

5. Кой е критерият за оптимален електромагнитен режим на работа на СП ?
6. На какво се дължи основната грешка на СП? Как може да се намали ?
7. Какви са предимствата и недостатъците на СП ?
8. Къде могат да намерят приложение СП ?

ЛАБОРАТОРНО УПРАЖНЕНИЕ № 6

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЕРИГА С ПОСЛЕДОВАТЕЛНО СВЪРЗАНИ ПАСИВНИ ЕЛЕМЕНТИ

ЦЕЛ НА УПРАЖНЕНИЕТО

1. Да се изучи поведението на различни пасивни двуполусни елементи в електрическа верига при стационарен синусоидален режим.
2. Да се изучат методите за експериментално определяне на R , L и C параметрите на пасивните елементи.
3. Да се изучи явлението "резонанс на напреженията" в последователна верига.

ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Стационарният синусоидален режим на електрическа верига с пасивни елементи е свързан с протичането на променлив ток и непрекъснат процес на преобразуване на електрическа енергия.

Ако захранващото напрежение е синусоидално от вида

$$(6.1) \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

установеният ток i във веригата е също синусоидален, със същата ъглова честота ω , но е дефазизиран в общия случай на ъгъл φ от напрежението:

$$(6.2) \quad i = I_m \sin(\omega t + \psi_i)$$

$$(6.3) \quad \varphi = \psi_u - \psi_i, \quad -\frac{\pi}{2} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{2}$$

Моментната мощност във веригата, която характеризира процеса на преобразуване на енергия е $p = u \cdot i$, а нейната средна стойност за един период е активната мощност P (6.4)

$$(6.4) \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T p \, dt = U I \cos \varphi.$$

В израза за активната мощност с $\cos \varphi$ е обозначен *факторът на*

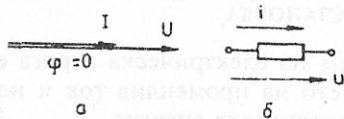
активната мощност, а U и I са ефективните стойности на напрежението u и тока i .

За характеризирание на процесите при пасивните елементи са въведени параметрите R , L и C . Когато поведението на един реален елемент се определя само от един параметър (респ. участието на другите два параметъра може да се пренебрегне), той се нарича идеален - идеален резистор (R), идеална бобина (L) и идеален кондензатор (C).

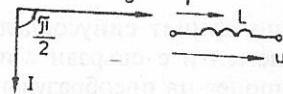
При включване на идеален резистор към синусоидално напрежение R параметърът се определя от закона на Ом

$$(6.5) \quad R = \frac{u}{i} = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I},$$

като фазовата разлика $\varphi = 0$, ($\cos \varphi = 1$), а векторите на тока и напрежението са колинеарни (фиг. 6.1 а).



Фиг. 6.1



Фиг. 6.2

За мощността (6.4) посредством (6.5) се получава

$$(6.6) \quad P = UI = RI^2 = \frac{U^2}{R},$$

откъдето се вижда, че R характеризира активната (в случая топлинна) мощност на двуполусника, има качеството на съпротивление и се нарича активно съпротивление.

В практиката повечето реални резистори при работа с мрежова честота ($f = 50$ Hz) могат да се разглеждат като идеални.

При включване на бобина (индуктивен елемент) към синусоидално напрежение се разглеждат случаите на идеална и реална бобина.

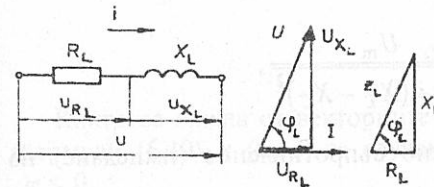
В случая, когато бобината е идеална се пренебрегва активното съпротивление и се приема само наличие на индуктивния параметър L . В този случай фазовата разлика е $\varphi = \pi/2$, като токът i изостава от напрежението u (фиг. 6.2).

Връзката на напрежението и тока във веригата се дава с израза

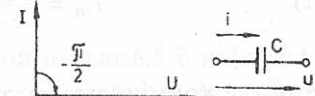
$$(6.7) \quad X_L = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I},$$

където величината $X_L = \omega L = 2\pi f L$ има качеството на съпротивление и се нарича *реактивно (индуктивно) съпротивление*. В този случай активната мощност $P = 0$, тъй като $\cos \varphi = 0$.

При разглеждане на реална бобина освен индуктивността L се отчита и активното съпротивление R на бобината. Тя може да се разглежда като еквивалентна на последователно съединение от два идеални елемента с параметри R и L (респ. X), както е показано на фиг. 6.3.



