

# ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ



*проф. Целебровский Юрий Викторович*

*Консультации – понедельник, 16<sup>00</sup>-18<sup>00</sup>, П-415*

# Переменный

Широкое применение переменного тока в промышленности и быту обязано Закону электромагнитной индукции, позволяющему:

- преобразовывать механическую энергию в электрическую,
- изменять параметры электрической энергии (напряжение и ток) до необходимых в каждом случае значений.

Переменный ток позволяет создать компактные и экономичные системы передачи большого количества электрической энергии на дальние расстояния.

Самые распространённые электрические двигатели – асинхронные работают на переменном токе.

# Расширение понятия «Электрический ток»

- 1. Ток проводимости**
- 2. Плотность тока проводимости**
- 3. Ток смещения**
- 4. Плотность тока смещения**

Общие свойства электрического тока:

- Электрический ток возникает под действием электродвижущей силы.
- Для появления электрического тока необходим замкнутый путь.

# Ток проводимости

Электрическим током проводимости называется направленное движение заряженных частиц в соответствии со знаком их заряда и направлением электрического поля.

Единица измерения тока – ампер (А). Ток в 1 А, протекающий по проводнику, означает, что через поперечное (току) сечение проводника за одну секунду проходят частицы с суммарным зарядом одного знака, равным 1 Кл.

$$I = \frac{q}{\tau} \quad \text{А} = \frac{\text{Кл}}{\text{с}}$$

Электрический ток является скалярной величиной.

# Плотность тока проводимости

Плотностью тока проводимости называется вектор, направленный перпендикулярно площадке поперечного сечения, через которое проходит электрический ток, и равный значению тока, поделённому на площадь, через которую он проходит.

Направление вектора соответствует направлению движения положительно заряженных частиц.

$$j = \frac{I}{S}$$

При равномерной  
плотности тока

$$j = \frac{\partial I}{\partial S}$$

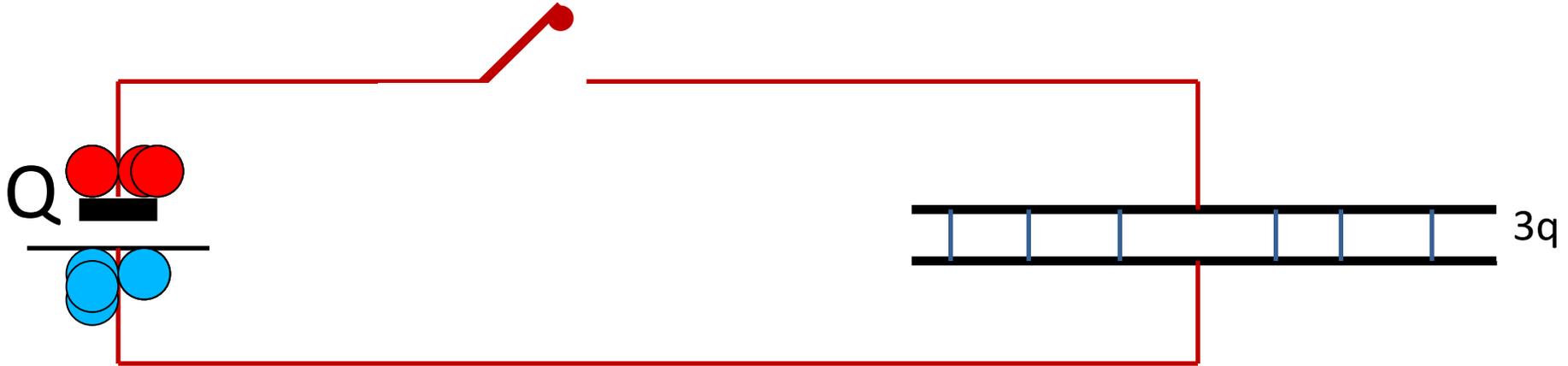
При неравномерной  
плотности тока

$$[j] = \frac{A}{m^2}$$

Размерность

Плотность тока проводимости является точечной характеристикой электрического поля в проводящей среде

# Ток смещения



$\frac{Q}{\tau}$  Скорость изменения потока электрического смещения  $\left[ \frac{\text{Кл}}{\text{с}} \right] = \text{А}$

Электрическим током смещения называется изменение потока электрического смещения во времени

$$I_{\text{смещения}} = \frac{\partial Q}{\partial \tau}$$

# Плотность тока смещения

Каждая точка поля характеризуется векторной величиной -  $D$ , называемой «плотность потока электрического смещения».

$$D = \frac{\partial Q}{\partial S} \left[ \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \right]$$

При изменении электрического поля изменяется и плотность потока электрического смещения в каждой его точке со

