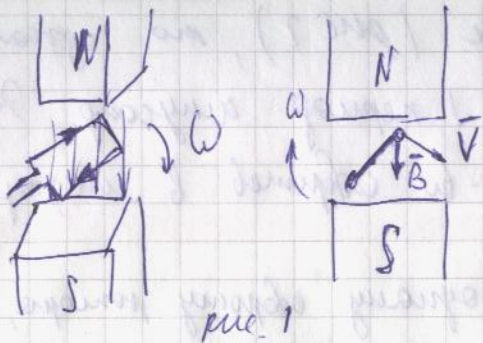




l - длина витка

PROFF

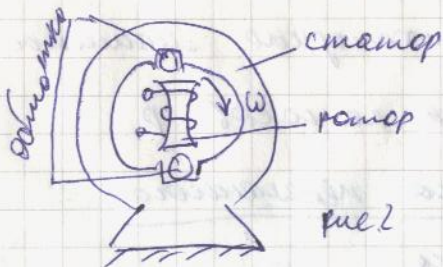
$$e = B l v \sin(\vec{B}; \vec{v}) = B l v \sin \alpha; \quad \alpha = \omega t$$

При вращ. рамки в равномерном магнитном поле возникает индуцир. эдс. Роль магнитного потока играет по закону Фарадея

$$e = \underbrace{B l v}_{E_m} \sin \omega t = E_m \sin \omega t$$

Получение синусоидального Э.Д.С. на практике

Переменный ток, перемен. частотой, получ. в эл. машинах, генераторах.



магнитный поток, создаваемый ротором, пересекает обмотку и по проводникам попадает на статор и выводит

в этой обмотке переменную Э.Д.С.

Двух. полюс. и многополюс. генераторы

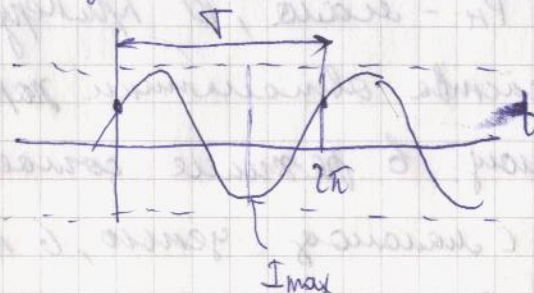
37

Эл. цепи с индуктивно-емкостным током

PROFF

$$i = I_{\max} \sin(\omega t - \psi_i) \quad (1)$$

Определяется 3-м параметром. $I_{\max}$ - ампл.; ω - угловая частота и ψ_i - фаза (начальной!)



$(\omega t + \psi_i)$ - фаза синусоиды (опред. её значение в любой момент t)

$$f = \frac{1}{T} \text{ - частота синусоиды } [c^{-1}] = [гц]$$

$$\omega = 2\pi f_{T/2} \quad [c^{-1}] = [рад/с]$$

$$I_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T I_{\max} \sin(\omega t + \psi_i) dt = \frac{2}{\pi} I_m \approx 0,638 I_{\max}$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = 0,707 I_{\max}$$

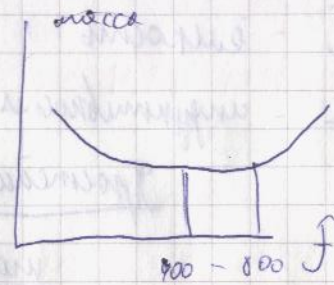
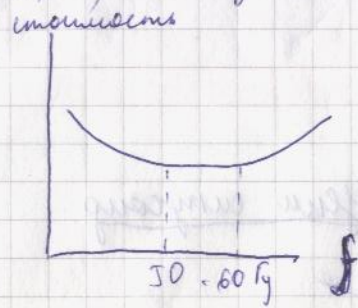
Принцип получения синусоид.

Э.Д.С.

36



(края растопки); в области (400-800 Гц); в спектре $10^4 - 10^6$ Гц.



Для выпр. синусоид. токов в радиотехнике исл. эл. и выпрямлен. схемы.

Эл. цепь синусоид. тока и ее основные эл-ты

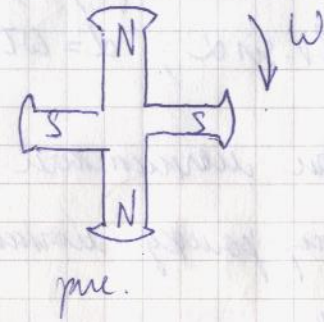
В цепи синусоид. тока не мод. скаль. фазно малая частота, переход. след. керуем процесс:

- 1) эл. энергия преобраз в тепл. или в др. виды энерг.
- 2) эл. энерг. мож. запасаться в эл. паке ёмкост. эл.-ток или индуктивные этикетки пакины в цепь. ~~или~~

Для выпр. резедел эти 3 эл. делет

Един период двойная. (рис 2), то одинаку его обороту соотв 1 период синусоид. ЭДС.

$$T = \frac{60}{n}, \quad n - \text{кол-во оборотов в минуту.}$$



одинаку обороту ротора, упрот. на рис 3, будет соотв 2 периода павод.

синусоид. ЭДС.

p (число полюсов) = 2.

Синхронные генераторы:

Большинств. генераторов имеют наст. скор. вращение и павод. синхронным. Их основ. массу сост. турбо и гидрогенераторы.

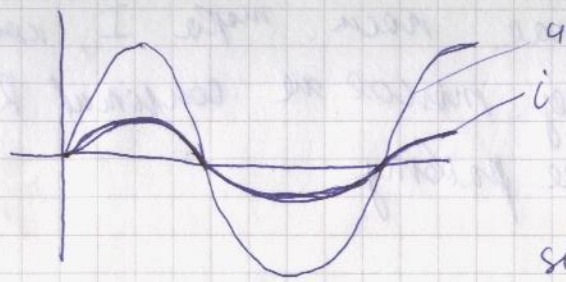
Турбогенер. - высокоскор. машины

$$n = 3000 \text{ об/мин (1500; 1000)}$$

Гидрогенераторы - тихоходные машины с большим числом пар полюсов p

Частота переменного тока

38 В энергосистеме России исл. ток с частотой 50 Гц



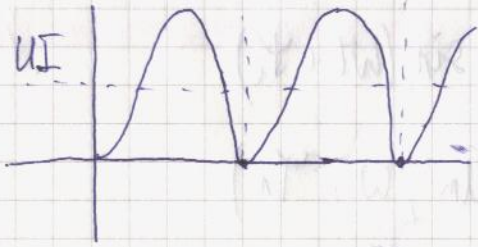
$$P = q(t) \cdot i(t) =$$

(мощность)

$$= U_{\max} \sin(\omega t) \cdot I_{\max} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\sin \omega t = U_m I_m \sin^2 \omega t =$$

$$= U_{\max} I_{\max} \left(\frac{1 - \cos 2\omega t}{2} \right) = \frac{U_{\max} I_{\max}}{2} - \frac{U_{\max} I_{\max}}{2} \cos 2\omega t = UI - UI \cos 2\omega t$$



