

Переменный ток.

Вопросы для изучения:

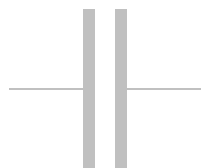
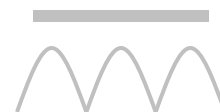
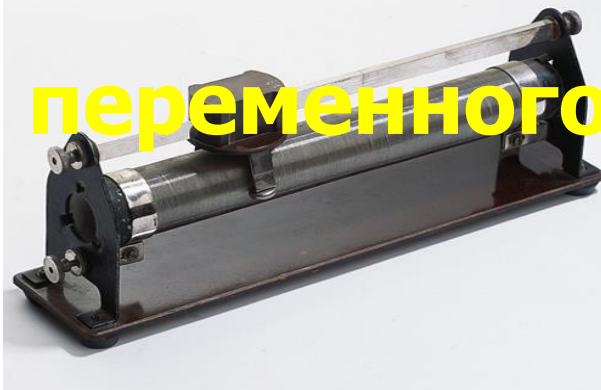
1. Действующие значения тока и напряжения.
Активное сопротивление в цепи \sim тока
2. Конденсатор в цепи \sim тока
3. Индуктивность в цепи \sim тока
4. Использование частотных свойств конденсатора и катушки индуктивности



R C L

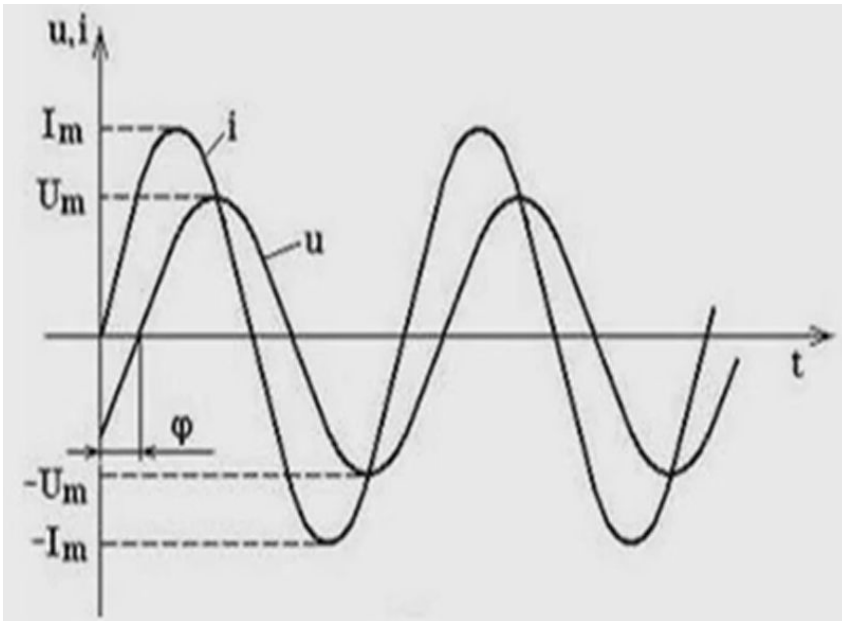


в цепи переменного тока -1



1. Действующие значения тока и напряжения. Активное сопротивление в цепи переменного тока

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА



- i – мгновенное значение силы тока.
- u – мгновенное значение напряжения.
- e – мгновенное значение ЭДС
- I_m – амплитуда тока
- U_m – амплитуда напряжения

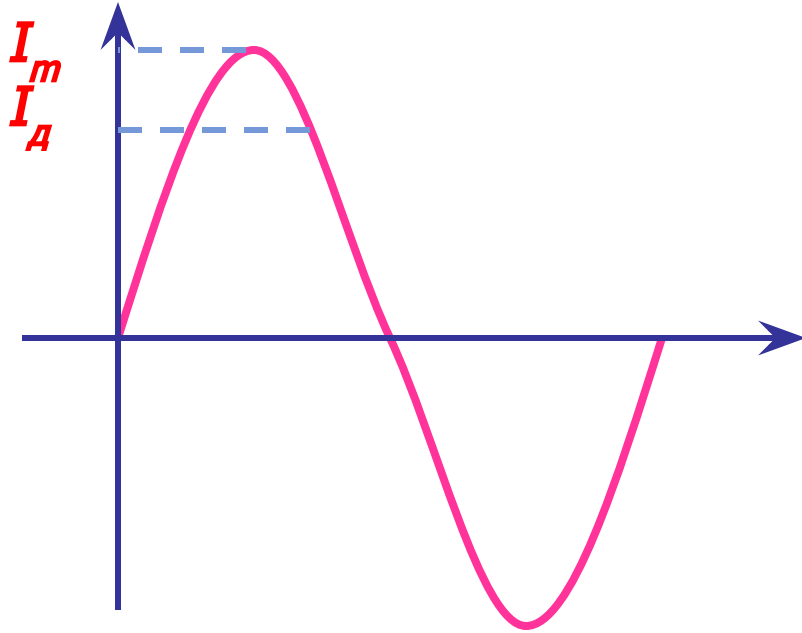
$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

$\omega t + \varphi_0$ – фаза колебаний

φ_0 – начальная фаза



Действующего значения силы тока:



Действующим значением силы тока - усредненное значение силы тока, (Такое значение силы постоянного тока, что протикая по такому же сопротивлению, выделит столько же тепла, что и переменный ток)

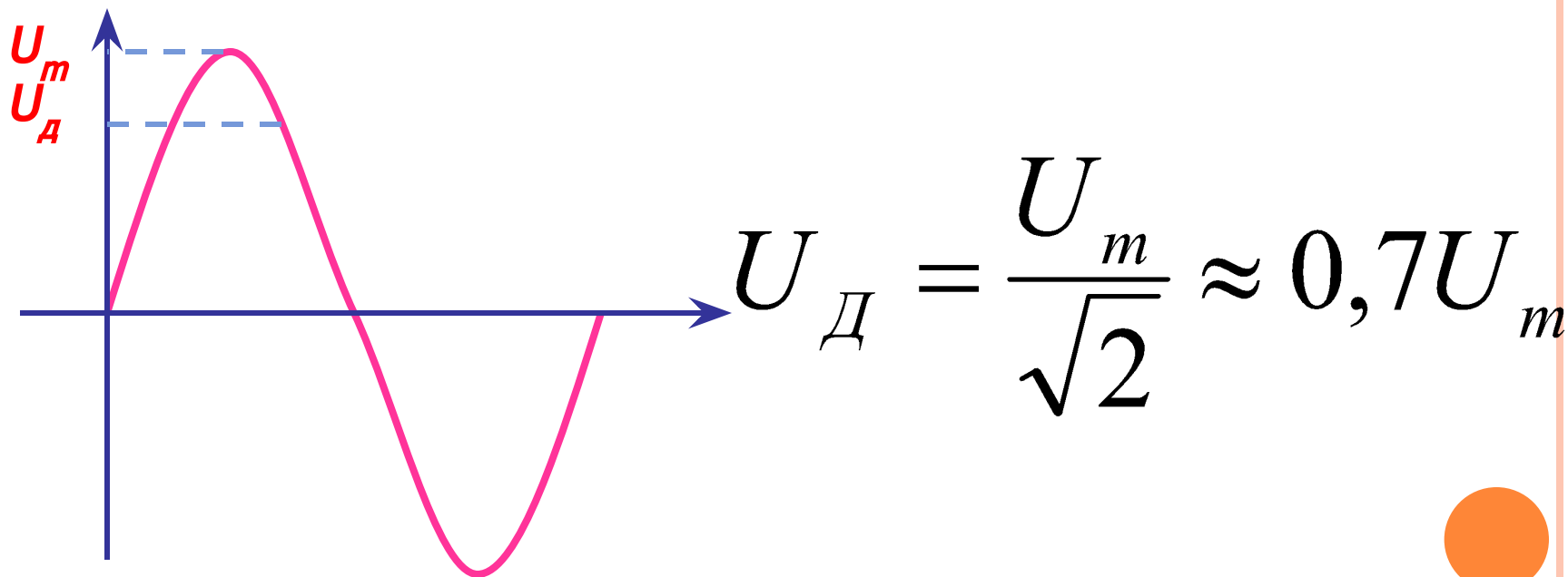
$$I_D = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,7I_m$$