скорость

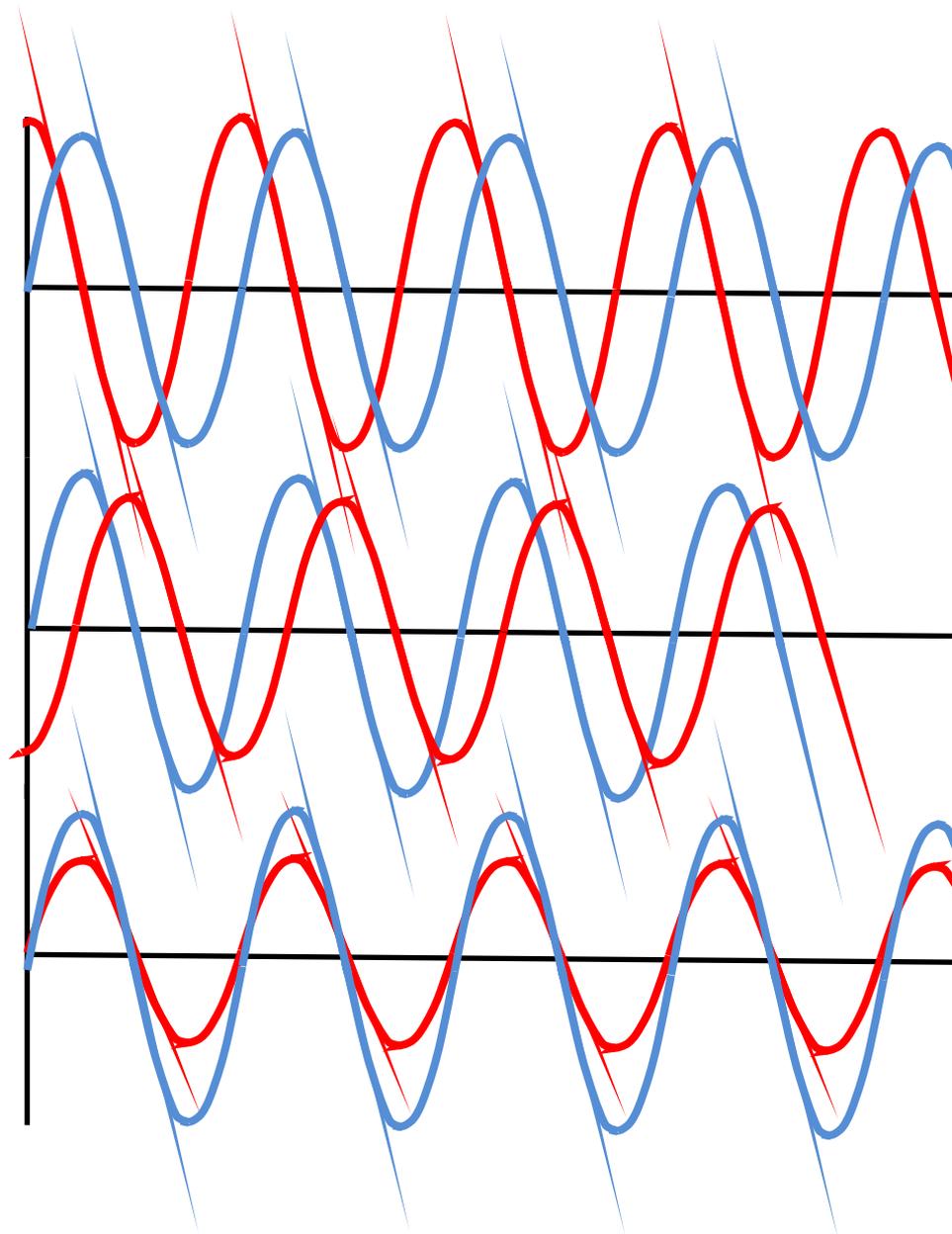
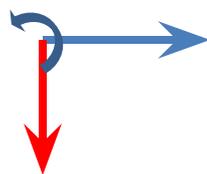
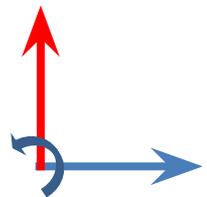
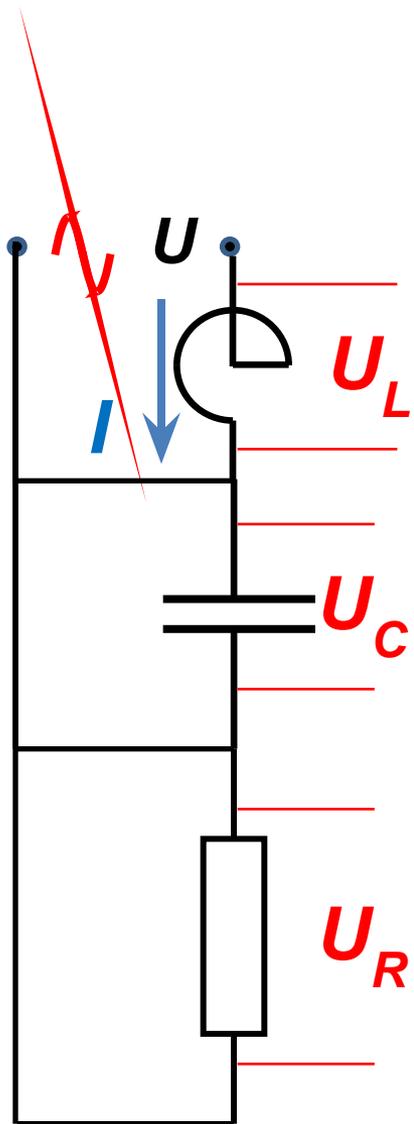
$$\frac{\partial D}{\partial \tau} \left[ \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2 \cdot \text{с}} \right]$$

$\rightarrow$  **A**

- ( *Плотность тока смещения* )

Постоянный ток смещения – изменение плотности потока электрического смещения в одном направлении (увеличение или уменьшение).

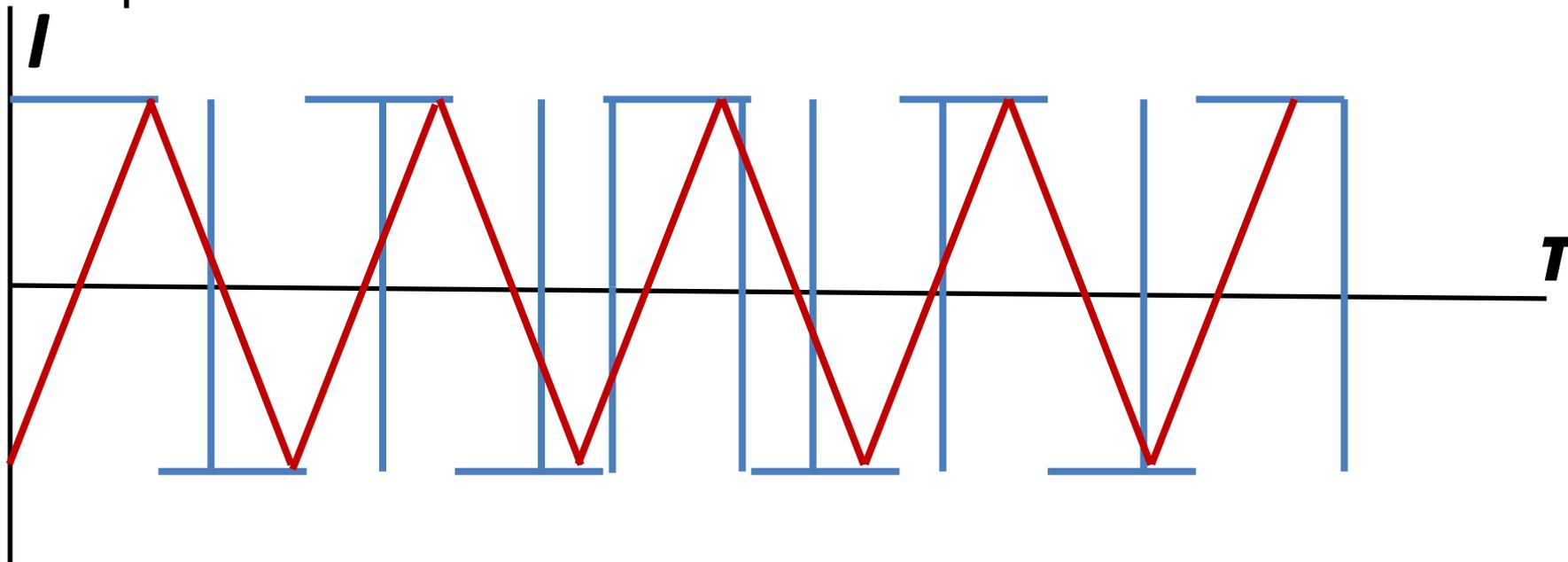
Переменный ток смещения – чередующиеся изменения направления и модуля вектора плотности потока электрического смещения.