Мощность P постоянна (среднее значение) в течение периода

период. период. и не очень правильно будет считать энерг. срам. улам.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T (UI - UI \cos 2\omega t) dt \ominus$$

активная мощность - среднее, по периоду, значение мощности.

$$\ominus \frac{1}{T} \int_0^T UI dt - \frac{1}{T} \int_0^T UI \cos 2\omega t dt = UI =$$

$$= I^2 R$$

Значит, закон сохранения энергии

41

энергия преобразуется в тепло.

$Z(R)$ - активное сопротивление

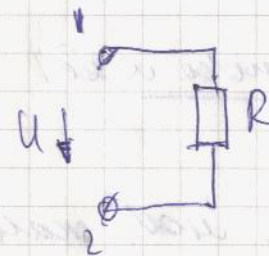
C - емкость

L - индуктивность

Применение закона сохранения энергии

мощность

а) закон, с которым у нас есть энергия и активное сопротивление R



$$U = U_{\max} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

R

i = ?

$$U = iR \quad i = \frac{U}{R} = \frac{U_{\max}}{R} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$= I_m \sin(\omega t + \varphi_i) - \text{закон Ома для цепи переменного тока}$$

$$I_m = \frac{U_{\max}}{R} - \text{закон Ома для цепи переменного тока}$$

$$\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0$$

В активном сопротивлении R напряжение и ток совпадают по фазе.

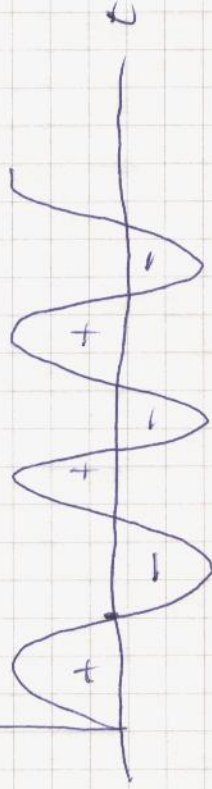
40

$$p = u(t)i(t) = [u_m \cos \omega t I_m \sin \omega t] = u_m I_m \frac{\sin 2\pi t}{2} = q I \sin 2\omega t$$

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = 0$$



рис. 3



В генераторе, состоящем из источника ЭДС и индуктивности, не происходит накопления энергии. Энергия непрерывно возвращается к источнику.

• "+" (на рис. 3) энергия генерируется

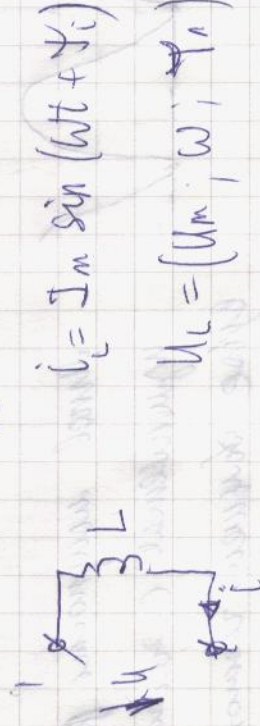
• "-" (на рис. 3) энергия поглощается

б) генератор, состоящий из индуктивности, источника ЭДС и индуктивности.

В генераторе, состоящем из источника ЭДС, индуктивности и сопротивления, происходит накопление энергии. Мощность не возвращается к источнику.

$$A = PT$$

б) генератор, состоящий из индуктивности и сопротивления L.



$$i_L = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$$

$$u_L = (u_m; \omega; \varphi_u)$$

$$u_L = \frac{di}{dt} = LI_m \omega \cos(\omega t + \varphi_i) = I_m \omega L \sin(\omega t + \varphi_i + 90^\circ)$$

$$u_m = I_m \omega L = I_m X_L; X_L = \omega L$$

происходит накопление энергии. Энергия не возвращается к источнику.

$$\varphi_u = \varphi_i + 90^\circ; \varphi = \varphi_u - \varphi_i = 90^\circ$$

генератор, состоящий из индуктивности, источника ЭДС и индуктивности.

на рис. 3

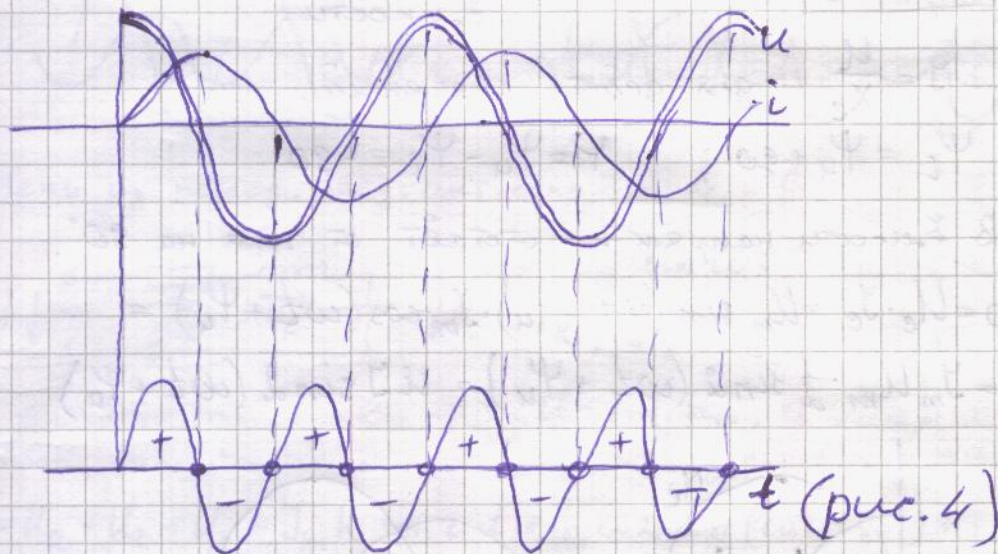
$$\varphi_u = \varphi_i + \frac{\pi}{2} \Rightarrow \varphi = \varphi_u - \varphi_i = \frac{\pi}{2}$$

В инд-ю сун. U опережает сун. I на $\frac{\pi}{2}$.

$$p = u(t) \cdot i(t) = U_m \cos \omega t \cdot I_m \sin \omega t = U_m I_m \sin 2\omega t / 2 =$$

$$= U \cdot I \sin 2\omega t$$

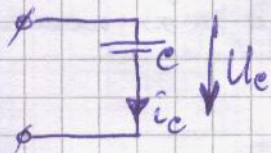
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = 0$$



В цепи из идеализ. элем. (инд. L) энергия не расходуется, проходит один раз от ист. к инд-ю

На рис. 4 "+" - эи. запас-ся, "-" - эи. отдаст.