Фиг. 6.3



Фиг. 6.4

В този случай връзката между тока I и напрежението U се дава с израза (6.8), а съществуващата фазова разлика между тях се изменя в диапазона $0 < \varphi < \pi/2$

$$(6.8) \quad Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I},$$

където Z_L е пълното съпротивление (импедансът) на реалната бобина.

Активната мощност е $P = UI \cos \varphi = R_L I^2$.

На фиг. 6.3 са показани още векторната диаграма на тока I и напрежението U с неговите активна и реактивна компоненти U_{R_L} и U_{X_L} , както и триъгълника на съпротивленията Z_L , R_L и X_L .

При включване на идеален капацитивен елемент (кондензатор) с характеристикен параметър C към синусоидално напрежение фазовата разлика е $\varphi = \pi/2$ (фиг. 6.4), а връзката между напрежението U и тока I се дава с израза

$$(6.9) \quad X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{U_m}{I_m} = \frac{U}{I},$$

където величината X_C има качеството на съпротивление и се нарича реактивно (капацитивно) съпротивление.

Активната мощност P е нула, тъй като $\cos \varphi = 0$.

Реалният кондензатор при мрежова честота $f = 50\text{Hz}$ почти не се различава от идеалния.

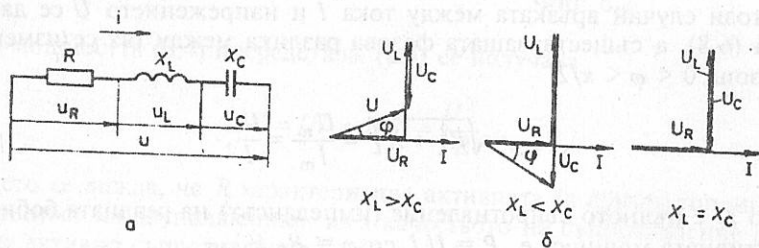
Когато синусоидалното напрежение $u(t)$ се приложи към последователно свързани идеални резистор, бобина и кондензатор (фиг.6.5 а), фазовата разлика между напрежението $u(t)$ и тока $i(t)$ и максималната стойност на тока I_m се определят с формулите

$$(6.10) \quad \varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R};$$

$$(6.11) \quad I_m = \frac{U_m}{z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}},$$

където z е големината на т.н. пълно съпротивление (импеданс) на последователната верига.

На фиг.6.5 б са показани векторните диаграми при различни съотношения на реактивните съпротивления X_L и X_C .



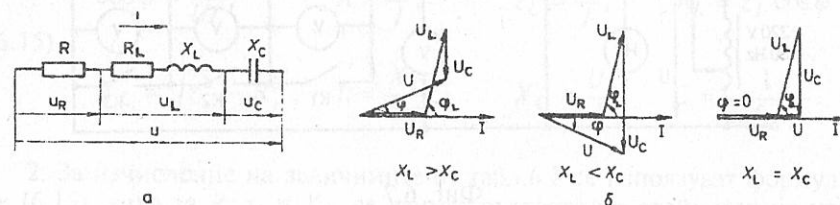
Фиг.6.5

Ако в последователната верига от фиг.6.5 а заменим идеалната бобина с реална, се получава веригата от фиг.6.6 а, за която аналогичните формули на (6.10) и (6.11) са:

$$(6.12) \quad \varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R + R_L};$$

$$(6.13) \quad I_m = \frac{U_m}{z} = \frac{U_m}{\sqrt{(R + R_L)^2 + (X_L - X_C)^2}}.$$

Векторните диаграми за този случай са показани на фиг. 6.6 б.



Фиг.6.6

Както се вижда от векторните диаграми от фиг.6.5 б и фиг.6.6 б и формули (6.10) и (6.12) за случаите $X_L > X_C$ $\varphi > 0$, а за $X_L < X_C$ $\varphi < 0$.

Особен интерес представлява случаят $X_L = X_C$, при което импедансът на веригата се свежда до активното съпротивление R , респективно $R + R_L$, фазовата разлика φ става нула, а токът I_m добива най-голямата си стойност в сравнение със случаите, когато $X_L \neq X_C$. Този режим се характеризира с т.н. резонанс на напреженията върху реактивните елементи (еднакви по големина и в противофаза), в резултат на което $U = U_R$ (фиг.6.5 б), респективно $\dot{U} = \dot{U}_R + \dot{U}_{R_L}$ (фиг.6.6 б).

