Астраханский государственный технический университет

Кафедра электротехники

Методические указания к самостоятельной работе студентов

Однофазные цепи синусоидального тока

Разработчик: ассистент Сенина О.А.
Научный консультант: профессор Зайнутдинова Л.Х.

Начать работу

Основные теоретические сведения

- Переменный электрический ток – это ток, изменяющийся с течением времени.

- Значение этой величины в рассматриваемый момент времени называется мгновенным значением тока i.

Продолжить

- Наиболее распространен переменный синусоидальный ток, являющийся синусоидальной функцией времени.

- Переменный синусоидальный сигнал характеризуется:
  - периодом T, который выражается в секундах (с),
  - частотой f - величиной, обратной периоду, выражается в герцах (Гц).
  - круговой частотой $\omega = 2\pi f$ (1/с).

Продолжить

- Мгновенное значения тока:

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i),$$

где i – мгновенное значение тока, А;

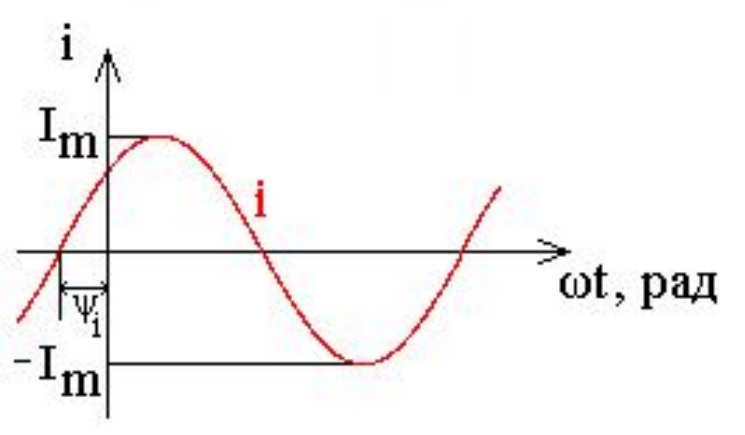
I_m – амплитудное значение тока, А;

ω – круговая (угловая) частота, 1/с;

ψ_i – начальная фаза тока;

t – время, с.

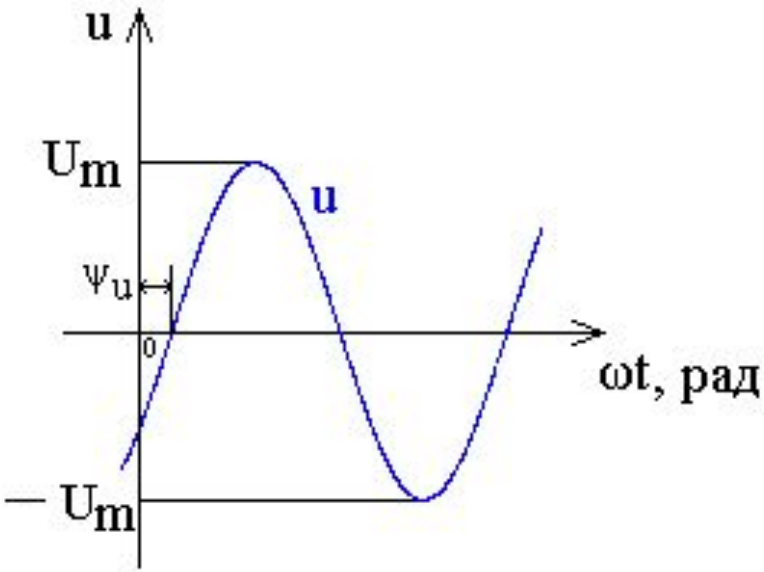
Синусоидальные величины принято изображать графиками в виде зависимости от ωt. На данном графике $\psi_i > 0$.

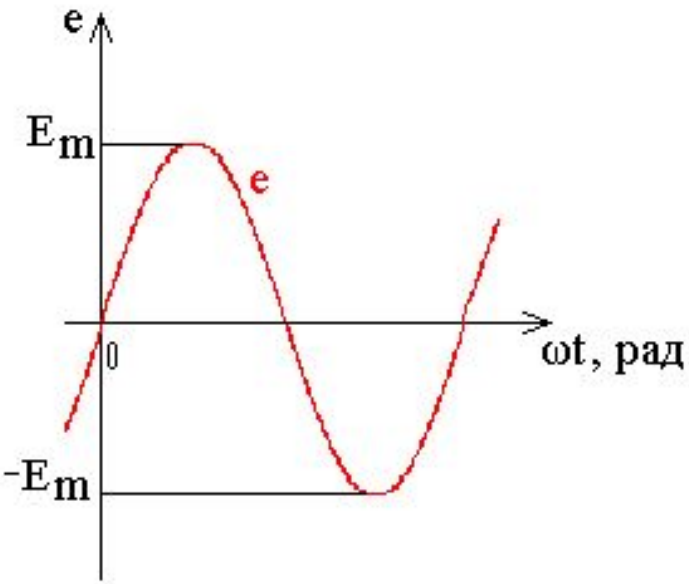


Продолжить

- Аналогично выражаются мгновенные значения напряжения и ЭДС.

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u), \quad e = E_m \sin(\omega t + \psi_e)$$





На данных графиках $\psi_u<0$, $\psi_e=0$.

Продолжить

Начальная фаза тока (ЭДС, напряжения) ψ_i, ψ_e, ψ_u – это значение фазы в момент времени $t = 0$.

Разность начальных фаз двух синусоидальных величин одной и той же частоты называют сдвигом фаз.

Сдвиг фаз между напряжением и током определяется вычитанием начальной фазы тока из начальной фазы напряжения:

$$\varphi = \psi_u - \psi_i$$

Продолжить

- Действующее значение переменного тока (ЭДС, напряжения) – это среднеквадратичное значение переменного тока (ЭДС, напряжения) за период *T*.
- Если ток, ЭДС или напряжение изменяются по синусоидальному закону, то действующее значение составляет :

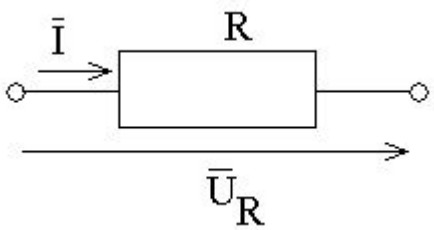
$$\mathbf{I} = \mathbf{I}_m / \sqrt{2}$$

$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_m / \sqrt{2}$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_m / \sqrt{2}$$

Продолжить

Цепь переменного тока с резистивным элементом



- В резистивном элементе происходит преобразование электрической энергии в тепловую.
- Если приложено синусоидально изменяющееся напряжение

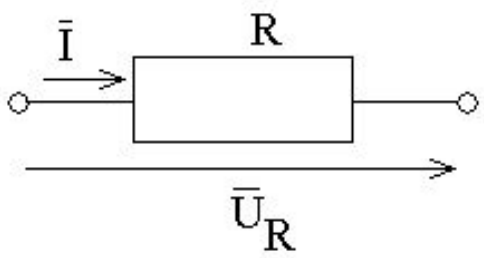
$$u = U_m \sin \omega t,$$

То, по закону Ома, мгновенное значение тока в цепи:

$$i = u/R = (U_m/R) \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

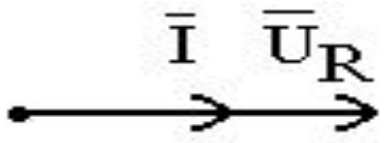
Продолжить

Цепь переменного тока с резистивным элементом



$$U_{Rm}=R\ I_m$$

$$U_R=R\ I$$



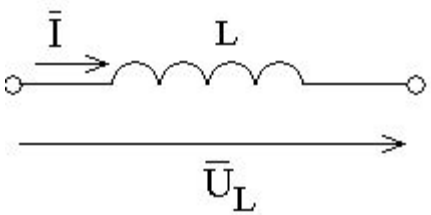
Напряжение и ток совпадают по фазе и в любой момент времени значения тока и напряжения пропорциональны друг другу.

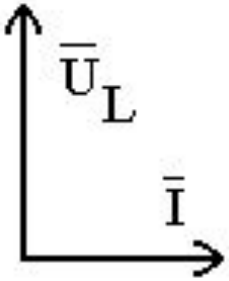
Продолжить

Цепь переменного тока с индуктивным элементом

- Индуктивный элемент создает магнитное поле.
- Если ток синусоидальный $i = I_m \sin \omega t$, то тогда

$$u = -e = L\,(d\,i/d\,t) = U_{Lm} \cos \omega t = U_{Lm} \sin(\omega t + \pi/2)$$





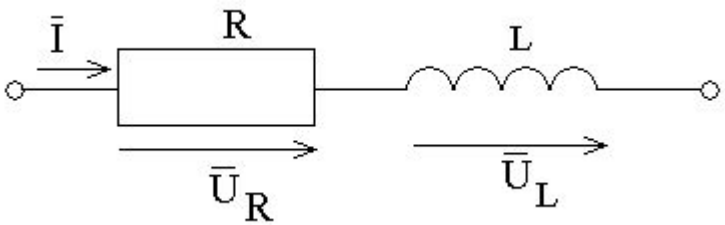
$$U_{Lm} = \omega L\, I_m$$

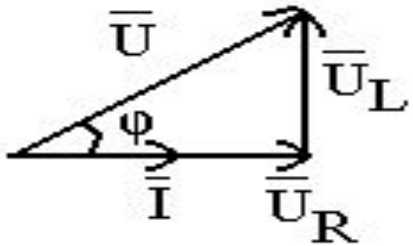
Величина $X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление, Ом.

Напряжение на индуктивном элементе по фазе опережает ток на угол $\varphi = \pi/2$.