⑥ цепь из ист. эиэи и ёмкости C .



$$U_C = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$$

$$i - ? (I_m, \omega, \varphi_i)$$

11.10.052

$$i_c = C \frac{dU}{dt} = C \omega U_m \cos(\omega t + \psi_u) = \underbrace{\frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}}}_{Y_m} \sin(\omega t + \psi_u + 90^\circ) = \underbrace{Y_m}_{Y_c} \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$Y_m = \frac{U_m}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_m}{X_c}, \quad [X_c = \frac{1}{\omega C} - \text{реакт. сопр. ёмкости}]$$

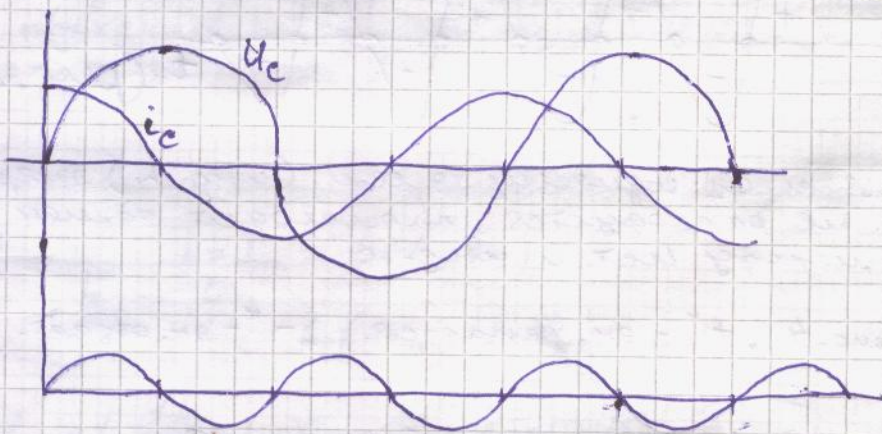
$$\boxed{Y_m = \frac{U_m}{X_c}} - \text{закон Ома для макс значений тока на ёмкости.}$$

$$Y = \frac{U}{X_c} - \text{для действ. значений.}$$

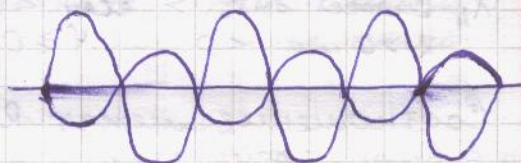
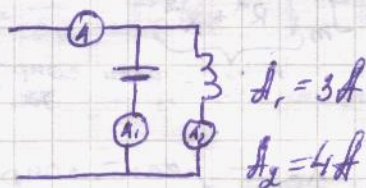
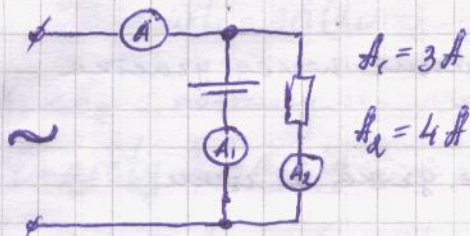
$$\psi_i = \psi_u + 90^\circ; \quad \varphi = \psi_u - \psi_i = -90^\circ$$

В ёмкости напряж-ие отстает от тока на 90° .

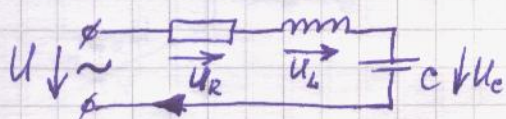
$$p = U_c \cdot I_c = U_m \sin(\omega t + \psi_u) \cdot Y_m \cos(\omega t + \psi_u) = \\ = Y_m U_m \cdot \frac{1}{2} \sin 2(\omega t + \psi_u) = U Y \sin 2(\omega t + \psi_u)$$



В рассм. цепи потерь ээ нет, происходит периодич. обмен энергией между источником и эл. полем ёмкости.



Усно уз ноег. сог. акт. сог. R, L и C :



$$i = I_m \sin \omega t$$

$R; i; C$

$U - ? (U_m; \omega; \varphi_u)$

$$\begin{aligned}
 U &= U_R + U_L + U_C = I_m R \sin \omega t + I_m \omega L \sin(\omega t + 90^\circ) + \\
 &+ I_m \frac{1}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ) = \\
 &= I_m R \sin \omega t + I_m \omega L \cos \omega t + I_m \frac{1}{\omega C} (-\cos \omega t) = \\
 &= I_m R \sin \omega t + I_m X_L \cos \omega t + I_m X_C (-\cos \omega t) = \\
 &= I_m R \sin \omega t + I_m \cos \omega t (X_L - X_C) = \\
 &= I_m (R \sin \omega t + X \cos \omega t) = \\
 &= I_m \sqrt{R^2 + X^2} \cdot \sin(\omega t + \varphi), \text{ где } \operatorname{tg} \varphi = \frac{X}{R}.
 \end{aligned}$$

$$U_m = I_m \sqrt{R^2 + X^2}$$

Z - полн. сопротивление послед. участка эл. цепи.

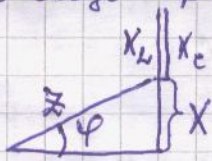
$X = X_L - X_C$ - реакт. сопр. посл. ур-ка эл. цепи

R = акт. сопр.

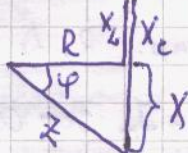
φ = угол сдвига фаз между U и I посл. ур-ка эл. цепи.

