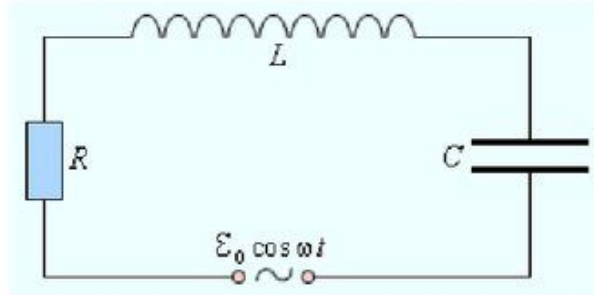


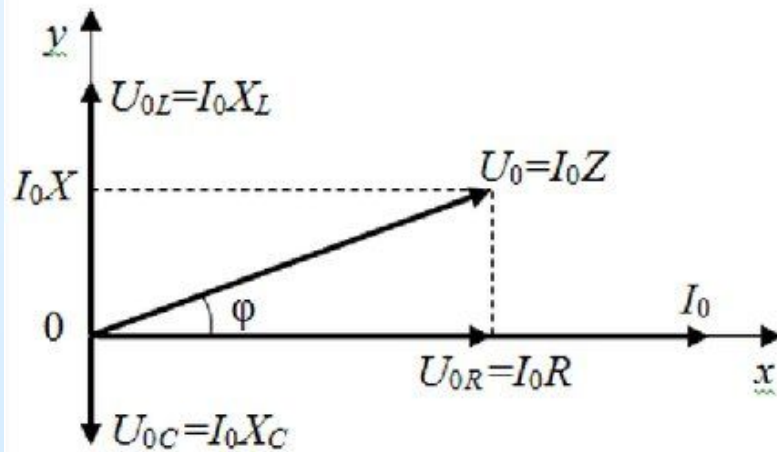
Лекция 3



Метод векторных диаграмм



$$\vec{U}_0 = \vec{U}_{0R} + \vec{U}_{0L} + \vec{U}_{0C}$$



Векторная диаграмма сложения напряжений при последовательном соединении элементов L , C и R

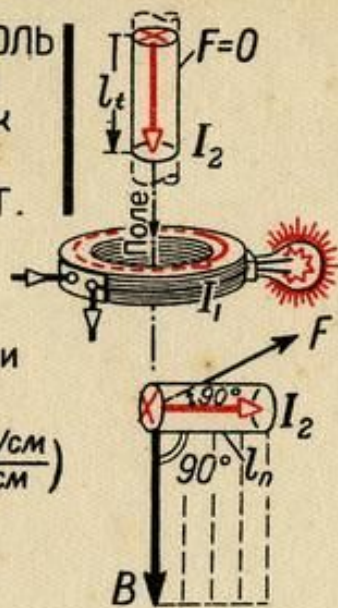
1) Вектор \vec{U}_{0R} направлен вдоль оси Ox так как напряжение на активном сопротивлении колеблется в одной фазе с током.

2) напряжение на индуктивности опережает ток по фазе на $\pi/2$, вектор \vec{U}_{0L} повернут относительно оси Ox на угол $\pi/2$ против часовой стрелки, т.е. направлен вдоль положительного направления оси Oy .

3) напряжение на ёмкости отстает от тока по фазе на $\pi/2$, вектор \vec{U}_{0C} повернут относительно оси Ox на угол $\pi/2$ по часовой стрелке, т.е. направлен вдоль отрицательного направления оси Oy .

МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ (ВЕКТОР ИНДУКЦИИ)

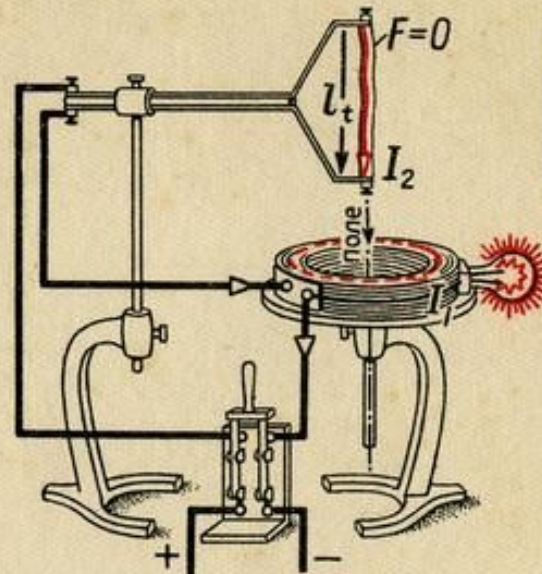
Расположенный **ВДОЛЬ** магнитного поля электрический ток воздействия не испытывает.



Вектор индукции

$$B = \frac{F}{I l_n} \frac{86}{\text{см}^2} \left(\frac{\text{дж/см}}{\text{а см}} \right)$$

Расположенный **перпендикулярно** к магнитному полю электрический ток или движущийся заряд испытывает **наибольшее** отклоняющее действие.

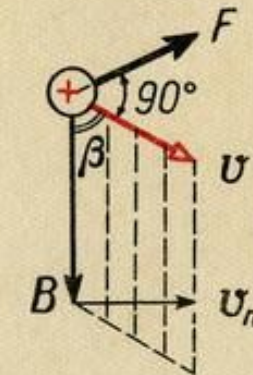


Вектор индукции

$$B = \frac{F}{q \cdot v_n} \frac{86}{\text{см}^2} \left(\frac{\text{дж/см}}{\text{к·см/сек}} \right)$$

$$1 \frac{86}{\text{см}^2} \left(\frac{\text{в сек}}{\text{см}^2} \right) = 10^4 \frac{86}{\text{м}^2} = 10^8 \text{гс}$$

Линии вектора индукции (магнитные линии)



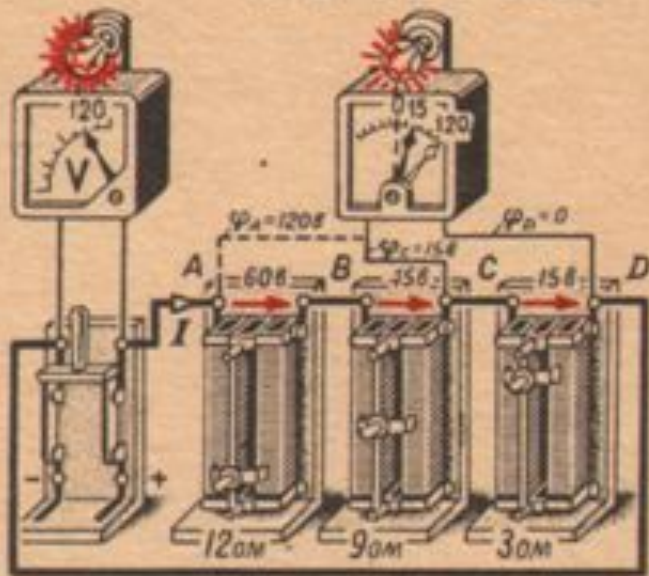
Отклоняющая сила

$$F = q v B \sin \beta \quad \frac{\text{дж}}{\text{см}}$$

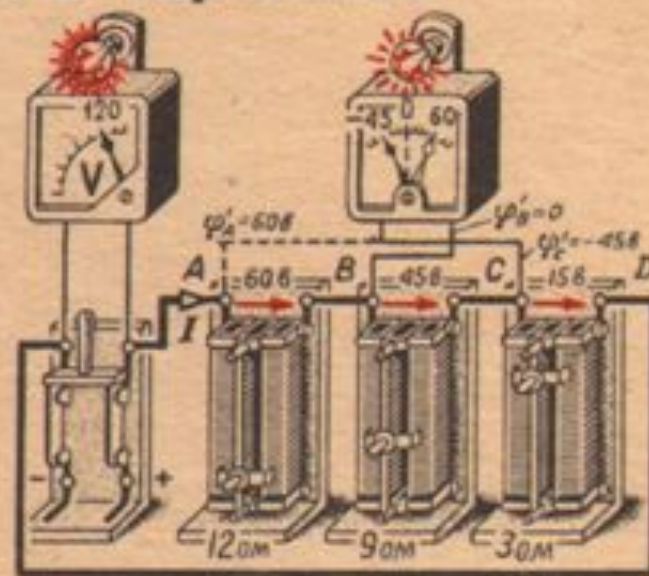
$$\vec{F} = q [\vec{v} \vec{B}]$$

Магнитная индукция есть вектор, характеризующий интенсивность магнитного поля, направленный вдоль поля и численно равный отклоняющей силе, отнесенной к единице элементарного заряда, движущегося перпендикулярно к полю.

ГРАФИК ПОТЕНЦИАЛА

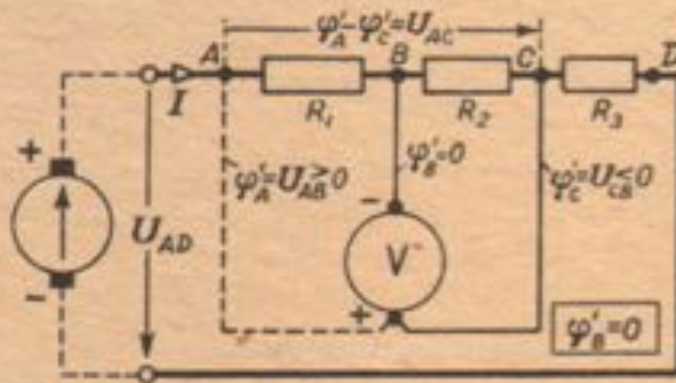
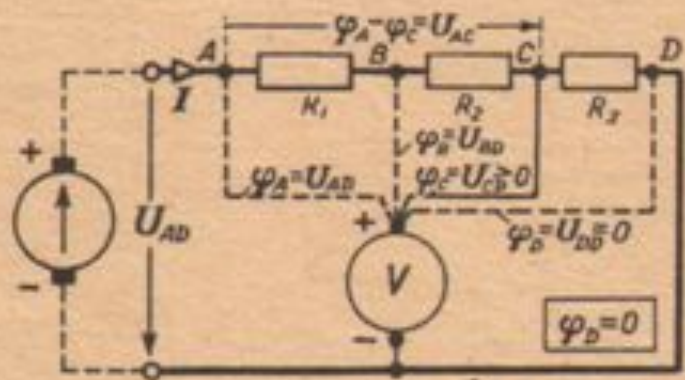


Минус вольтметра присоединен к исходной точке D , потенциал которой принят равным нулю

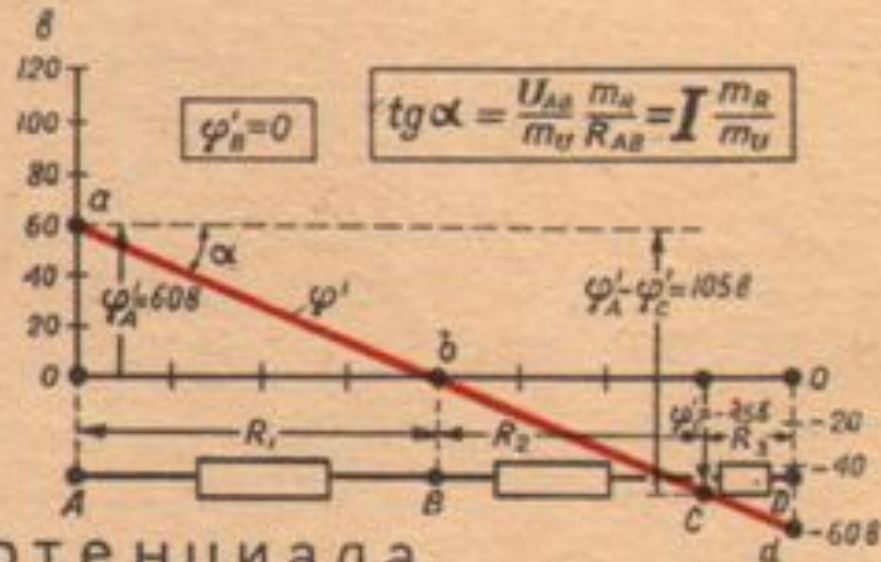
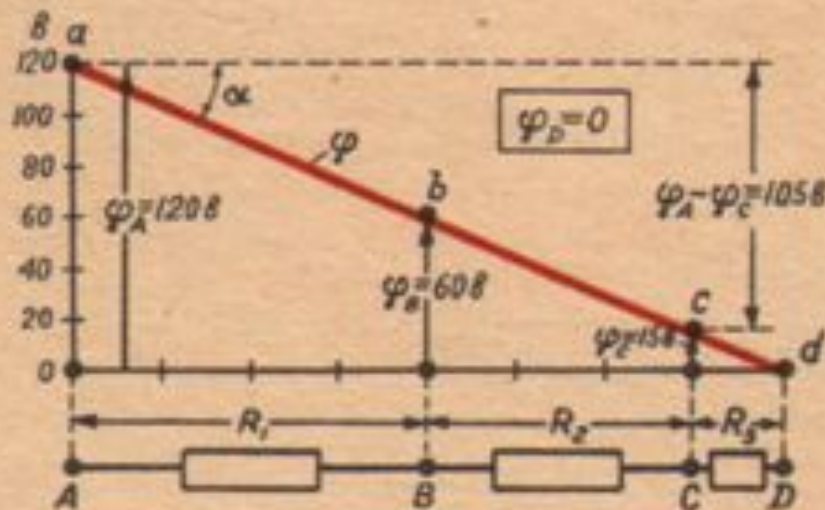