При прохождении переменного тока через проводник, как видно из графика, его значение не остается постоянным:

Ток плавно изменяется от нуля до амплитудного значения. Значит и тепловое действие тока различно в разные моменты времени.

Действующее значение напряжения:

действующее (эффективное) значение напряжения - усреднённое значение напряжения, (такое напряжение постоянного тока, которое на такой же резистивной нагрузке выделит такую же мощность, что и переменное напряжение.



$$I_{\text{д}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

- Действующее значение силы тока
- Действующее значение напряжения

$$U_{\text{д}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$$

- Можно рассчитать амплитудное значение напряжения:

Значит провода должны быть рассчитаны на **310 В**. $U_m = U_{\text{д}} \sqrt{2}$

$$U_m = 220\text{В} \sqrt{2} \approx 310\text{В}$$



Действующая мощность (средняя мощность):

Если разность фаз между максимальной силой тока или напряжением равна нулю

$$P = U_{\text{д}} I_{\text{д}} = \frac{I_m U_m}{2}$$

Если разность фаз между максимальной силой тока или напряжением не равна нулю

$$P = U_{\text{д}} I_{\text{д}} \cos \varphi$$

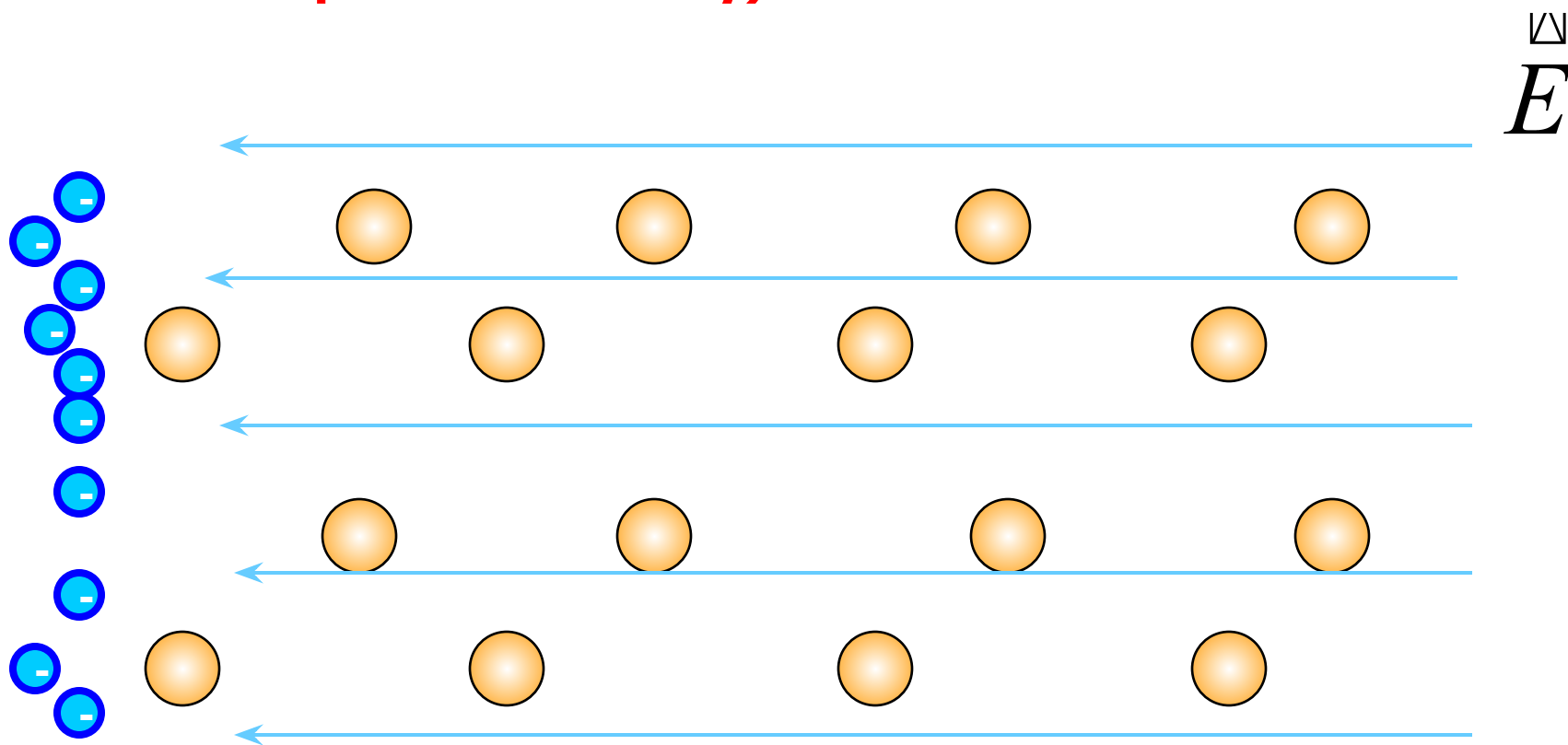
Выделяемое тепло (Закон Джоуля Ленца)

$$Q = U_{\text{д}} I_{\text{д}} \Delta t = I_{\text{д}}^2 R \Delta t = \frac{U_{\text{д}}^2}{R} \Delta t$$



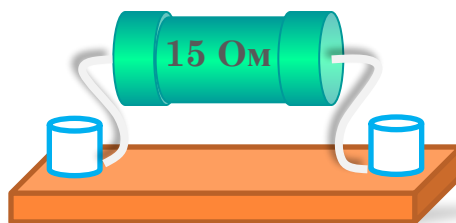
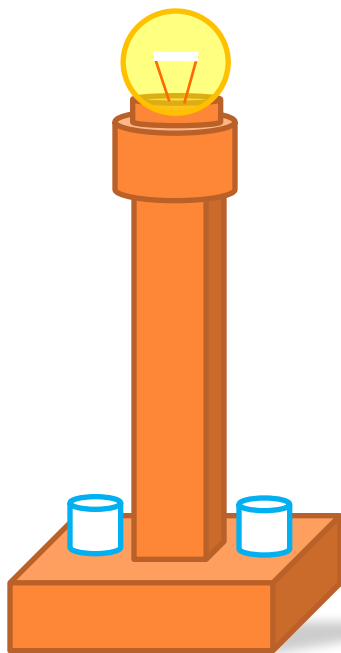
Чем обусловлено сопротивление проводника проходящему по нему току?