X_L может быть $>$, если $< X_C$ в зависимости от этого $X > 0$ или < 0 . $\varphi \geq 0$

Соотношение между R, X, Z, φ удобнее представить в виде треуго. сопр.



(рис. 1)



(рис. 2)

Рис. 1. соотв. случаю $X_L > X_C$ - цепь имеет активно индуктивный характер. Ток отстает от напряжения на угол $\varphi \in (0; 90^\circ)$.

Рис. 2. соотв. случаю, когда цепь имеет активно емкостной характер. Ток опережает напряжение на угол φ .

Пример: в рассм. эквив. : $R = 30 \Omega$
 $L = 0,18 \text{ Гн}$
 $C = 40 \text{ мкФ}$
 $U = 250 \sin(500t + 20^\circ)$
 $i = ?$

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{250}{50} = 5 \text{ А.}$$

$$[Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{30^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} = \\ = \sqrt{30^2 + (500 \cdot 0,18 - \frac{1}{500 \cdot 40 \cdot 10^{-6}})^2} = 50]$$

$$X_L = \omega L = 90 \Omega_{\text{м}}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 50 \Omega_{\text{м}}$$

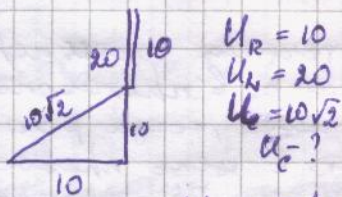
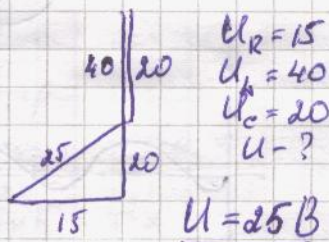
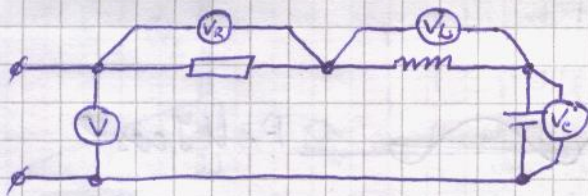
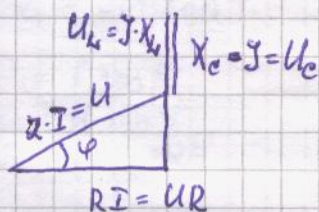
$X_L > X_C$ - ток отстает от напря-ия на угол φ

$$\varphi = \arctg \frac{X}{R} = \arctg \frac{4}{3} \approx 53^\circ$$

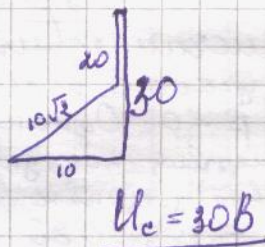
$$i = 5 \sin(500t - 33^\circ)$$

Применённый метод расчёта наз. тригонометрическим и испол. для расчёта простейших цепей синус. тока.

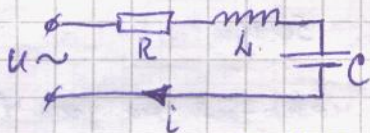
Очевидно, что из трех. сопр-ий могут быть получены аналогичные по виду трех. напряж-ий.



или



Мощность в цепи синус. тока.



$$U = U_m \sin \omega t$$

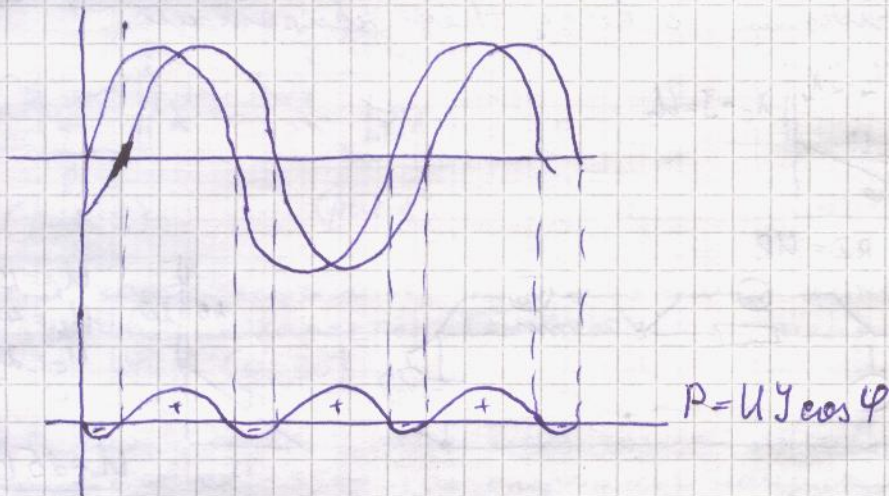
$$I = I_m \sin(\omega t - \varphi)$$

$P = UI$ - измен. по синусоид. закону и
малопримодна для оценки эл. состояний
цепи.

Сред. акт. мощность P :

$$p = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin \omega t \cdot I_m \sin(\omega t - \varphi) dt =$$

$$= \frac{U_m I_m}{T} \int_0^T \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \varphi) dt = UI \cos \varphi$$



При наличии сдвига фаз в течение части периода напр. на участке цепи и ток напр. в противоположн. стороны $p < 0$. Однако часть периода, когда $p > 0$ преобладает $\Rightarrow$ энергия поступает от ист. в цепь преобосх. энергично, возврац. цепью источнику, тем не менее для передачи требуемой мощности нагрузке ист. энерг. и перед. усл-во нагруз. током и напряж. большей силой, что ведёт к дополнил. потери энергии.

$\cos \varphi$ - коэфр. мощности. Чем меньше $\cos \varphi$, тем хуже использ. электроустр. с энерг. точки зрения.

Источниками энергии в сетях тока промышленной частоты служат генераторы, преобр. энергию и передают из одной цепи в другую осущ. посредством трансформаторов. Размеры этих устройств $\sim UI = S$ - полн. мощность.

S - равна той наиб. акт. мощности, кот. генератор может отдать, а трансформатор передать, когда у нагрузки $\cos \varphi = 1$.

