

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ №

(PQ)

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА
ОСНОВНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ
ВЪВ ВЕРИГИТЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ОСНОВНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕЛЕКТРИЧЕСКАТА ЕНЕРГИЯ ВЪВ ВЕРИГИТЕ ЗА ПРОМЕНЛИВ ТОК

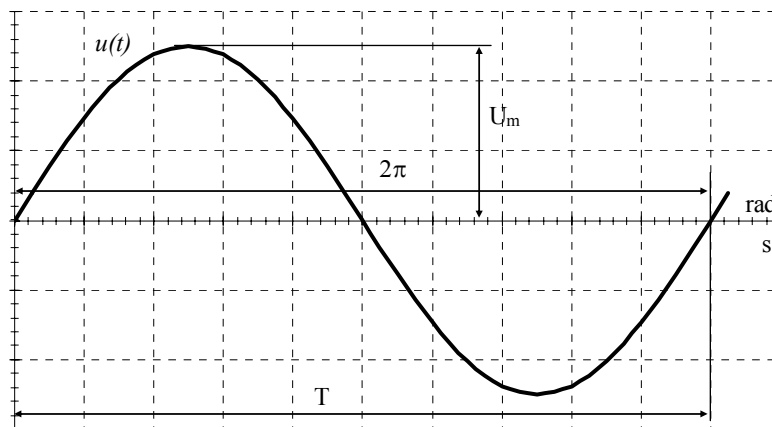
ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

1. Запознаване с особеностите на основните величини, описващи процесите във вериги за променлив ток със стационарен синусоидален режим на потребление.
2. Запознаване с видовете мощности във веригите за променлив ток.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Функционирането на редица съоръженията в бита и промишлеността е свързано с потребление на електрическа енергия. Тя се доставя чрез електрически мрежи, в които се разпространяват променливи във времето електрически величини. За да може да се оцени качеството на енергийно потребление на един консуматор на електрическа енергия е необходимо да се познават особеностите на изменението на захранващото го напрежение, както и особеностите на изменение на протичащия през него ток.

Източниците на електрическа енергия осигуряват променливи във времето напрежения $u(t)$, които се изменят по синусен закон с период на повторение T , фиг.1.



Фиг. 1. Графика на изменение на напрежението във времето - $u(t)$.

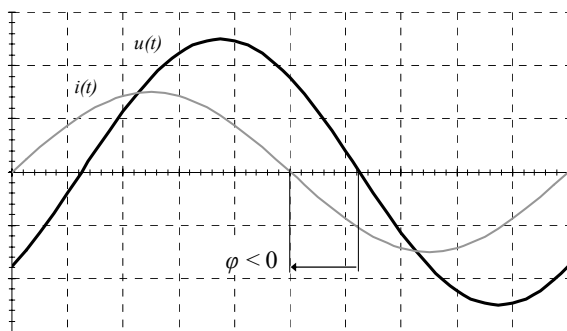
Във всеки един момент от времето t , напрежението се характеризира с моментна стойност $u(t)=U_m \sin(\omega t)$, която зависи от максималната стойност на величината U_m и от нейната кръгова честота ω . Кръговата честота ω отразява връзката между продължителността на пълното изменение на напрежението във времето T и периода на изменение на синусната функция - 2π , т.е.: $\omega=2\pi/T$, rad/s или $\omega=2\pi f$, където f е естествена честота на изменение на напрежението.

Източниците на напрежение прокарват през свързаните към тях консуматори на електрическа енергия токове, които се изменят по същия закон и със същата кръгова честота ω . Тяхната максимална стойност I_m се определя от отношението на максималната стойност на напрежението и импеданса на консуматора. Синусоидата на тока може да изпреварва, да изостава или да съвпада с тази на напрежението. Разместването между двете синусоиди се дължи само на вида (характера) на консуматора. Фазовата разлика се определя чрез интервала от време между две еднопосочни преминавания през нулевата стойност на напрежението и тока. Ъгълът, който съответства на този временен интервал се отбелязва с φ и се нарича фазова разлика.

Синусоидата на тока през активно – капацитивните консуматори изпреварва тази на напрежението, при което консуматорите създават отрицателна фазова разлика, т.е. ($\varphi < 0$),

фиг.2. При активно индуктивните – консуматори синусоидата на тока изостава от тази на напрежението или тези консуматори създават положителна фазова разлика, т.е. ($\varphi > 0$). Резисторите са консуматори на електрическа енергия, които не внасят изместване между синусоидите на напрежението и тока, т.е. ($\varphi = 0$).