Минус вольтметра присоединен к исходной точке B , потенциал которой принят равным нулю

ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ



Схемы соединения

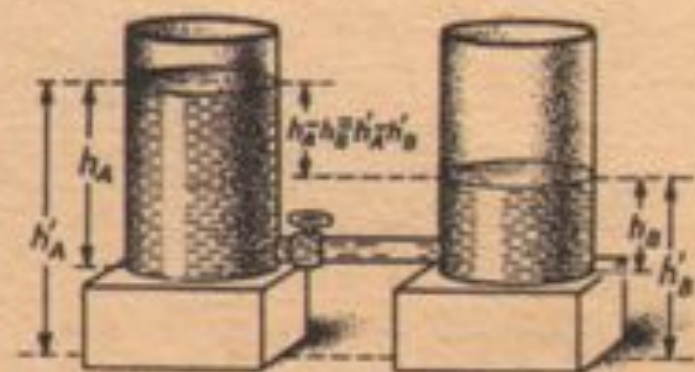


Графики потенциала

$$I_{AB} = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{R_{AB}} \quad a$$

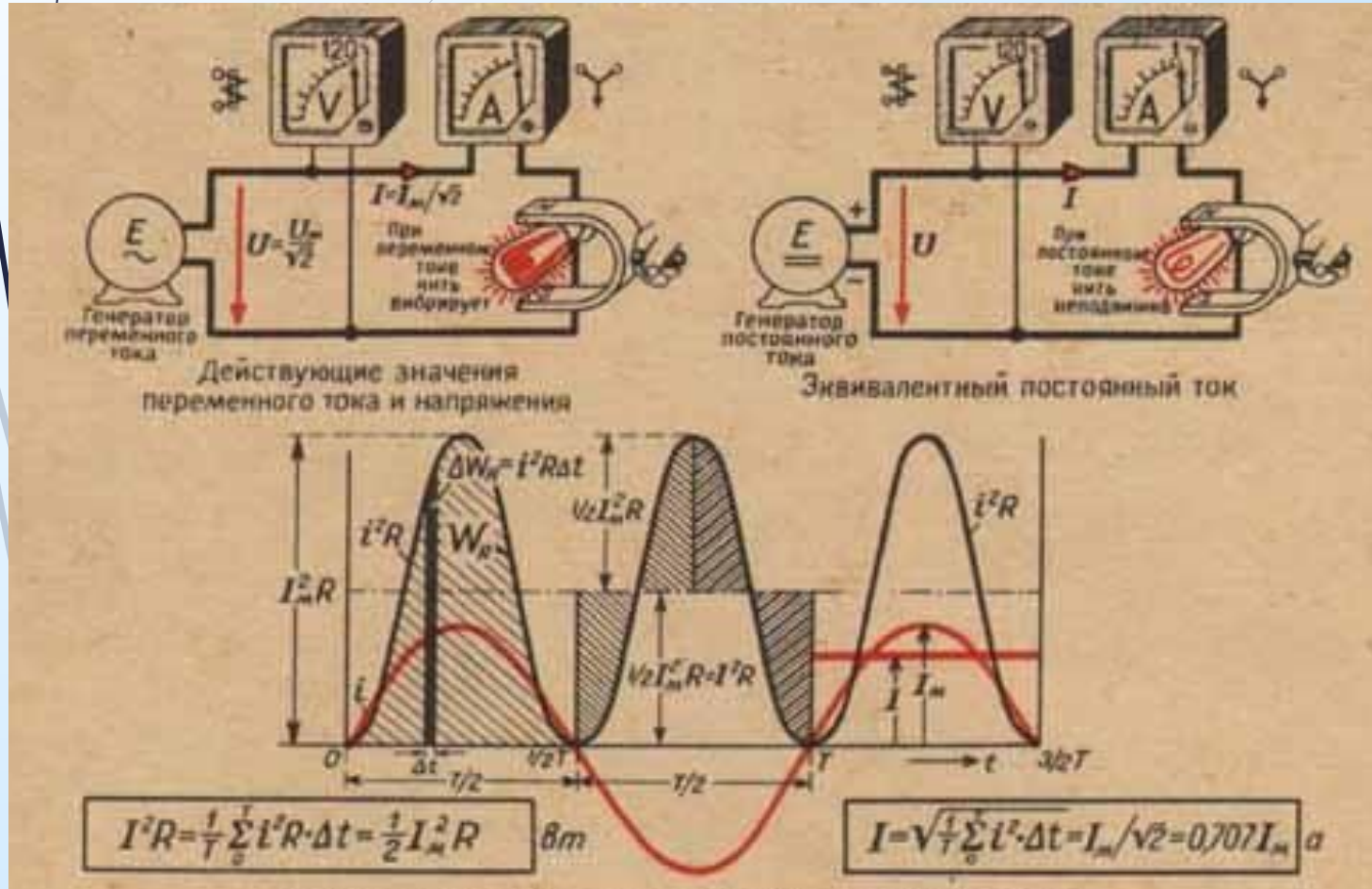
ЗАКОН
ОМА

Электрический ток
в проводнике
(при отсутствии положительной эдс)
направлен от высшего
потенциала к низшему

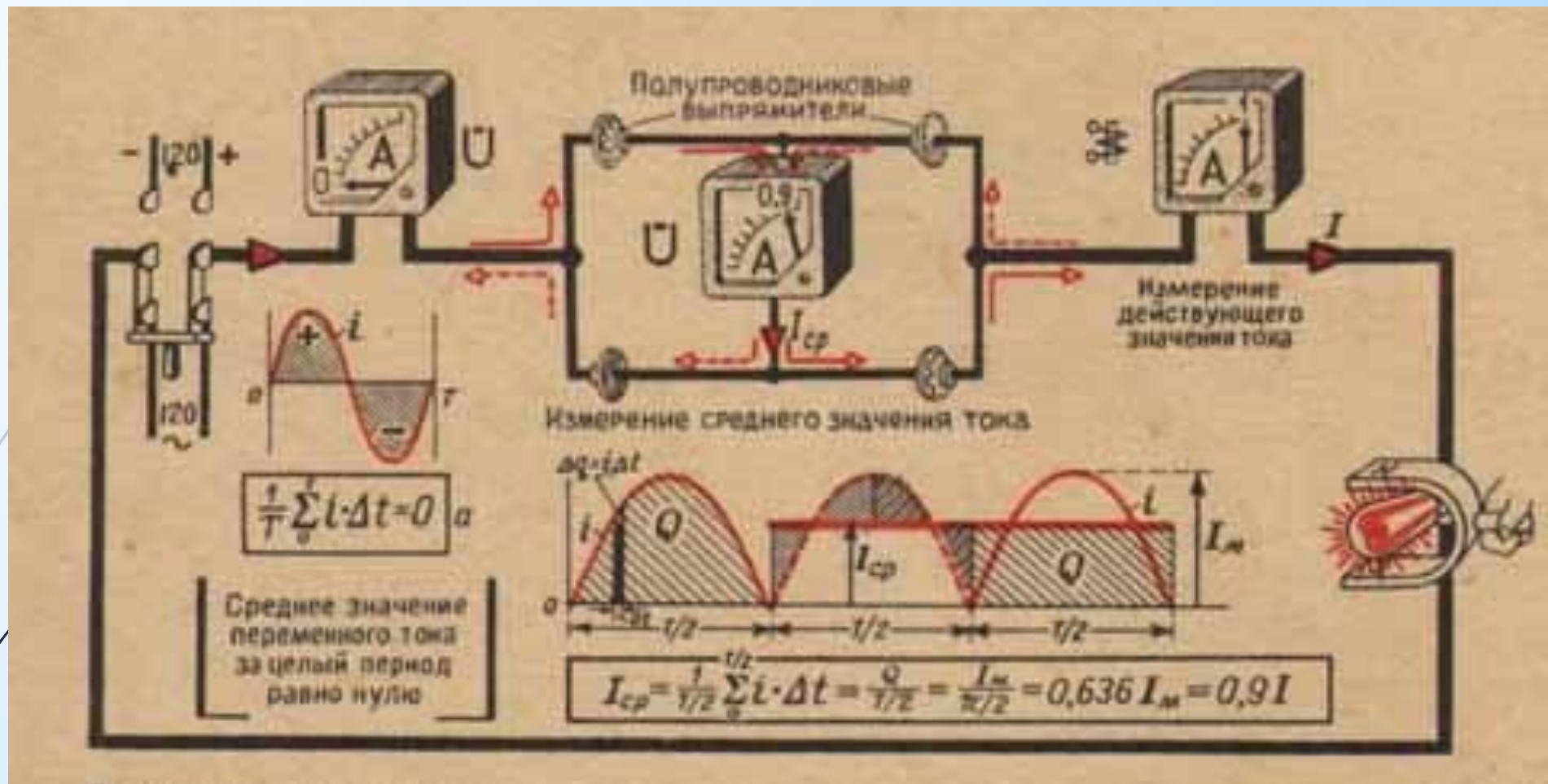


Гидравлическая аналогия

Действующее и среднее значение переменного тока или напряжения



Действующее (эффективное) значение переменного тока численно равно такому постоянному току, который в течении периода производит то же тепловое или динамическое действие, что и рассматриваемый переменный ток



Средним значением переменного тока называется величина эквивалентного постоянного тока, при котором за полпериода, между двумя нулевыми значениями, по цепи протекает такое же количество электричества, что и при рассматриваемом переменном токе

ИЗМЕРЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

при симметричной системе напряжений ($\dot{U}_a + \dot{U}_b + \dot{U}_c = 0$)

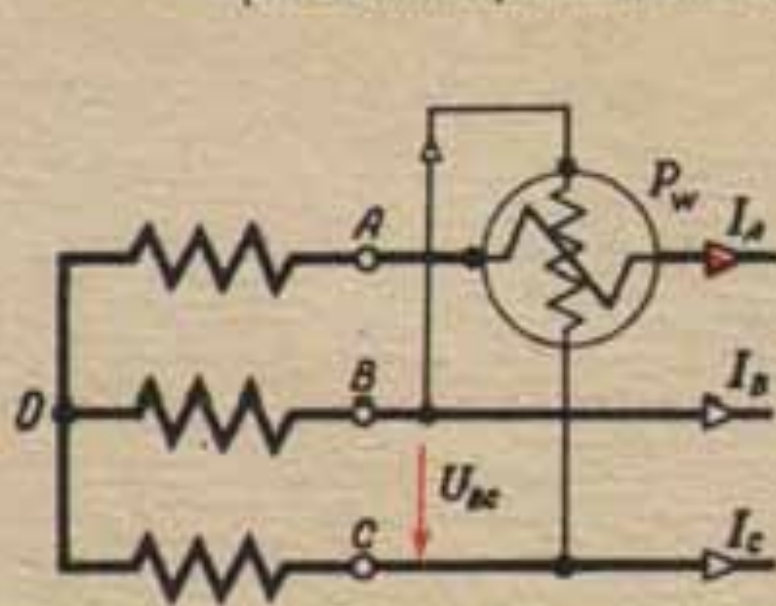
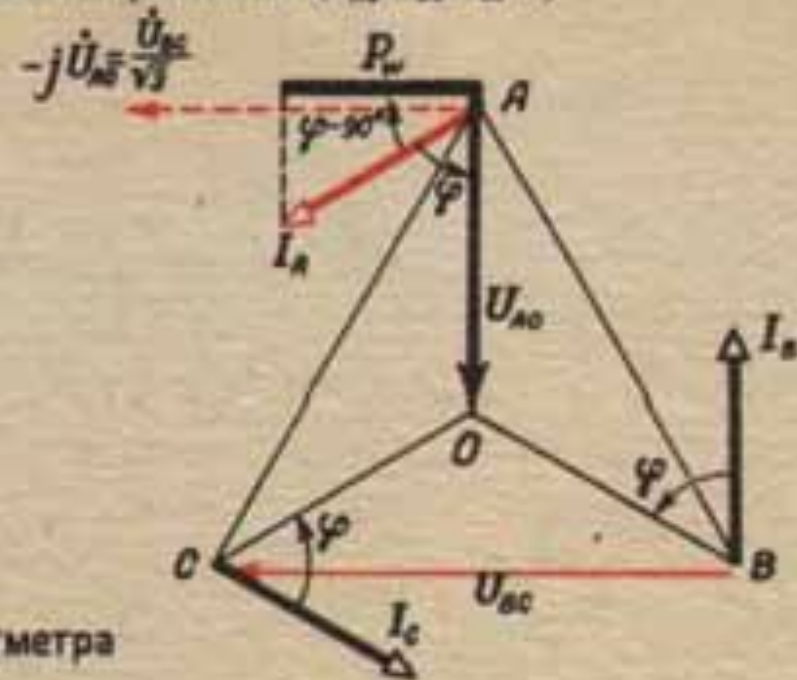