Ако при резонанс е изпълнено условието $R \ll X_L = X_C$, напреженията върху бобината и кондензатора U_L и U_C многократно надвишават входното напрежение на веригата и могат да достигнат опасен порядък.

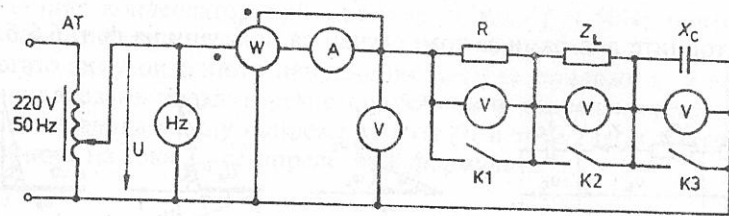
ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Свързва се схемата от фиг. 6.7, в която реалната бобина z_L е с регулируема стойност на индуктивността L . С помощта на ключовете К1, К2 и К3 е възможна промяна в схемата за изследване на елементите R , z_L и C , независимо или в последователна комбинация.

С автотрансформатора АТ се установява зададено входно напрежение на веригата, като при всеки опит увеличаването на напрежението трябва да започва от нулева стойност. Упражнението се провежда в следната последователност:

А. С ключовете К1, К2 и К3 се реализира самостоятелно включване на резистора R , бобината z_L и кондензатора X_C към зададе-

но напрежение, установявано с АТ. Резултатите от измерванията при трите опита се нанасят в таблица 6.1.



Фиг. 6.7

Таблица 6.1

ВИД ЕЛЕМЕНТ	U	I	P	f	cos φ	R	z _L	R _L	X _L	L	X _C	C	φ
	V	A	W	Hz	-	Ω	Ω	Ω	Ω	H	Ω	μF	deg
РЕЗИСТОР													
БОБИНА													
КОНДЕНЗАТОР													

Б. При отворени ключове К1, К2 и К3 (реализира се последователна верига на R, z_L и X_C) се установява зададено напрежение с АТ. Чрез изменение на индуктивността L се постигат последователно три режима на работа на веригата: X_L > X_C, X_L < X_C и X_L = X_C. Първите два режима се установяват като се сравняват показанията на волтметрите за U_L и U_C, третият - при максимална стойност на тока. Показанията на уредите се нанасят в таблица 6.2.

Таблица 6.2

РАБОТЕН РЕЖИМ	U	I	P	f	U _R	U _L	U _C	cos φ	z	R	z _L	cos φ _L	R _L	X _L	X _C
	V	A	W	Hz	V	V	V	-	Ω	Ω	Ω	-	Ω	Ω	Ω
X _L > X _C															
X _L < X _C															
X _L = X _C															

ОБРАБОТКА НА ОПИТНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

1. За изчисляване на величините от табл. 6.1 се използват формулите:

$$(6.15) \quad \cos \varphi = \frac{P}{UI}; \quad R = \frac{U}{I}; \quad z_L = \frac{U}{I}; \quad R_L = z_L \cdot \cos \varphi;$$

$$X_L = \sqrt{z_L^2 - R_L^2}; \quad L = \frac{X_L}{2\pi f}; \quad X_C = \frac{U}{I}; \quad C = \frac{1}{2\pi f X_C}.$$

2. За изчисление на величините от табл. 6.2 се използват формулите (6.15), като за R, z_L и X_C се взимат съответните стойности на напреженията U_R, U_L и U_C, а във формулата за R_L се използва cos φ_L, определен от уравнението за баланса на активната мощност P = U_RI + U_LI cos φ_L, а именно

$$(6.16) \quad \cos \varphi_L = \frac{P - U_R I}{U_L I}.$$

Общият импеданс на веригата е z = U/I.

Избират се подходящи мащаби за напрежението и тока и се построяват векторни диаграми аналогични на тези от фиг. 6.6.6. И за трите случая сумата от векторите на напрежителните падове U_R, U_L и U_C трябва да бъде равна на вектора на захранващото напрежение U.

Контролни въпроси

1. Кой пасивни елементи се характеризират с честотно зависимо съпротивление?
2. Как се определя фактора на активната мощност в последователната верига с R, z_L и X_C?
3. По колко начина може да се предизвика резонанс в последователна верига с резистор, бобина и кондензатор?
4. Ако сумирате показанията на волтметрите за U_R, U_L и U_C в последователната верига ще получите ли показанията на волтметъра за входното напрежение U?