – американский физик, член Национальной АН, ее президент (1866–1878). Работы посвящены электромагнетизму. Первый сконструировал мощные подковообразные электромагниты (1828), применив многослойные обмотки из изолированной проволоки (грузоподъемность их достигала одной тонны), открыл в 1831 г. принцип электромагнитной индукции (М. Фарадей первый опубликовал открытие индукции). Построил электрический двигатель (1831), обнаружил (1832) явление самоиндукции и экстратоки, установил причины, влияющие на индуктивность цепи. Изобрел электромагнитное реле. Построил телеграф, действовавший на территории Принстонского колледжа, установил в 1842 г. колебательный характер разряда конденсатора.



# ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ.

Каждый проводник, по которому протекает эл.ток, находится в собственном магнитном поле.



При изменении силы тока в проводнике меняется м.поле, т.е. изменяется магнитный поток, создаваемый этим током.

Изменение магнитного потока ведет к возникновению вихревого эл.поля и в цепи появляется ЭДС индукции.

$$I \updownarrow \rightarrow \Phi \updownarrow \rightarrow \mathcal{E}_{si}$$

Это явление называется самоиндукцией.



## ЯВЛЕНИЕ САМОИНДУКЦИИ.

- **Самоиндукция** - явление возникновения ЭДС индукции в эл.цепи в результате изменения силы тока. Возникающая при этом ЭДС называется ЭДС самоиндукции.

$$\mathcal{E}_{\text{самоиндукции}} = -L \frac{dI}{dt}$$



- Индуктивность  $L$  определяется геометрией контура (формой и размерами), и не зависит от материала проводника
- Согласно правилу Ленца, ЭДС самоиндукции препятствует изменению тока в цепи, обладающей индуктивностью, не могут происходить мгновенно.

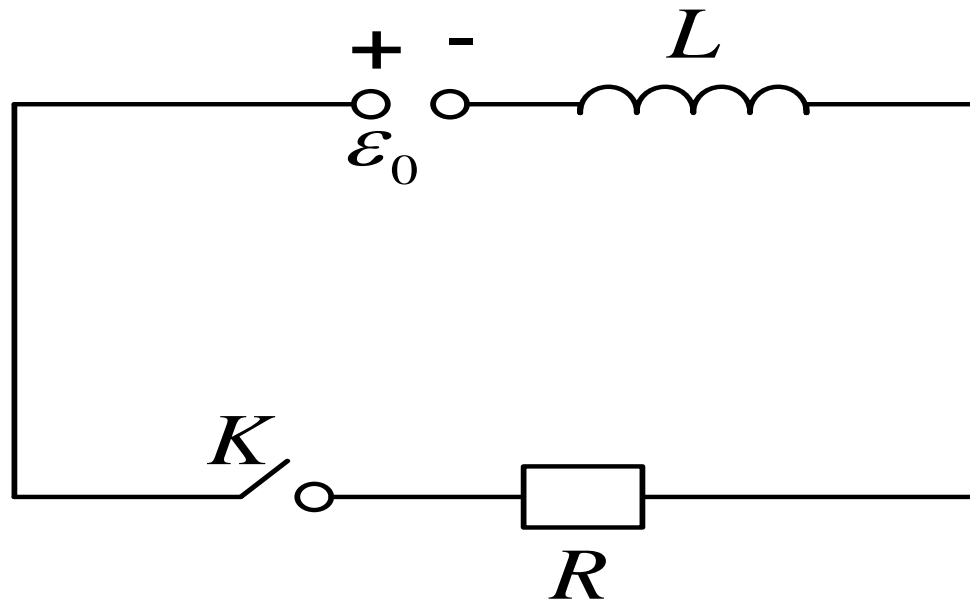


# ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

$t = 0$

$I(0) = 0$

$I(t)$



## 2-Й ЗАКОН КИРХГОФА

$$\varepsilon_0 + \varepsilon_{\text{н\grave{a}i \hat{i} \grave{e}i \ddot{a}}} = IR$$

$$\varepsilon_{\text{н\grave{a}i \hat{i} \grave{e}i \ddot{a}}} - L \frac{dI}{dt} = IR$$

$$dA = \varepsilon_0 dq = \varepsilon_0 Idt$$





## 2-Й ЗАКОН КИРХГОФА

$dA = \varepsilon_0 dq = \varepsilon_0 I dt$  – работа, совершаемая сторонними силами источника при перемещении заряда  $dq$  по цепи