Для хар-ки прощ. б-мена энергией между сет. и напр. вв. помещене реак. мощн. Q , кот. по аналогии с акт. мощн., акт. и реакт. сопр. опр-ют так:

$$Q = UI \sin \varphi$$

$$P = I^2 \cos \varphi$$

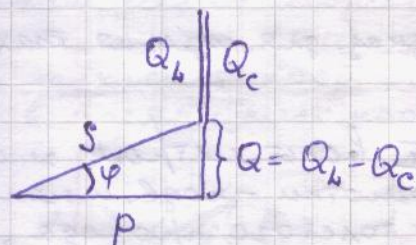
$$Q = UI \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = [B_{\tau}]$$

$$S = [B \cdot A]$$

$$Q = [B \cdot A_p] \text{ (вольт-ампер реакт.)}$$



$$P = UI \cos \varphi$$

$$P = I^2 \cdot Z \cdot \cos \varphi = I^2 R$$

$$Q = UI \sin \varphi$$

$$Q = I^2 Z \sin \varphi = I^2 X =$$

$$= I^2 (X_h - X_c) = I^2 X_h - I^2 X_c$$

$$S = UI = I^2 Z$$

Треуг. мощн. может быть получен из треуг. сопр. умножением каждой из сторон треуг. на I .

Выбор мощности электродинамич. требований для питающих цепей

PROFF

Если в цепи имеются приёмники э. энергии как с индукт., так и с ёмкостными свойствами, то мощ. двигателя считается по формуле

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} ; Q = Q_L - Q_C ;$$

$$P = \sum I^2 R ; Q_L = \sum I^2 X_L ; Q_C = \sum I^2 X_C$$

Измерение токов и потерь

Проводимые приборными короткими цепями. Принцип действия приборов рассл. в курсе э. измер. На каждой стороне прибора став. ярлык, указ. к какой сис-ме прибор отнес.



- э. динам. сис-ма



- механич. сис-ма



- э. мощ. сис.



- электр.-э. сис-ма с подвижными частями



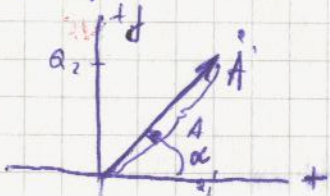
- электр.-э. сис-ма с подвижной частью

различают по действит. средн. тока.

Асимметричные э. вальметки, предопр. для макс. измерен. величин.

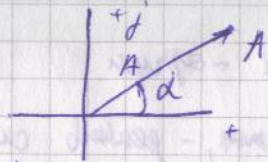
Измерение активной мощности

45



Иногда просят учесть сингулярность
тогда можно вести по z -кан

$$Ae^{j\alpha}$$



PROFF

$$jAe^{j\alpha} = e^{j90^\circ} Ae^{j\alpha} = Ae^{j(\alpha+90^\circ)}$$

Умнож. вектора на j соотв. его повор. на 90° в направлении против часовой стрелки;

$$-jAe^{j\alpha} = Ae^{j(\alpha-90^\circ)}$$



Преобразование синусов. тока

напрям. с исп. пары векторов

Очевидно, что синусов ток равен в базисе $i = \text{Im} [\underbrace{I_{\text{max}} e^{j(\omega t + \varphi_i)}}_{\substack{\text{ампл. функ.} \\ \text{времени}}}] = I_{\text{max}} \sin(\omega t + \varphi_i)$

$$I_{\text{max}} e^{j(\omega t + \varphi_i)} = \underbrace{I_{\text{max}} e^{j\varphi_i}}_{\substack{\text{ампл.} \\ \text{тока}}} e^{j\omega t}$$

I_{max} - ампл. значение, пер. амплитуден. ампл. тока

$$\dot{I}_{\text{max}} = I_{\text{max}} e^{j\varphi_i}$$

Удоб. ампл. ампл. тока на комплекс

49

A - модуль комплекс. числа ; α - аргумент комплекс. числа

PROFF

$$a_1 - \text{действ. часть} \quad a_1 = \text{Re}[\dot{A}] = A \cos \alpha$$

$$a_2 - \text{мним. часть} \quad a_2 = \text{Im}[\dot{A}] = A \sin \alpha$$

$$A = \sqrt{a_1^2 + a_2^2} ; \quad \text{tg } \alpha = \frac{a_2}{a_1}$$

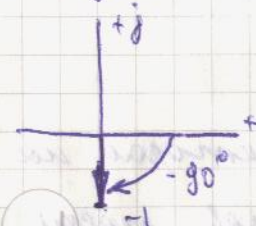
Модуль опер. с комплекс.

числами

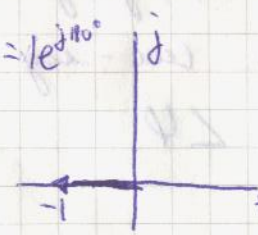
$$j = 0 + j1 = 1 \cdot e^{j90^\circ}$$



$$\frac{1}{j} = \frac{j}{j^2} = -j = 0 - j1 = 1e^{-j90^\circ} = 1e^{j(-90+360)} = 1e^{j270^\circ}$$



$$j^2 = -1 + j0 = 1e^{j180^\circ}$$



48

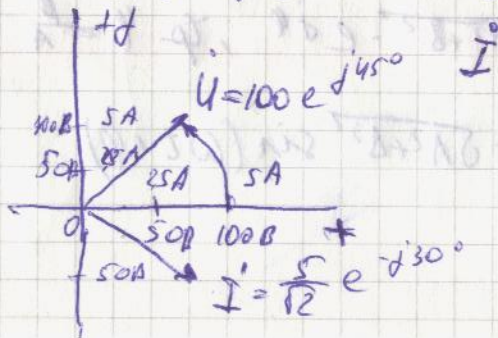


Пример:

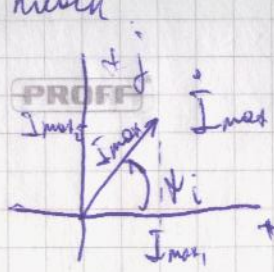
(2) $i(t) = 5 \sin(\omega t - 30^\circ)$ I_{max} ; $\dot{I}$
 $I_{max} = 5 e^{-j30^\circ}$; $\dot{I} = \frac{5}{\sqrt{2}} e^{j30^\circ}$

Вектор норм:

События, расн. по кп векторов, упрощ.
синтез. анализ рунки. одной и той же
соем. Темп. их с соед. проб. отнесен к вект.
относ. гр. упрощ. $\vec{u} [B]$



плоск



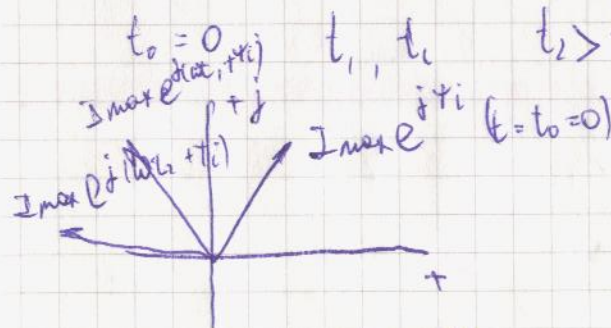
ψ_i - эрүүл.