При прохождении тока через проводник свободные электроны взаимодействуют с атомами кристаллической решетки (соударения, кулоновское взаимодействие), передавая им часть своей энергии. При этом внутренняя энергия проводника увеличивается. (он нагревается и оказывает сопротивление току)



АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ

- Активное сопротивление - электрические устройства, преобразующие электрическую энергию во внутреннюю (тепловую).



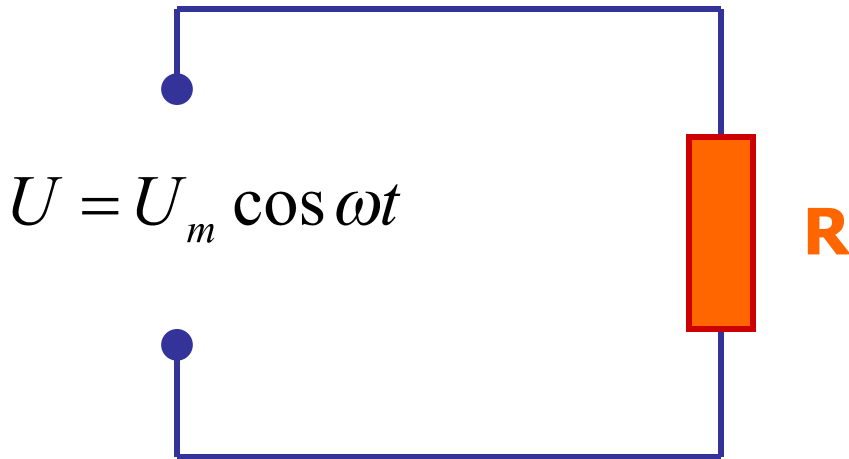
АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

- От чего зависит активное сопротивление проводника?

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



Активное сопротивление в цепи переменного тока:

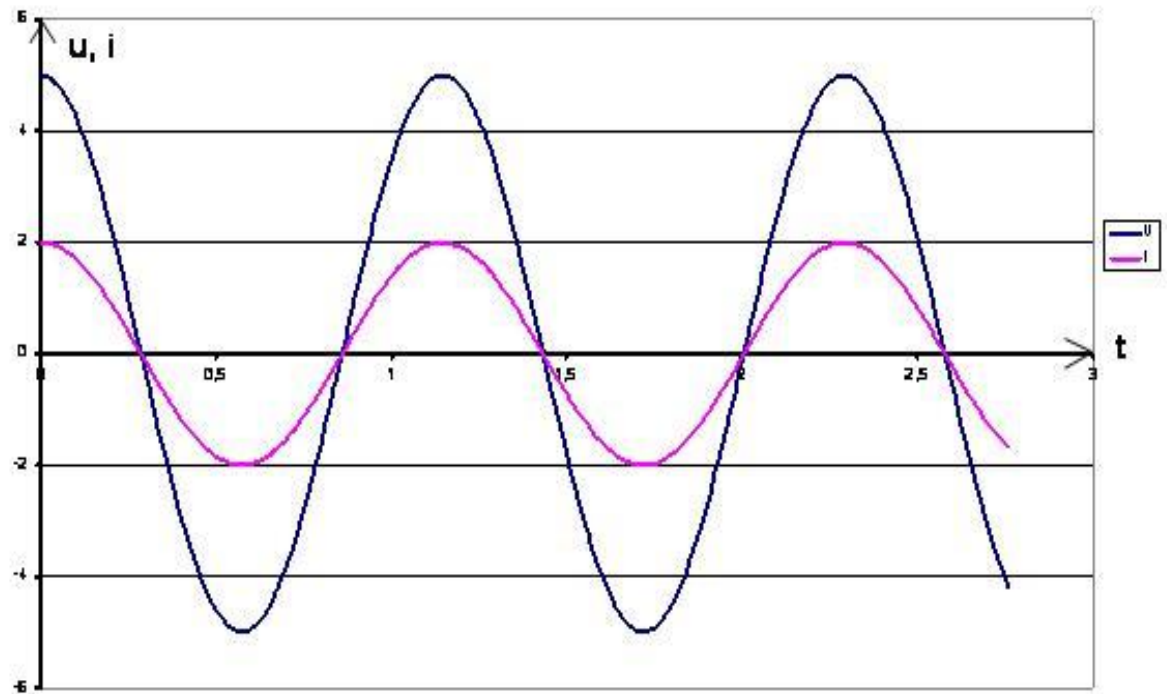
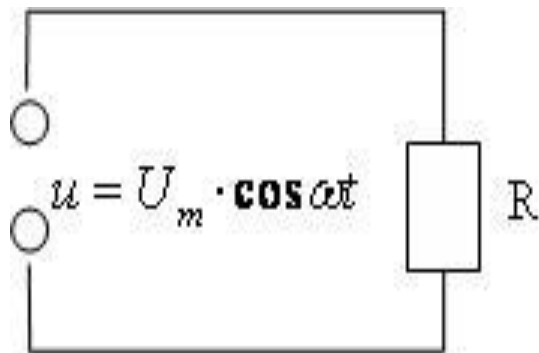


Мгновенное значение силы тока через активное сопротивление пропорционально мгновенному значению напряжения

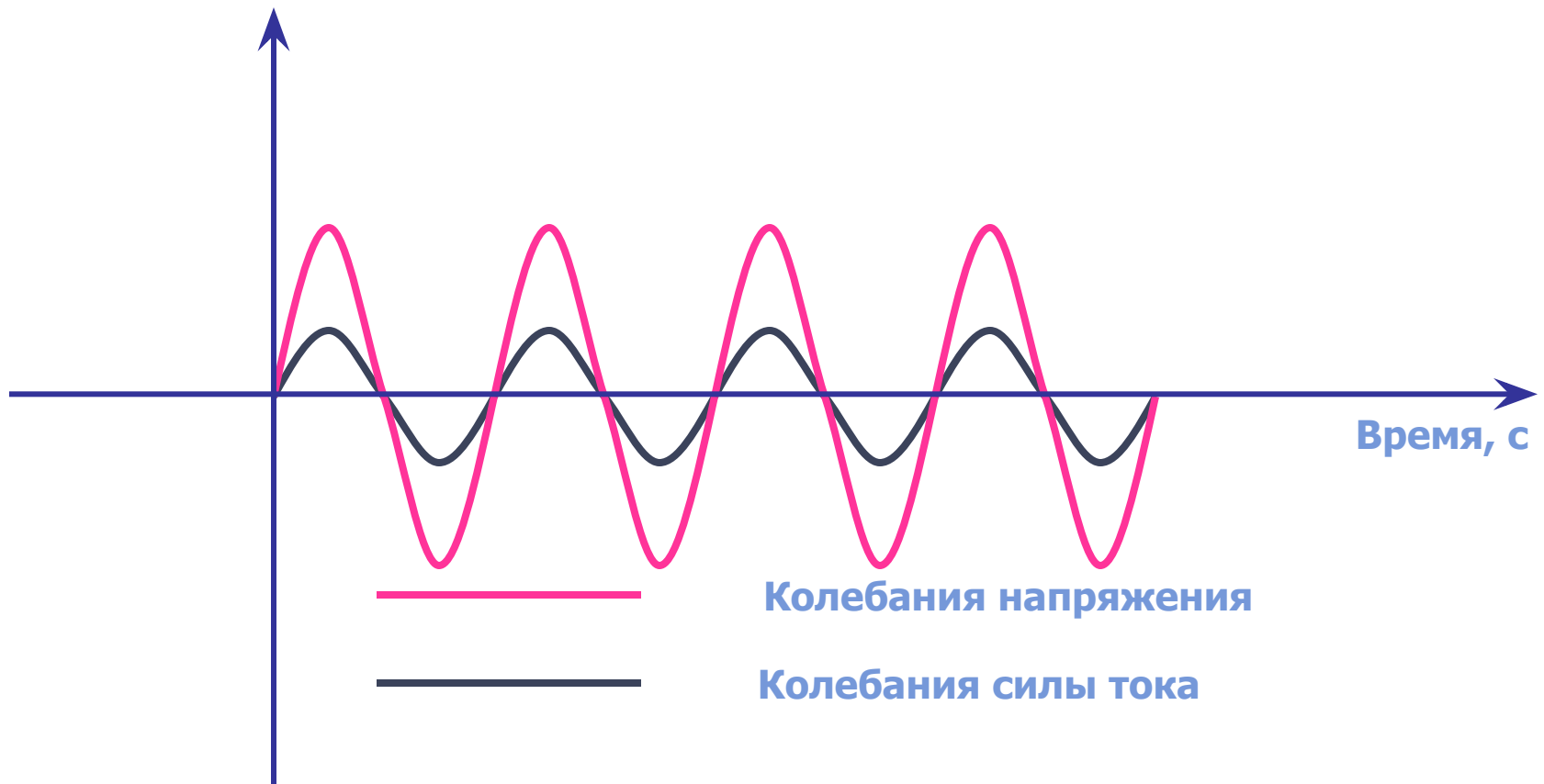
$$i = \frac{U}{R} = \frac{U_m \cos \omega t}{R} = I_m \cos \omega t$$