Схема синусного включения АКТИВНОГО ваттметра



$$P_w = U_{bc} I_a \cos(\varphi - 90^\circ)$$

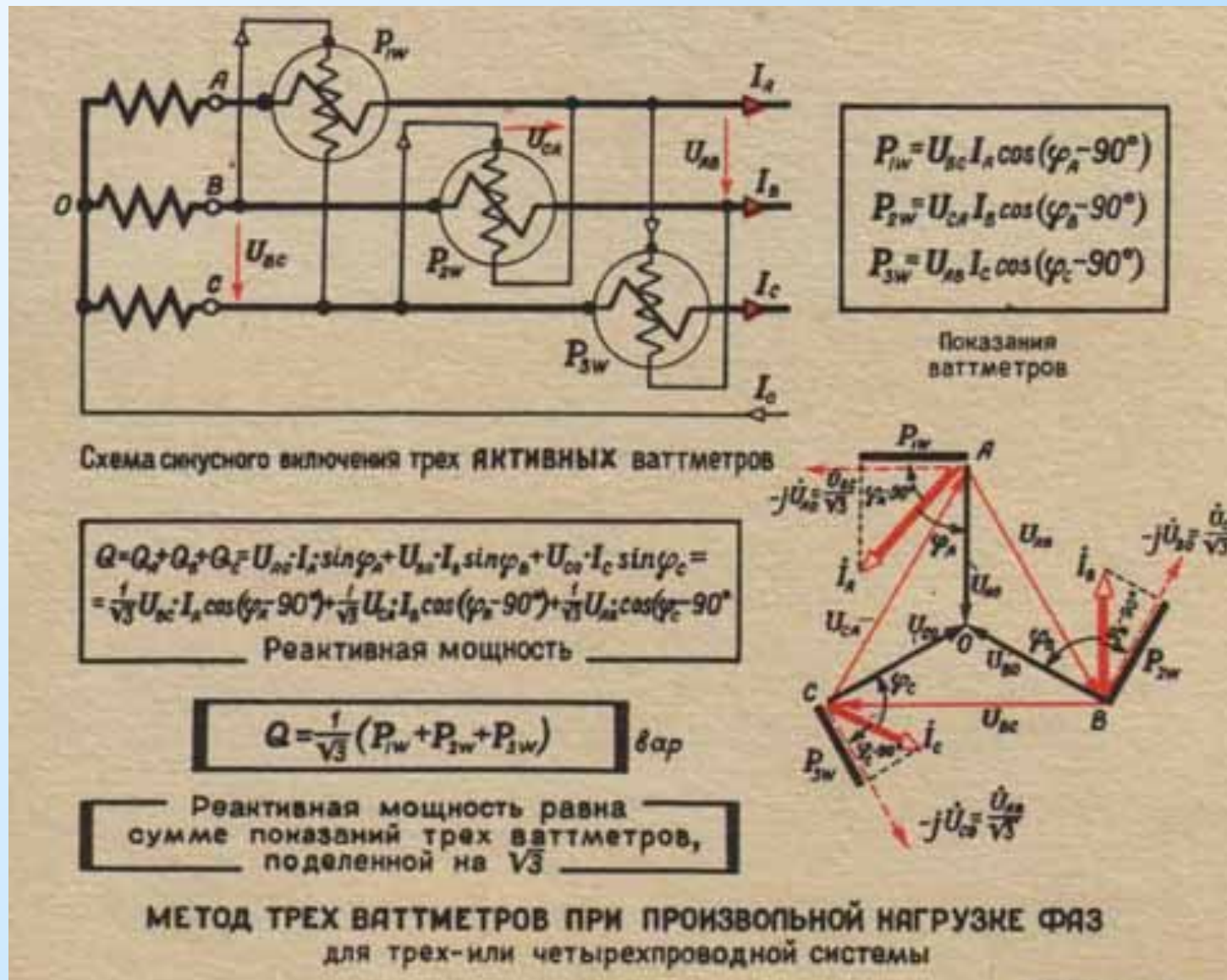
Показание
ваттметра

$$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi = 3 U_{ao} I_a \sin \varphi = \sqrt{3} U_{bc} I_a \cos(\varphi - 90^\circ)$$

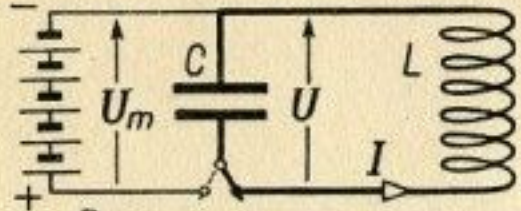
Реактивная мощность равна показанию ваттметра,
помноженному на $\sqrt{3}$

$$Q = \sqrt{3} P_w \text{ вар}$$

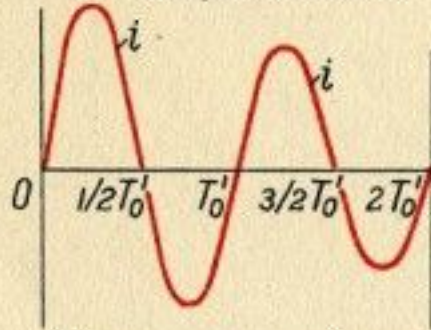
Метод одного ваттметра при симметричной нагрузке фаз



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР



Разряд конденсатора на индуктивность



Затухающие колебания в контуре с потерями.

$$W = \frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}$$

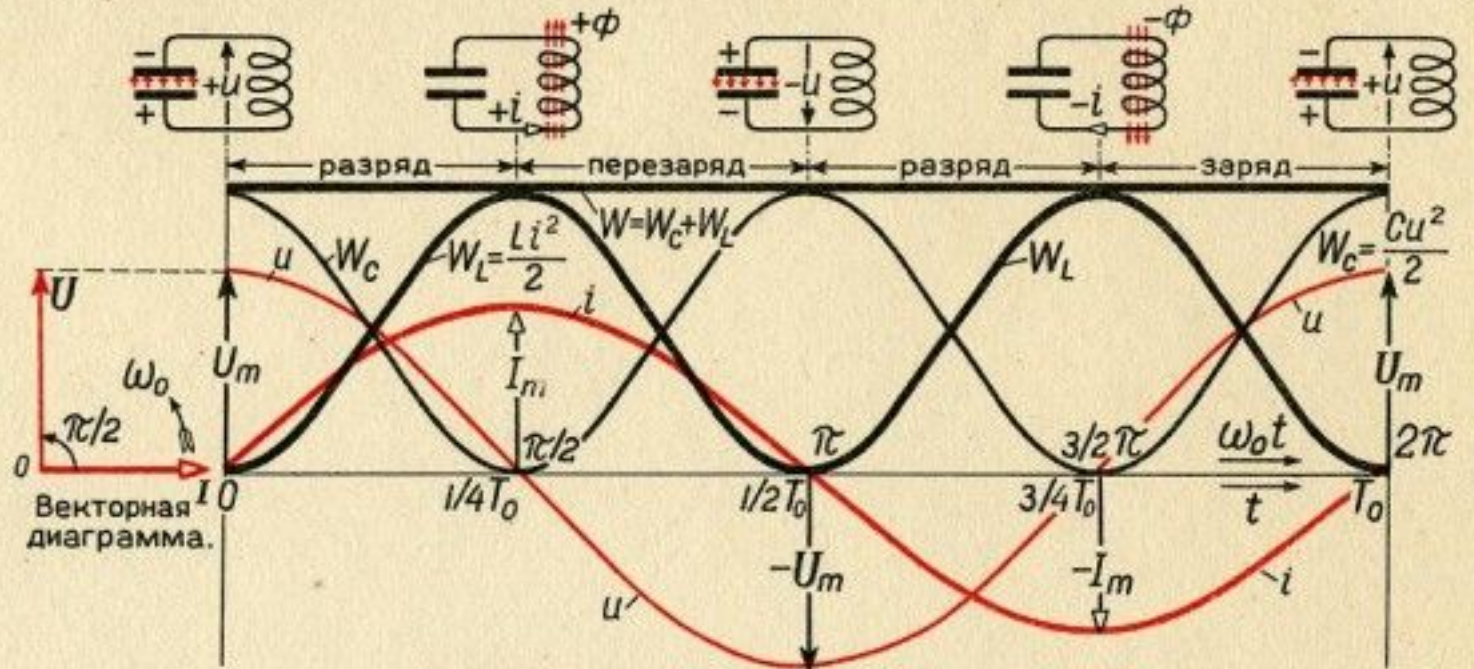
Запас энергии в контуре.

$$\sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{U}{I} \text{ Ом}$$

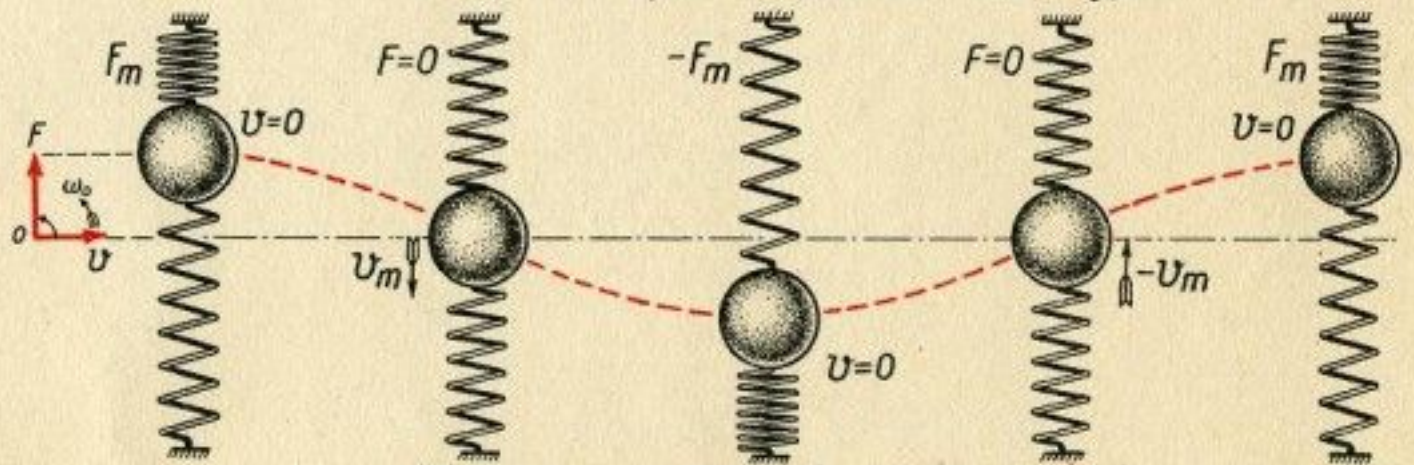
Характеристика контура.