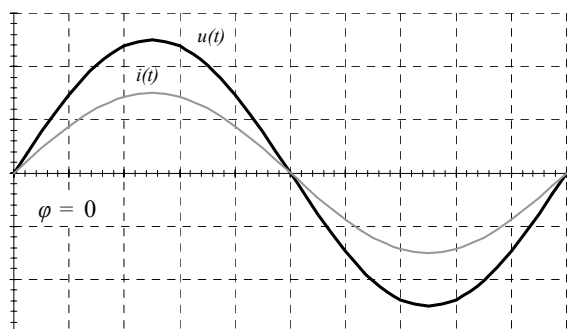
При тези особености на изменение на тока моментната му стойност може да се представи с $i(t)=I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$. Фазовата разлика φ се определя в градуси (deg) или радиани (rad), а възможните и стойности са в диапазона: $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$ или от $-\pi/2 < \varphi < \pi/2$.



$$\varphi < 0$$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t - \varphi); i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

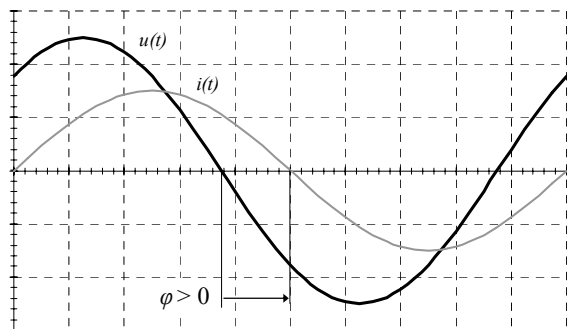
Консуматор с активно – capacitивен характер притежава параметри активно съпротивление " r_c " и капацитет " C ". Синусоидата на напрежението $u(t)$ изостава от тази на тока $i(t)$.



$$\varphi = 0$$

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

Консуматор с активен характер притежава само параметър активно съпротивление " R ". Синусоидата на тока $i(t)$ съвпада с тази на напрежението $u(t)$.



$$\varphi > 0$$

$$u(t) = U_m \sin(\omega t + \varphi); i(t) = I_m \sin(\omega t)$$

Консуматор с активно – индуктивен характер притежава параметри активно съпротивление " r_l " и индуктивност " L ". Синусоидата на напрежението $u(t)$ изпреварва тази на тока $i(t)$.

Фиг. 2. Изменение на $u(t)$ и на $i(t)$ при консуматори с различен характер

В електрическите вериги, в които основните величини описващи процесите се изменят във времето, не е необходимо да се измерва тяхната моментна стойност. Два тока или две напрежения се сравняват помежду си чрез тяхната средно квадратична или ефективна стойност. Когато величините се изменят във времето по синусоидален закон, тяхната ефективна стойност се определя от:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot U_m; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot I_m \quad (1)$$

Уредите, използвани за определяне на големината на напрежението и тока в електрическите вериги, независимо дали са аналогови или цифрови, регистрират тяхната ефективна стойност. Включването на уредите във веригите си извършва по същите

правила, по които се работи и във веригите за постоянен ток, т.е. волтметрите се включват паралелно на консуматорите в електрическата верига, а амперметрите се свързват последователно с тях.

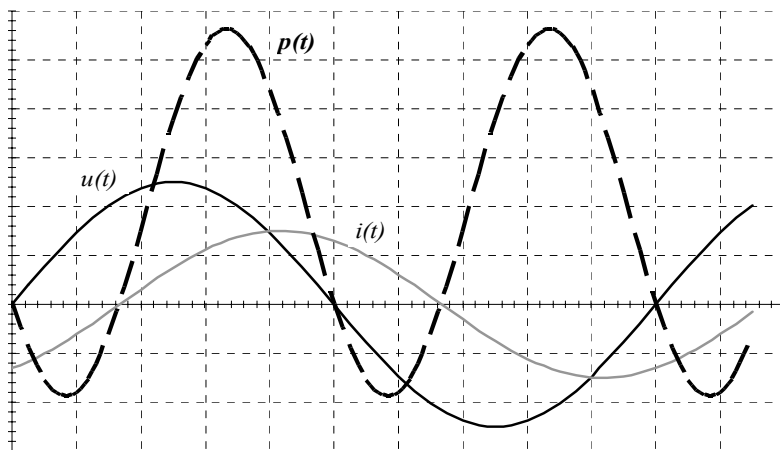
– *Електрическа мощност*

Величината мощност представя скоростта на енергиен обмен между източник на енергия и консуматор. В електрическите вериги тя се дефинира като произведение от основните характеристики на електрическата енергия – величините напрежение и ток.