ПРОКОММЕНТИРУЙТЕ СХЕМУ И ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ТОКА ОТ ВРЕМЕНИ.

Рисунок 1.

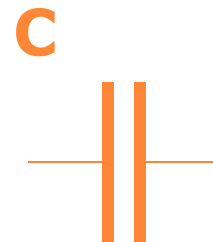


Графики изменения напряжения и силы тока на активном сопротивлении

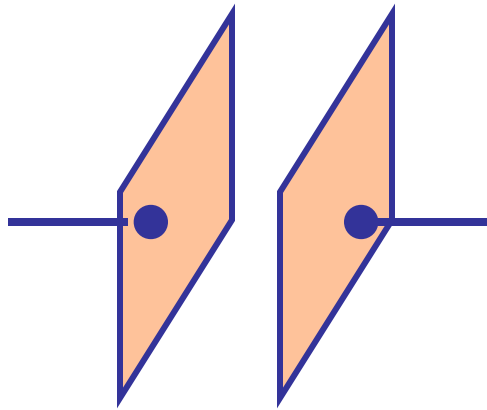


Колебания напряжения и силы тока на активном сопротивлении совпадают по фазе

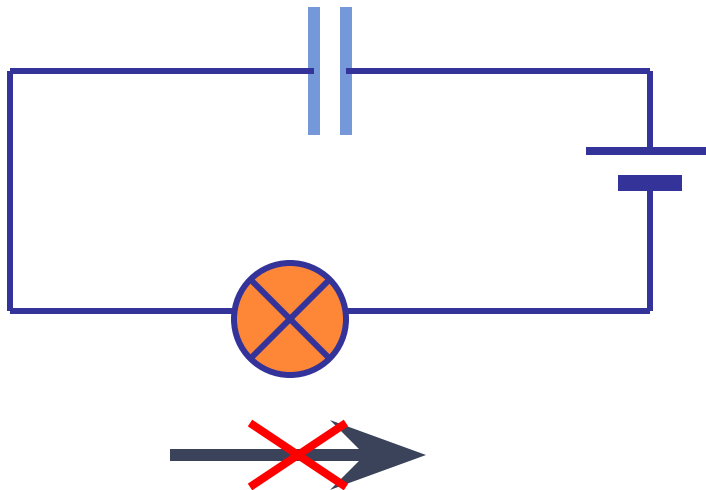
2. Конденсатор в цепи переменного тока



Давайте вспомним, что такое конденсатор



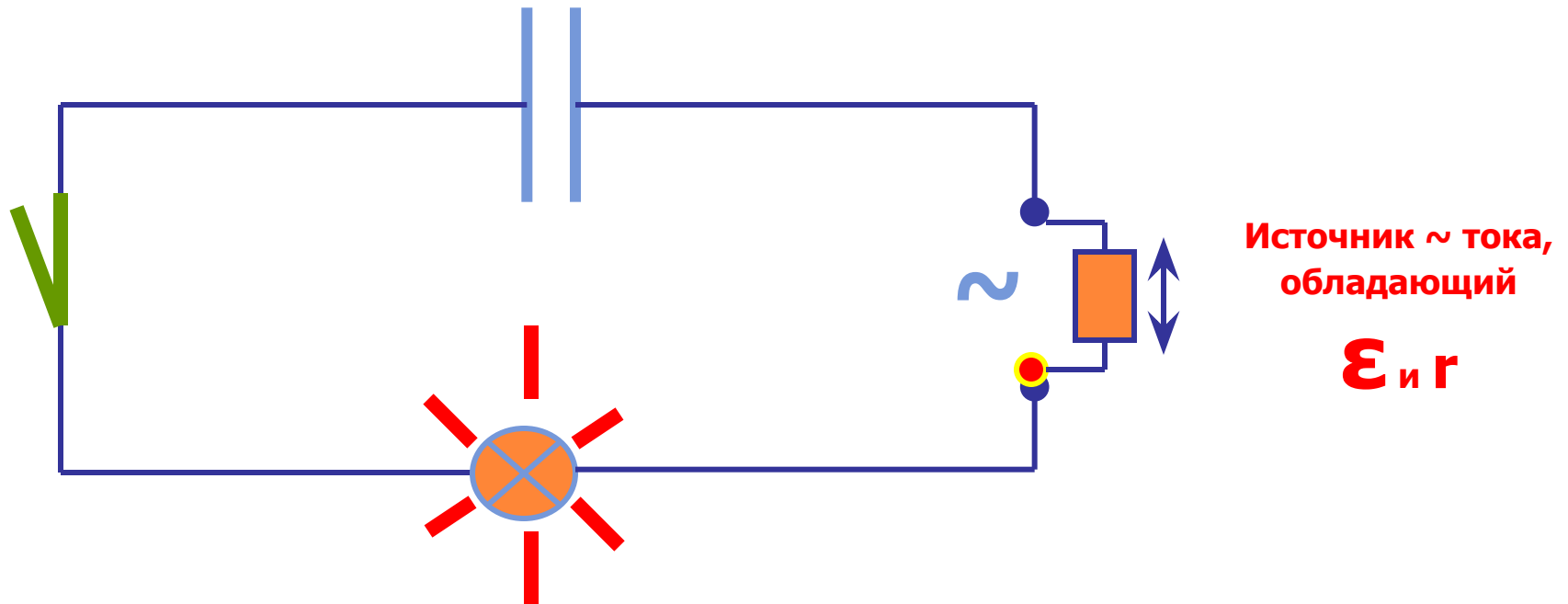
Конденсатор – это система из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика (воздуха, слюды, керамики ...)