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} \text{ сек}$$

Период собственных колебаний идеального контура

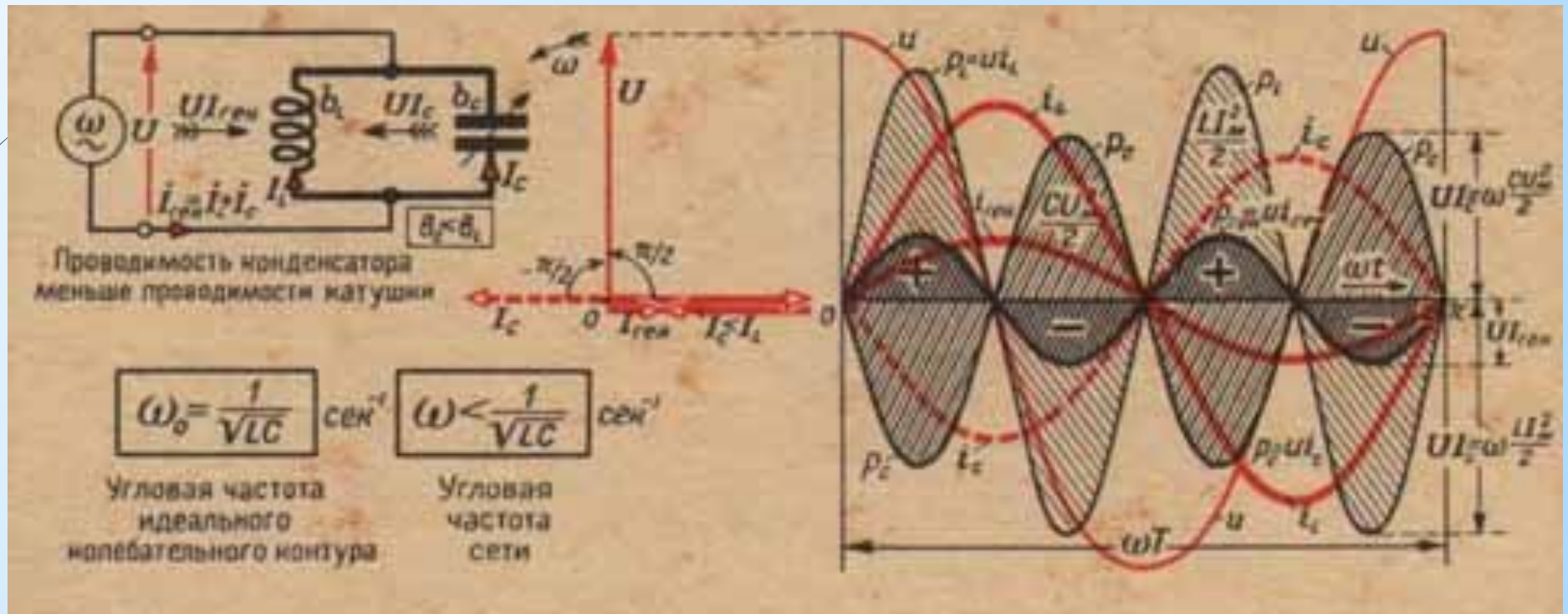


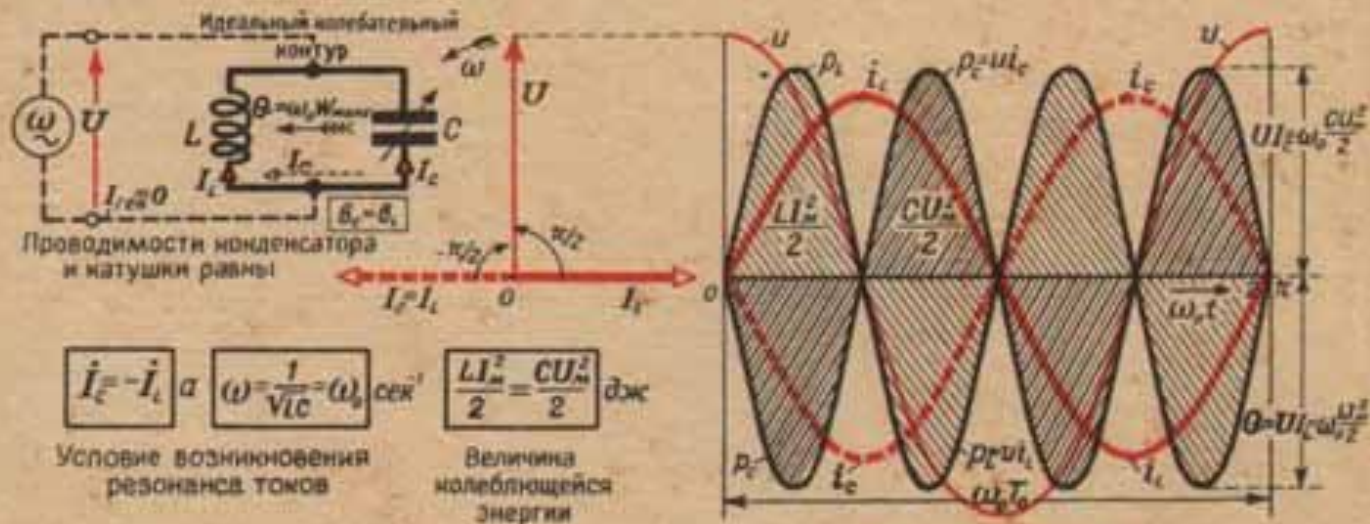
Колебание энергии в идеальном контуре.



Механические колебания (аналогия).

Параллельное соединение ИНДУКТИВНОСТИ И ЕМКОСТИ





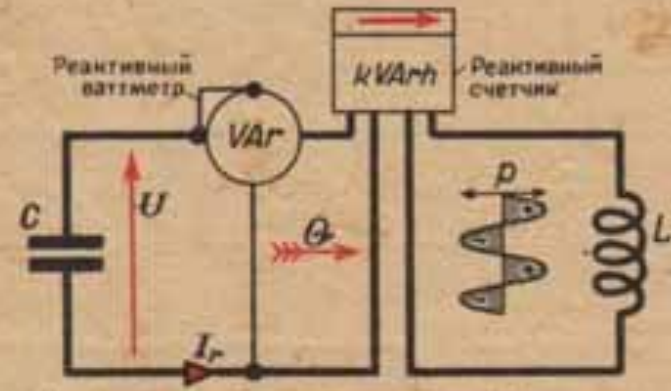
Условие возникновения резонанса токов

$$\dot{I}_C = -\dot{I}_L \text{ а } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0 \text{ сек}^{-1}$$

Величина колеблющейся энергии

$$\frac{LI_m^2}{2} = \frac{CU_m^2}{2} \text{ Дж}$$

Колебание энергии между магнитным полем катушки и электрическим полем конденсатора



Конденсатор - условный источник реактивной мощности и реактивной энергии

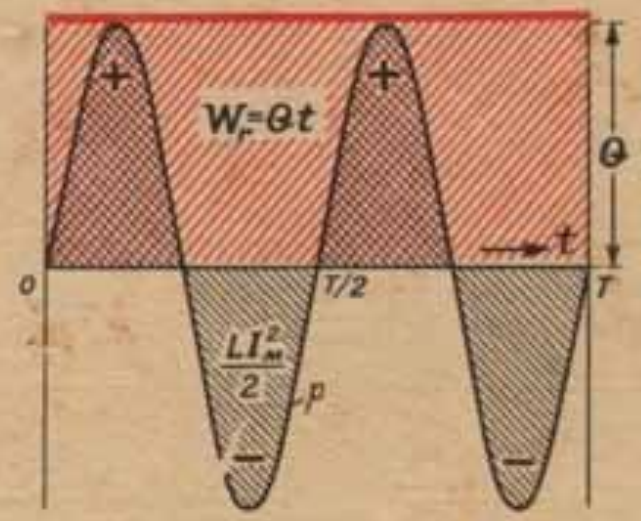
$$Q = UI_r \omega \frac{LI_m^2}{2} \text{ Вар}$$

Реактивная мощность

Индуктивность - условный приемник реактивной мощности и реактивной энергии

$$W_r = Q t \text{ кВарч}$$

Реактивная энергия



ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ИНДУКТИВНОСТИ

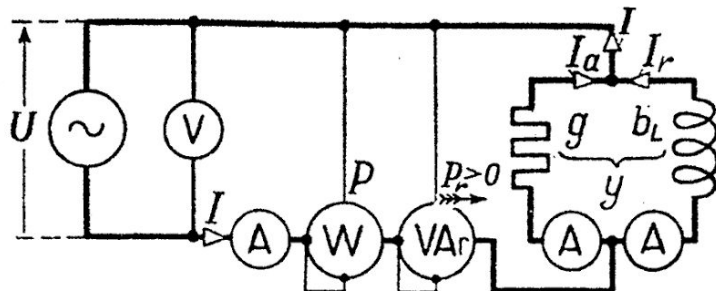
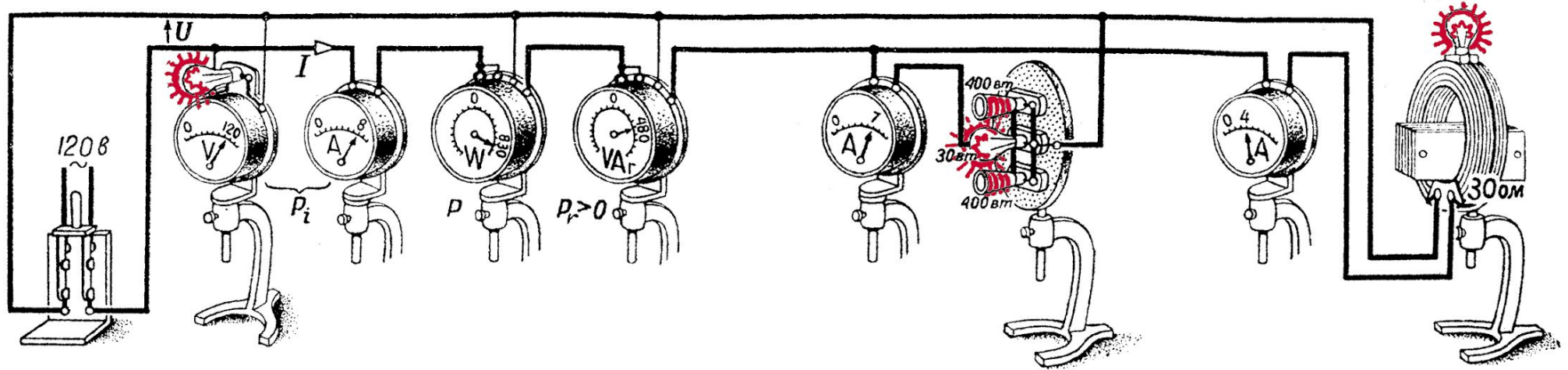
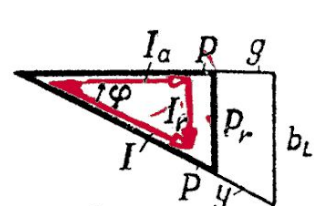
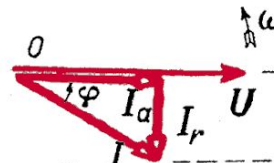