Във веригите, в които се развиват постояннотокови процеси, електрическата мощност се отбелязва с P и се определя от произведението на средните стойности на напрежението U и тока I , т.е. – $P = UI$.

Във веригите в които напрежението и тока се изменят във времето, т.е. те се представят с $u(t)$ и $i(t)$, електрическата мощност също зависи от времето и се изчислява като произведение от техните моментни стойности. Получената мощност се нарича *моментна мощност* – $p(t)=u(t)i(t)$. Ако $u(t)$ и $i(t)$ се описват с изразите $u(t)=U_m \sin(\omega t \pm \varphi)$ и $i(t)=I_m \sin(\omega t)$, то за моментната мощност $p(t)$ в такава верига може да се запише:

$$p(t) = UI \cos \varphi (1 - \cos 2\omega t) \pm UI \sin \varphi \sin 2\omega t, \text{ VA} \quad (2)$$



Фиг. 3. Изменение на $u(t)$, $i(t)$ и $p(t)$ при активно индуктивен консуматор

Изразът показва, че моментната мощност се изменя по синусоидален закон с честота два пъти по-голяма от тази на токовете или напреженията във веригата, като в определени участъци от своето изменение тя има отрицателни стойности, фиг.3. Прието е положителната стойност на мощността да се отъждествява с движение на енергията от източник към консуматор, докато отрицателната стойност отразява противоположна посоката на движение на енергията, т.е. от консуматор към източник.

При изследване на процесите в електрическите вериги, в които величините се изменят във времето по синусоидален закон, обикновено се определя средната стойност на моментната мощност (2), която се нарича *активна мощност* P

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = UI \cos \varphi, \text{ W} \quad (3)$$

Активната мощност се свързва със скоростта на енергиен обмен за извършване на полезна работа. Тя има винаги положителна стойност тъй като отразява скоростта на необратимото преобразуване на електрическата енергия в някакъв друг вид неелектрическа енергия (топлинна, механична, светлинна и др.). Нейната големина зависи от ефективните стойности на напрежението U и тока I и от величината $\cos \varphi$, наречена *коэффициент на мощността*. Основната измерителната единица за активна мощност е “ват”, W .

Максималната стойност, до която достига активната мощност (получава се при фазова разлика $\varphi=0$, т.е. $\cos\varphi=1$) се нарича *пълна мощност*, означава се с S и се измерва в единици “волт – ампер”, **VA**.

$$S = P_{max} = UI, \text{ VA} \quad (4)$$

Голяма част от консуматорите на електрическа енергия притежават параметри индуктивност или капацитет. Такива консуматори изискват от източниците енергия, която използват за създаване на електромагнитни полета. Скоростта на този енергиен обмен се оценява с *реактивната мощност Q*. Реактивната мощност се свързва със скоростта на енергиен обмен между източник и консуматор, от който не се очаква извършване на полезна работа. Реактивната мощност може да приема положителни и отрицателни стойности. Знакът на реактивната мощност се определя от знака на фазовата разлика φ .

Реактивната мощност се дефинира като амплитуда на второто събираемо в израза на моментната мощност (2) и има вида:

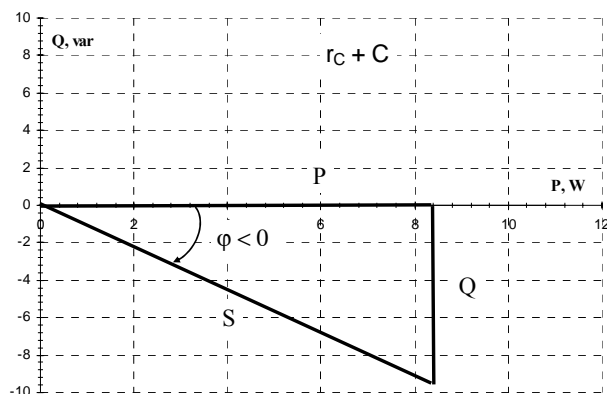
$$Q = UI \sin\varphi, \text{ VAR} \quad (5)$$

Нейната основна измерителна единица е “реактивни волт – амperi”, **VAR**.