Продолжить

Неразветвленная цепь переменного тока с резистивным и индуктивным элементами

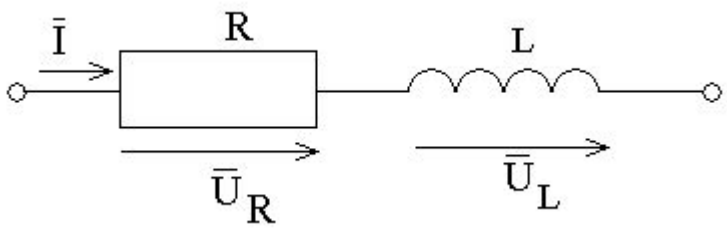


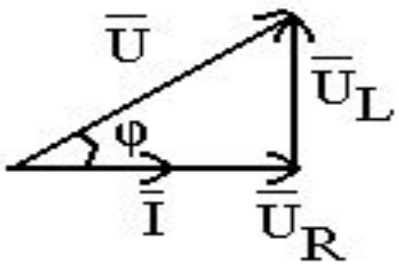


$$\overline{U} = \overline{U}_R + \overline{U}_L$$

Продолжить

Неразветвленная цепь переменного тока с резистивным и индуктивным элементами





Напряжение опережает по фазе ток на угол φ:

$$\varphi = \mathrm{arctg}\frac{U_L}{U_R} = \mathrm{arctg}\frac{X_L}{R}$$

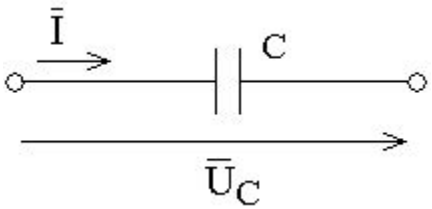
Действующее значение напряжения U (В): $U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}$

Полное сопротивление цепи Z (Ом): $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

Ток в цепи I (А): $I = \dfrac{U}{Z}$

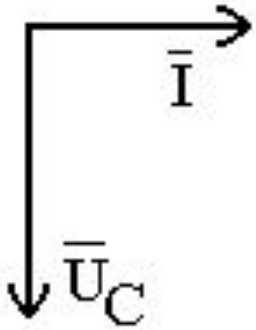
Продолжить

Цепь с емкостным элементом



Емкостный элемент создает электрическое поле.

Если в цепи проходит ток $i=I_m\sin(\omega t)$, $i=dq/dt=C(du_C/dt)$, то тогда напряжение



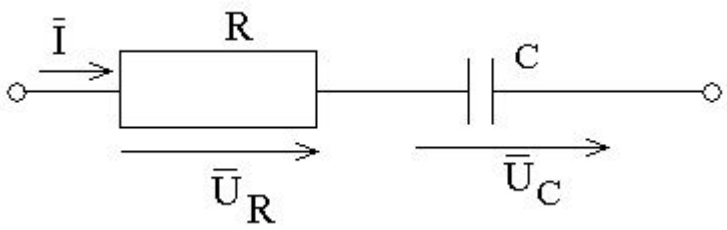
$$u_C = \frac{1}{C}\int idt = \frac{1}{\omega C} I_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

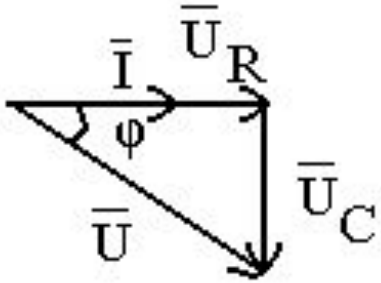
то есть напряжение отстает от тока на угол $\pi/2$.

Действующее значение тока в цепи: $I=U/X_C$, где $X_C=1/(\omega C)$ – емкостное сопротивление, Ом.

Продолжить

Неразветвленная цепь переменного тока с резистивным и емкостным элементами





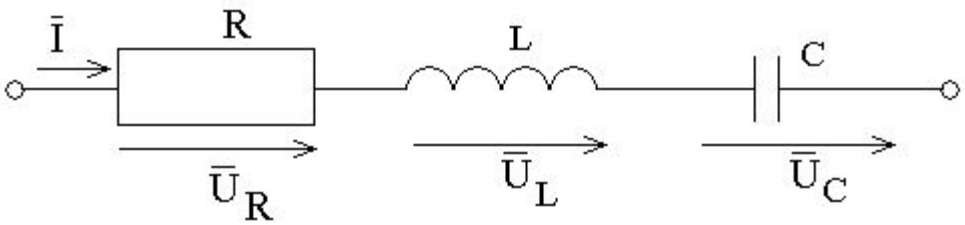
Напряжение на зажимах цепи $\overline{U} = \overline{U}_R + \overline{U}_C$

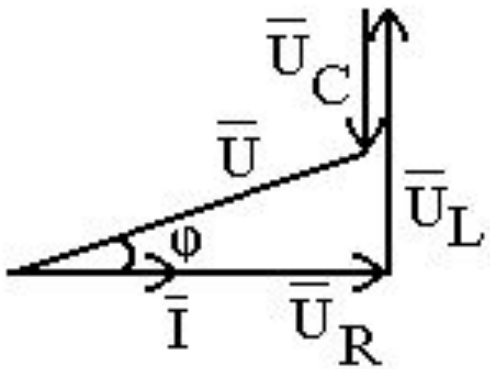
Действующее значение напряжения $U = I\sqrt{R^2 + X_c^2} = IZ$

Разность фаз $\varphi = \mathrm{arctg}\dfrac{-X_C}{R}$

Продолжить

Неразветвленная цепь переменного тока с резистивным, индуктивным и емкостным элементами





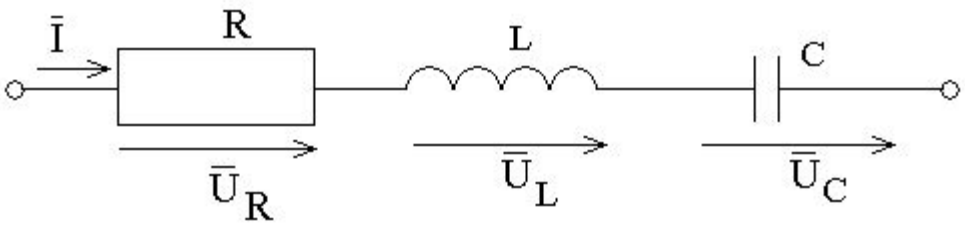
Значение напряжения на зажимах этой цепи равно сумме значений трех составляющих:

$$\overline{U} = \overline{U}_R + \overline{U}_L + \overline{U}_C$$

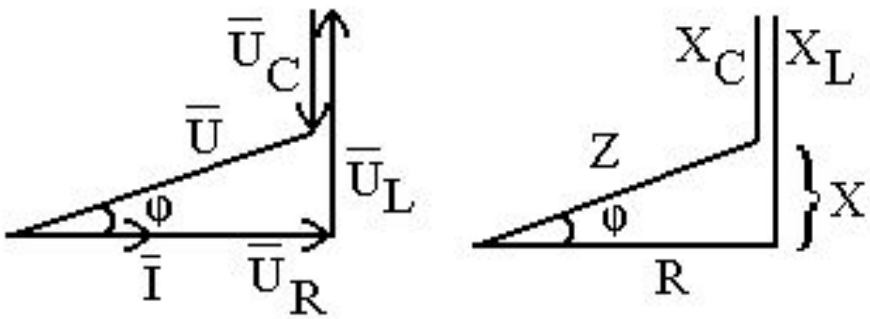
Действующее значение $U = \sqrt{U_R + (U_L - U_C)^2}$

Продолжить

Неразветвленная цепь переменного тока с резистивным, индуктивным и емкостным элементами



Сдвиг фаз между напряжением и током:



$$\varphi = \mathrm{arctg}\frac{U_L - U_C}{U_R} = \mathrm{arctg}\frac{X}{R}$$

$X = X_L - X_C$ – реактивное сопротивление

Продолжить

Мощности цепи

Активная мощность, Вт:

$$P = U\,I\cos\varphi = U_R I = I^2 R$$

Реактивная мощность, вар:

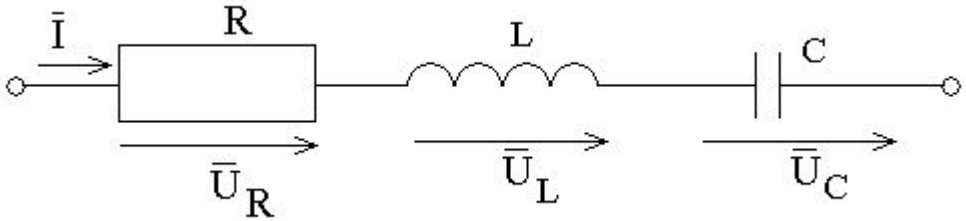
$$Q = U\,I\sin\varphi = (U_L - U_C)I = I^2 X$$

Полная мощность, ВА:

$$S = U\,I = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Продолжить

Резонанс напряжений



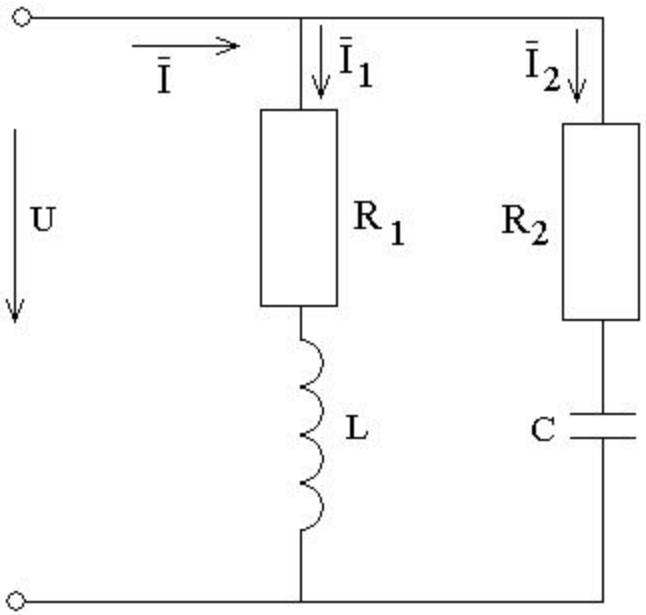
В неразветвленной цепи R-L-C при равенстве реактивных сопротивлений $X_L=X_C$ наступает резонанс напряжений

Полное сопротивление принимает минимальное значение, равное активному сопротивлению: $Z = R$.