Тогда:

$$A = \int_0^{t_1} \varepsilon_0 dq = \int_0^{t_1} (L \frac{dI}{dt} + IR) \cdot I dt$$

$$I_1 = I(t_1)$$

$$A = \int_0^{t_1} L \frac{dI}{dt} I dt + \int_0^{t_1} I^2(t) \cdot R dt = \int_0^{t_1} L I dI + \int_0^{t_1} I^2(t) R dt = \frac{L I_1^2}{2} + \int_0^{t_1} I^2(t) R dt$$

Второе слагаемое описывает тепло (количество теплоты), которое выделилось за промежуток времени от 0 до t



# ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

- По закону сохранения энергии первое слагаемое в правой части характеризует какую-то энергию, которая образовалась (также имеет размерность энергии) за счет работы сторонних сил.

$$W_i = \frac{LI^2}{2} \quad \text{– энергия магнитного поля тока.}$$

$$W_i = \frac{\hat{O} I^2}{2} = \frac{\hat{O}^2}{2L} = \frac{LI^2}{2}$$

$$W_{\text{э.}} = \frac{QU}{2} = \frac{CU^2}{2L} = \frac{Q^2}{2C} \quad \text{– энергия конденсатора (эл. энергия)}$$



# ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ.

□  
 $I$  – амплитуда тока

$\omega$  – циклическая частота тока

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$$

$T$  – период изменения тока

$\nu$  – частота (обычная)  $[\nu] = 1\text{А} \ddot{\text{o}} = 1\tilde{n}^{-1}$

Для обычного тока:  $\nu = 50\text{А} \ddot{\text{o}}$  в розетке



# КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ТОК.

- Квазистационарный ток – это медленно изменяющийся ток, для которого можно применить законы постоянного тока (например, закон Ома).



# КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ТОК.

Является ли обычный технический ток с частотой  $\nu = 50 \text{ Аö}$  квазистационарным?

$\lambda = \frac{c}{\nu}$  – длина волны электромагнитного поля.

$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м} / \tilde{n}}{50 \frac{1}{\tilde{n}}} = 6 \cdot 10^6 \text{ м} = 6000 \text{ м}$  – это длина волны электромагнитного поля, соответствующего току с частотой 50 Гц.

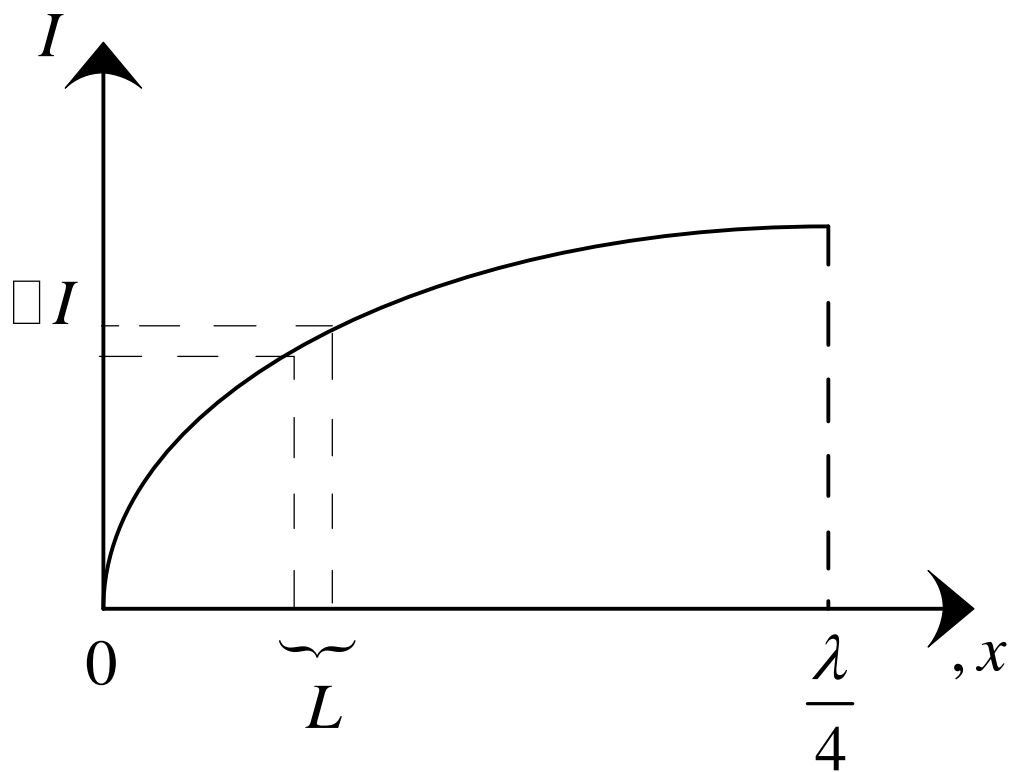


# КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ТОК.

- Пусть  $L$  полная длина соединительных проводов в некоторой цепи
- Если  $L < \lambda/4$ , то ток в данной цепи можно рассматривать, как квазистационарным.
- Квазистационарный ток не изменяется в пространстве в пределах рассматриваемой цепи, т. е. имеет постоянную фазу для всех точек цепи.



# КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ТОК.



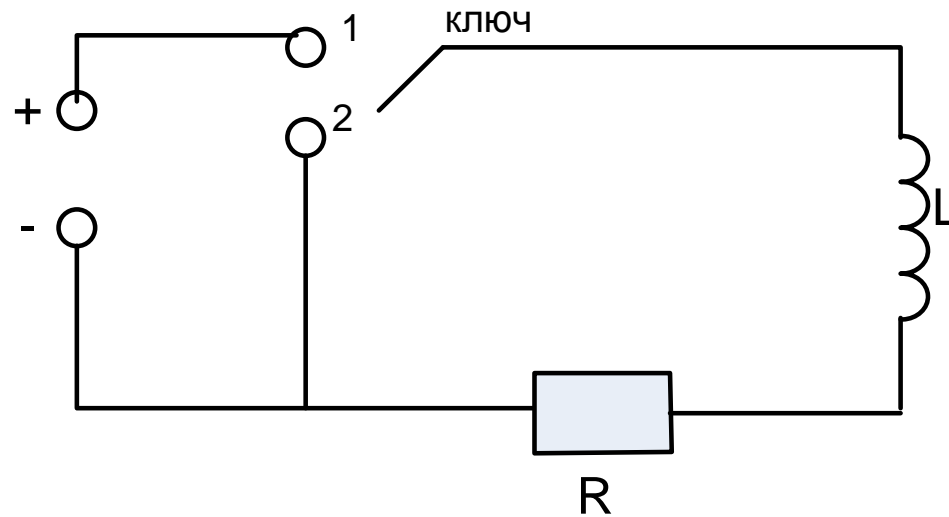
# КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ ТОК

- Если  $L > \lambda/4$ , то  $\Delta L_{\square} \rightarrow 0$  (изменение тока практически незаметно),  $\Rightarrow I \neq f(x)$
- Фаза тока одинакова во всех точках такой цепи.





# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ И РЕЗИСТОР.



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ И РЕЗИСТОР.

- Для обоих положений переключателя цепь остается замкнутой в положении (1) – есть источник;
- В (2) – нет источника в цепи .
- Пусть при  $t = 0$  К (ключ)  $\rightarrow 1$  , следовательно начинается процесс возрастания тока.

$$\varepsilon_0 + \varepsilon_{\text{самоин}} = \dot{I} R \quad - \quad \text{2-ое правило Кирхгофа}$$

$$\varepsilon_0 - L \frac{d\dot{I}}{dt} = \dot{I} R$$



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ И РЕЗИСТОР.

$$L \frac{\dot{I}}{dt} + \dot{I} R = \varepsilon_0$$

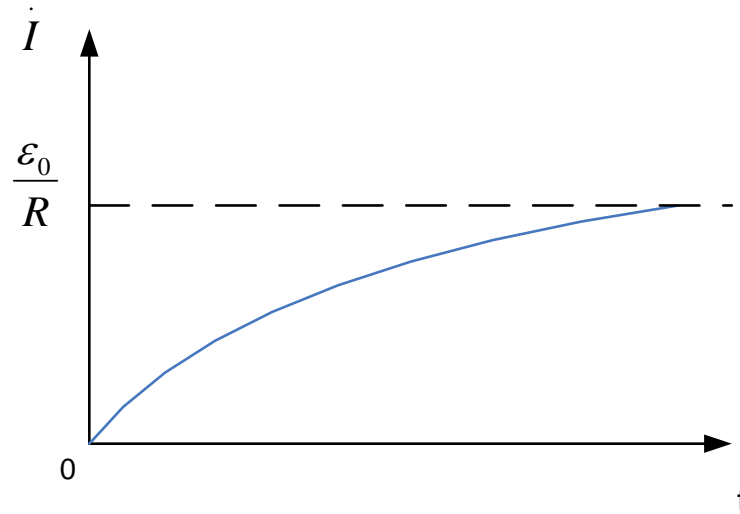
$$\dot{I}(t) = \frac{\varepsilon_0}{R} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ И РЕЗИСТОР.

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

- время релаксации (характеризует скорость изменения тока в цепи).



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ И РЕЗИСТОР.