Дефинирането на трите вида мощности чрез изразите: (3), (4) и (5) позволява да се запише следната зависимост между тях:

$$S^2 = P^2 + Q^2, \quad P = S \cos\varphi, \quad Q = S \sin\varphi \quad (6)$$

Трите мощности могат да се представят графично в мащаб чрез правоъгълен триъгълник, катетите на който съответстват на активната и реактивна мощности, а хипотенузата на пълната мощност консумирана от веригата фиг. 4.

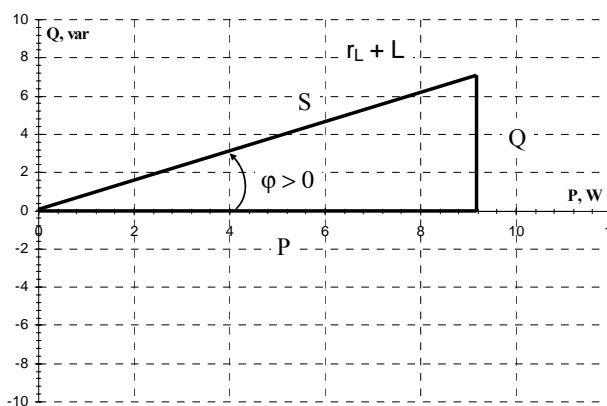


$$\varphi < 0$$

Консуматор с

активно – капацитивен характер.

Консуматорът поглъща определено количество активна енергия и отдава реактивна енергия във веригата, т.е. той работи с $P > 0$ и $Q < 0$



$$\varphi > 0$$

Консуматор с

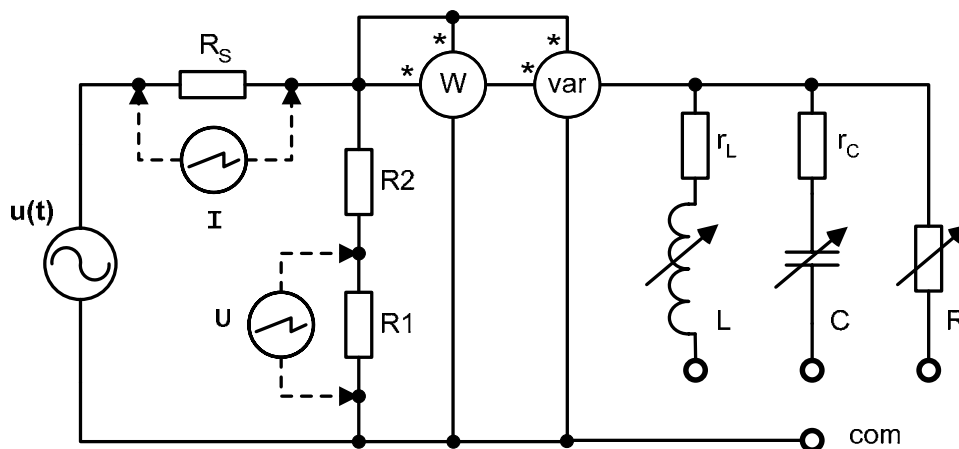
активно – индуктивен характер.

Консуматорът поглъща както активна така и реактивна енергии. Такъв консуматор работи с $P > 0$ и $Q > 0$

Фиг. 4. Триъгълник на мощностите на консуматори с различен характер

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Експерименталните изследвания имат за цел определянето на основните характеристики на енергийния обмен между източник и консуматор. Те се провеждат върху лабораторна постанова, чиято принципна електрическа схема е показана на фиг. 5.



Фиг. 5 Схема на опитната постанова

Постановката разполага с източник на синусоидално напрежение $u(t)$ и реални резистор, кондензатор и бобина с регулируеми съпротивление, капацитет и индуктивност. Включването на който и да е от трите елемента към източника на напрежение изисква свързване на неговата клемма (R , L или C) с общата клемма на захранващия източник, “com”.