Схема соединений

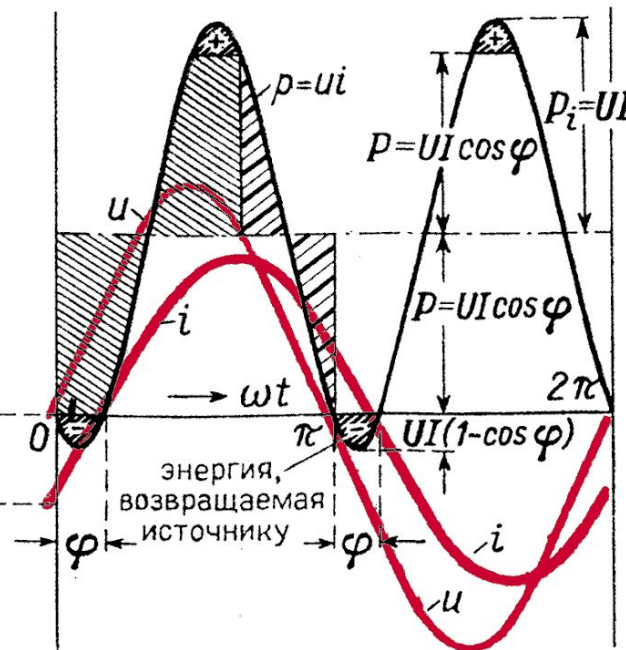


Подобные треугольники токов, проводимостей и мощностей

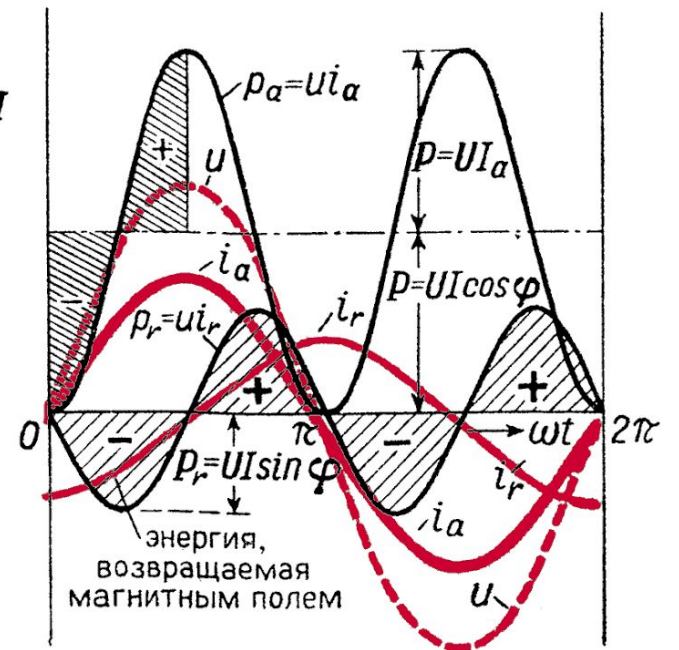


Векторная диаграмма

Общий ток отстает по фазе от напряжения на угол φ

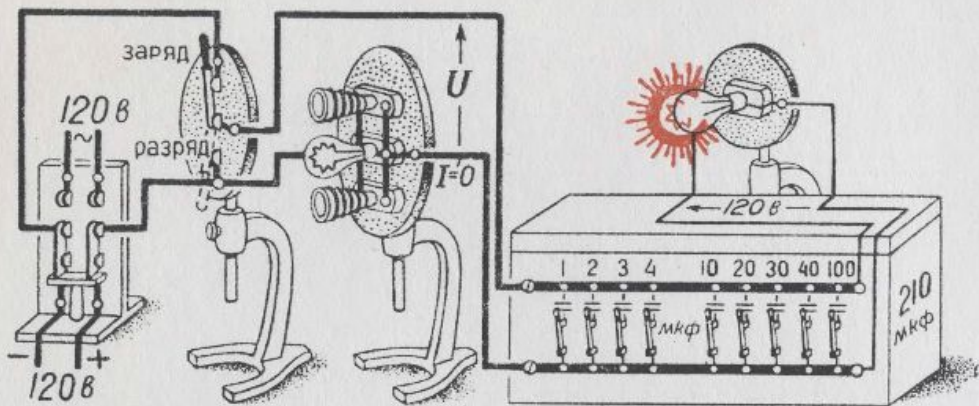


Кривые напряжения, тока и общей мощности

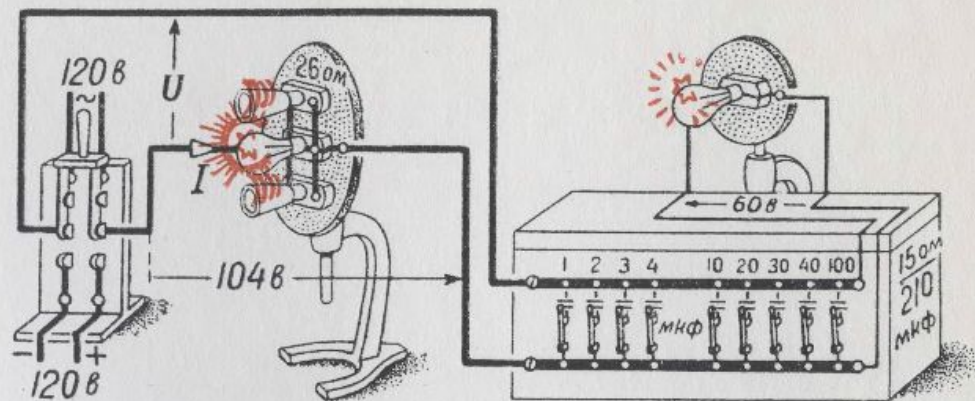


Кривые активных и реактивных слагающих тока и мощности

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ АКТИВНОГО И ЕМКОСТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЙ



Присоединение к постоянному напряжению



Присоединение к переменному напряжению

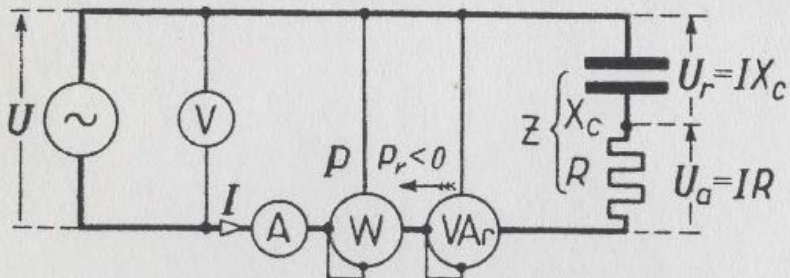
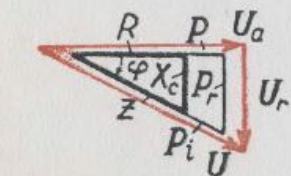
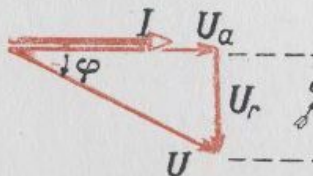


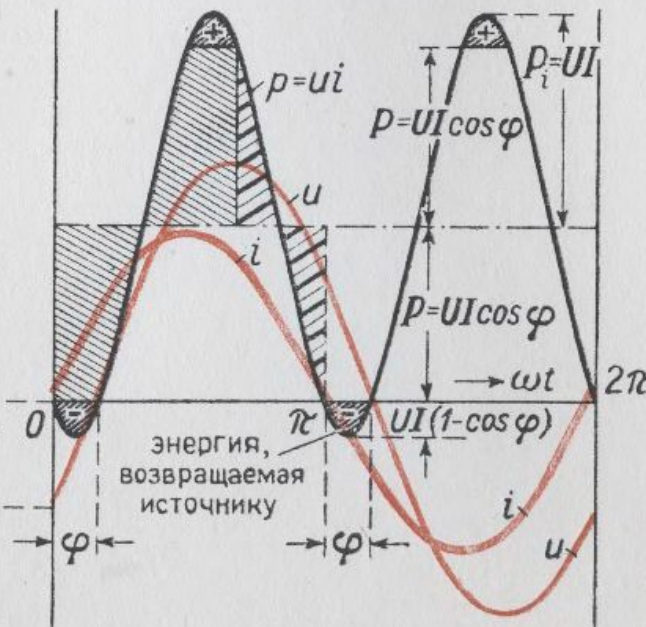
Схема соединений



Подобные треугольники напряжений, сопротивлений и мощностей



Векторная диаграмма



Кривые тока, напряжения и общей мощности

Напряжения

активное $U_a = U \cos \varphi = IR$
 реактивное $U_r = U \sin \varphi = IX$
 общее $U = \sqrt{U_a^2 + U_r^2} = IZ$

Сопротивления

активное $R = Z \cos \varphi = U_a / I$
 реактивное $X = Z \sin \varphi = U_r / I$
 полное $Z = \sqrt{R^2 + X^2} = U / I$

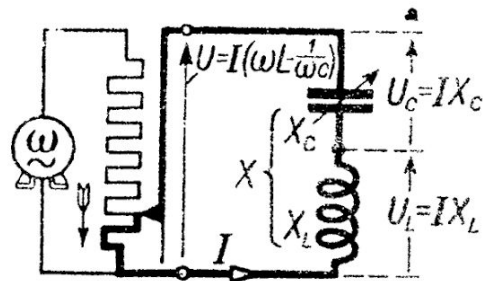
Мощности

активная $P = UI \cos \varphi = U_a I = I^2 R$
 реактивная $P_r = UI \sin \varphi = U_r I = I^2 X$
 кажущаяся $P_i = UI = \sqrt{P^2 + P_r^2} = I^2 Z$

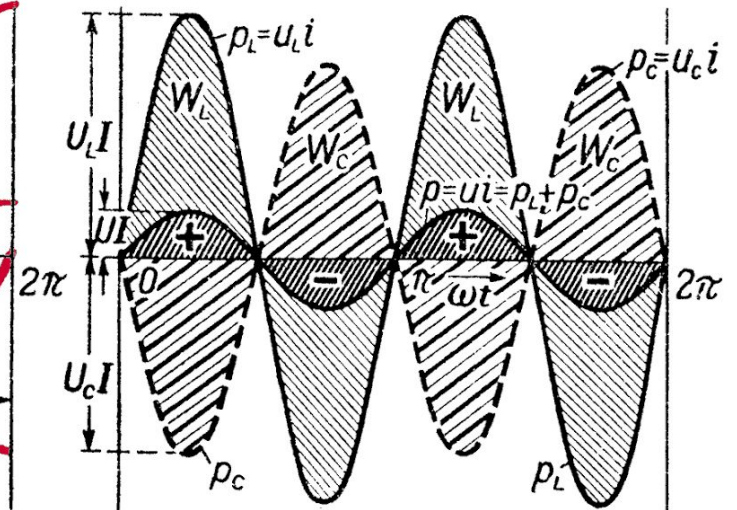
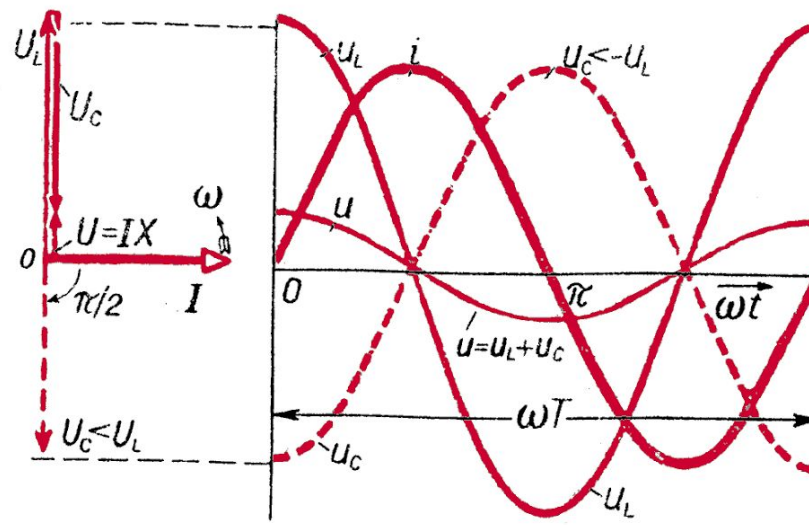
Коэффициент мощности
 $\cos \varphi = P / UI = U_a / U = R / Z$

Приложенное напряжение отстает по фазе от тока на угол φ

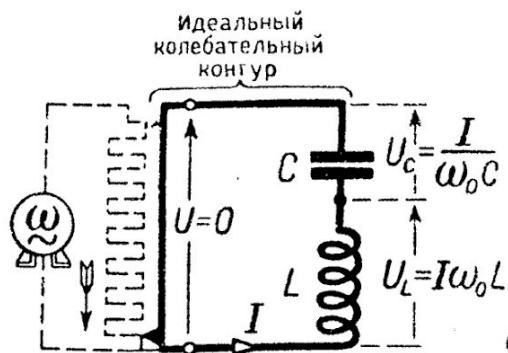
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ИНДУКТИВНОСТИ И ЕМКОСТИ



Емкостное сопротивление меньше индуктивного



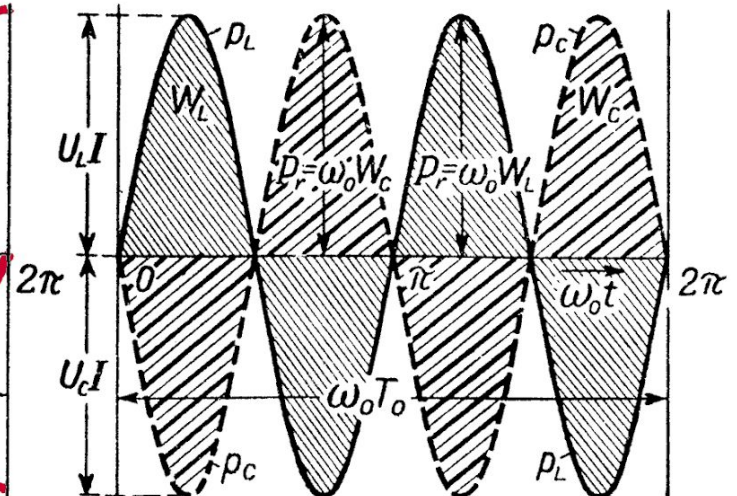
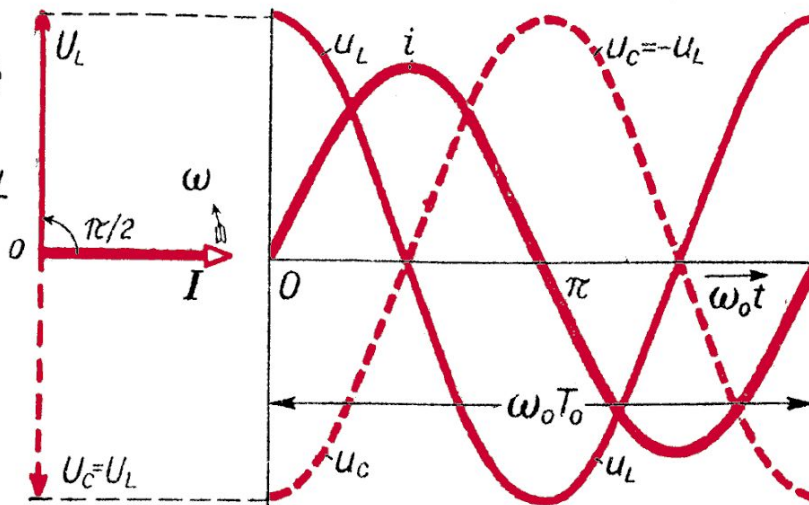
Диаграммы при емкостном сопротивлении, меньшем индуктивного