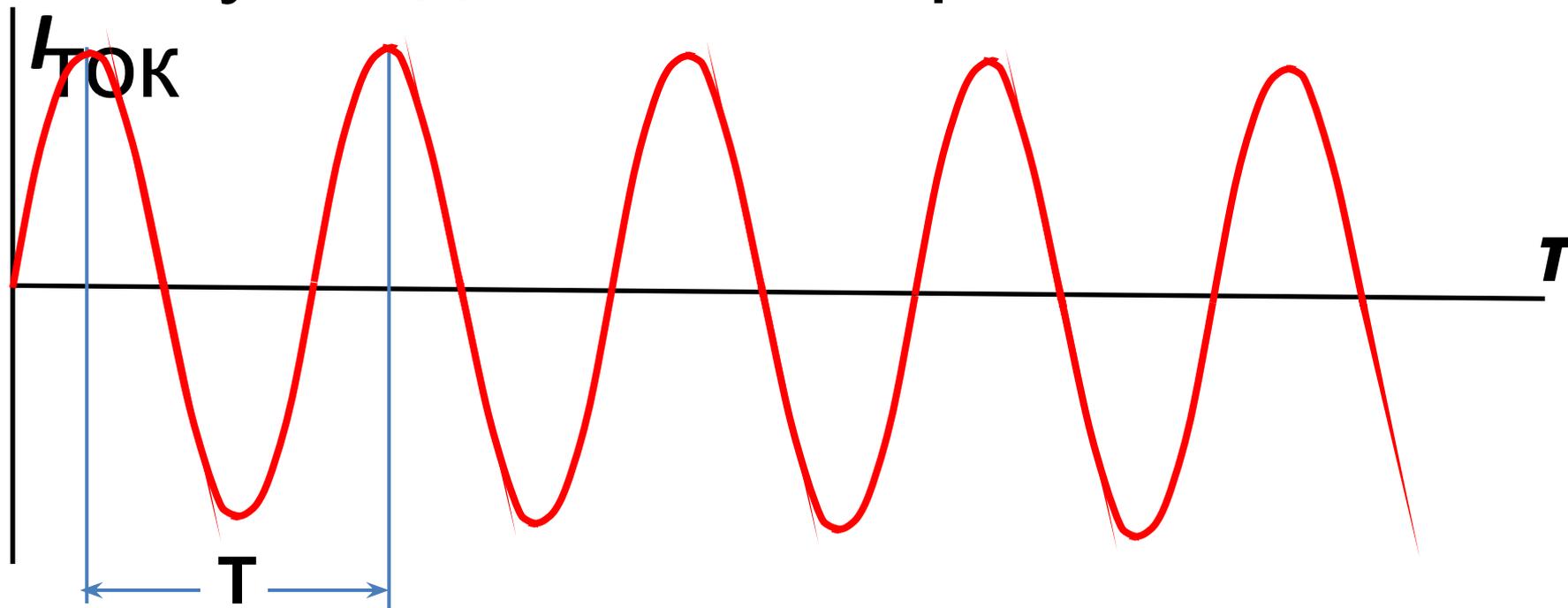
Постоянный ток – электрический ток, вектор плотности которого не меняет направление со временем.

Переменный ток – электрический ток, вектор плотности которого постоянно меняет направление со временем.

Периодический переменный ток – электрический ток, плотность которого через определённые промежутки времени (**периоды**) повторяет значения своего модуля и направления.



# Синусоидальный переменный

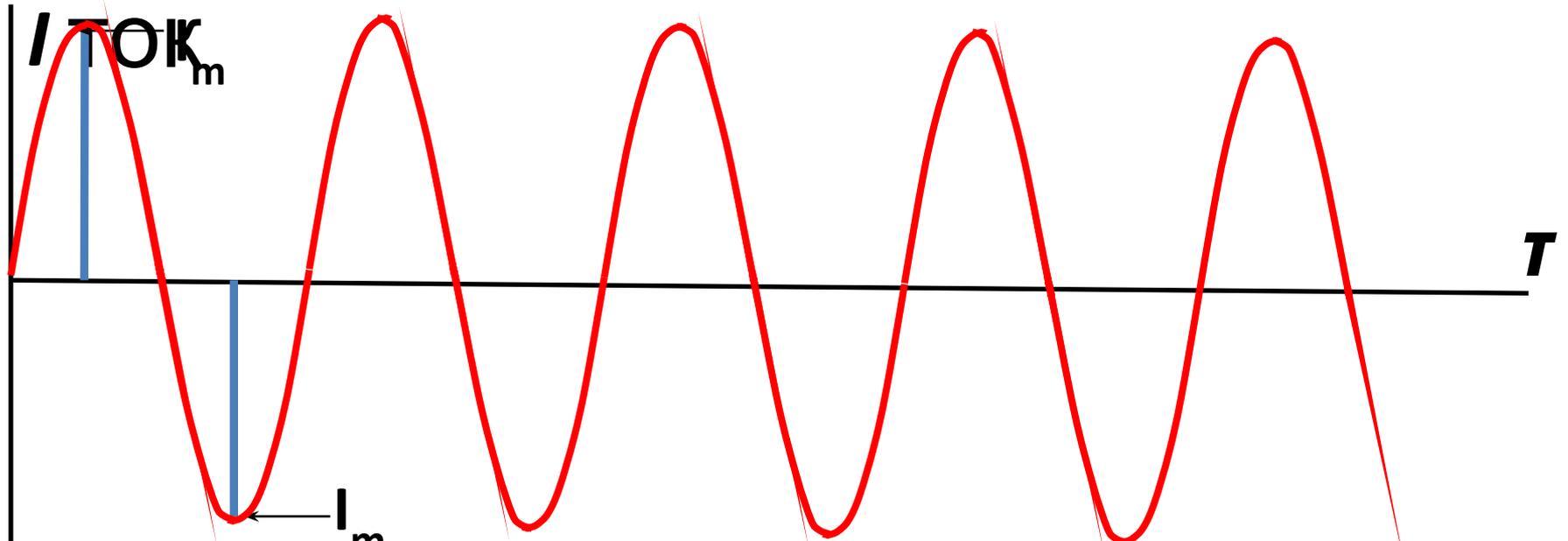


Периодом переменного тока  $T$  называется минимальный отрезок времени между двумя одинаковыми (по модулю и направлению, кроме нулевых) значениями плотности тока.