Падения напряжений U_L и U_C находятся в противофазе. При резонансе $U_L=U_C$ равны между собой и приобретают максимальное значение. Ток в цепи имеет наибольшее значение $I=U/R$ и совпадает по фазе с напряжением, то есть $\varphi=0$ и коэффициент мощности $\cos\varphi=1$.

Продолжить

Цепь с параллельными ветвями



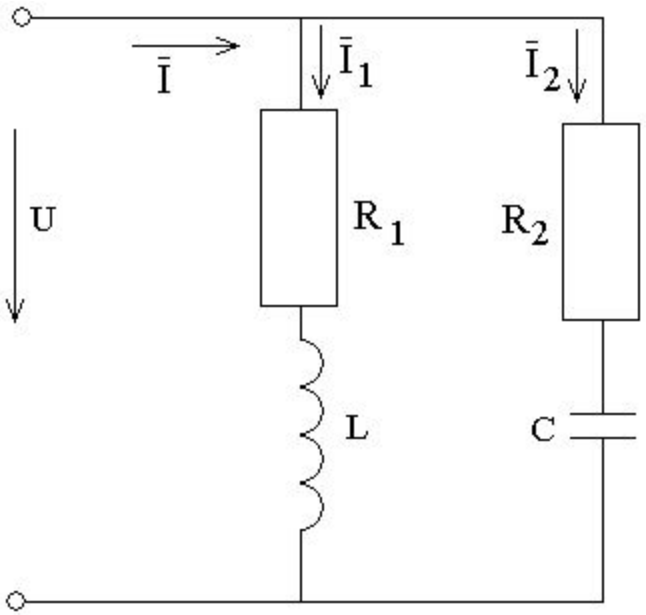
Рассмотрим разветвленную цепь, состоящую из двух ветвей.

Ток неразветвленной части цепи может быть определен по закону Ома: $I = U/Z = UY$, где Y-полная проводимость цепи.

$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

Продолжить

Цепь с параллельными ветвями



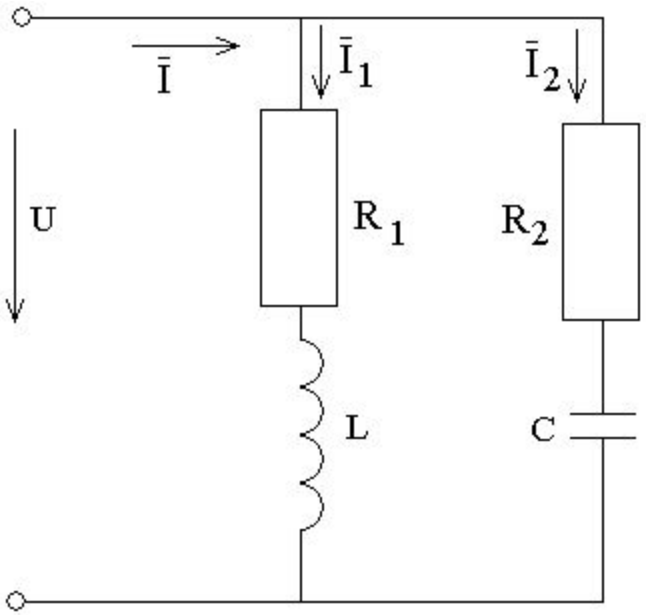
$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

Активная проводимость цепи **G** равна арифметической сумме активных проводимостей параллельных ветвей:

$$G = G_1 + G_2 = \frac{R_1}{Z_1^2} + \frac{R_2}{Z_2^2}$$

Продолжить

Цепь с параллельными ветвями



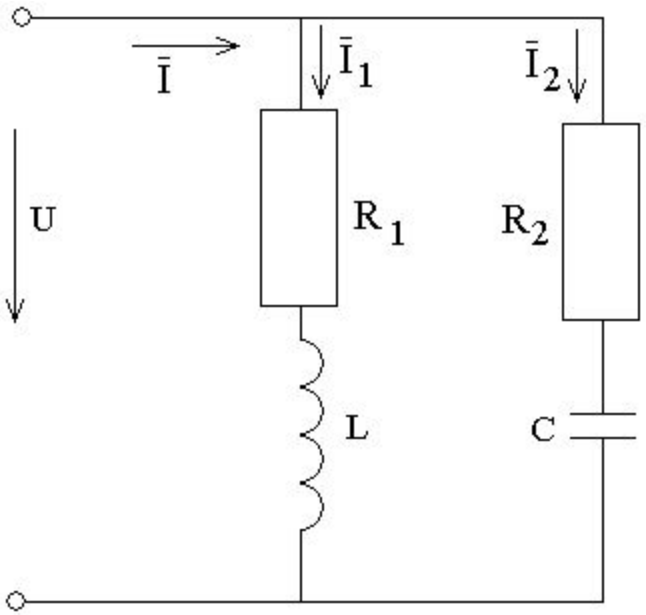
$$Y = \frac{1}{Z} = \sqrt{G^2 + B^2}$$

Реактивная проводимость цепи B равна разности индуктивных и емкостных проводимостей параллельных ветвей.

$$B = B_L - B_C = \frac{X_L}{Z_1^2} - \frac{X_C}{Z_2^2}$$

Продолжить

Цепь с параллельными ветвями

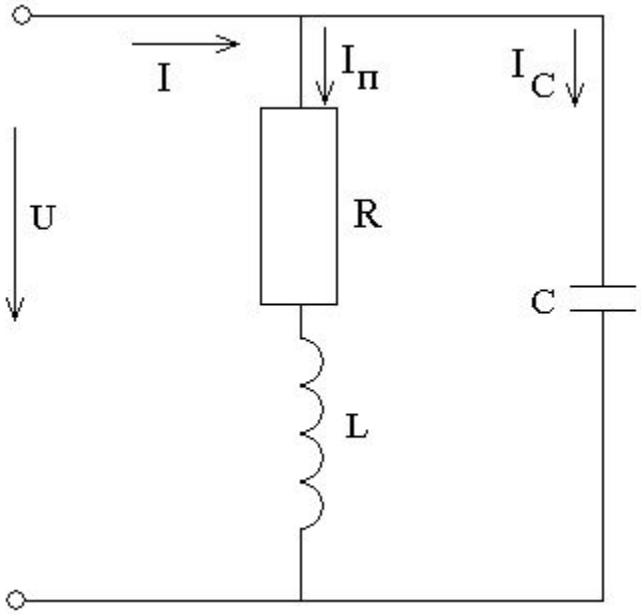


В цепи можно получить резонанс токов при условии равенства проводимостей $B_L=B_C$, тогда полная проводимость цепи $Y=G$. Угол сдвига фаз φ между током I и напряжением U в неразветвленной части цепи равен нулю, так как реактивные составляющие токов в ветвях I_{p1} и I_{p2} равны между собой и находятся в противофазе.

Цепь обладает только активной мощностью.

Продолжить

Компенсация реактивной мощности

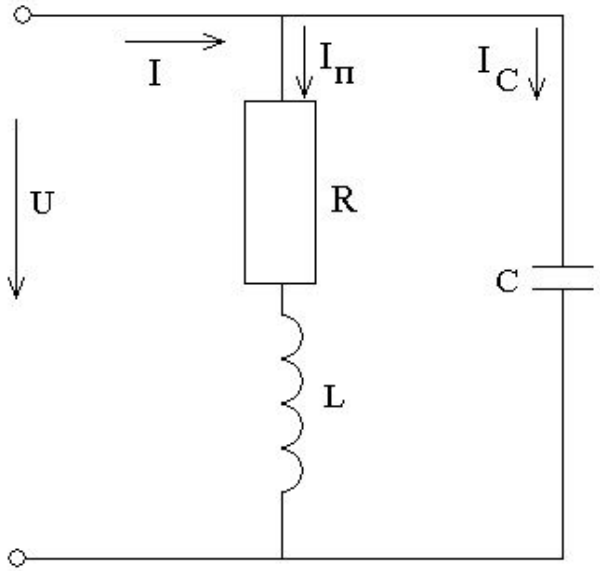


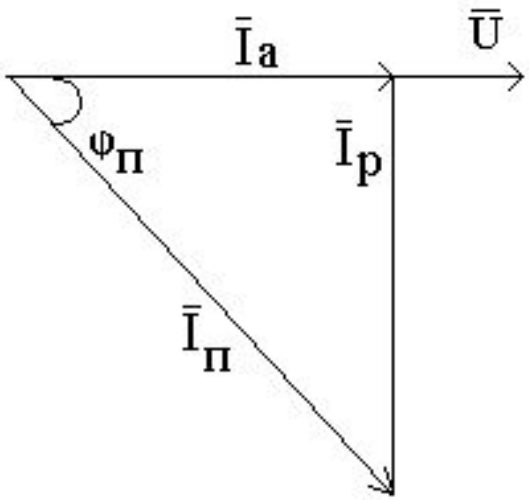
Идея компенсации реактивной энергии индуктивного потребителя заключается в подключении к нему емкостного потребителя, в результате чего потребление реактивной энергии всей установкой уменьшается.

Схема замещения индуктивного потребителя содержит резистивный и индуктивный элементы с сопротивлениями R и X_L, активная мощность P и напряжение U потребителя заданы.