Емкостное сопротивление равно индуктивному

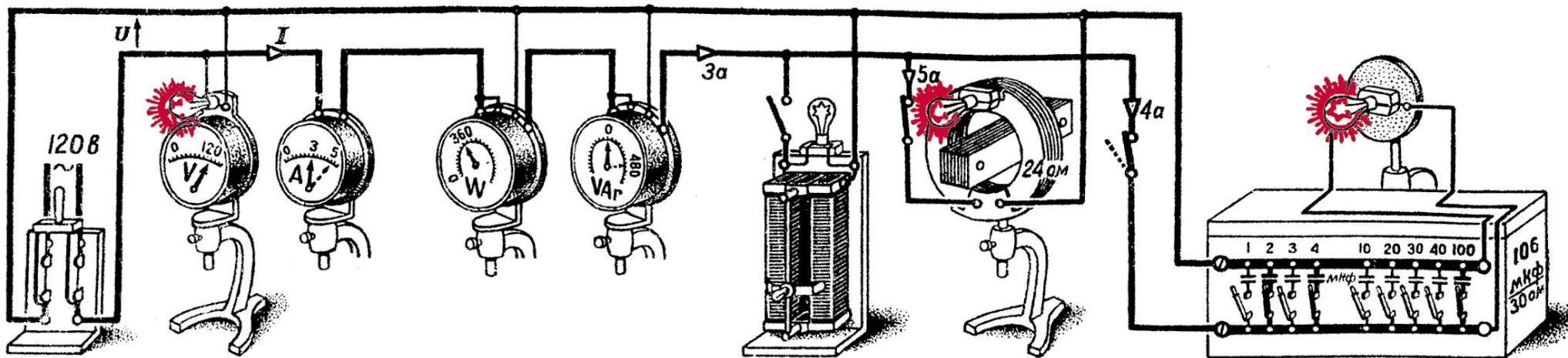
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega \text{ сек}^{-1}$$

Угловая частота идеального контура

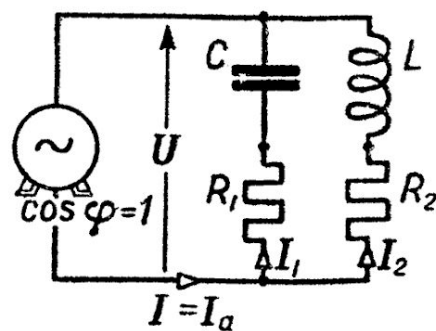


Диаграммы при емкостном сопротивлении, равном индуктивному

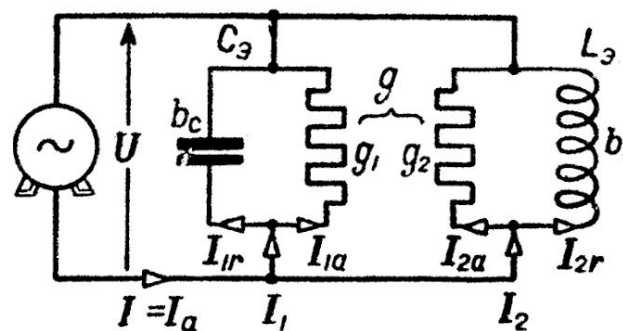
РЕЗОНАНС ТОКОВ



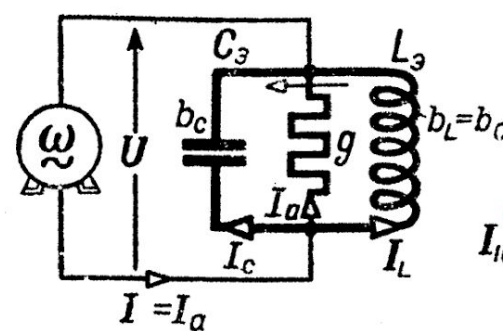
Параллельная цепь из реостата, катушки и конденсатора



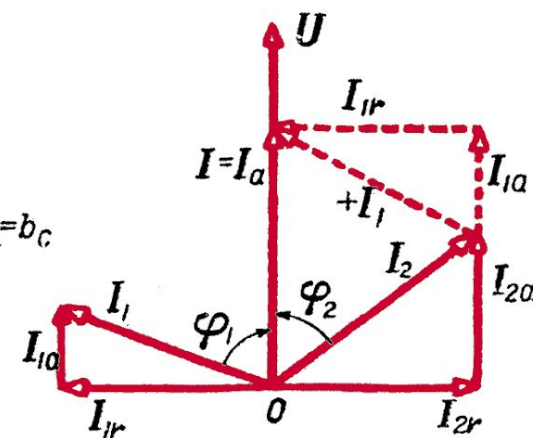
Исходная схема



Эквивалентная схема



Эквивалентный колебательный контур

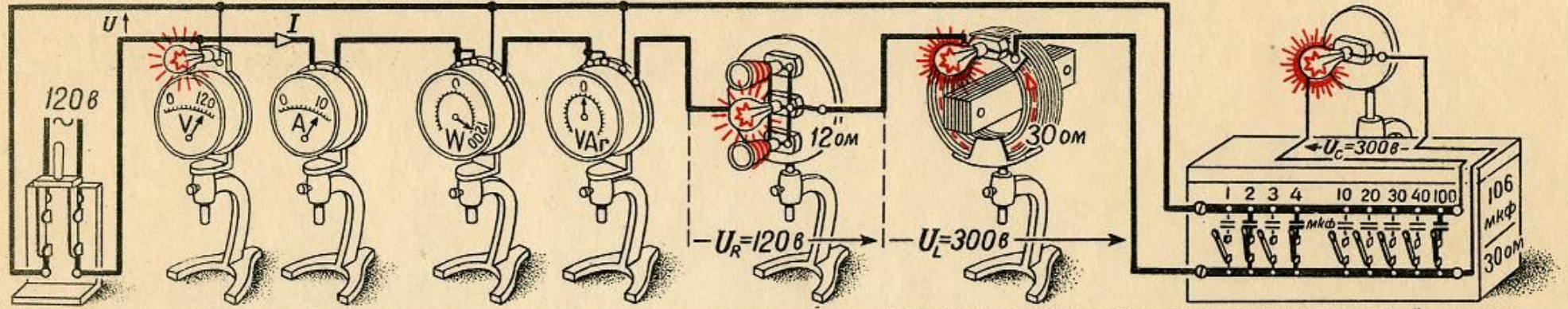


$$\begin{aligned} \dot{I}_{1r} &= -\dot{I}_{2r}; \quad b_L = b_C \\ \omega &= \frac{1}{\sqrt{L_3 C_3}} = \omega_{03} \end{aligned}$$

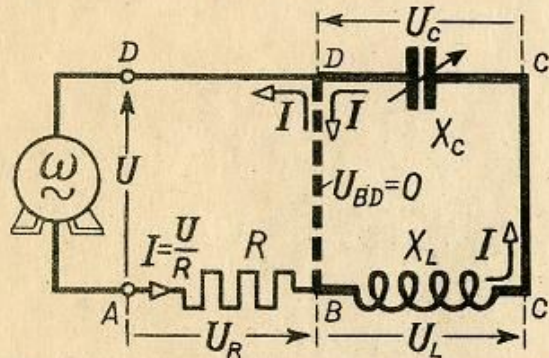
Условие резонанса токов

Параллельное соединение двух ветвей при резонансе токов

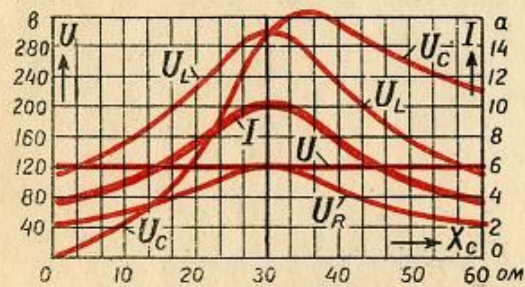
РЕЗОНАНС НАПРЯЖЕНИЙ



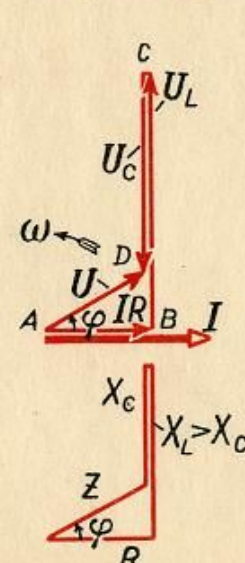
Последовательное соединение лампового реостата, катушки самоиндукции и конденсатора переменной ёмкости.



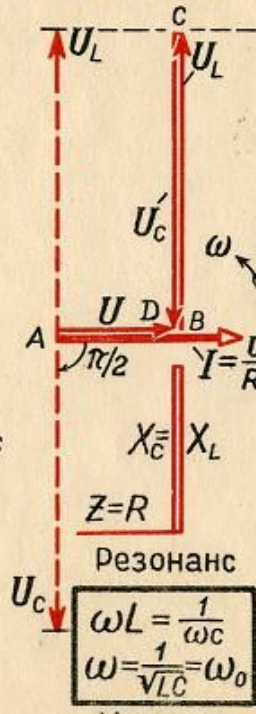
Последовательная цепь при резонансе.



Кривые резонанса при переменной ёмкости.



Диаграммы напряжений и сопротивлений до резонанса.

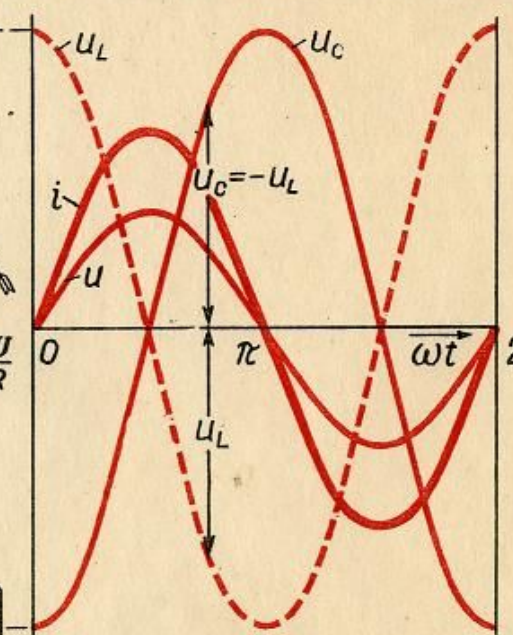


Резонанс

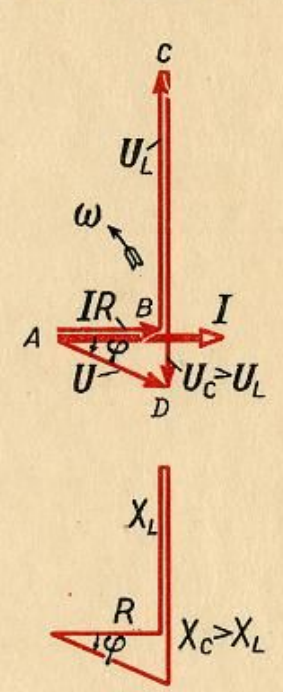
$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$$

Условие резонанса.