- Из-за явления самоиндукции ток в цепи изменяется постепенно; и тем медленнее, чем больше индуктивность в цепи.
- $1 \text{ Гн} = 1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ с}$ .
- **Ключ** приведем в положение **(2)** при  $t = 0$ .

$$-L \frac{d\dot{I}}{dt} = \dot{I} R \quad -\frac{d\dot{I}}{\dot{I}} = \frac{dt}{\tau}; \quad \dot{I}(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}};$$

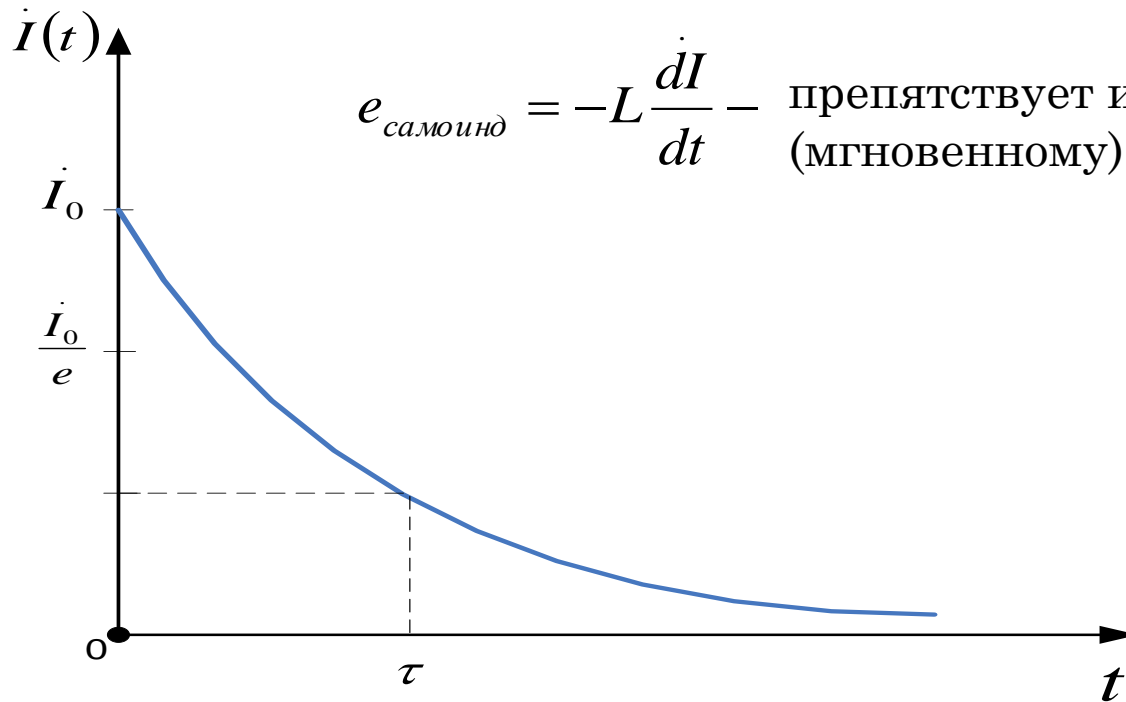
$$I_0 = \frac{e_0}{R} \quad \dot{I}(\tau) = I_0 e^{-1} = \frac{I_0}{e}; \quad \dot{I}(2\tau) = \frac{I_0}{e^2}; \quad \dot{I}(3\tau) = \frac{I_0}{e^3}.$$

$$e = 2,71828\dots; \quad e^3 \approx 20$$



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КАТУШКУ ИНДУКТИВНОСТИ И РЕЗИСТОР.

- За время релаксации сила тока в такой цепи убывает в  $e$  раз.