Величина, обратная периоду, называется частотой переменного тока

$$f = \frac{1}{T} \quad \left[ \frac{1}{c} \right] = [\text{герц}], [\text{Гц}]$$

# Синусоидальный переменный



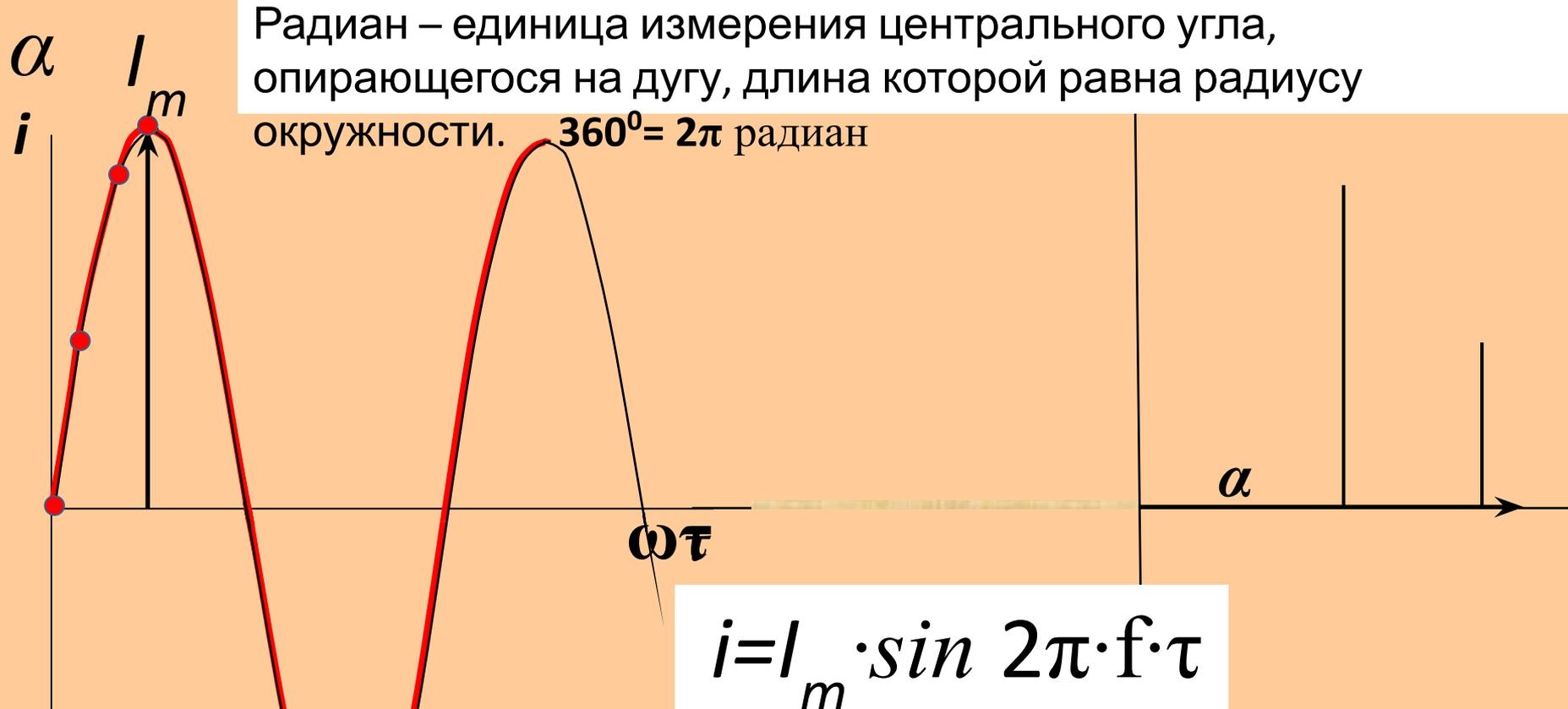
Амплитудой переменного тока  $I_m$  называется максимальное абсолютное значение тока за один полупериод колебаний

Действующее значение переменного тока  $I_d$  равно значению такого постоянного тока, который выделяет в одном и том же проводнике за одинаковое время то же количество теплоты, что и переменный ток. Для синусоидально

$$I_d = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

# Синусоидальный переменный

Мгновенное значение синусоидального тока:  $i = I_m \cdot \sin \alpha$

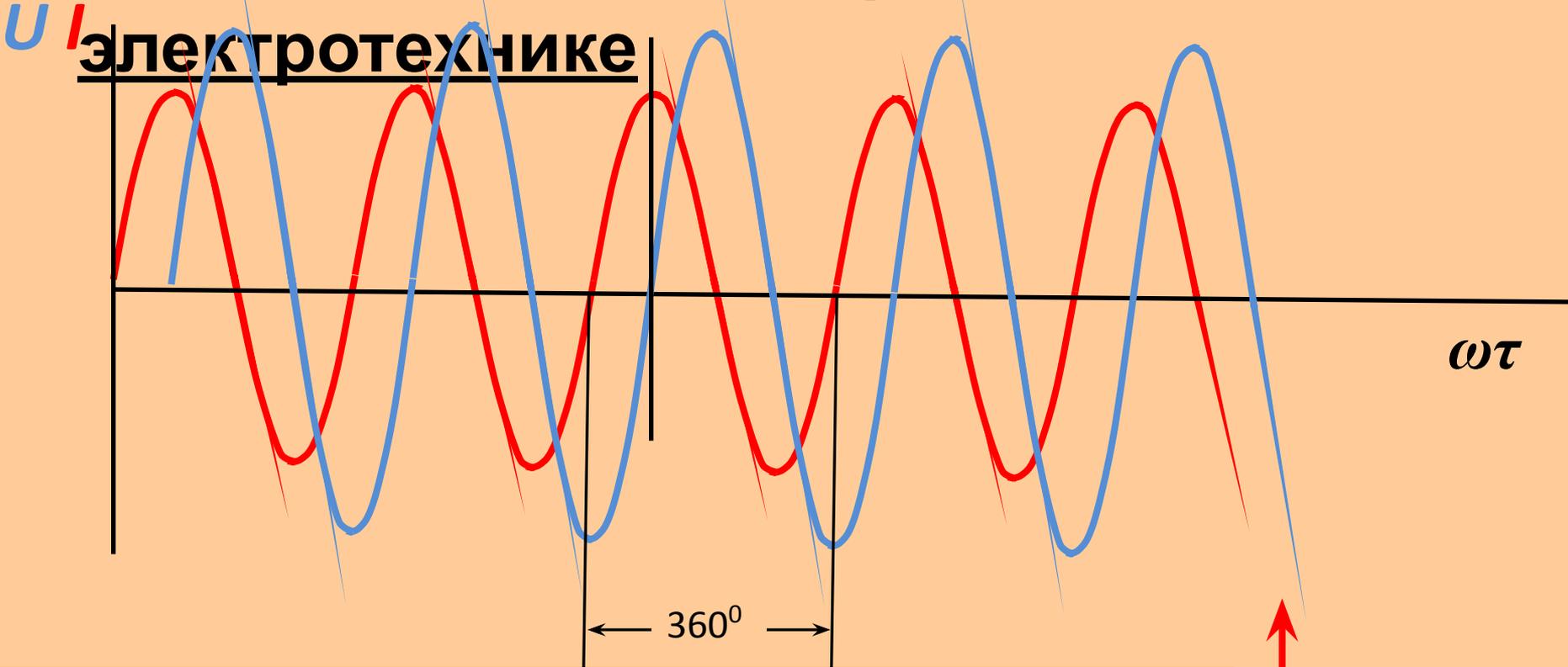


Аргумент синуса  $2\pi f \tau$ , определяющий стадию или фазу синусоидального изменения тока, называется фазным углом или просто **ф а з о й**