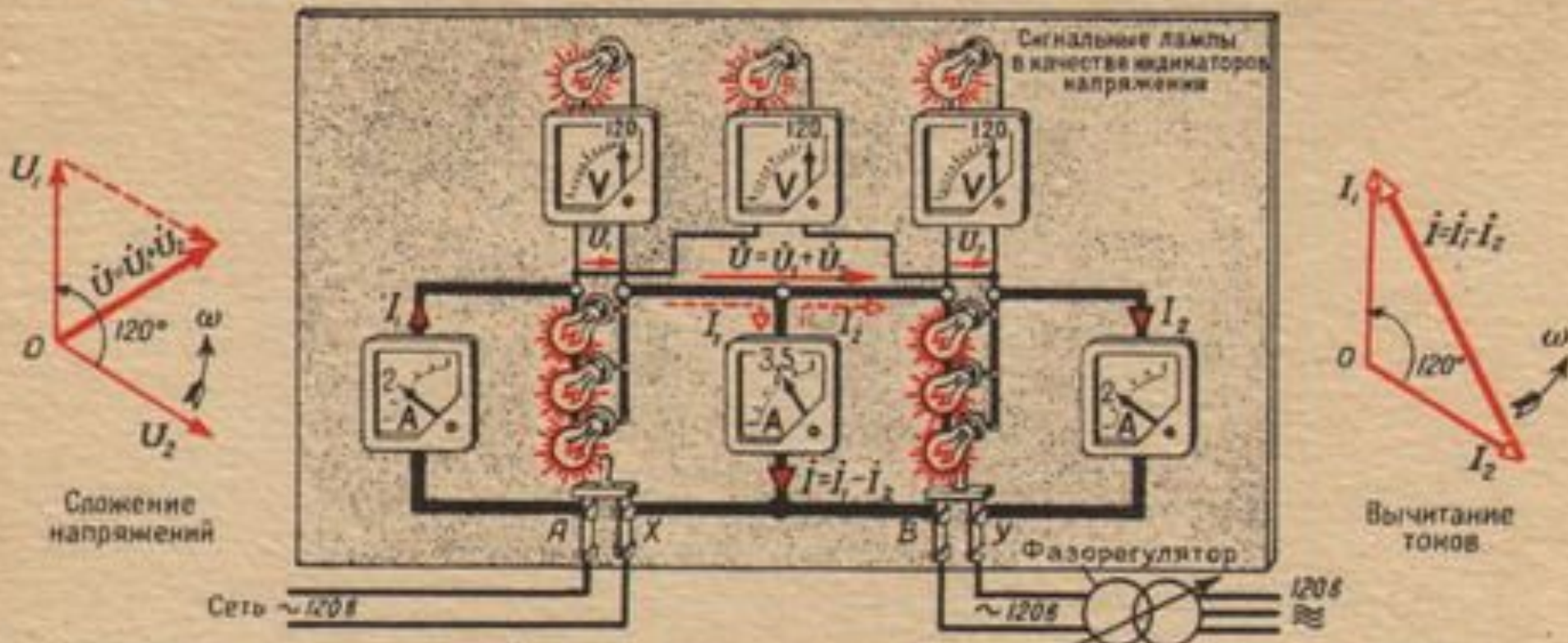


При резонансе емкостное напряжение равно индуктивному по величине, но противоположно ему по знаку.

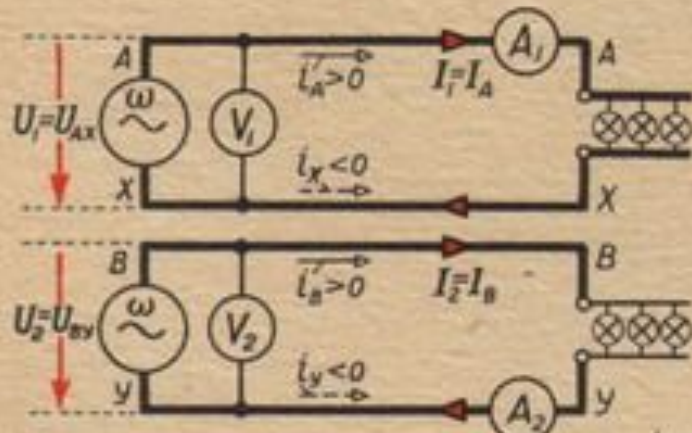


После резонанса.

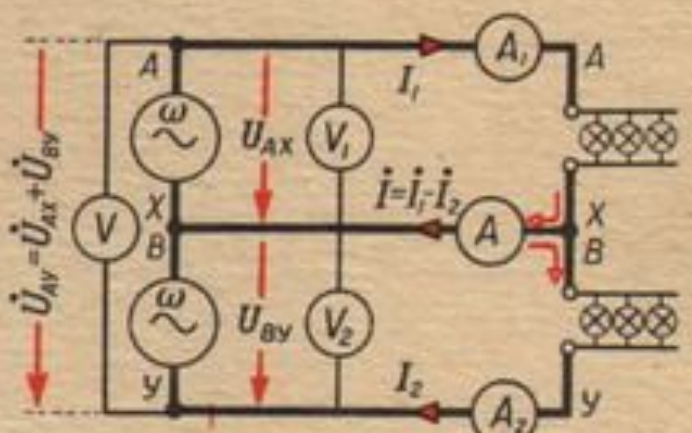
СЛОЖЕНИЕ И ВЫЧИТАНИЕ ПЕРЕМЕННЫХ ТОКОВ ИЛИ НАПРЯЖЕНИЙ



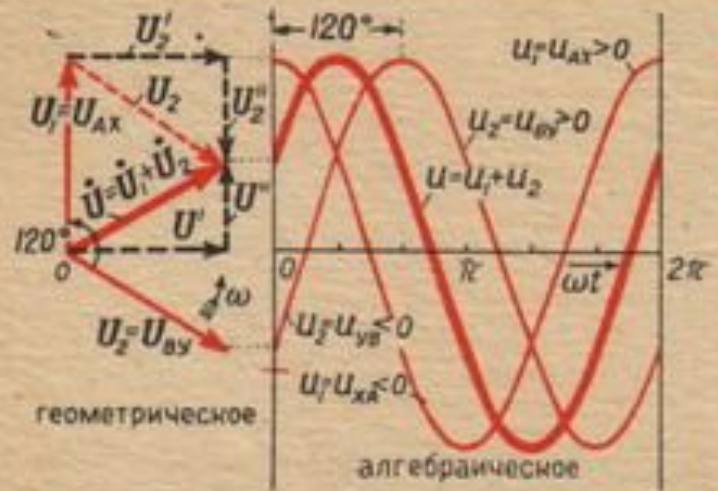
Сложение напряжений и вычитание токов, сдвинутых по фазе на 120°
(демонстрационная установка)



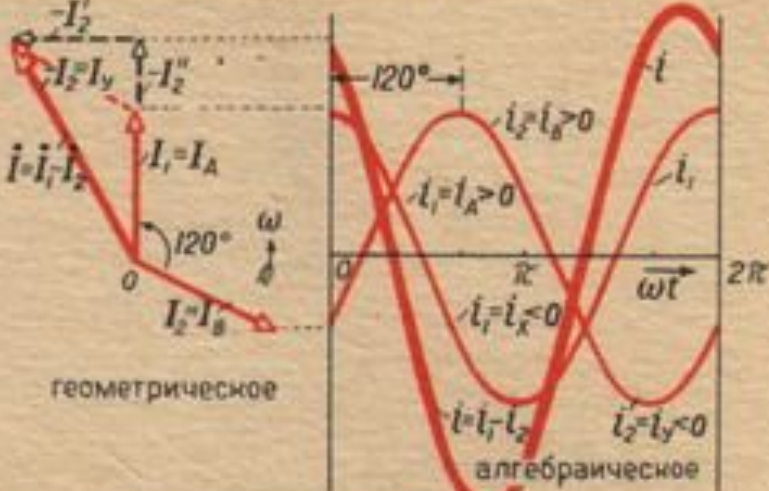
Напряжения и токи двух несвязанных цепей



Сложение напряжений и вычитание токов



Сложение напряжений, сдвинутых по фазе ($\varphi = 120^\circ$)

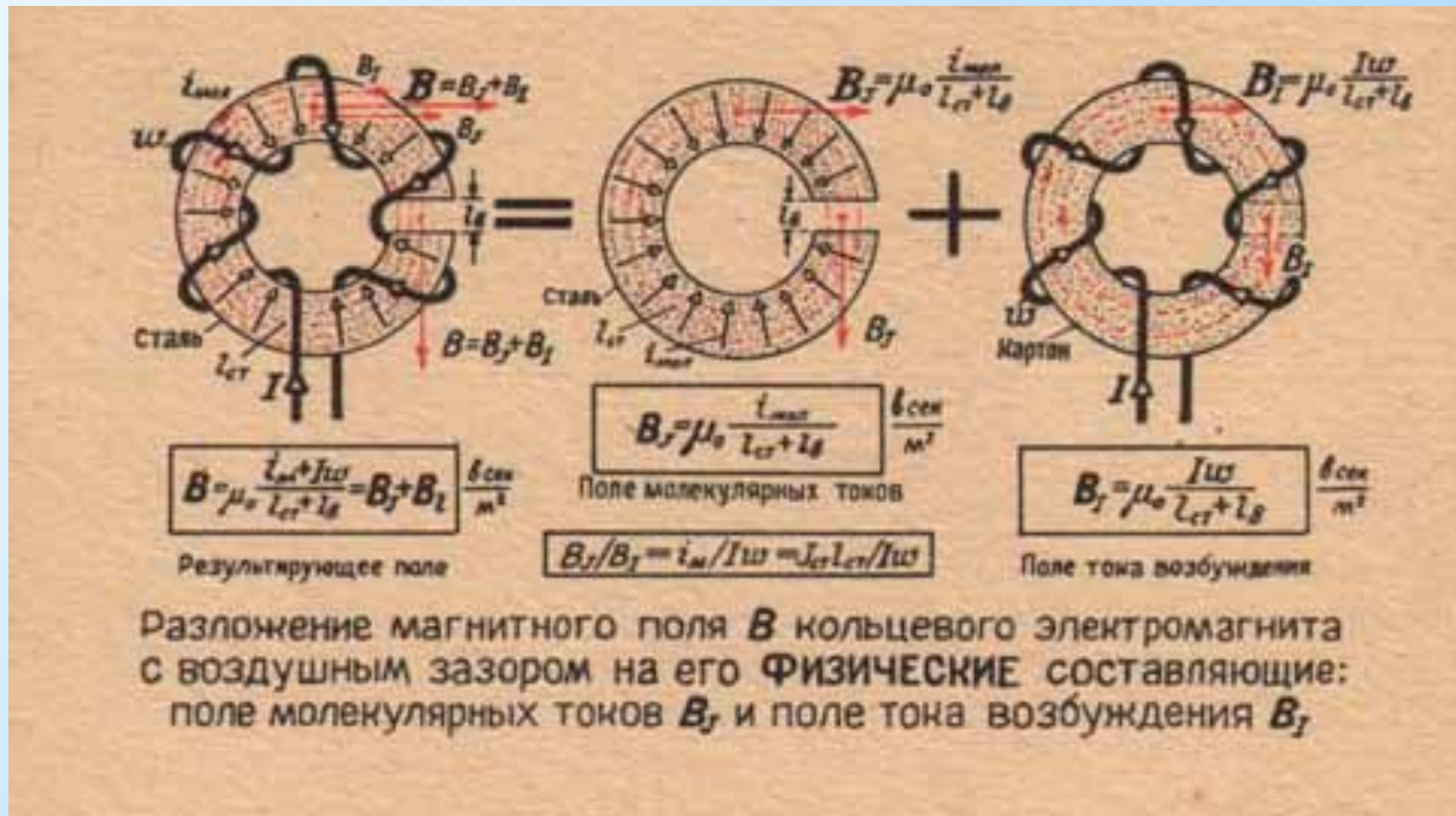


Вычитание токов, сдвинутых по фазе ($\varphi = 120^\circ$)

При сложении и вычитании переменных токов или напряжений одинаковой частоты необходимо задаться их положительным направлением в цепи, величиной и фазой

Мгновенные значения (u, i) складываются **Алгебраически**, действующие значения (U, I) — **геометрически**

Составляющие вектора магнитной индукции





$$B_{ст} \mu_0 \frac{l_{ст} + l_{ш}}{l_{ст} + l_2} = \mu_0 J_{ст} + \mu_0 H_{ст} \frac{l_{ст}}{l_{ст} + l_2} \quad \mu_0 J_{ст} \mu_0 \frac{l_{ст}}{l_{ст}} = B_1 \frac{l_{ст} + l_2}{l_{ст}} = B_1 + B_2 \frac{l_2}{l_{ст}} \quad \mu_0 H_{ст} = B_{ст} - \mu_0 J_{ст} = (B_1 + B_2) - (B_1 + B_2 \frac{l_2}{l_{ст}}) = B_1 - B_2 \frac{l_2}{l_{ст}} \quad \frac{6 \text{ сес}}{\text{м}^2}$$

ФОРМАЛЬНОЕ разложение вектора индукции в стали $B_{ст}$ на составляющие: намагниченность $\mu_0 J_{ст}$ и напряженность магнитного поля $\mu_0 H_{ст}$

Разложение вектора индукции B на составляющие $\mu_0 J$ и $\mu_0 H$ отлично от разложения на его ФИЗИЧЕСКИЕ составляющие B_1 и B_2 и является ФОРМАЛЬНЫМ. Это разложение применяется для возможности расчета магнитных полей и магнитных цепей методами расчета электрических полей и электрических цепей (табл.17)