Продолжить

Компенсация реактивной мощности





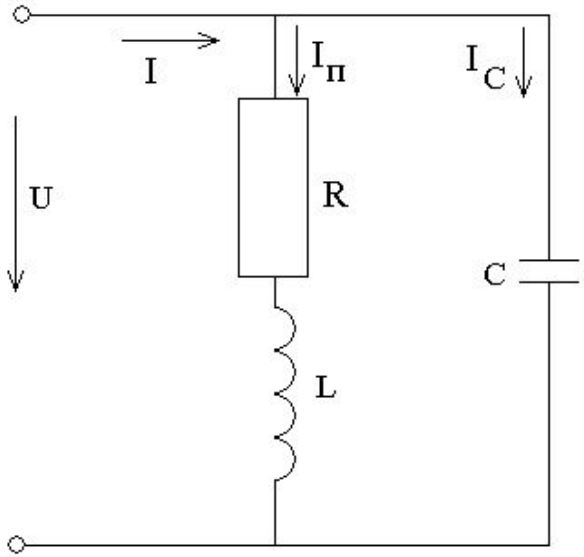
Ток потребителя $I_п$ отстает по фазе от напряжения U на угол $\varphi_п$ и может быть представлен как сумма двух составляющих: активной I_a и реактивной I_p.

Активная составляющая тока Ia определяет его активную мощность P=UIa и при заданных значениях P и U должна остаться неизменной.

Возможно уменьшение реактивной составляющей тока Ip.

Продолжить

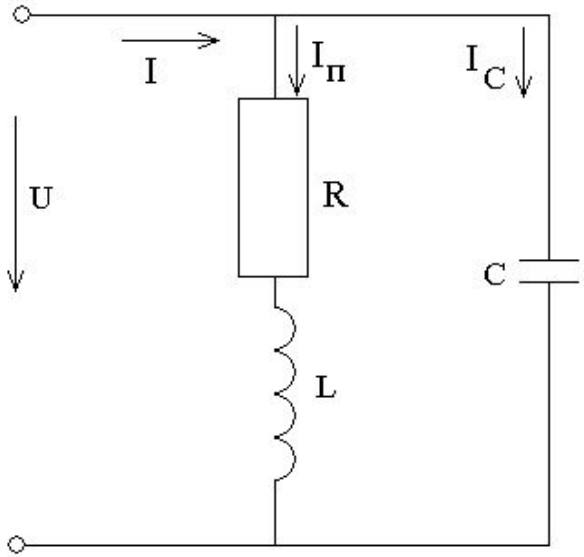
Компенсация реактивной мощности

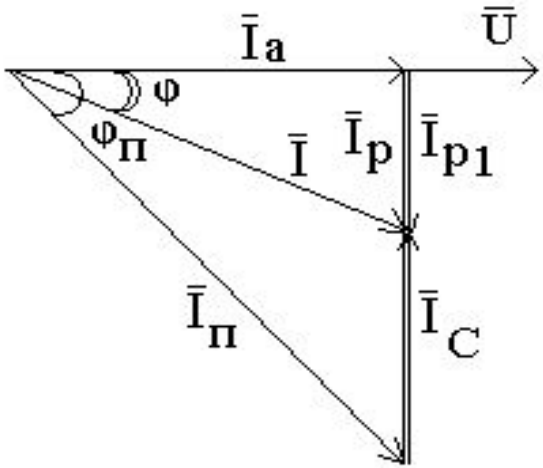


Необходимо включить параллельно индуктивному потребителю батарею конденсаторов, чтобы повысить коэффициент мощности потребителя $\cos \varphi_п$ до заданного значения $\cos \varphi$.

Продолжить

Компенсация реактивной мощности





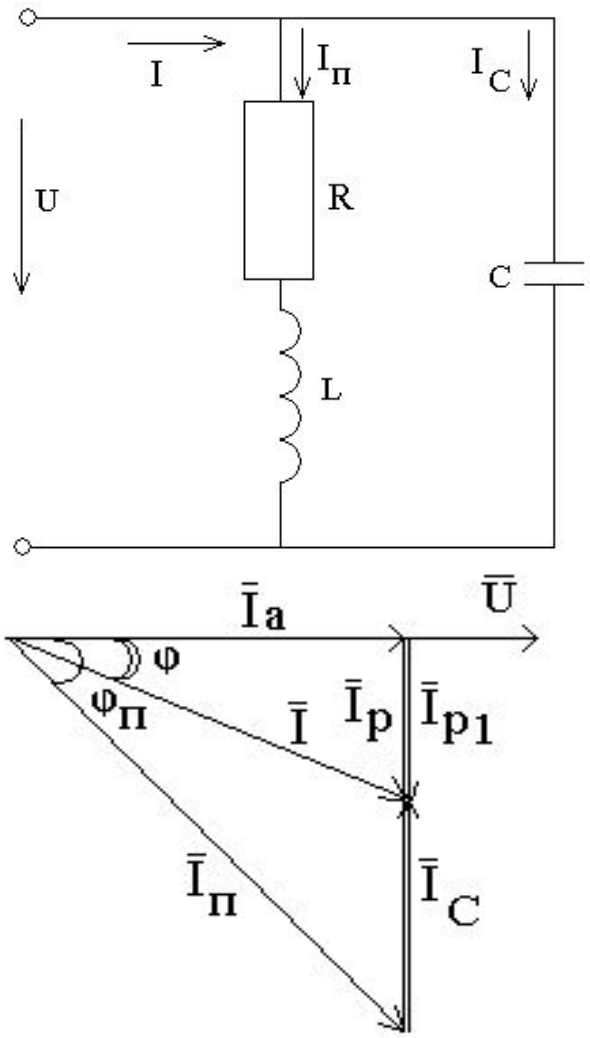
Ток батареи конденсаторов I_C, которая подключается параллельно индуктивному потребителю, должен быть равен разности реактивных составляющих токов потребителя до компенсации I_p и после компенсации I_{p1}.

$$I_C = I_p - I_{p1} = I_a \operatorname{tg}\varphi_п - I_a \operatorname{tg}\varphi =$$

$$= I_a(\operatorname{tg}\varphi_п - \operatorname{tg}\varphi)$$

Продолжить

Компенсация реактивной мощности



С другой стороны, ток

$I_C=U/X_C$, $I_a=P/U$

Тогда $$U\omega C=\frac{P}{U}(\mathrm{tg}\varphi_п-\mathrm{tg}\varphi)$$

Откуда искомое значение емкости конденсатора

$$C=\frac{P}{\omega U^2}(\mathrm{tg}\varphi_п-\mathrm{tg}\varphi)$$

Обычно при помощи батареи компенсацию реактивной мощности осуществляют до $\cos\varphi=0{,}90\div0{,}95$.

Продолжить

Практическое задание

К однофазной цепи синусоидального тока напряжением $U_{ном}$=220 В подключены потребители:

однофазный трансформатор ОСМ-0,16, cos φ=0,8;

однофазный асинхронный двигатель ДГ-2-0,14, $P_{ном}$=140Вт, η=66%, cos φ=0,65;

светильники 60 Вт, 2 штуки.

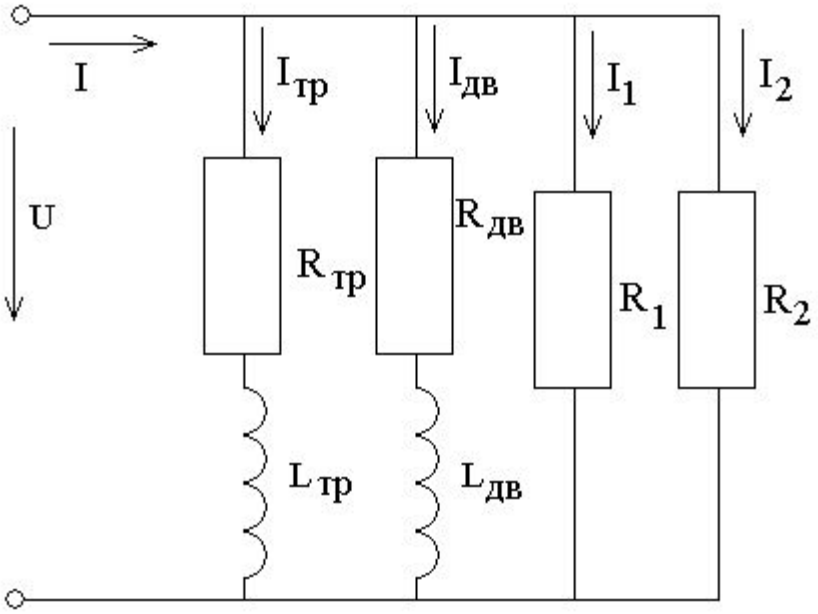
Составить эквивалентную схему замещения потребителей и определить параметры ее элементов.

Рассчитать емкость батареи конденсаторов, которую нужно подключить к потребителю для снижения реактивной мощности до нуля.

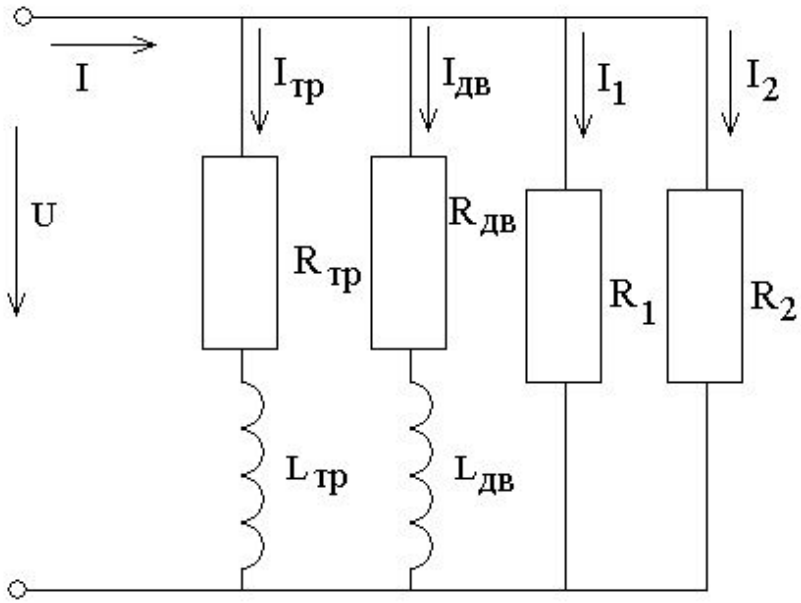
Продолжить

1. Составление эквивалентной схемы замещения потребителей

Схемы замещения трансформатора и двигателя представляют собой совокупности активного и индуктивного элементов, светильники являются активными элементами. Все потребители соединяются параллельно.