# Синусоидальный переменный ток

## Символические векторы в

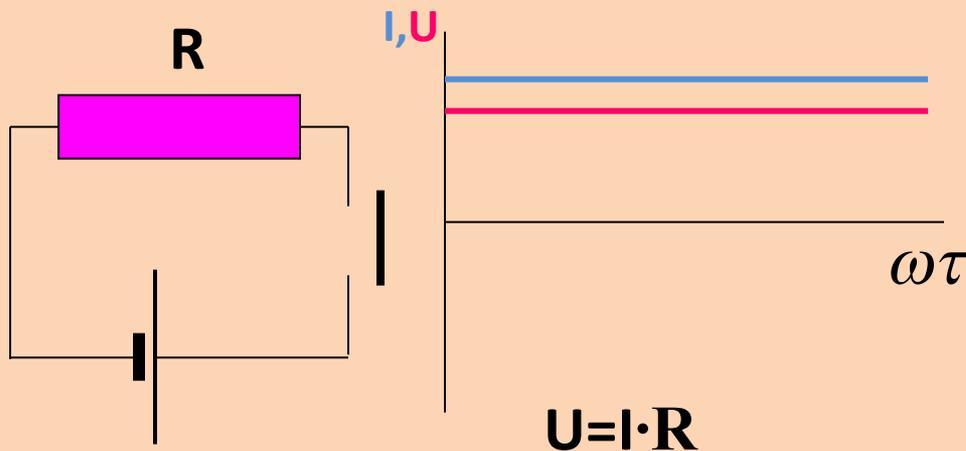
### электротехнике



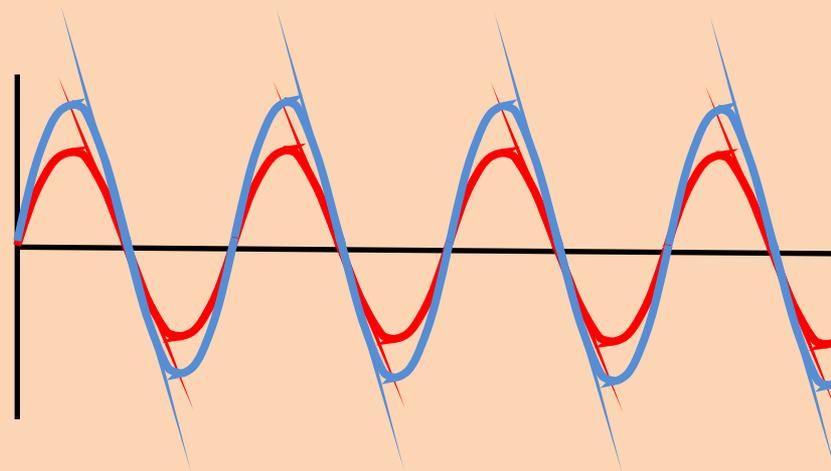
Символический вектор – графическое изображение синусоидального тока в виде прямой, поворачивающейся против часовой стрелки вокруг центра, закреплённого в начале прямой. При этом длина символического вектора равна амплитуде, его проекция на вертикальную ось – мгновенному значению, а частота оборота соответствует частоте переменного тока.

# Символические векторы в электротехнике

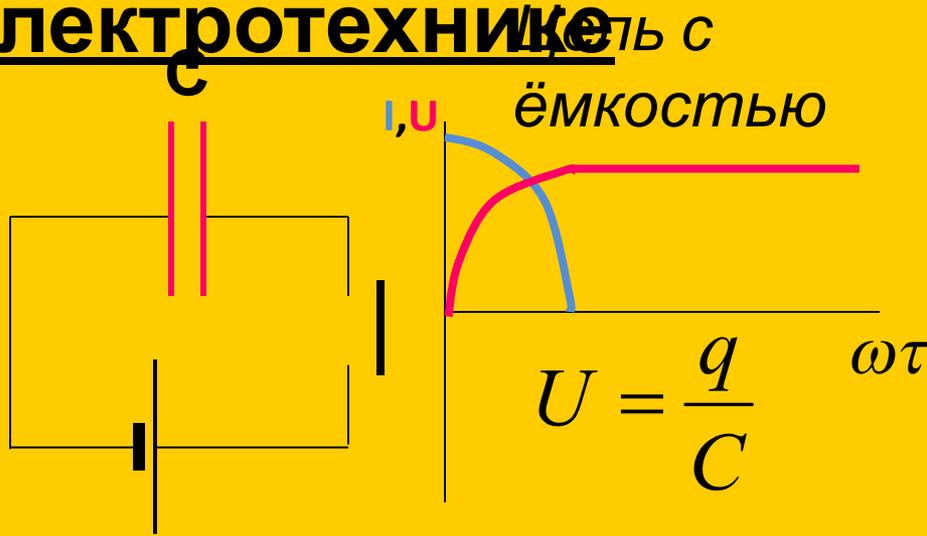
Цепь с активным  
сопротивлением



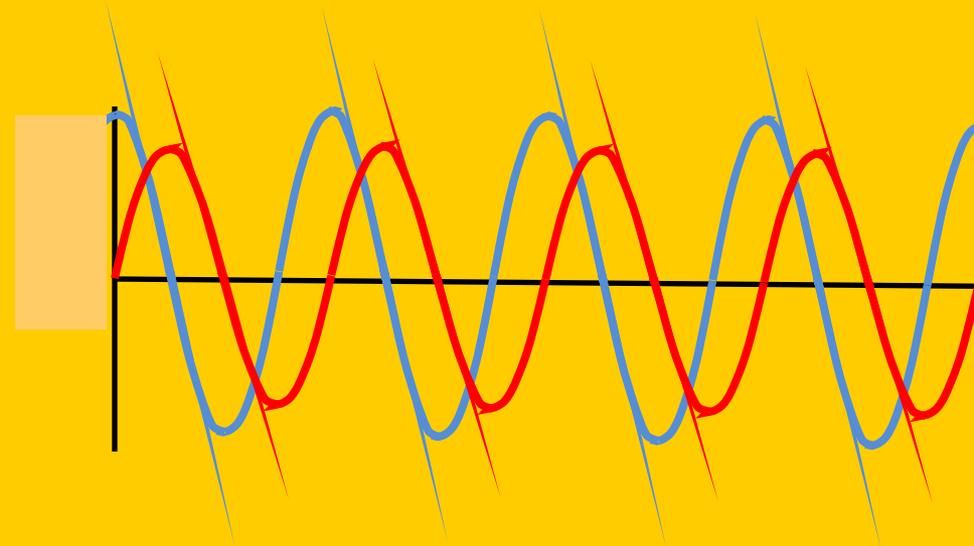
В цепи переменного тока с активным сопротивлением ток совпадает по фазе с напряжением.