Ясно, что конденсатор – это разрыв в цепи (подобно разомкнутому выключателю), поэтому **постоянный ток конденсатор не проводит**

Посмотрим, как ведет себя конденсатор в цепи переменного тока:

Замкнем цепь и понаблюдаем движение электронов в цепи:



Ток между обкладками конденсатора по прежнему не идет, однако вследствие перезарядки конденсатора через лампочку идет переменный ток – т.е. конденсатор проводит переменный ток

Емкостное сопротивление – сопротивление конденсатора.

$$X_c = \frac{1}{\omega C}$$

X_c

- емкостное
сопротивление

ω - циклическая частота протекающего
тока

C – емкость конденсатора

Проанализируем формулу емкостного сопротивления:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C}$$

Из формулы видно, что сопротивление конденсатора обратно пропорционально частоте протекающего тока и его емкости :

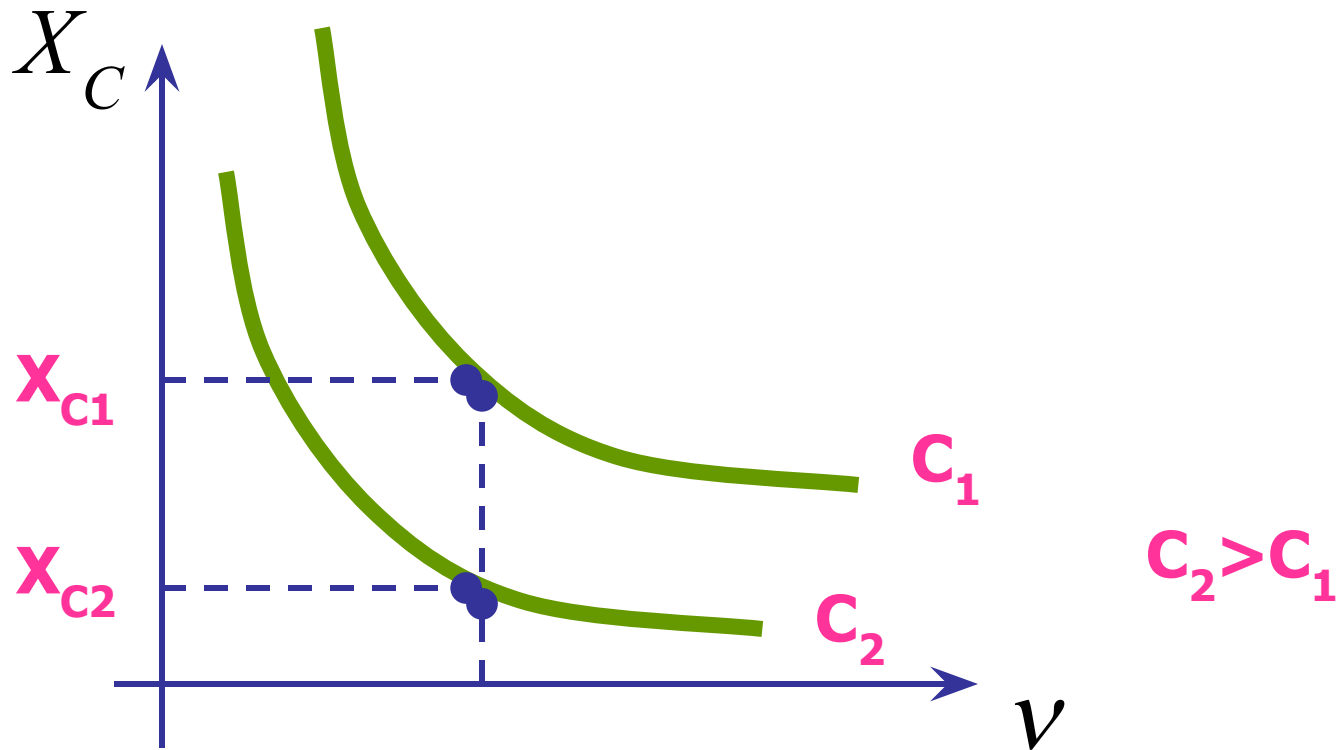
$$\nu \uparrow \Rightarrow X_C \downarrow$$

$$\nu = \infty \Rightarrow X_C = 0$$

$$\nu = 0 \Rightarrow X_C = \infty$$

Сопротивление конденсатора уменьшается с ростом частоты, значит конденсатор хорошо проводит высокочастотные колебания и плохо – низкочастотные, а постоянный ток вообще не проводит

График зависимости сопротивления конденсатора от частоты:



Сопротивление конденсатора зависит и от его емкости:
при фиксированной частоте конденсатор с большей емкостью будет обладать меньшим сопротивлением

Сдвиг фаз между напряжением и током:

Если напряжение на конденсаторе меняется по закону:

$$U = U_m \cos \omega t$$

то заряд на конденсаторе равен:

$$q = CU_m \cos \omega t$$

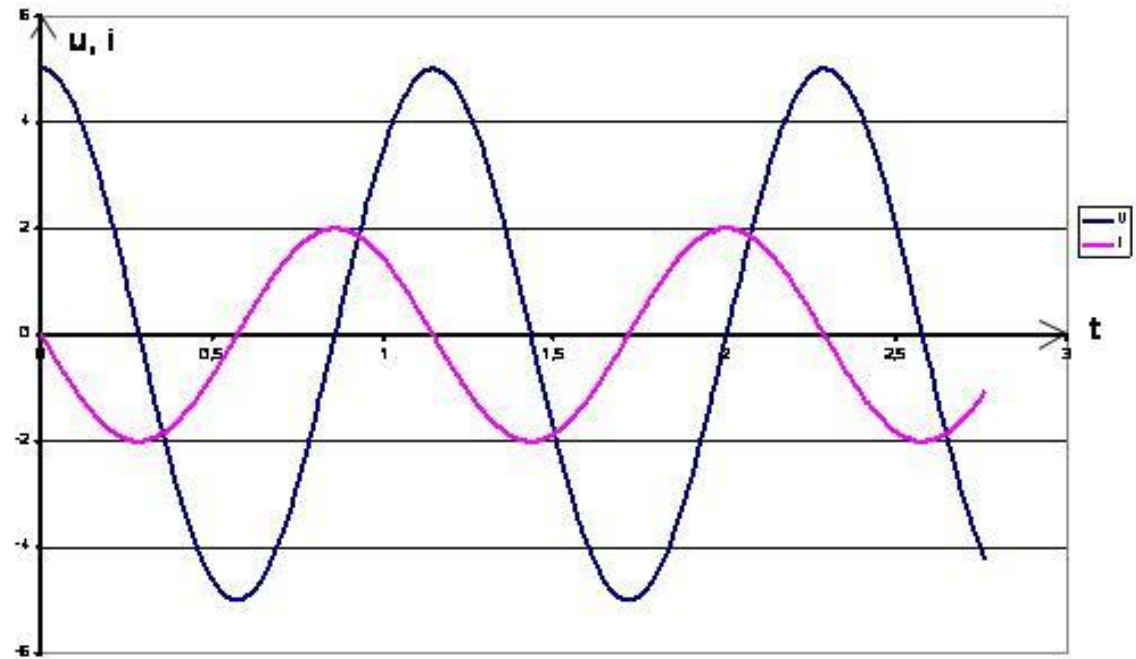
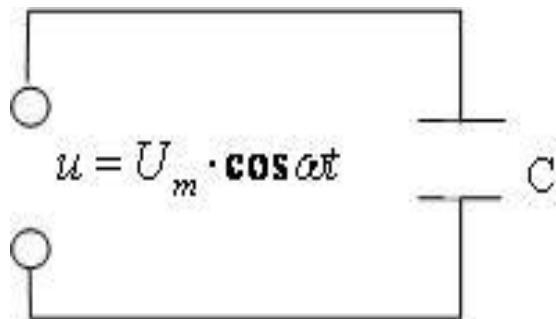
тогда сила тока в цепи:

$$i = q' = (CU_m \cos \omega t)' = -U_m C \omega \sin \omega t = U_m C \omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

Колебания тока на конденсаторе опережают колебания напряжения на $\pi/2$

ПРОКОММЕНТИРУЙТЕ СХЕМУ И ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ТОКА ОТ ВРЕМЕНИ.