Imax, - действующая сила

I_{max_1} - минимальная сост.

I_m - модуль

$$I_{\max} e^{j(\omega t + \psi_i)}$$



ejwt - неформальный

Р.о. $\text{Im} \alpha e^{j(\omega t + \varphi)}$ - брзину вектор, проецирующ. на ось ординат в мод. мом. врем. крив. $i(t)$

Можно сказать, что были такие люди

$$I_{\max} \text{ approx. comb. ungroug. moy } i(t)$$

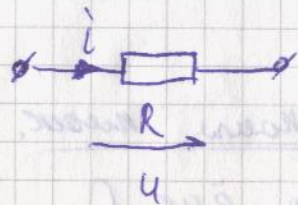
Imo coord. puz. max $I_{\max} = I_{\max} e^{j t} \cos(\omega t)$

$$I_{\max} \sin(\omega t + \phi_i)$$

$$\frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{\max} e^{j\pi/2}}{r_2} = I e^{j\pi/2} = I \quad \text{комплекс.}$$

комплекс.
физ.ч.
матр

Задание. на норм. мск.
мск. и напря. на норм.
компл. R



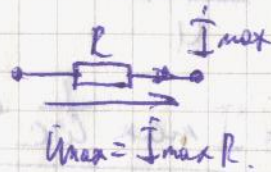
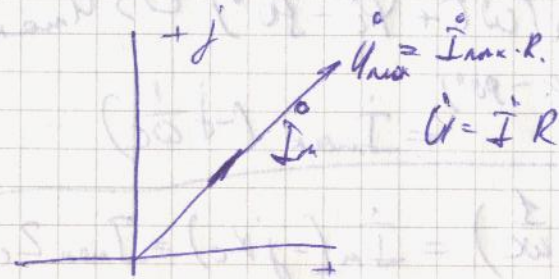
$$i = I_{\max} \sin(\omega t + \psi_i) \Leftrightarrow \dot{I}_{\max}$$

$$u = Ri = \underbrace{I_{\max} R}_{U_{\max}} \sin(\omega t + \psi_i) \quad \psi_u = \psi_i$$

$$\Leftrightarrow U_{\max} = U_{\max} e^{j\psi_i} = I_{\max} R e^{j\psi_i}$$

$$\dot{U}_{\max} = \dot{I}_{\max} R$$

- это две норм. векторы.



Задание. на R, L мск. напря. и
мск. с напря. L

$$u = L \frac{di}{dt} = \dots = \underbrace{I_{\max} \omega L}_{U_{\max}} \sin(\omega t + \psi_i + 90^\circ) =$$

$$= U_{\max} \sin(\omega t + \psi_u) \Leftrightarrow U_{\max} = U_{\max} e^{j\psi_u} =$$

$$= I_{\max} \omega L e^{j(\psi_i + 90^\circ)} = I_{\max} e^{j\psi_i} \omega L e^{j90^\circ} = I_{\max} j \omega L$$

здесь две норм. вектора *53

$$U_{\max} = I_{\max} j \omega L = I_{\max} j \omega L = I_{\max} Z_L$$

Задание. с двумя п. мск. с
норм. мск. мск.

PROFF

$$i_1 = I_{1\max} \sin(\omega t + \psi_{i1})$$

$$i_2 = I_{2\max} \sin(\omega t + \psi_{i2})$$



$$i = I_{1\max} \sin \omega t \cos \psi_{i1} + I_{1\max} \cos \omega t \sin \psi_{i1} +$$

$$+ I_{2\max} \sin \omega t \cos \psi_{i2} + I_{2\max} \cos \omega t \sin \psi_{i2} =$$

$$= (I_{1\max} \cos \psi_{i1} + I_{2\max} \cos \psi_{i2}) \sin \omega t + \dots =$$

$$A \sin \omega t + B \cos \omega t = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \varphi), \text{ где } \varphi = \arctan \frac{B}{A}$$

$$i, \text{ и } \dot{I}_{\max} = I_{1\max} e^{j\psi_{i1}}$$

$$i, \text{ и } \dot{I}_{\max} = I_{2\max} e^{j\psi_{i2}}$$

$$\dot{I}_{1\max} + \dot{I}_{2\max} = I_{1\max} \cos \psi_{i1} + j I_{1\max} \sin \psi_{i1} +$$

$$+ I_{2\max} \cos \psi_{i2} + j I_{2\max} \sin \psi_{i2} =$$

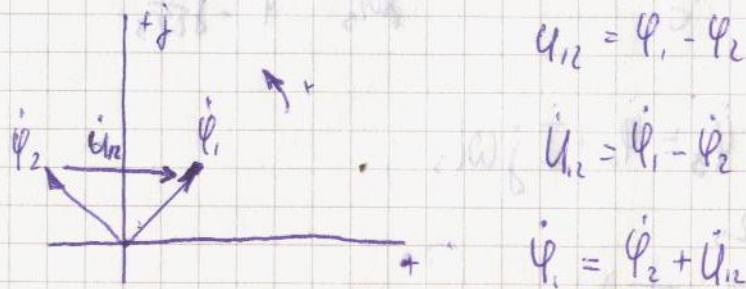
$$= A + j B = \sqrt{A^2 + B^2} e^{j\varphi}, \text{ где } \varphi = \arctan \frac{B}{A} - \dot{I}_{\max}$$

$$\dot{I}_{\max} \text{ и } i(t) = \sqrt{A^2 + B^2} \sin(\omega t + \varphi)$$

52

Полосаритическая сеть - сеть, состоящая из элементов, в которых связь между током и напряжением характеризуется фазовым сдвигом $\varphi(t)$ - функцией времени и изменением по синусоидальной форме.