Продолжить



Для определения параметров схемы замещения рассматриваем каждую из параллельных ветвей цепи отдельно.

Расчет трансформатора:

Число 0,16 в маркировке трансформатора означает его полную мощность, выраженную в киловольтамперах, то есть:

$S_{тр}$=0,16 кВА =160 ВА $P_{тр}=S_{тр}\cos\varphi_{тр}$=128 Вт

ток $I_{тр}=S_{тр}/U$=160/220=0,727 А

сопротивления: $Z_{тр}=U/I_{тр}$=220/0,727=302,613 Ом

$R_{тр}=P_{тр}/I_{тр}^2$=128/0,727^2=242,182 Ом

$$X_L=\sqrt{Z_{тр}^2-R_{тр}^2}=181{,}446\ \text{Ом}$$

индуктивность $L_{тр}=X_L/2\pi f$=0,578 Гн

Продолжит

Расчет двигателя:

Сначала необходимо определить активную мощность, потребляемую двигателем из сети:

$P_{дв}=P_{ном}/\eta_{дв}=140/0,66=212,121$ Вт

полная мощность $S_{дв}=P_{дв}/\cos\varphi_{дв}=212,121/0,65=326,34$ ВА

ток $I_{дв}=S_{дв}/U=326,34/220=1,483$ А

сопротивления:

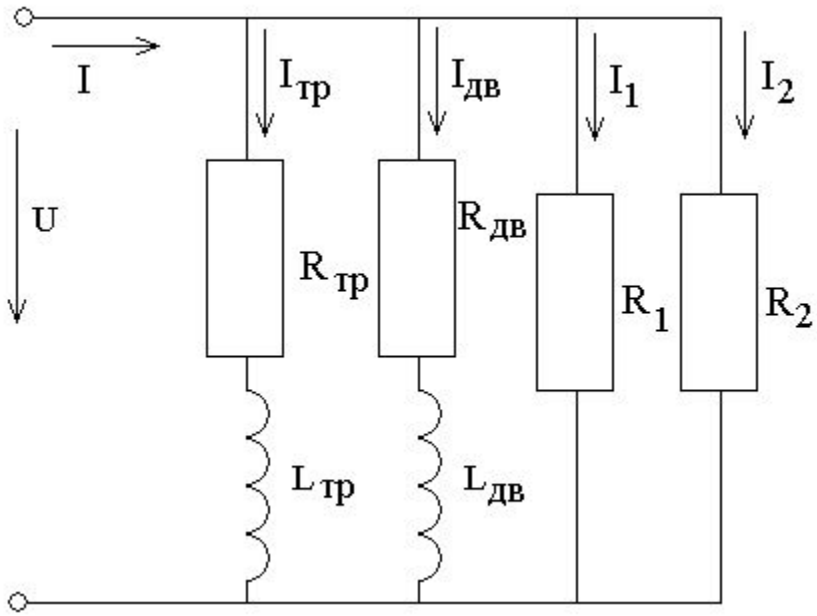
$Z_{дв}=U/I_{дв}=220/1,483=148,348$ Ом

$R_{дв}=P_{дв}/I_{дв}^2=212,121/1,483^2=96,45$ Ом

$$X_{L\,дв}=\sqrt{Z_{дв}^2-R_{дв}^2}=112,714\ \text{Ом}$$

индуктивность $L_{дв}=X_{Lдв}/2\pi f=0,359$ Гн

Продолжит



Расчет светильников

Так как мощность светильников одинакова, значит параметры светильников будут равны между собой:

токи

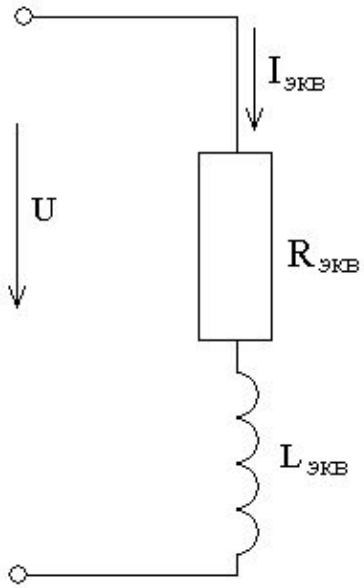
$I_1=I_2=P_{св}/U=60/220=0,273$ А

сопротивления

$R_1=R_2=P_{св}/I^2=60/0,273^2=$
$=805,056$ Ом

Продолжит

Свернем данную схему в ей эквивалентную методом активно-реактивных проводимостей



Определяем проводимости:

активные:

$G_{тр}=R_{тр}/Z_{тр}^2=242,182/302,613^2=0,002644$ См

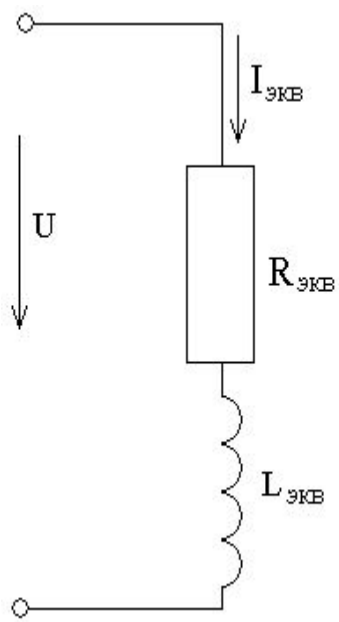
$G_{дв}=R_{дв}/Z_{дв}^2=96,45/148,348^2=0,004383$ См

$G_1=G_2=1/R_1=1/R_2=1/805,056=0,001242$ См

Эквивалентная активная проводимость цепи:

$G=G_{тр}+G_{дв}+G_1+G_2=0,009511$ См

Продолжить



Определяем проводимости:

реактивные:

$B_{тр}=X_{Lтр}/Z_{тр}^2=181,446/302,613^2=0,001981$ См

$B_{дв}=X_{Lдв}/Z_{дв}^2=112,714/148,348^2=0,005122$ См

$B_1=B_2=0$

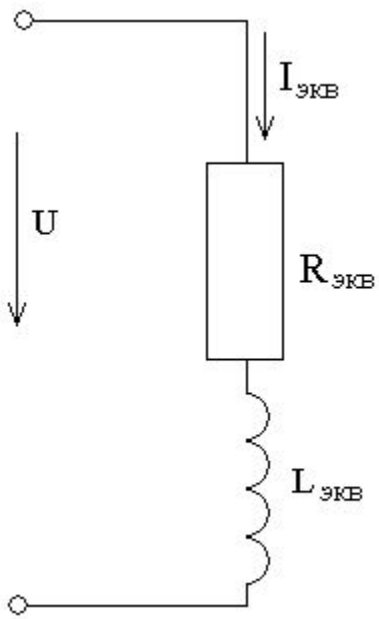
Эквивалентная реактивная проводимость цепи:

$B=B_{тр}+B_{дв}=0,007103$ См

Эквивалентная полная проводимость

$$Y=\sqrt{G^2+B^2}=0,0119\text{ См}$$

Продолжить



Определяем эквивалентные сопротивления всей цепи, индуктивность, ток и активную мощность:

$Z_{экв}=1/Y=1/0,0119=84,0336$ Ом

$R_{экв}=G/Y^2=67,1633$ Ом

$X_{Lэкв}=B/Y^2=50,1589$ Ом

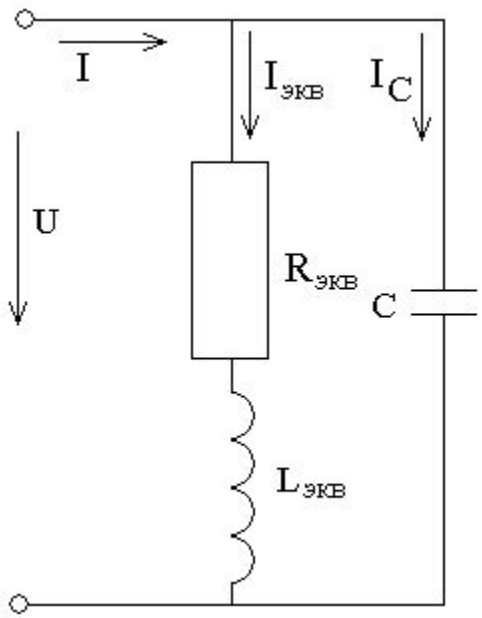
$L_{экв}=X_{Lэкв}/2\pi f=0,1597$ Гн

$I_{экв}=U/Z_{экв}=2,618$ А

$P=R_{экв}I_{экв}^2=460,3322$ Вт

Продолжить

2. Подключаем блок конденсаторов для снижения реактивной мощности



$$C = \frac{P}{\omega U^2}(\mathrm{tg}\varphi_п - \mathrm{tg}\varphi)$$

Определяем:

$\mathrm{tg}\ \varphi_п = \mathrm{tg}\ \varphi_{экв} = X_{Lэкв}/R_{экв} =$
$= 59{,}7845/69{,}5985 = 0{,}859$

По условию задачи

$\mathrm{tg}\ \varphi = 0.$

$$C = \frac{460{,}3322}{314 \cdot 220^2}(0{,}859 - 0) = 0{,}00002602\ Ф = 26{,}02\ мкФ$$

Продолжить

Построим векторную диаграмму токов
(повторить сложение векторов)

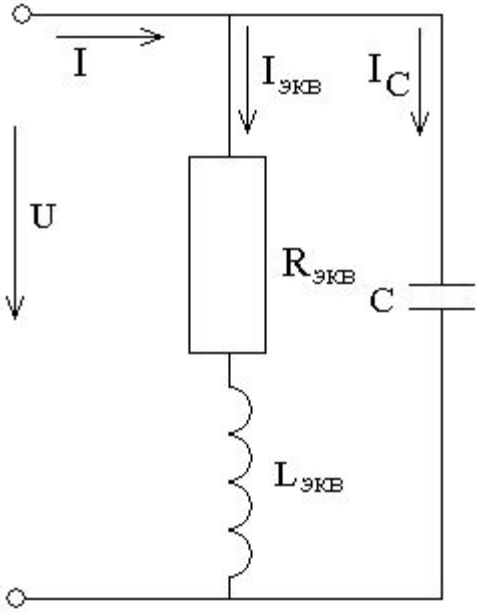
Параметры диаграммы:

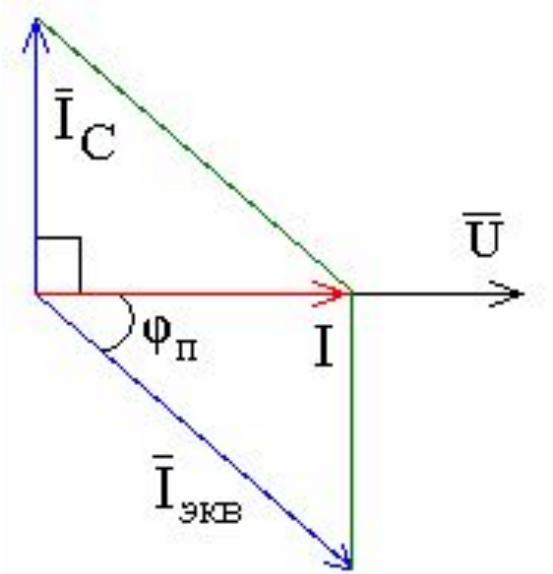
$I_{экв}$=2,618 А $I_C=U/X_C=U\cdot 2\pi fC$=1,5626 А

$\varphi_п=\varphi_{экв}=arctg(X_{Lэкв}/R_{экв})=arctg\ 0{,}859=40{,}66°$

$\varphi=0$

Масштаб выбираем произвольно, например 1см = 0,5 А





Таким образом, при полной компенсации реактивной мощности

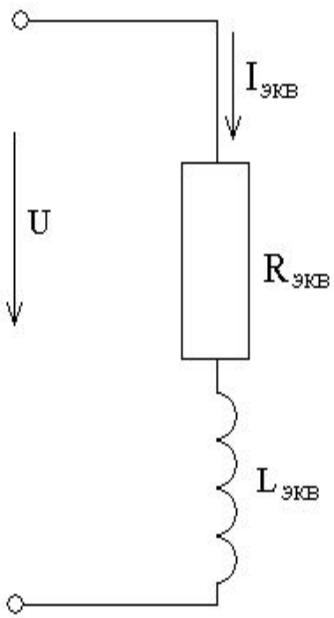
$I=I_{экв}\cos\varphi_{пр}=$
$=2{,}09$ А

Продолжить

Покажем построение графиков мгновенных значений тока и напряжения для эквивалентной схемы

$I_{экв}$=2,618 А

$\varphi_п$=40,66°



$$I_{m\ экв} = \sqrt{2} I_{экв} = 3{,}7024\ А$$

$$U_m = \sqrt{2} U = 311{,}127\ В$$

Мгновенные значения токов и напряжения определяются:

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

$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

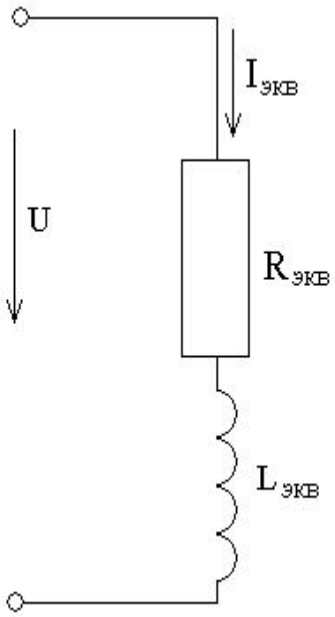
$\varphi_п = \psi_u - \psi_i$=40,66°

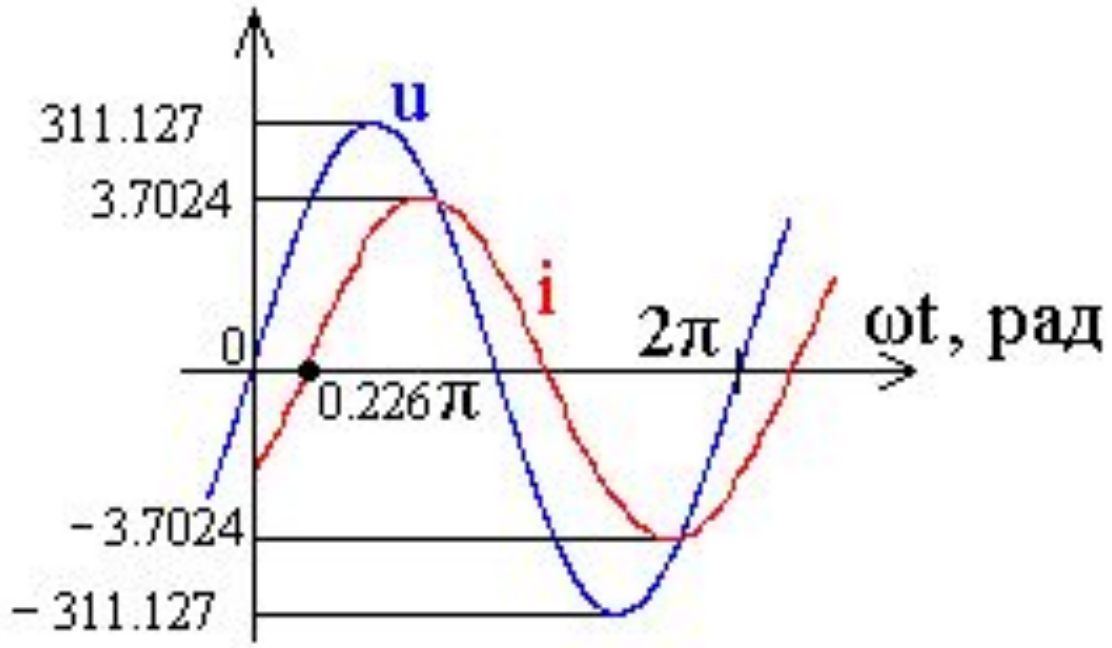
Примем ψ_u=0, тогда ψ_i=-40,66°=

=-(40,66°/180°)π =-0,226π радиан

Продолжить

$i = 3{,}7024 \sin(\omega t - 0{,}226\pi)$, $u = 311{,}127 \sin \omega t$



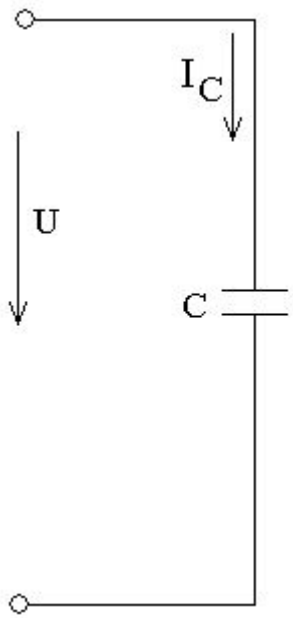


Продолжить

Покажем построение графиков мгновенных значений для емкостного элемента

I_C=1,5626 А

φ_C= - 90°



$$I_{m\,C} = \sqrt{2} I_C = 2{,}21\ \text{А}$$

$$U_m = \sqrt{2} U = 311{,}127\ \text{В}$$

Мгновенные значения токов и напряжения определяются:

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

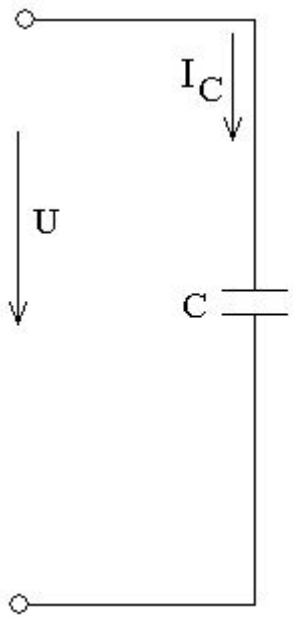
$$u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$$