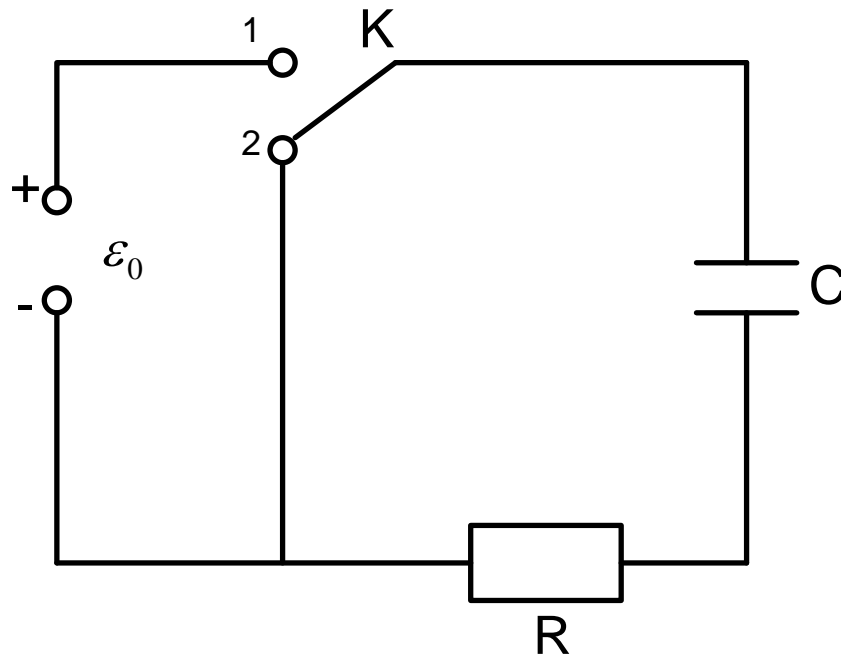


$$e_{\text{самоинд}} = -L \frac{dI}{dt} \text{ — препятствует изменению (мгновенному) тока в цепи.}$$



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КОНДЕНСАТОР И РЕЗИСТОР.

- $t = 0$  ;  $K \rightarrow 1$  (  $K$  конденсатору подсоединили источник. Начинается процесс зарядки конденсатора ).



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КОНДЕНСАТОР И РЕЗИСТОР.

$$\varepsilon_0 = \dot{I} R + U_c, \text{ где } U_c = \frac{Q}{C}.$$

$$\frac{d\varepsilon_0}{dt} = 0; \quad R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} I = 0 \quad I = \frac{dQ}{dt}. \quad I(t) = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$$

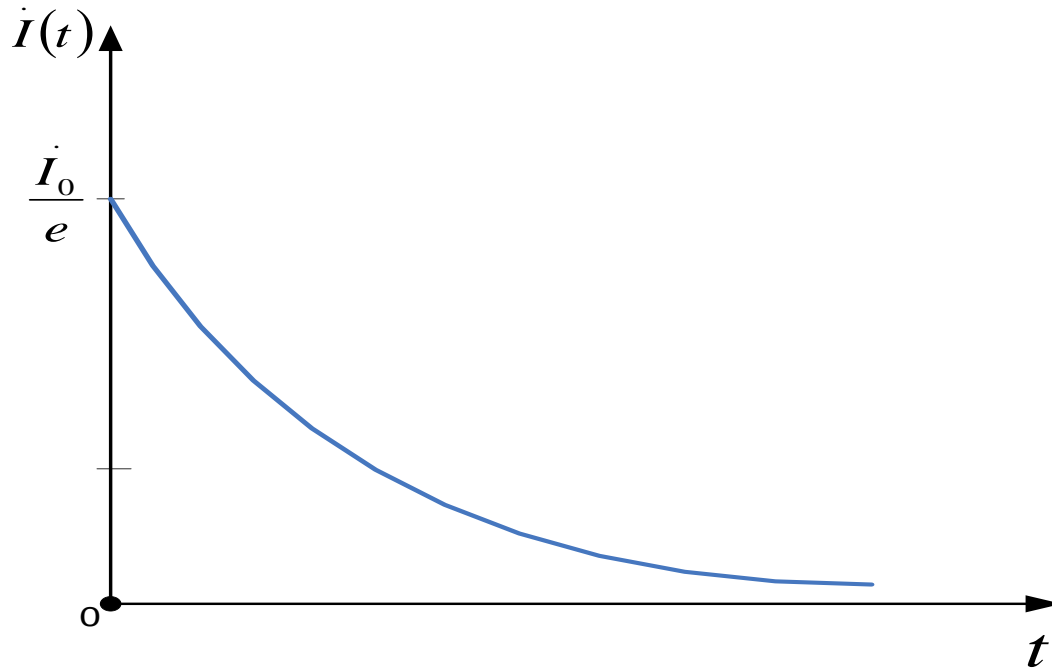
$$\tau = RC$$

$$1\text{с} = 1\text{ Ом} * 1\text{ Ф}$$





# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КОНДЕНСАТОР И РЕЗИСТОР.



По мере зарядки конденсатора, сила тока в цепи уменьшается, этот процесс характеризуется *временем релаксации*

$\tau$



# ЦЕПЬ, СОДЕРЖАЩАЯ КОНДЕНСАТОР И РЕЗИСТОР.

- $t = 0$ ;  $K \rightarrow 2$  (Ключ в положении 2, новый отсчет времени). Зависимость тока от времени та же самая. Конденсатор препятствует мгновенному изменению тока в цепи.



# ПОЛНАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