Порядок такой, как в составной сети и напряжении можно поставить катод, а ток и потенциал можно поставить в состав катодного элемента.



$$U_{12} = \psi_1 - \psi_2$$

$$\dot{U}_{12} = \dot{\psi}_1 - \dot{\psi}_2$$

$$\dot{\psi}_1 = \dot{\psi}_2 + \dot{U}_{12}$$

U_{12} - вектор напряжений

Напряжения U_{12} на катодном элементе, представляющем вектор напряжения в точку с потенциалом ψ_1 из точки с потенциалом ψ_2 .

Полосаритическая сеть (ТД) представляет собой совокупность элементов, в которых связь между током и напряжением характеризуется фазовым сдвигом $\varphi(t)$ - функцией времени и изменением по синусоидальной форме.

Катодный потенциал составной сети.

55

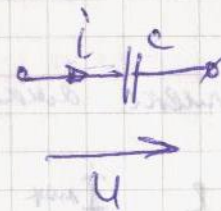
$$\dot{U} = \dot{I} Z_L$$

$$Z_L = j X_L = j \omega L$$



$$\dot{U}_m = \dot{I}_m j X_L$$

Представим не катодный ток, а напряжение и ток на ёмкости.



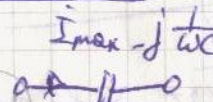
$$U = \frac{1}{C} \int i dt = \dots = I_{max} \frac{1}{\omega C} \sin(\omega t + \varphi_i - 90^\circ) \Rightarrow \dot{U}_{max} =$$

$$= I_{max} \frac{1}{\omega C} e^{j(\varphi_i - 90^\circ)} = I_{max} (-j \frac{1}{\omega C})$$

$$\dot{U}_{max} = I_{max} (-j \frac{1}{\omega C}) = \dot{I}_m (-j X_C) = I_{max} Z_C$$

$$\dot{U} = \dot{I} Z_C$$

$$Z_C = -j \frac{1}{\omega C}$$

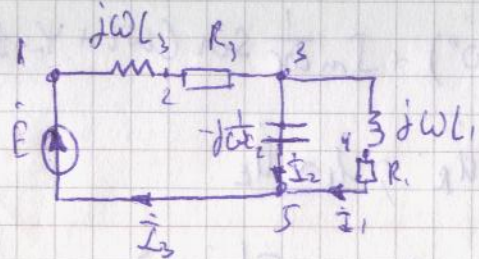


$$\dot{U}_{max} = I_{max} (-j \frac{1}{\omega C})$$

$$\dot{U}_m = \dot{I}_m / j \omega C$$



54

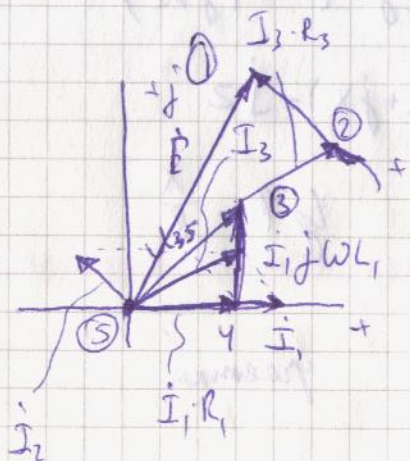


$$\varphi_5 = 0$$

$$\varphi_4 = \varphi_5 + I_1 R_1$$

$$\varphi_3 = \varphi_4 + I_1$$

PROFF



Посмотрим U_{35}

Определим I_2

Покажем $I_3 = I_1 + I_2$

$$\varphi_2 = \varphi_3 + I_3 \cdot R_3$$

$$\dot{E} = U_{15}$$

ТД цен. где кон. проверки правильности
проверки проекта эл. схем.

Основные законы теории

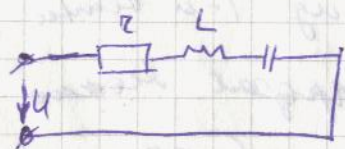
эл. цепей в канале.

Виды

$$i = I_{\max} \sin \omega t$$

R; L; C

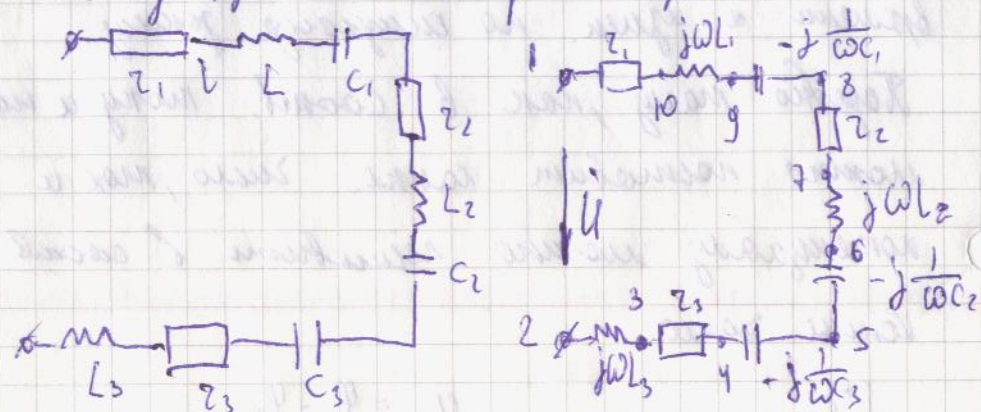
$$U = ? \ominus I_{\max} \cdot R \sin(\omega t + \varphi_i) +$$



$$U = U_R + U_L + U_C \ominus$$

цен. ТД настр. ТД повор. отно
из морен при равнии 0, а остальные
расчитаны с гр. симметрии и парам. цен.