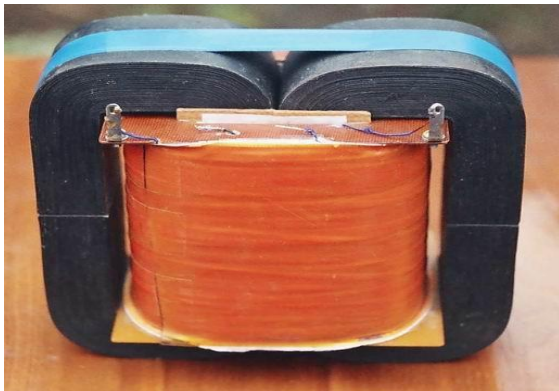
Рисунок 2.



Графики тока и напряжения на конденсаторе:

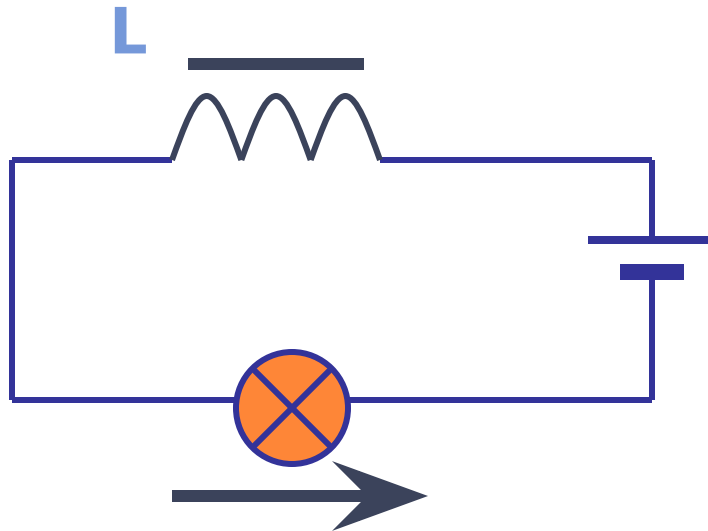


3. Индуктивность в цепи переменного тока



Давайте вспомним, что такое индуктивность

Индуктивность L – это физическая величина, подобная массе в механике. Как в механике для изменения скорости тела нужно время, и масса является мерой этого времени (**инерция**), так и электродинамике для изменения тока через проводник нужно время и индуктивность является мерой этого времени (**самоиндукция**)



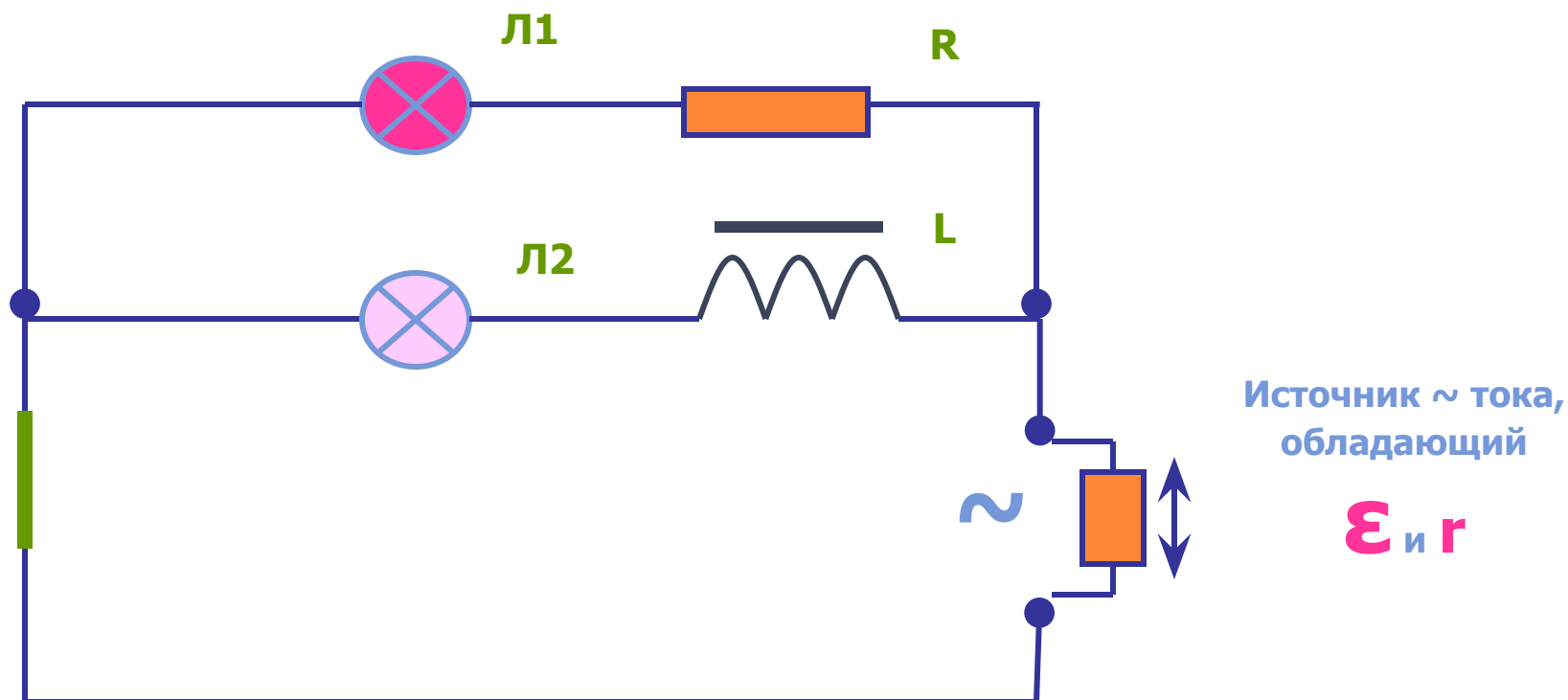
Катушка индуктивности – это обычный проводник с необычной формой, обладающий активным сопротивлением.

Поэтому катушка хорошо проводит постоянный ток, значение которого ограничено только его активным сопротивлением

Явление самоиндукции возникает только в моменты включения и выключения (препятствует любому изменению тока)

Посмотрим, как ведет себя индуктивность в цепи переменного тока:

Замкнем цепь и сравним яркость горения лампочек 1 и 2



В цепи сопротивление R выберем равным активному сопротивлению L

Лампочка $L1$ горит гораздо ярче, чем $L2$

Почему ?

Индуктивное сопротивление – обусловленное явлением самоиндукции. Явление самоиндукции в катушке возникает при любом изменении тока, которое мешает этому изменению – поэтому у катушки индуктивности кроме активного сопротивления провода, из которого она сделана, появляется еще одно сопротивление.