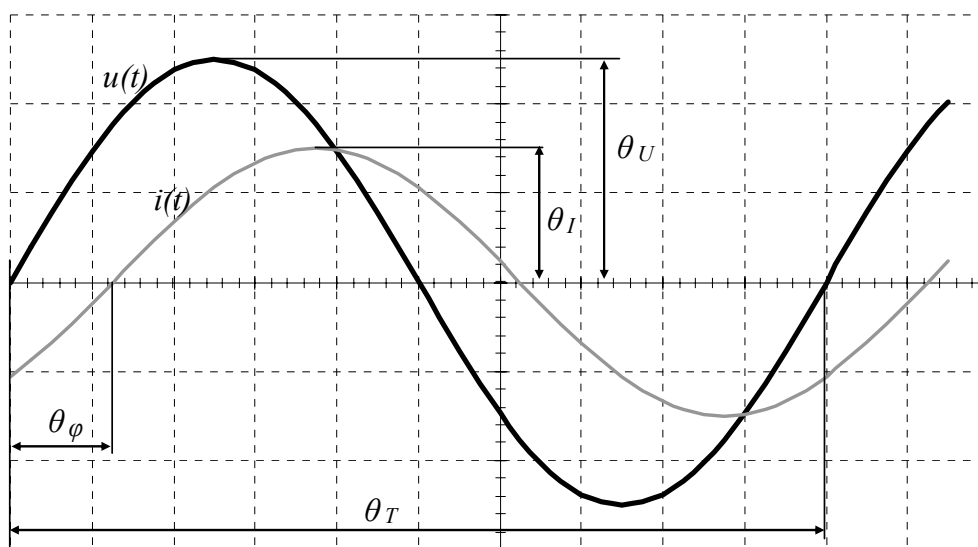
В опитната постанова са интегрирани делител на напрежение, съставен от резисторите $R1$ и $R2$ и шунтов резистор R_s , които позволяват наблюдение на изменението във времето на напрежението върху консуматора и на тока през него, чрез двуканален осцилоскоп. Постановката разполага и с ватметър и варметър, които регистрират количеството активна и реактивна мощности, използвани от включения във веригата консуматор.

- Провеждане на експеримента

Експерименталното изследване позволява аналитичното определяне на ефективните стойности на напрежението и тока, тяхната честота и фазова разлика, както и консумираните пълна, активна и реактивна мощности от консуматори с различен характер. Изследването се провежда в следната последователност:

- ✓ Преди включване на захранващото напрежение се събира необходимата информация за съпротивлението на използвания шунтов резистор R_s и за коефициента на деление на вградения напрежителен делител k_V ;
- ✓ Двата входа на осцилоскопа за вертикално отклонение се свързват към лабораторния макет. Върху макета се реализира връзка между клемите “com” и “R”, с което се подготвя изследването на верига, съдържаща консуматор с активен характер;
- ✓ Включва се захранващото напрежение на макета и на осцилоскопа. Посредством регулатори за синхронизация и за вертикално и хоризонтално отклонение на осцилоскопа се установява достатъчно голямо изображение на екрана;
- ✓ В съответните клетки на таблица 1 се записват стойностите на мащабни множители на каналите на осцилоскопа за измерване съответно на напрежението, тока и времето - C_{YU} , C_{YI} , C_{XT} и $C_{X\phi}$;

- ✓ От измерителната мрежа на екрана се отчитат деленията θ_U и θ_I съответстващи на максималните стойности на напрежението $u(t)$ и на тока $i(t)$, деленията θ_T съответстващи на периода на напрежението T и деленията θ_φ отговарящи на фазовата разлика φ между тях, фиг. 6. Резултатите се записват в таблица 1;
- ✓ В същата таблица се записват и показанията на вградените в макета ватметър и варметър, които измерват активната и реактивна мощности във веригата - $P_{ИЗМ}$ и $Q_{ИЗМ}$.
- ✓ Изследванията се извършват за две различни стойности на съпротивлението на резистора – R_A и R_B



Фиг. 6 Отчитане на деления от екрана на осцилоскопа

Таблица 1. Резултати от измерванията

Консуматор	C_{YU}	θ_U	C_{YI}	θ_I	C_{XT}	θ_T	$C_{X\varphi}$	θ_φ	$P_{ИЗМ}$	$Q_{ИЗМ}$
-	V/дел	дел	V/дел	дел	ms/дел	дел	μs/дел	дел	W	var
R_A										
R_B										
$r_{CA} + C_A$										
$r_{CB} + C_B$										
$r_{LA} + L_A$										
$r_{LB} + L_B$										