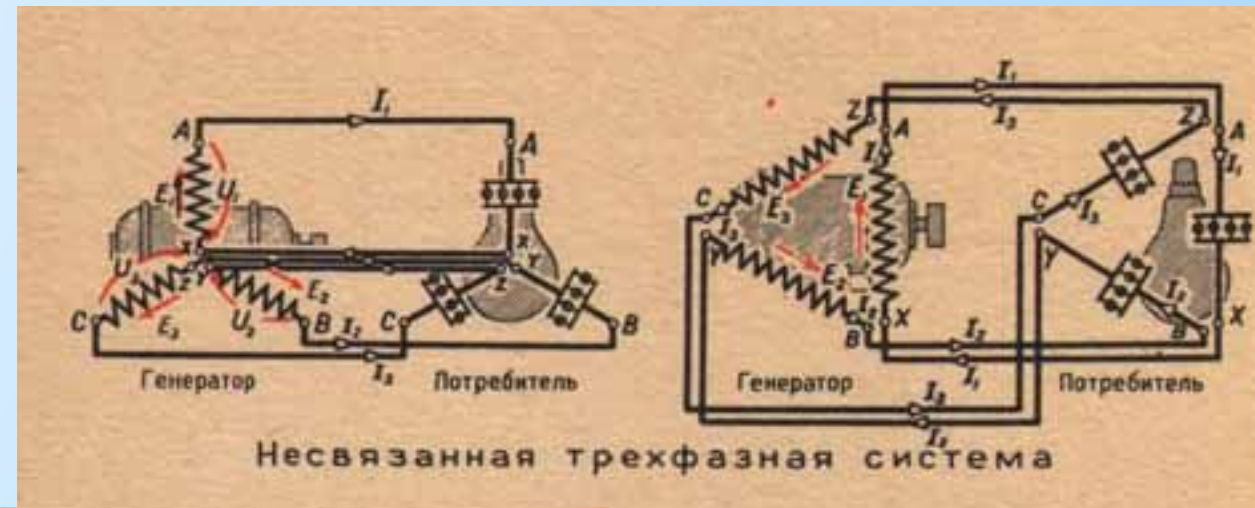
| |
|---|
| $B = B_{ст} = B_1 = 15000 \text{ гс}; l_{ст} = 40 \text{ см}$ $l_2 = 2 \text{ мм}; I \omega = 3400 \text{ а}$ |
| $\frac{B}{\mu_0} = 0,8 B_{ст} = 12000 \text{ а/см}$ $i_{маг} = \frac{B}{\mu_0} (l_{ст} + l_2) - I \omega = 479000 \text{ а}$ |

| | |
|--|--|
| $B_1 \mu_0 \frac{l_{ст}}{l_{ст} + l_2} = 11894 \text{ гс}$ | $B_2 \mu_0 \frac{l_{ш}}{l_{ст} + l_2} = 3166 \text{ гс}$ |
| $\frac{B_1}{\mu_0} = 11915 \text{ а/см}$ | $\frac{B_2}{\mu_0} = 85 \text{ а/см}$ |

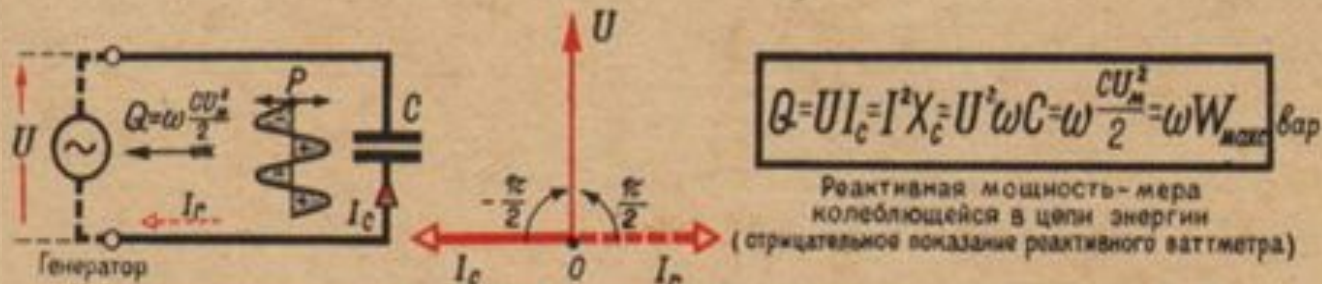
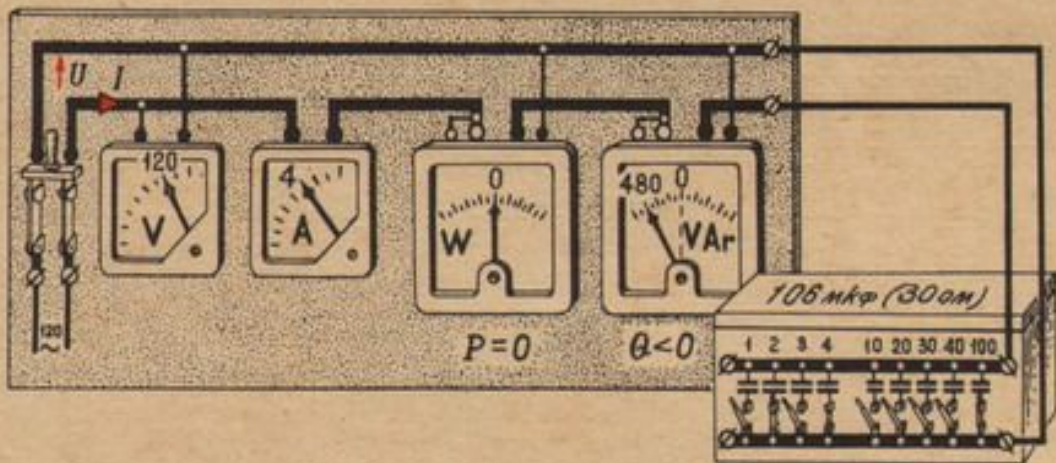
| | |
|---|--|
| $\mu_0 J_{ст} \mu_0 \frac{l_{ст}}{l_{ст}} = 11894 \text{ гс}$ | $\mu_0 H_{ст} = B_{ст} - \mu_0 J_{ст} = 3166 \text{ гс}$ |
| $J_{ст} = 11975 \text{ а/см}$ | $H_{ст} = 25 \text{ а/см}$ |

П Р И М Е Р

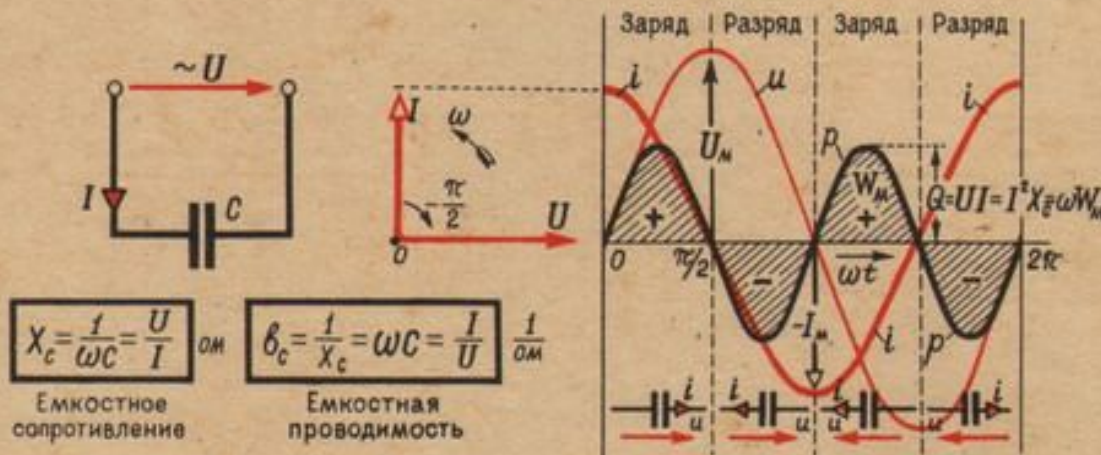
Простейший трехфазный генератор



Цепь переменного тока с емкостью



|| Емкость - условный источник реактивной мощности и реактивной энергии ||
 („источник“ реактивного, отстающего, тока или „приемник“ емкостного, опережающего, тока) ||

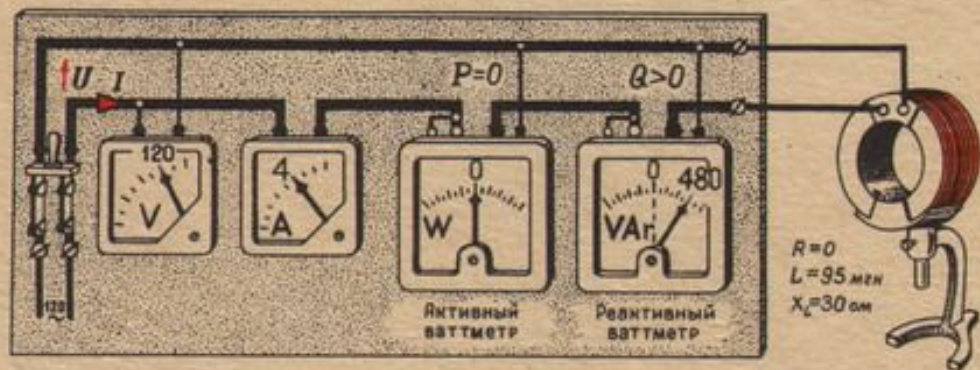


$W_r = Qt = \omega \frac{CU_m^2}{2} t$
 Реактивная энергия, „отдаваемая“ емкостью
 (отрицательное показание реактивного счетчика)

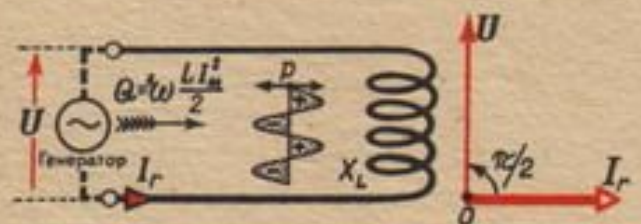


. Зарядный ток конденсатора зависит от скорости нарастания напряжения. Поэтому ток в емкости опережает напряжение по фазе на 1/4 периода.

Цепь переменного тока с индуктивностью



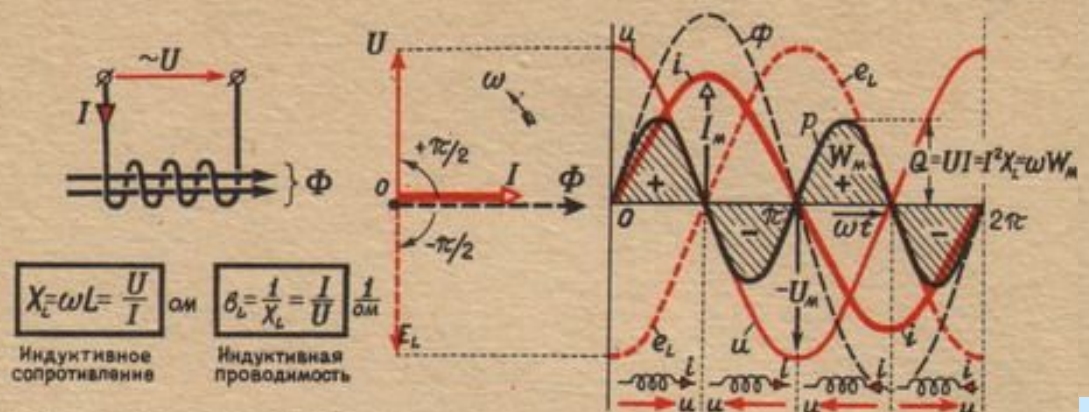
Из-за инерции переменный ток в индуктивности не поспевает за изменениями напряжения и отстает от него по фазе на $\frac{1}{4}$ периода.



$$Q = UI_r = U^2 \beta_L = I^2 X_L = I^2 \omega L = \omega \frac{LI^2}{2} = \omega W_m \text{ вар}$$

Реактивная мощность – мера колеблющейся в цепи энергии (показание реактивного ваттметра)

|| Индуктивность – условный приемник реактивной мощности и реактивной энергии („приемник“ реактивного, отстающего, тока.) ||



$$W_r = Q \cdot t = \omega \frac{LI_m^2}{2} t \text{ вар} \cdot \text{с}$$

Реактивная энергия, „потребляемая“ индуктивностью (показание реактивного счетчика)



Колебание энергии в цепи

Цепь переменного тока с Активным сопротивлением