Индуктивное сопротивление – сопротивление катушки обусловленное явлением самоиндукции.

$$X_L = \omega L$$

ω - циклическая частота протекающего тока

L – индуктивность катушки

Проанализируем формулу индуктивного сопротивления:

$$X_L = \omega L = 2\pi\nu L$$

Из формулы видно, что индуктивное сопротивление прямо пропорционально частоте протекающего тока и индуктивности

$$\nu \uparrow \Rightarrow X_L \uparrow$$

$$\nu = \infty \Rightarrow X_L = \infty$$

$$\nu = 0 \Rightarrow X_L = 0$$

Индуктивное сопротивление увеличивается с ростом частоты, значит катушка хорошо проводит низкочастотные колебания и плохо – высокочастотные, а для постоянного тока оно равно нулю

Сдвиг фаз между напряжением и током:

Если ток в катушке изменяется по закону:

$$i = I_m \cos \omega t$$

то напряжение на катушке изменяется по закону:

$$U = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

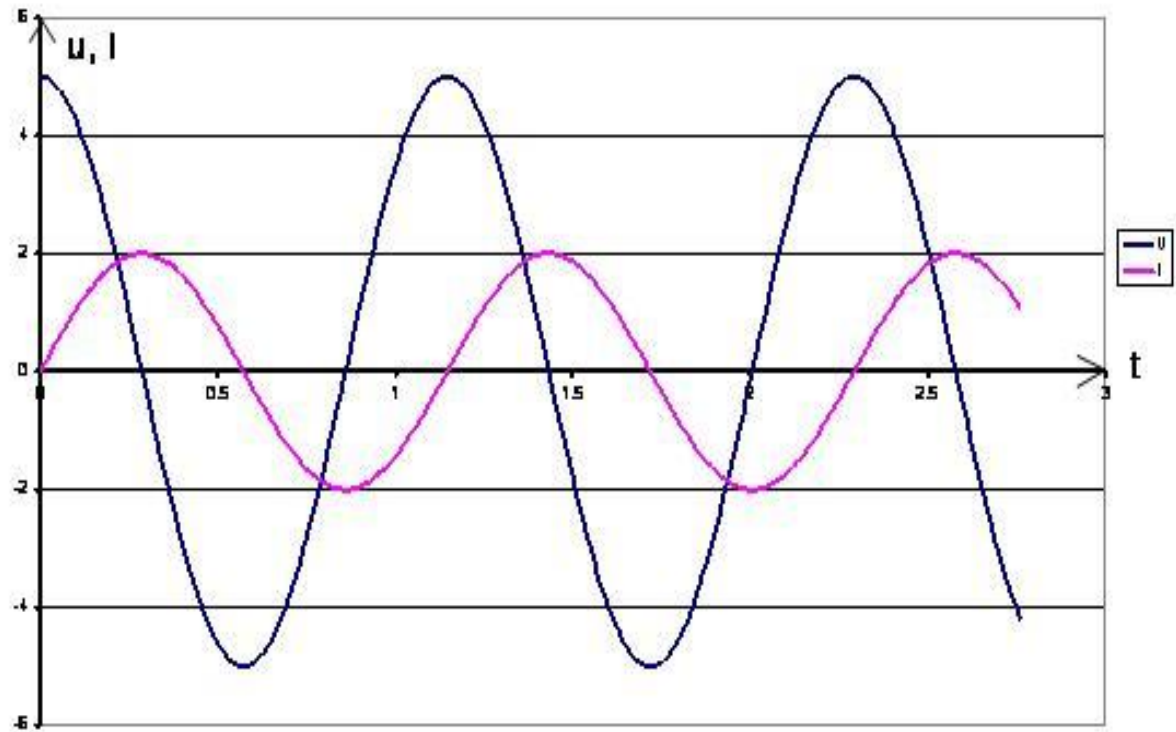
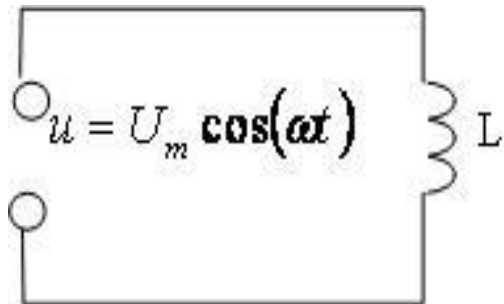
Ток в катушке индуктивности отстает от напряжения $\pi/2$

Правило:

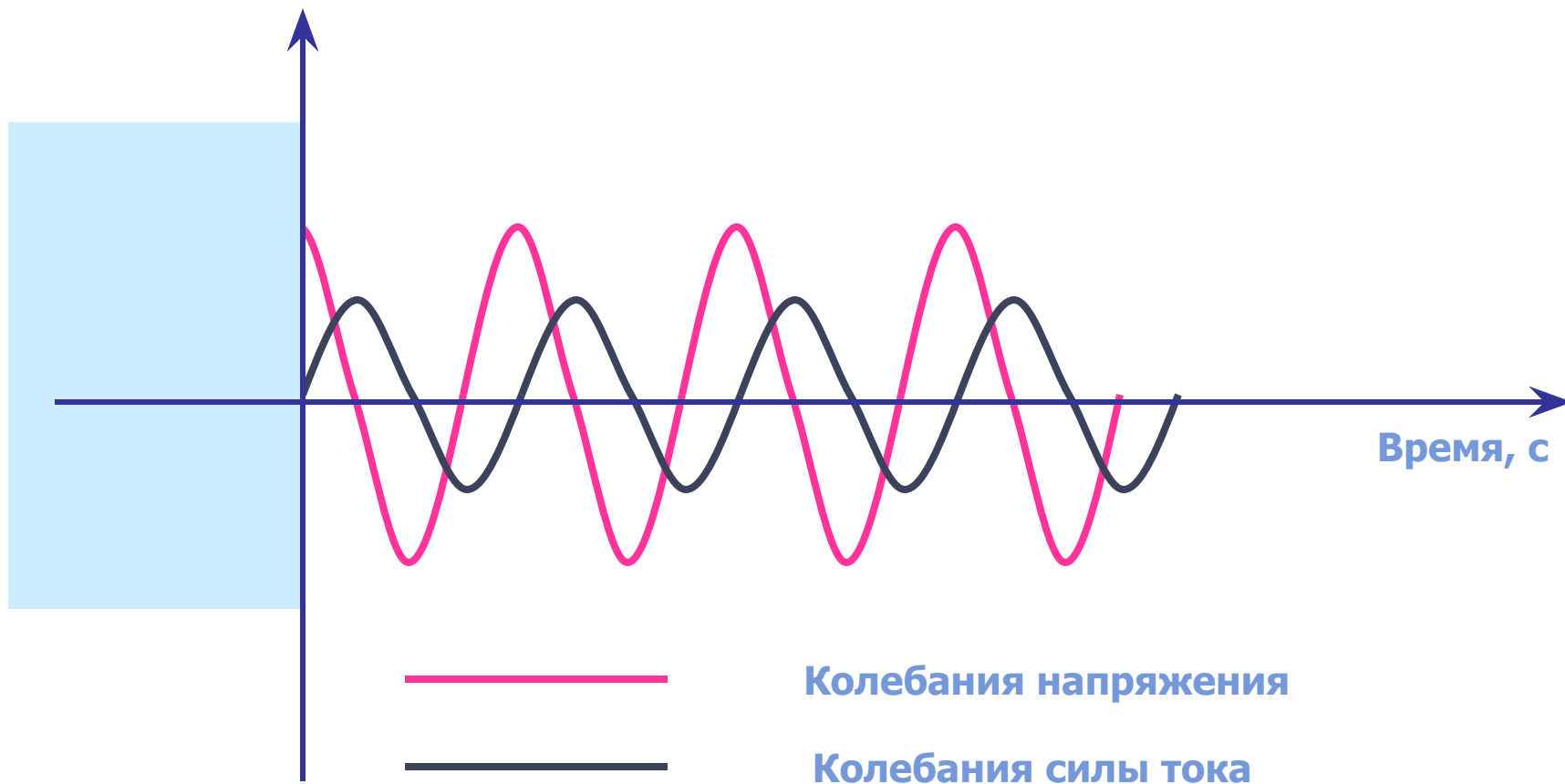
CIVIL

ПРОКОММЕНТИРУЙТЕ СХЕМУ И ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ И СИЛЫ ТОКА ОТ ВРЕМЕНИ.