Обход принято выбирать против тока

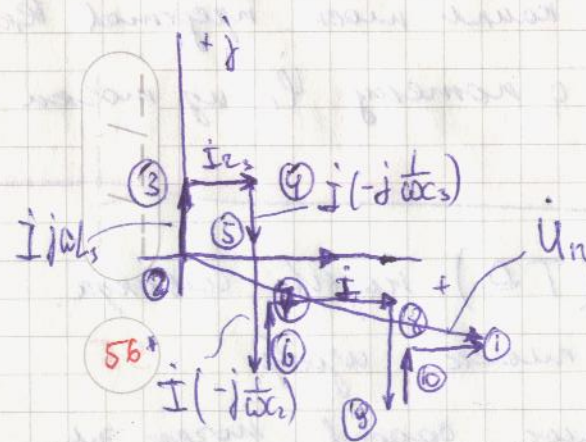


$$\varphi_2 = 0 \quad \varphi_3 = \varphi_2 + I j\omega L_3$$

$$\varphi_4 = \varphi_3 + I_2 R_3$$

$$\varphi_5 = \varphi_4 + I (-j \frac{1}{\omega C_1})$$

$$\varphi_6 = \varphi_5 + I (-j \frac{1}{\omega C_2})$$



2-й закон Кирхгофа для групп контуров, состав. из n перв. ветвей

$$\sum_{n=1}^N \dot{E}_n = \sum_{n=1}^N \dot{I}_n Z_n$$

1-й закон Кирхгофа для м.б. из узлов

$$\sum_{\text{узл.}} \dot{I} = 0$$

Сущность символического метода

Выше показали, что для конт. схем. сетей, напис. и. д.д.с. верные законы Ома и Кирхгофа $\Rightarrow$ расчёт разл. схем. можно свести к расчёту эквив. схем., а расчёт эквив. схем. можно вести с исп. всех методов расчёта, введенных из законов Ома и Кирхгофа (МВП, МЭГ, МКТ и т.п.)

Пример:

$$+ I_{\max} \omega L \sin(\omega t + \varphi_1 + 90^\circ) + I_m \frac{1}{\omega C} \sin(\omega t + \varphi_2 - 90^\circ)$$

$$e \sim \dot{E} ; u \sim \dot{U} ; u_R \sim \dot{U}_R ; u_C \sim \dot{U}_C$$

$$\begin{aligned} \dot{E} = \dot{U} &= \dot{U}_R + \dot{U}_L + \dot{U}_C = \dot{I} R + \dot{I} j X_L + \dot{I} (-j X_C) = \\ &= \dot{I} [R - j(X_C - X_L)] = \dot{I} (R + jX) = \dot{I} Z \end{aligned}$$

$$Z = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} e^{j\varphi} \quad \tan \varphi = \frac{X}{R}$$

Z - числ. сопротив. r цепи

R - актив. состав

X - реактив. сопр.

Z - велич. числ. сопр.

φ - фаз. кач. сопр.

Закон Ома для расч. цепи эквив.

$$\dot{U}_m = \dot{I} Z$$

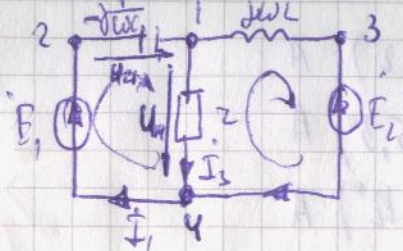
$$\dot{E} = \dot{I} Z$$

2-й закон Кирхгофа для

прост. контура, состав. из 1-й ветви.

Знаю. Вспомогат. метод

показать, что м.б. замкнут.



$$j\omega L = j1000 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = j5 \text{ Ом}$$

$$-j\frac{1}{\omega C} = -j2 \text{ Ом}$$

$$\hat{E}_1 = 100e^{j0} = 100 \text{ В}$$

$$\hat{E}_2 = 100e^{j90} = j100$$

$$\begin{cases} \hat{I}_1 Z_{11} + \hat{I}_2 Z_{12} = \hat{E}_{11} \\ \hat{I}_1 Z_{21} + \hat{I}_2 Z_{22} = \hat{E}_{22} \end{cases}$$

$$Z_{11} = 5 - j2$$

$$Z_{22} = 5 + j5$$

$$Z_{12} = Z_{21} = -5$$

$$\hat{E}_{11} = \hat{E}_1 = 100$$

$$\hat{E}_{22} = -\hat{E}_2 = -j100$$

$$\begin{cases} (5 - j2)\hat{I}_1 - 5\hat{I}_2 = 100 \\ -5\hat{I}_1 + (5 + j5)\hat{I}_2 = -j100 \end{cases}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 5 - j2 & -5 \\ -5 & 5 + j5 \end{vmatrix} = 10 + j15$$

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} 100 & -5 \\ -j100 & 5 + j5 \end{vmatrix} = 500$$

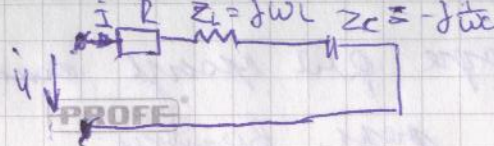
$$\Delta_2 = 300 - j500$$

$$\hat{I}_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 15,4 - j23$$

$$\hat{I}_2 = \frac{\Delta_2}{\Delta} = -15,8 - j29,2$$

$$\begin{cases} \hat{I}_1 = \hat{I}_{11} = 15,4 - j23 \\ \hat{I}_2 = \hat{I}_{22} = -13 - j29,2 \\ \hat{I}_3 = \hat{I}_{11} - \hat{I}_{22} = 28,2 - j6,2 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \hat{I}_1 \cup i_1(t) &= 27,68e^{j6,2} \\ \hat{I}_2 \cup i_2(t) &= 32,3e^{j18,7} \\ \hat{I}_3 \cup i_3(t) &= 29,8e^{j120} \end{aligned}$$



$$Z = R + j\omega L - j\frac{1}{\omega C} = R + jX = \sqrt{R^2 + X^2} e^{j\arctg \frac{X}{R}} = Z e^{j\varphi}$$

$$i \cos I = I e^{j\varphi_i}$$

$$U = IZ = I e^{j\varphi_i} Z e^{j\varphi} = IZ e^{j(\varphi_i + \varphi)} = U e^{j\varphi_u}$$

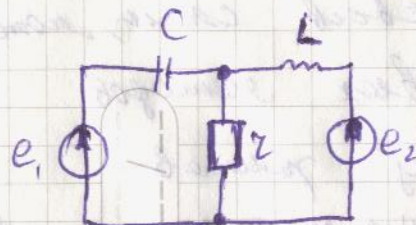
$$u(t) = U\sqrt{2} \sin(\omega t + \varphi_u)$$

примен. для синусоид. токов и напряж. состав. этими ток. и напряж. можно изобр. (неких символов) получить некое число метода расчета.

алгоритм применения симв.

метода

Пример:



$$C = 500 \text{ мкФ}$$

$$Z = 5 \text{ Ом}$$

$$L = 5 \text{ мГн}$$

$$e_1 = 100\sqrt{2} \sin(1000t) \text{ В}$$

$$e_2 = 100\sqrt{2} \sin(1000t + 90^\circ) \text{ В}$$