- ✓ Изследването се повтаря за консуматор с активно - капацитивен характер (свързват се клемите “com” и “C”), като измерванията се извършват за два различни активно – капацитивни консуматора: ($r_{CA} + C_A$) и ($r_{CB} + C_B$);
- ✓ Изследването се провежда и за консуматор с активно - индуктивен характер (свързват се клемите “com” и “L”). Измерванията отново се извършват за два различни консуматора: ($r_{LA} + L_A$) и ($r_{LB} + L_B$);
- ✓ Резултатите се записват на съответните редове на таблица 1.

ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Отчетените деления за амплитудите и продължителността на измерваните с осцилоскопа синусоидално изменящите се във времето напрежение и ток, позволяват да се определят всички характеристики на енергийния обмен между източника и различни по характер консуматори.

Максималните стойности на измерваните напрежение и ток се определят от:

$$U_m = k_V C_{YU} \theta_U \quad \text{и} \quad I_m = \frac{C_{YI}}{R_S} \theta_I$$

където C_{YU} и C_{YI} са мащабните множители на каналите за вертикално отклонение на осцилоскопа за измерване съответно на напрежението и тока, k_V е коефициента на деление на вградения напрежителен делител, а R_S е съпротивлението на шунтовия резистор.

Поради синусоидалния характер на изменение във времето, ефективните стойности на тези величини се определят чрез:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad \text{и} \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (8)$$

Периодът T , честотата f и фазовата разлика между същите величини φ се определя от:

$$T = C_{XT} \cdot \theta_T, \text{ ms}; \quad f = \frac{1000}{T}, \text{ Hz} \quad \text{и} \quad \varphi = 0,36 \cdot \frac{C_{X\varphi} \cdot \theta_\varphi}{T}, \text{ deg} \quad (9)$$

където C_{XT} и $C_{X\varphi}$ са мащабните множители на осцилоскопа за измерване на времето.

Получените резултати за ефективните стойности на напрежението, тока, честотата и за стойността и знака на фазовата разлика се записват в таблица 2.

Изчислените ефективни стойности на напрежението U и на тока I и фазовата разлика между тях φ позволяват да се определят аналитично активната P_{CLC} , реактивната Q_{CLC} и пълната S_{CLC} мощности във веригата. Използват се следните зависимости:

$$S_{CLC} = U \cdot I, \quad P_{CLC} = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad Q_{CLC} = U \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (10)$$

При правилна работа с лабораторната постановка не се наблюдават съществени разлики между изчислените P_{CLC} и Q_{CLC} и измерените стойности $P_{ИЗМ}$ и $Q_{ИЗМ}$ на мощностите.

Таблица 2. Резултати от обработката на измерените стойности

Консуматор	U	I	f	φ	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	S_{CLC}	P_{CLC}	Q_{CLC}
-	V	A	Hz	deg	-	-	VA	W	var
R_A									
R_B									
$r_{CA} + C_A$									
$r_{CB} + C_B$									
$r_{LA} + L_A$									
$r_{LB} + L_B$									

Избира се подходящ мащаб за изчислените P_{CLC} , Q_{CLC} и S_{CLC} и се построяват триъгълниците на мощностите на изследваните консуматори.

Контролни въпроси

1. Какво отразява понятието кръгова честота, използвано при дефиниране на моментните стойности на синусоидално изменящите се във времето напрежение и ток?
2. Как се дефинира понятието фазова разлика?
3. Какви са допустимите стойности на фазовата разлика?
4. Каква е връзката между максималната и средно квадратичната стойност на синусоидално изменящите се величини?
5. Коя стойност на променливите напрежения измерват волтметрите?
6. Как се свързват апаратите за измерване на ток и напрежение във веригите за променлив ток?
7. Какво отразява понятието активна мощност?
8. Какво отразява понятието реактивната мощност?
9. Може ли активната мощност в една електрическа верига съдържаща само активно – капацитивен консуматор да има отрицателна стойност?
10. Как се представя графично връзката между активната, реактивната и пълната мощност?