Рисунок 3.



Графики тока и напряжения на индуктивности:



**РЕАКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ –
СОПРОТИВЛЕНИЕ КАТУШКИ И КОНДЕНСАТОРА**

$$X = X_L - X_c$$

**ПОЛНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ –
СОПРОТИВЛЕНИЕ ВСЕЙ ЦЕПИ**

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$



Закон Ома для цепи переменного тока

Из закона Ома для участка цепи переменного тока:

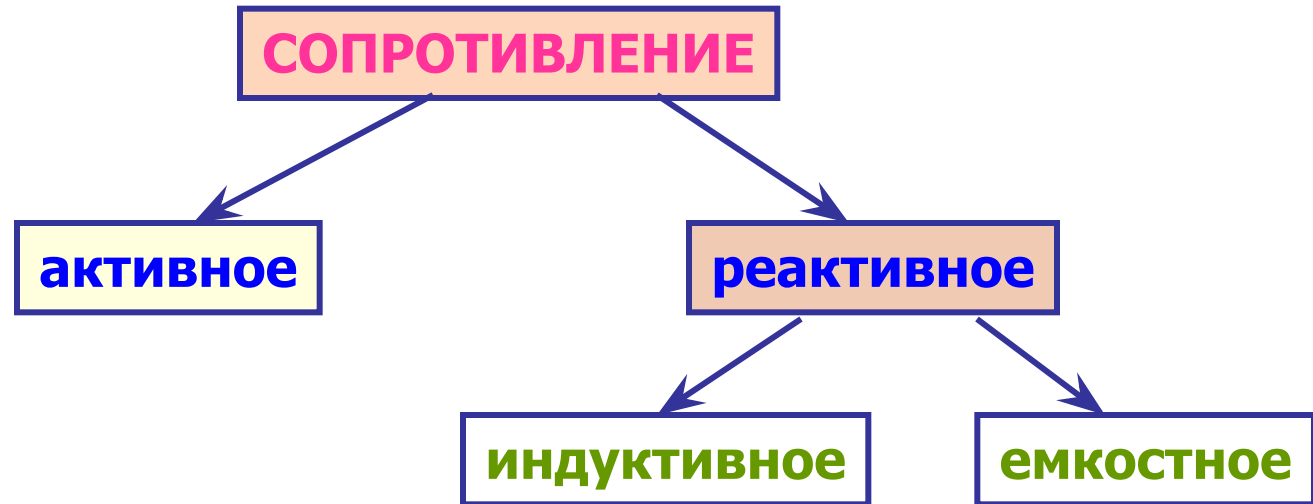
$$I_{\text{Д}} = \frac{U_{\text{Д}}}{Z}$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$



5. Использование частотных свойств конденсатора и катушки индуктивности

Таким образом, в цепи переменного тока можно выделить 3 вида сопротивлений (или три вида элементов, оказывающих сопротивление току)



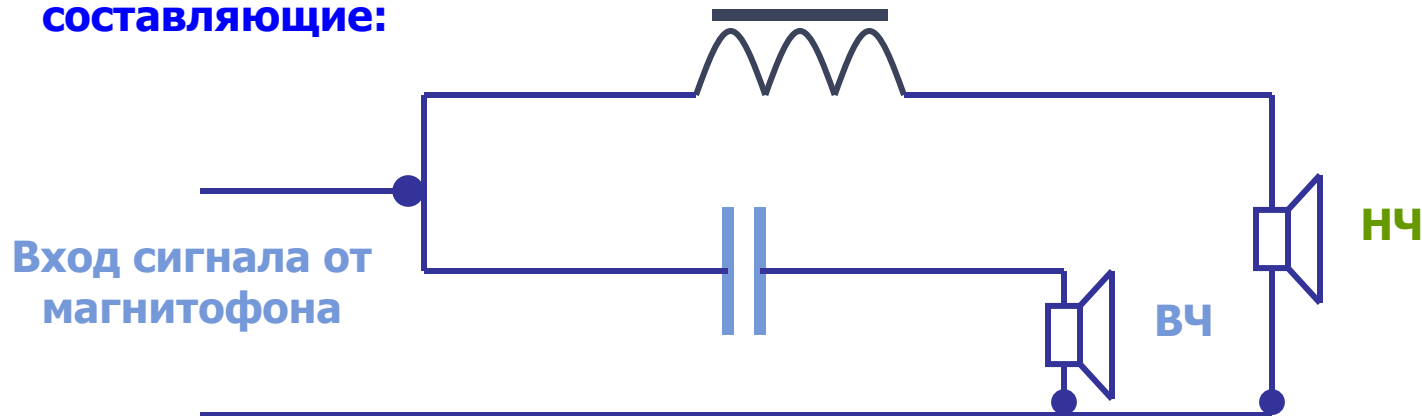
Реальные электрические цепи содержат все виды сопротивлений (активное, индуктивное и емкостное), поэтому ток в реальной цепи зависит от ее полного (эквивалентного) сопротивления, а сдвиг фаз определяется величиной L и C цепи

Итак,

- конденсатор хорошо проводит ВЧ колебания, и плохо – НЧ колебания
- катушка наоборот: хорошо НЧ колебания и плохо – ВЧ колебания

Эти свойства позволяют создать:

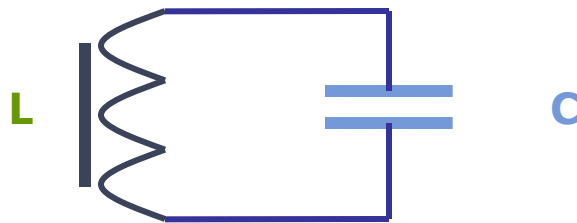
1. Различные **частотные фильтры** – схемы, позволяющие выделить из всего сигнала (например от магнитофона) НЧ и ВЧ составляющие:



! Объясните на основе свойств конденсатора и катушки действие частотного фильтра, представленного на схеме

Используя различные значения R , L и C , можно создавать фильтры с заданными параметрами (полосой пропускания)

2. Электрический колебательный контур, состоящий из конденсатора и катушки индуктивности



Колебательный контур обладает замечательным свойством – пропускать колебания (резонировать) только **определенной частоты**, зависящей от емкости конденсатора и индуктивности катушки

$$\nu_{рез} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



Эти свойства контура широко применяются в радио и телеприемной и передающей аппаратуре для селекции сигналов