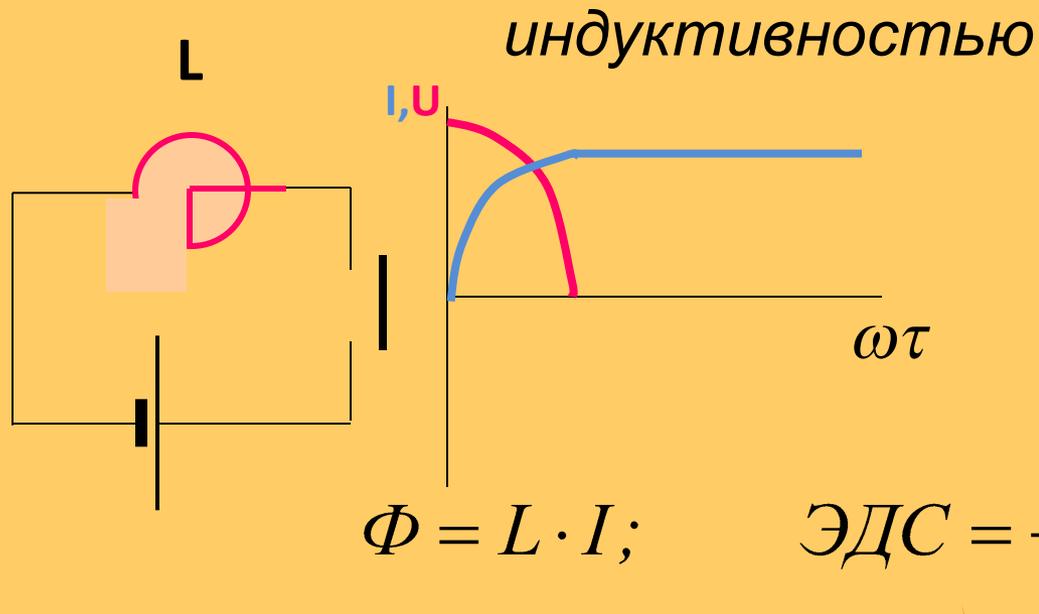
# Символические векторы в электротехнике



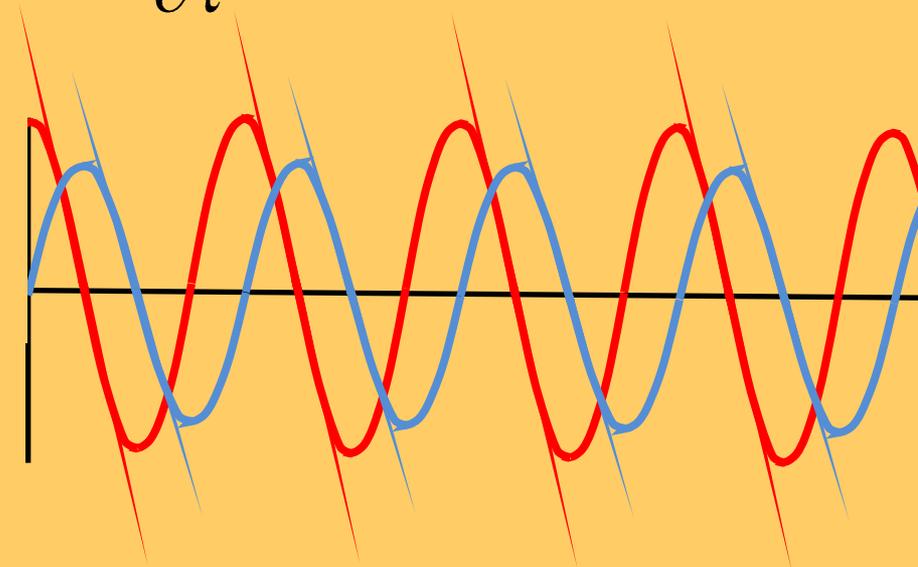
В цепи переменного тока с ёмкостью ток опережает напряжение на  $90^\circ$



# Символические векторы в электротехнике



В цепи переменного тока с индуктивностью ток отстаёт от напряжения на  $90^\circ$



# Электроустановки переменного тока



Электроустановка однофазного переменного  
тока

*$I$  – действующее значение переменного тока*

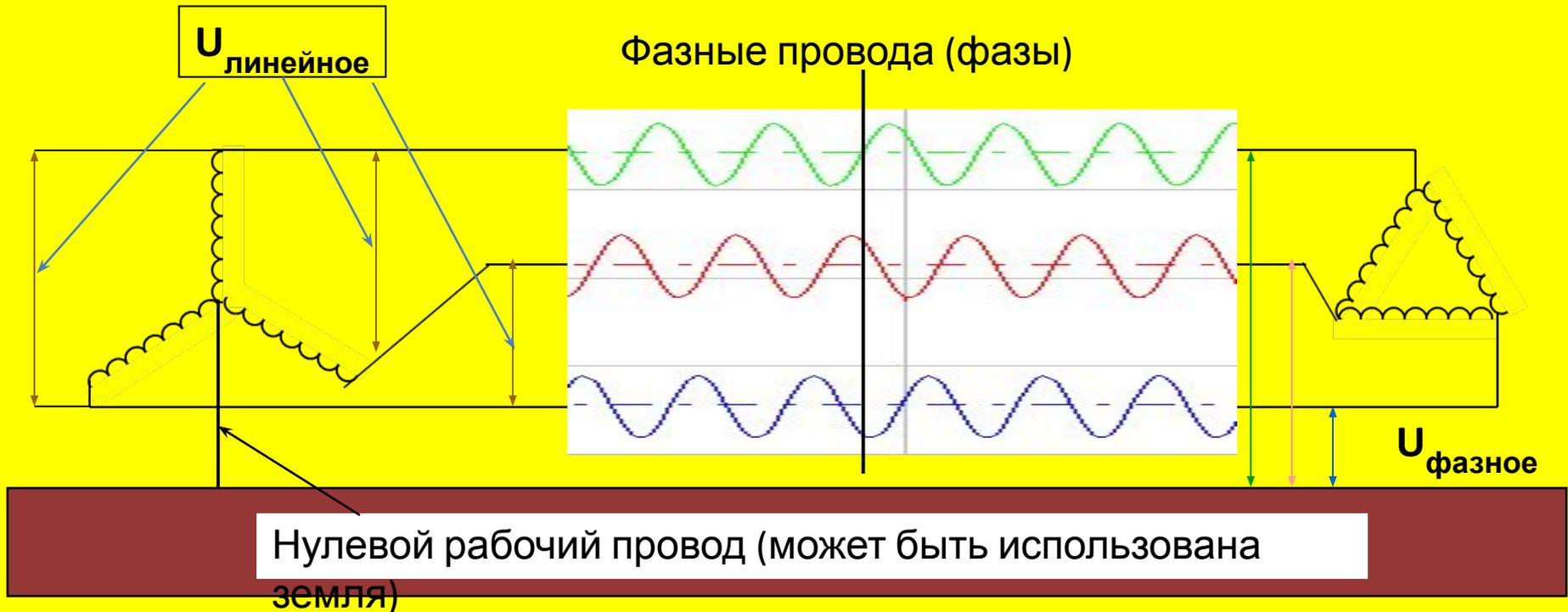
$$I_{\text{действующее}} = \frac{I_{\text{амплитудное}}}{\sqrt{2}}$$