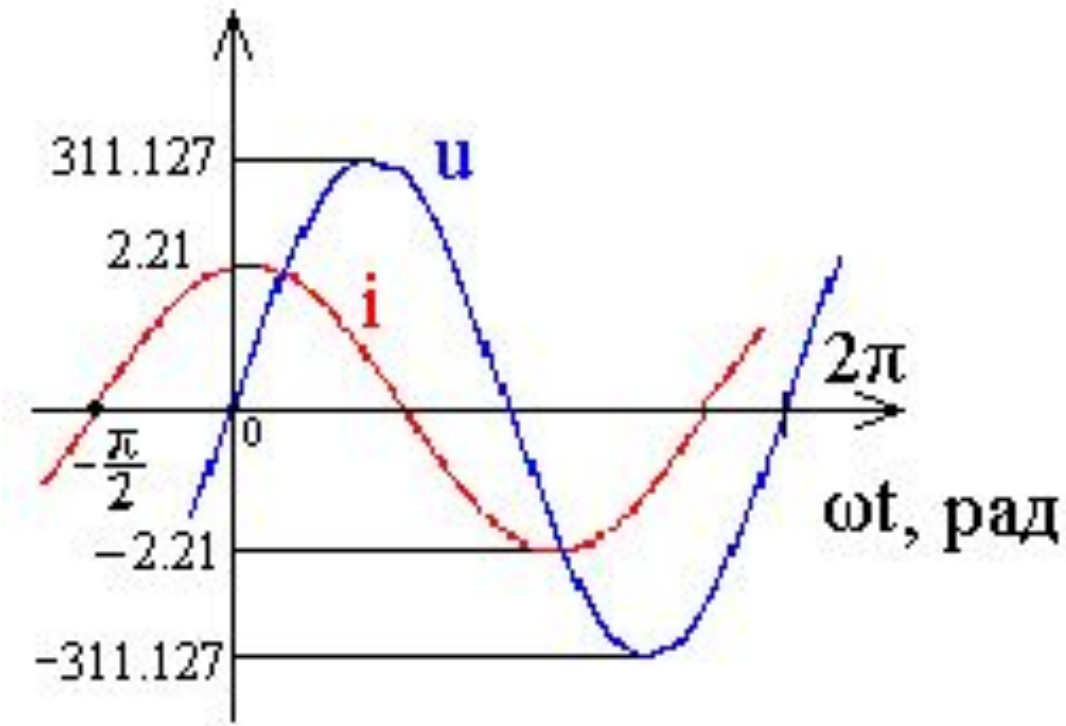
Примем ψ_u=0, тогда

ψ_i= 90°= π/2 радиан

Продолжить

$i = 2{,}21 \sin(\omega t + \pi/2)$, $u = 311{,}127 \sin \omega t$





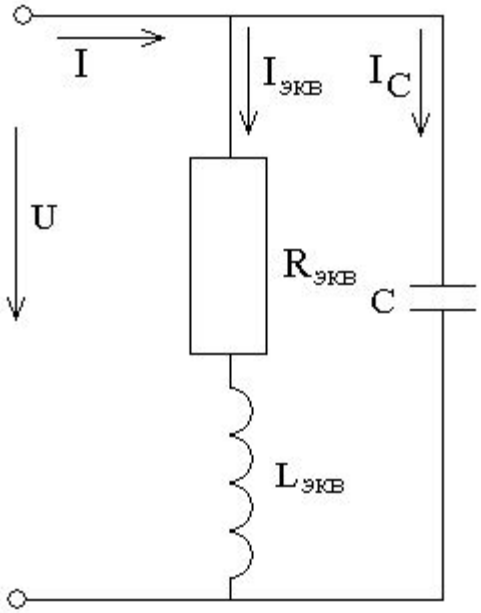
Продолжить

Построение графиков мгновенных значений входного напряжения и тока

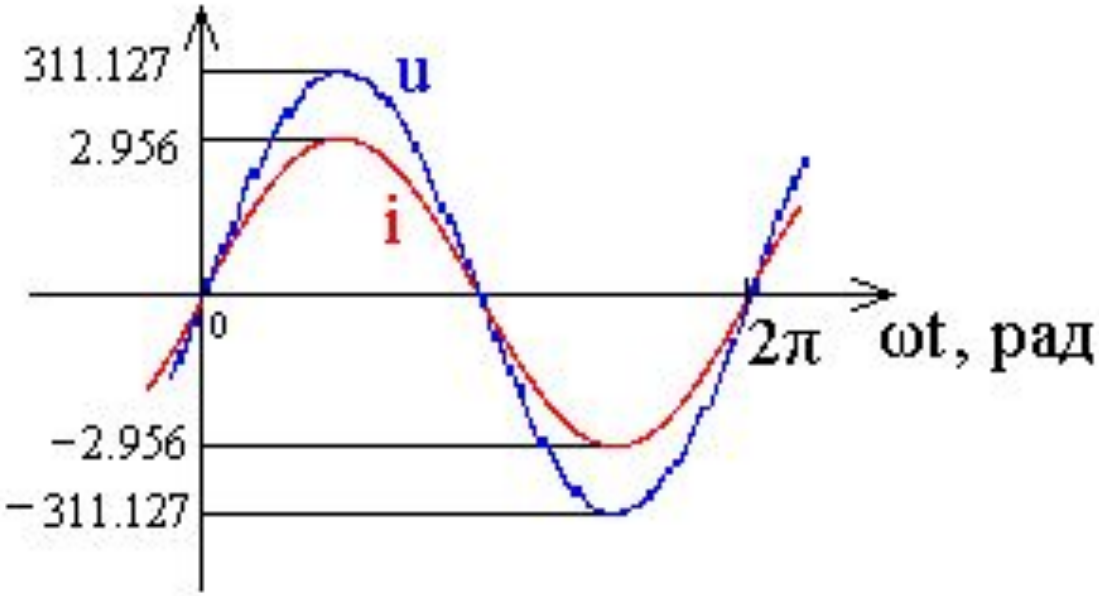
I=2,09 A

$$I_m = \sqrt{2}I = 2{,}956\ A$$

$$U_m = \sqrt{2}U = 311{,}127\ B$$



$i = 2{,}956 \sin \omega t$, $u = 311{,}127 \sin \omega t$



Продолжить

Задачи для самостоятельного решения

К однофазной цепи синусоидального тока напряжением $U_н$=220 В подключены потребители, типы и характеристики которых приведены в таблице.

Для светильников cos φ=1.

Составить эквивалентную схему замещения потребителей и определить параметры ее элементов.

Рассчитать емкость батареи конденсаторов, которую нужно подключить к потребителю для снижения реактивной мощности до нуля.

№ п/п	Однофазный трансформатор		Однофазный асинхронный двигатель				Светильники $P_{ном}$, Вт х кол-во
	тип	cos φ	тип	$P_{ном}$, Вт	η, %	cos φ	
1	ОСМ-0,4	0,78	4АА56В2	120	53	0,76	40х2
2	ОСМ-0,063	0,75	АОЛБО 11-4	18	22	0,62	25х2
3	ОСМ-0,25	0,85	4АА56А4	120	51	0,90	25х2
4	ОСМ-0,1	0,75	АОЛБ012-4	30	28	0,62	40х2
5	ОСМ-0,16	0,85	4АА56А4	60	37	0,70	15х3
6	ОСМ-0,063	0,75	АОЛБ11-4	50	34	0,62	25х2
7	ОСМ-0,4	0,85	4АА56В4	120	51	0,90	40х2
8	ОСМ-0,1	0,8	АОЛБ12-4	80	41	0,62	40х2
9	ОСМ-0,1	0,85	4ААУ56В4	90	39	0,65	25х2
10	ОСМ-0,25	0,75	АОЛБ21-4	120	47	0,62	60х2
11	ОСМ-0.063	0,85	4АА50А2	60	56	0,80	15х3
12	ОСМ-0,4	0,75	АОЛБ22-4	180	53	0,62	60х3
13	ОСМ-0,16	0,82	4АА50А2	40	51	0,68	15х2
14	ОСМ-0,63	0,75	АОЛБ31-4	240	60	0,62	40х4
15	ОСМ-0,25	0,8	4АА50В2	90	60	0,9	40х2

№ п/п	Однофазный трансформатор		Однофазный асинхронный двигатель				Светильники $P_{ном}$, Вт х кол-во
	тип	cos φ	тип	$P_{ном}$, Вт	η, %	cos φ	
16	ОСМ-1,0	0,75	АОЛБ32-4	400	67	0,62	200х2
17	ОСМ-0,16	0.8	4АА50В2	60	53	0,59	25х2
18	ОСМ-0,063	0,78	АО Л Б011 -2	30	41	0,68	15х2
19	ОСМ-0,1	0,82	4ААТ50А4	40	50	0,67	15х3
20	ОСМ-0,16	0,78	АОЛБ012-2	50	48	0,70	15х3
21	ОСМ-0,063	0.82	4ААУ50А4	25	23	0,51	15х2
22	ОСМ-0,1	0.78	АОЛБ11-2	80	51	0,72	25х3
23	ОСМ-0,1	0.8	4ААТ50В4	60	55	0,82	25х2
24	ОСМ-0,16	0,78	АОЛБ12-2	120	55	0,72	40х2
25	ОСМ-0.063	0.8	4ААЕ50В4	40	28	0,54	15х2
26	ОСМ-0,25	0,78	АОЛБ21-2	180	59	0,72	80х2
27	ОСМ-1,0	0,78	АОЛБ32-2	600	69	0,72	100х5
28	ОСМ-0,4	0,78	АОЛБ22-2	240	63	0,72	40х5
29	ОСМ-0,63	0,78	АОЛБ31-2	400	66	0,72	100х3
30	ОСМ-0,1	0,9	АВЕО42-4	18	40	0,90	15х2

№ п/п	Однофазный трансформатор		Однофазный асинхронный двигатель				Светильники $P_{ном}$, Вт х кол-во
	тип	cos φ	тип	$P_{ном}$, Вт	η, %	cos φ	
31	ОСМ-0,63	0,78	4ААТ56В2	180	64	0,94	60х2
32	ОСМ-0.063	0,78	АВЕО41-4	10	30	0,90	15х2
33	ОСМ-0,1	0,78	4ААУ56А2	90	50	0,82	25х2
34	ОСМ-0,4	0,78	АВЕО72-2	400	72	0,95	100х3
35	ОСМ-0,16	0,78	4ААТ56А2	120	45	0,95	15х5
36	ОСМ-0,25	0,78	АВЕ071-2	270	70	0,95	60х3
37	ОСМ-0,25	0,9	4ААУ63В4	180	47	0,65	40х4
38	ОСМ-0,16	0,78	АВЕ062-2	180	68	0,96	40х3
39	ОСМ-0,4	0,9	4ААТ63В4	250	58	0,90	60х3
40	ОСМ-0,1	0,78	АВЕ061-2	120	66	0,95	25х3
41	ОСМ-0,4	0,9	4ААЕ63А4	120	46	0,65	25х4
42	ОСМ-0,25	0,85	АВЕ052-2	80	58	0,95	15х4
43	ОСМ-0,4	0,75	4ААЕ63В2	250	62	0,75	80х2
44	ОСМ-0,16	0,85	АВЕ051-2	50	55	0,90	25х2
45	ОСМ-0,16	0,9	4ААТ63А4	180	62	0,90	60х2