*$U$  – действующее значение напряжения*

$$U_{\text{действующее}} = \frac{U_{\text{амплитудное}}}{\sqrt{2}}$$

# Электроустановки переменного тока

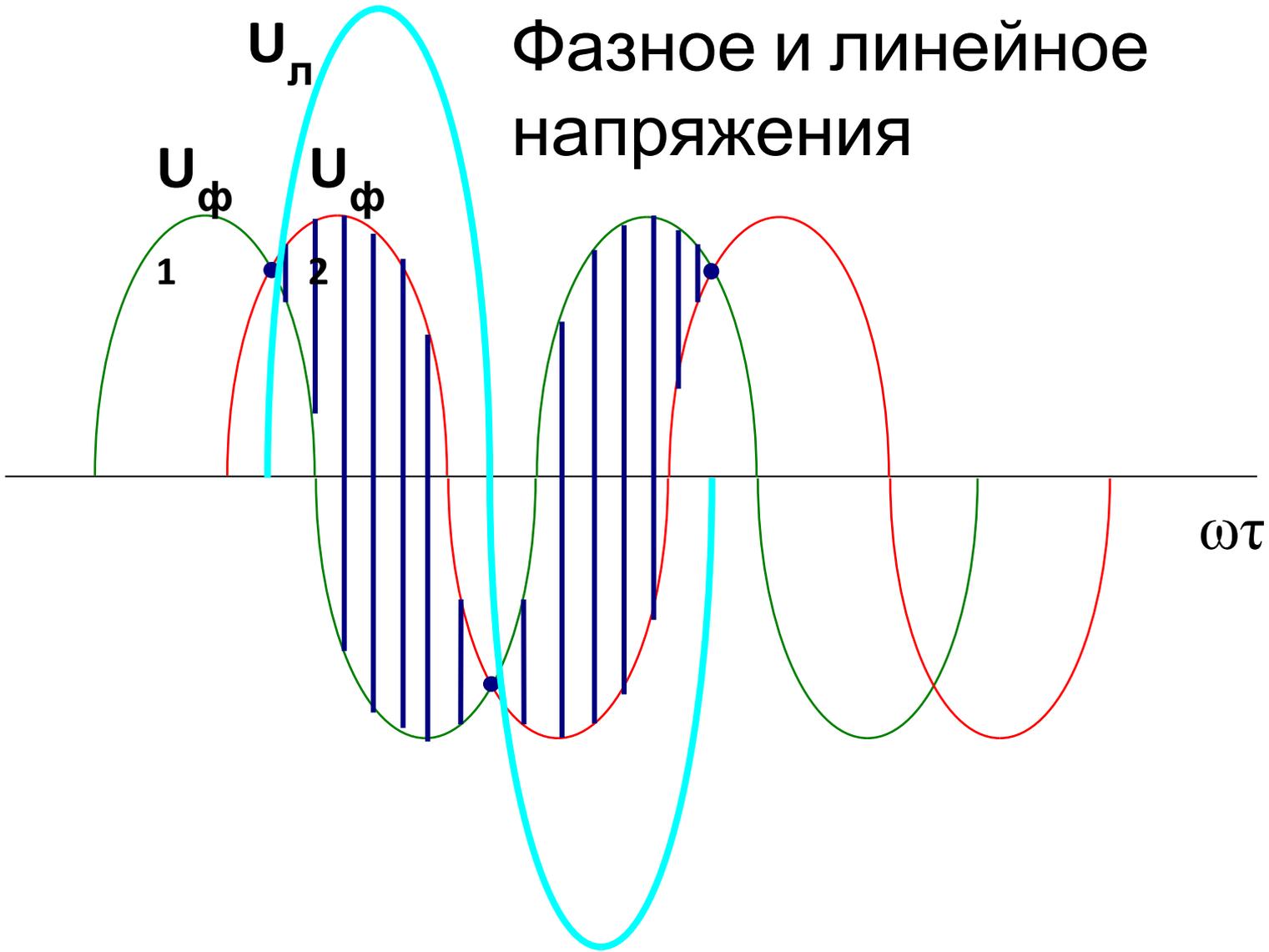
Электроустановка трехфазного переменного тока



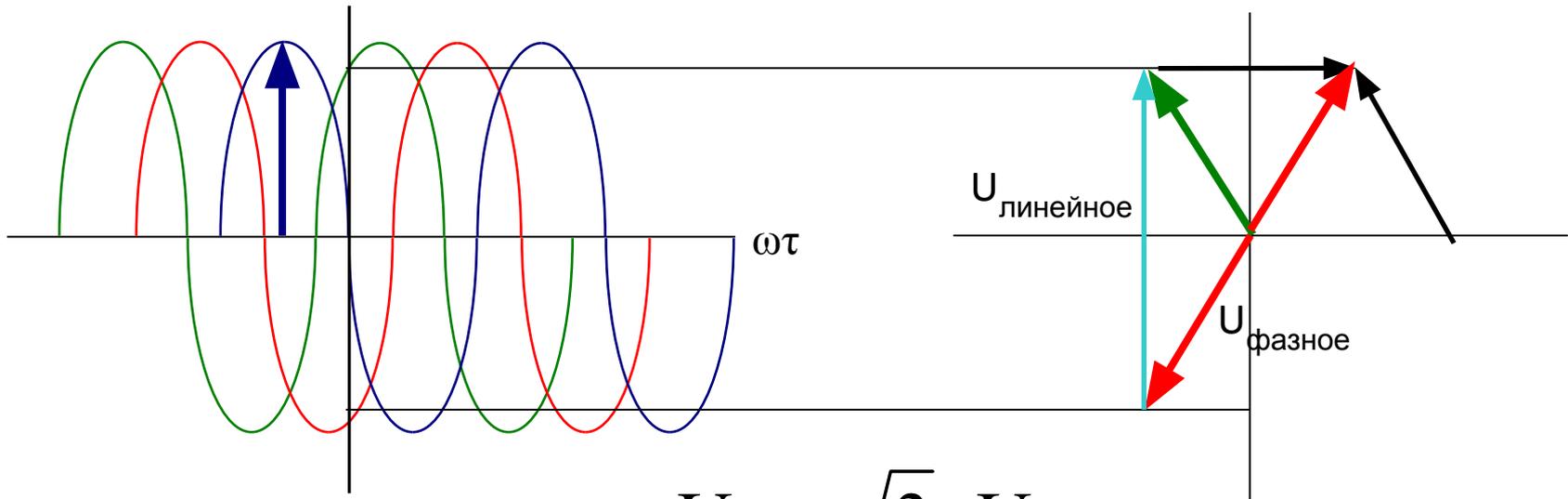
При одинаковых действующих значениях токов по фазным проводам ток в нулевом рабочем проводе равен нулю.