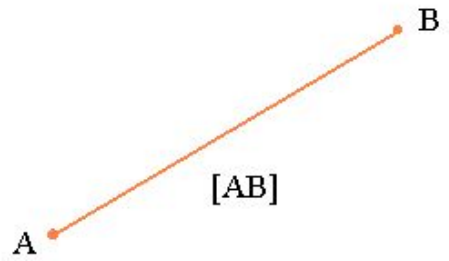
№ п/п	Однофазный трансформатор		Однофазный асинхронный двигатель				Светильники $P_{ном}$, Вт х кол-во
	тип	cos φ	тип	$P_{ном}$, Вт	η, %	cos φ	
46	ОСМ-0,1	0,95	АВЕ042-2	30	50	0,90	15х2
47	ОСМ-0,63	0,75	4ААТ63В2	370	68	0,95	100х3
48	ОСМ-0,063	0,85	АВЕ041-2	18	40	0,90	15х2
49	ОСМ-0,16	0,75	4ААЕ63А4	120	46	0,65	25х3
50	ОСМ-0,63	0,85	4АХТ71А2	550	64	0,95	200х2
51	ОСМ-0,25	0,75	4ААТ63А2	250	66	0,95	40х5
52	ОСМ-0,4	0,8	4АХЕ71А2	370	55	0,74	100х3
53	ОСМ-0,4	0,82	4АХЕ71В4	370	51	0,70	60х4
54	ОСМ-1,0	0,8	4АХТ71В2	750	66	0,95	150х4
55	ОСМ-1,0	0,82	4АХТ71В4	550	66	0,92	100х4
56	ОСМ-0,63	0,8	4АХЕ71В2	550	60	0,83	150х3
57	ОСМ-0,25	0,82	4АХЕ71А4	250	50	0,70	40х4
58	ОСМ-0.4	0,8	4АХТ71А4	370	62	0,92	100х2
59	ОСМ-0,4	0,85	4ААУ63В2	250	62	0,75	60х2
60	ОСМ-0,1	0,82	АВЕ061-4	80	56	0,95	25х2

№ п/п	Однофазный трансформатор		Однофазный асинхронный двигатель				Светильники $P_{ном}$, Вт х кол-во
	тип	cos φ	тип	$P_{ном}$, Вт	η, %	cos φ	
61	ОСМ-0,1	0,85	4АА У63А4	120	46	0,65	40х2
62	ОСМ-0,063	0,9	АВЕ052-4	50	50	0,90	25х2
63	ОСМ-0,25	0.85	4ААУТ63В4	250	58	0,90	80х2
64	ОСМ-0,16	0,82	АВЕ062-4	120	60	0,95	25х4
65	ОСМ-0,16	0,85	4ААЕ63В4	180	47	0,65	60х2
66	ОСМ-0,25	0,82	АВЕ071-4	180	63	0,95	40х3
67	ОСМ-0,1	0,75	4ААЕ56А2	90	50	0,82	25х2
68	ОСМ-0,4	0,83	АВЕ072-4	270	63	0,95	60х3
69	ОСМ-0,16	0,75	4ААУ56В2	120	53	0,76	40х2
70	ОСМ-0,063	0,82	ДГ-0,07	70	60	0,54	15х3
71	ОСМ-0,4	0,8	ДГ-2-0,2	200	71	0,71	40х4
72	ОСМ-0,1	0,8	ДГ-0,115	115	66	0,63	40х2
73	ОСМ-0,25	0,8	ДГ-2-0,18	180	71	0,63	40х3
74	ОСМ-0,16	0,8	ДГ-2-0,14	140	66	0,65	60х2

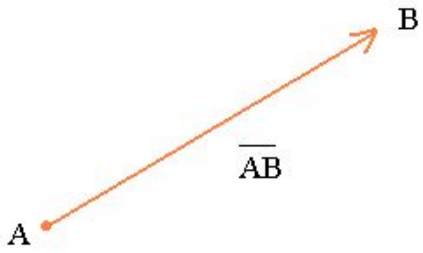
Закончить работу

Векторы

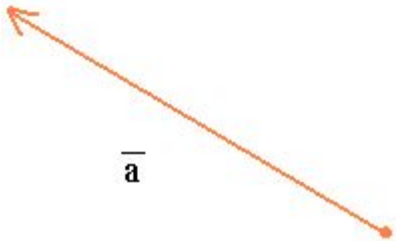
- Вектор – направленный отрезок, имеет определенную длину, направление указывает стрелка.



Отрезок AB



Вектор $\overline{AB}$

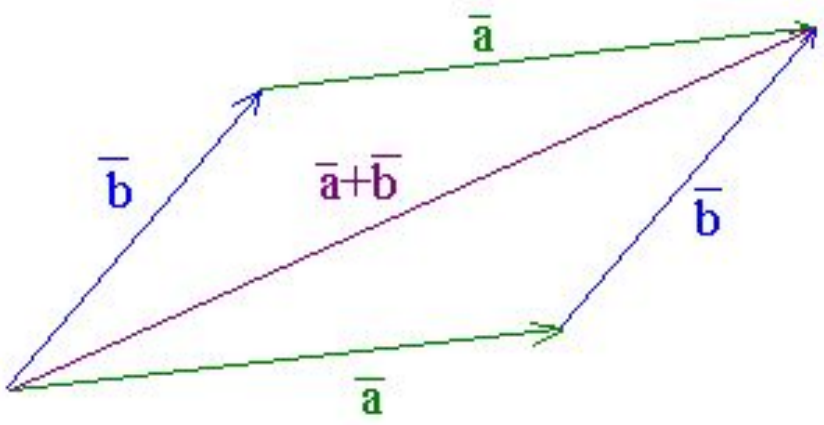


Вектор $\overline{a}$

Продолжить

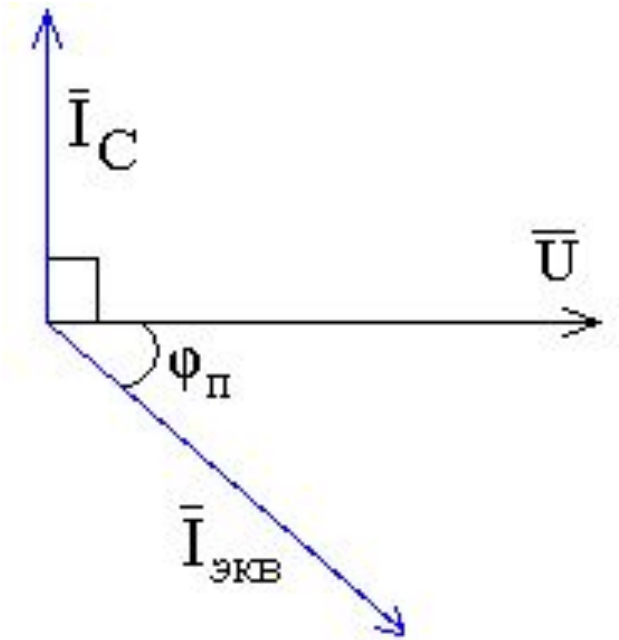
Сложение векторов

- ***Правило параллелограмма***: для векторов с общим началом их сумма изображается диагональю параллелограмма, построенного на этих векторах.



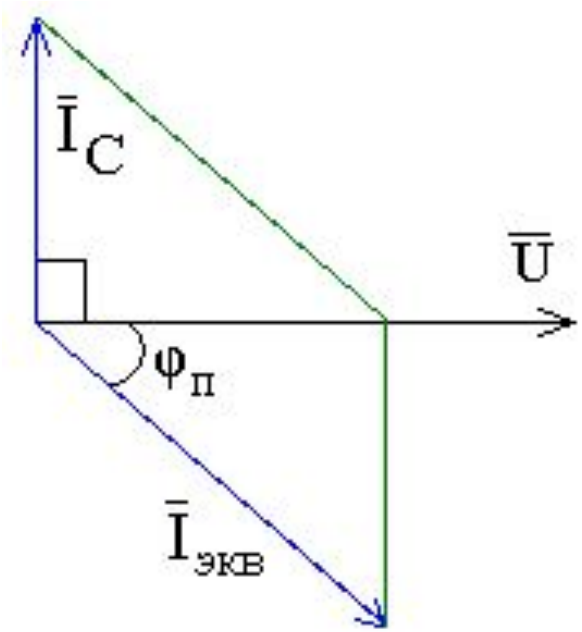
Продолжить

- В нашем случае откладываем в качестве основного вектор напряжения цепи.
- Строим векторы тока в произвольно выбранном масштабе: ток I_C на конденсаторе опережает напряжение на угол 90°, ток $I_{экв}$ отстает на угол 40,66° (положительное направление угла – против часовой стрелки):



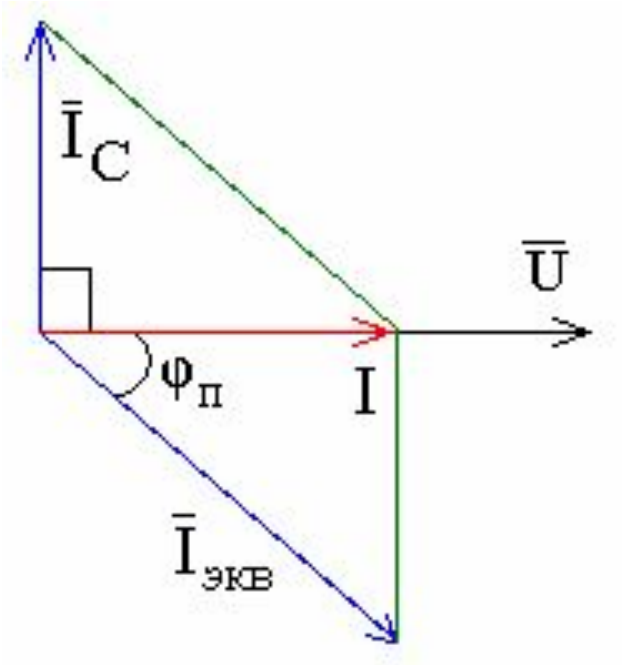
Продолжить

- На данных векторах I_C и $I_{экв}$ достраиваем параллелограмм.



Продолжить

- Тогда диагональ параллелограмма покажет вектор тока I – сумму векторов I_C и $I_{экв}$.
- При правильном расчете и построении векторы тока I и напряжения U должны совпадать по направлению ($\varphi=0$).



Вернуться в задачу