$$P_{1\phi} = U_{\phi} \cdot I ; \quad P_{3\phi} = 3U_{\phi} \cdot I$$

# Фазное и линейное напряжения



# Фазное и линейное напряжения

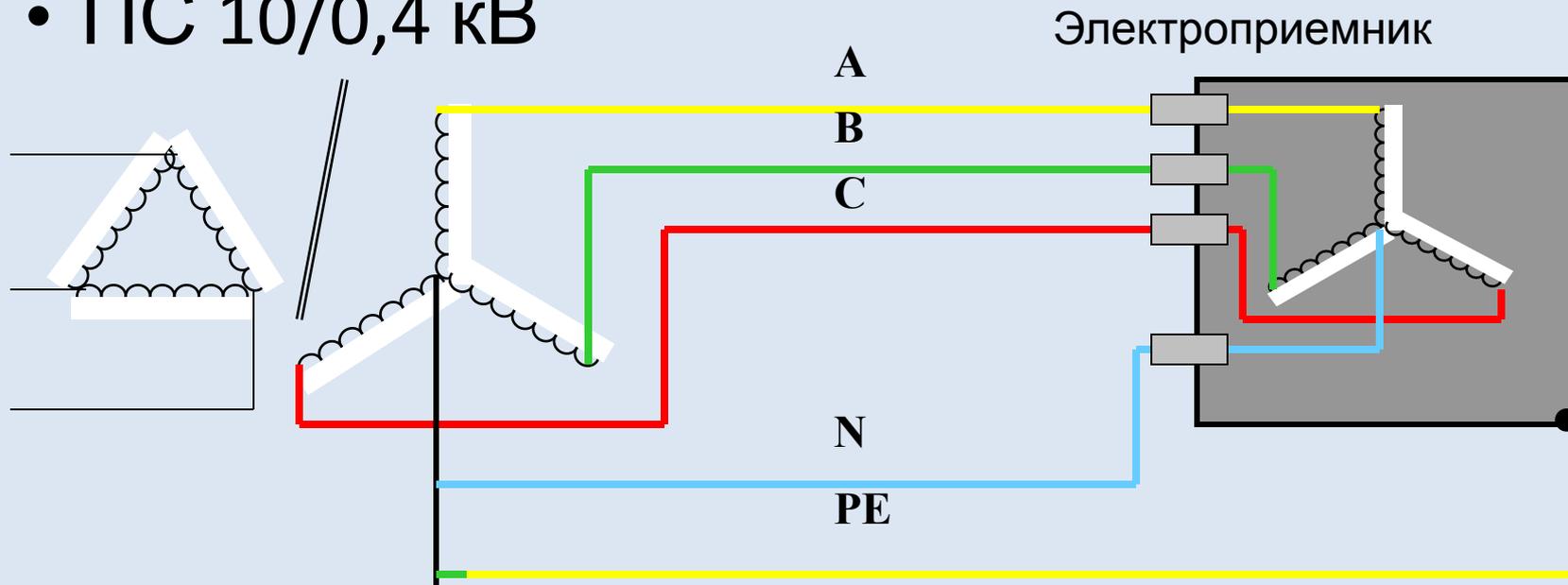


$$U_{\text{л}} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ф}}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot I$$

# Электроустановки напряжением 0,4 кВ с глухозаземленной нейтралью

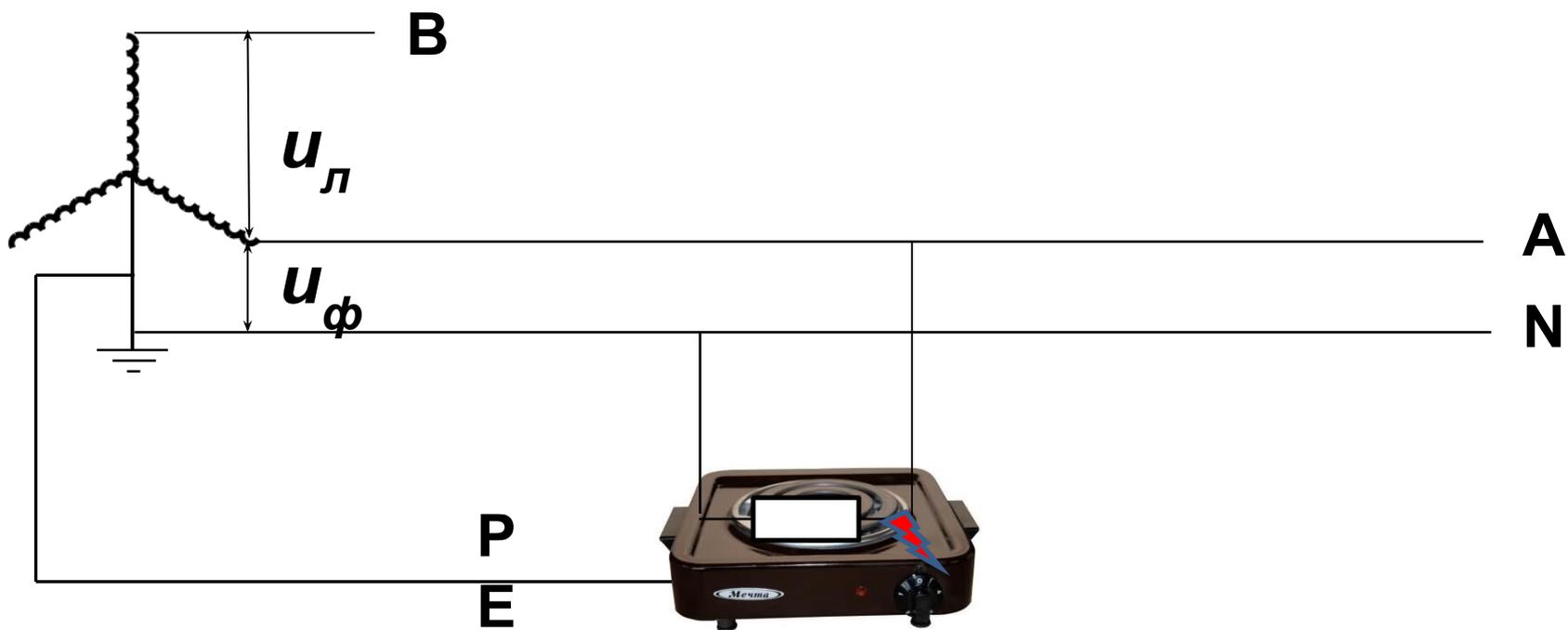
- ПС 10/0,4 кВ



**A, B, C** – фазные проводники (**A**-жёлтый, **B**-зелёный, **C** –

**N** – нулевой рабочий проводник

**PE** – нулевой защитный проводник (желто-зелёный)



# Основные понятия переменного

$i, u$  - мгновенное значение тока (напряжения)

$I_m, U_m$  - амплитудное значение тока (напряжения)

$I_d$  - действующее значение тока

$U_d$  - действующее значение напряжения

$U_\phi$  - фазное напряжение

$U_l (U_{ном})$  - линейное (номинальное) напряжение

$A, B, C$  - обозначения фазных проводов

$N$  - нулевой рабочий проводник

$PE$  - нулевой защитный проводник

# ***Лекция окончена.***

***Прошу задавать вопросы.  
Можно в письменном виде.***