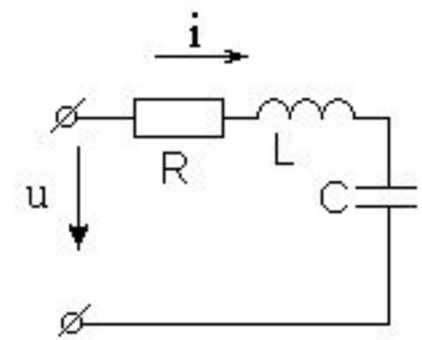
Резистивті, сыйымдылықты және индуктивті элементер бірізді және параллель жалғанған синусоидал ток тізбегі. Тармақталмаған тізбектегі кернеу резонансы. Токтар резонансы. Резонанс контурдың жиіліктік сипаттамалары.

Сыйымдылық C , индуктивтік L және кедергінің R тізбектеп жалғануынан тұратын сұлба берілген болсын.



Кірер қысқыштардағы кернеу: $u = U_m \sin n(\omega t + \varphi_u)$.

Кирхгофтың екінші заңы бойынша :

$$u = u_R + u_L + u_C = Ri + L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt.$$

Осындай, синусоидалық уақыт функциясының үш қосындысы u_R , u_L , u_C және оларды әрі қарай тригонометриялық жолмен түрлендірулер көп еңбекті талап етеді. Сонда да болса бұл есеп комплекстік әдісіпен жеңілірек шешіледі.

Осы теңдеуді комплекстік түрде жазайық:

$$\underline{I}_m R + j\omega L \underline{I}_m + \frac{1}{j\omega C}\underline{I}_m = \underline{U}_m, \quad \underline{U}_{R_m} + \underline{U}_{L_m} + \underline{U}_{C_m} = \underline{U}_m,$$

$$\underline{I}_m\left(R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}\right) = \underline{I}_m \underline{Z} = \underline{U}_m, \quad \underline{I}_m = \frac{\underline{U}_m}{\underline{Z}} = \frac{\underline{U}_m}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)} = \frac{U_m e^{j\varphi_u}}{Z e^{j\varphi}} = I_m e^{j\varphi_i}, где$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + X^2}, \quad \varphi = arctg\,\frac{X}{R} = arctg\,\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}, \quad I_m = \frac{U_m}{Z}, \ \varphi_i = \varphi_u - \varphi.$$

Лездік ток: $i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i)$.

Элементтердегі кернеу:

$$\underline{U}_{RM} = \underline{I}_m R = U_{Rm} e^{j\varphi_u}, \quad u_R = U_{Rm}\sin\left(\omega t + \varphi_{u_R}\right),$$

$$\underline{U}_{Lm} = \underline{I}_m (j\omega L) = U_{L_m} e^{j\varphi_{u_L}}, \quad u_L = U_{L_m}\sin\left(\omega t + \varphi_{u_L}\right),$$

$$\underline{U}_{Cm} = \underline{I}_m\left(-j\frac{1}{\omega C}\right) = U_{C_m} e^{\left(\varphi_i - \frac{\pi}{2}\right)} = U_{C_m} e^{j\varphi_{u_c}}, \quad u_C = U_{C_m}\sin\left(\omega t + \varphi_{C_L}\right).$$

Лездік кернеу мен комплекстік кернеуді салыстыра отырып, уақыттық синусоидалық функцияның дифференциалы мен интегралын бейнелейтін комплексті түрге ауысатын жай ережені жасауға болады. Синусоидалық функция оны бейнелейтін комплекстік шамаға ауыстырылады, дифференциялау $j\omega$ -ге көбейтумен, ал интегралдау $j\omega$ -ға бөлумен ауыстырылады. Синусоидалық кернеудің қосындысына оны бейнелейтін векторлардың қосындысы немесе әсер етуші комплекстік кернеудің қосындысы тура келеді: $\underline{U}_R + \underline{U}_L + \underline{U}_C = \underline{U}$

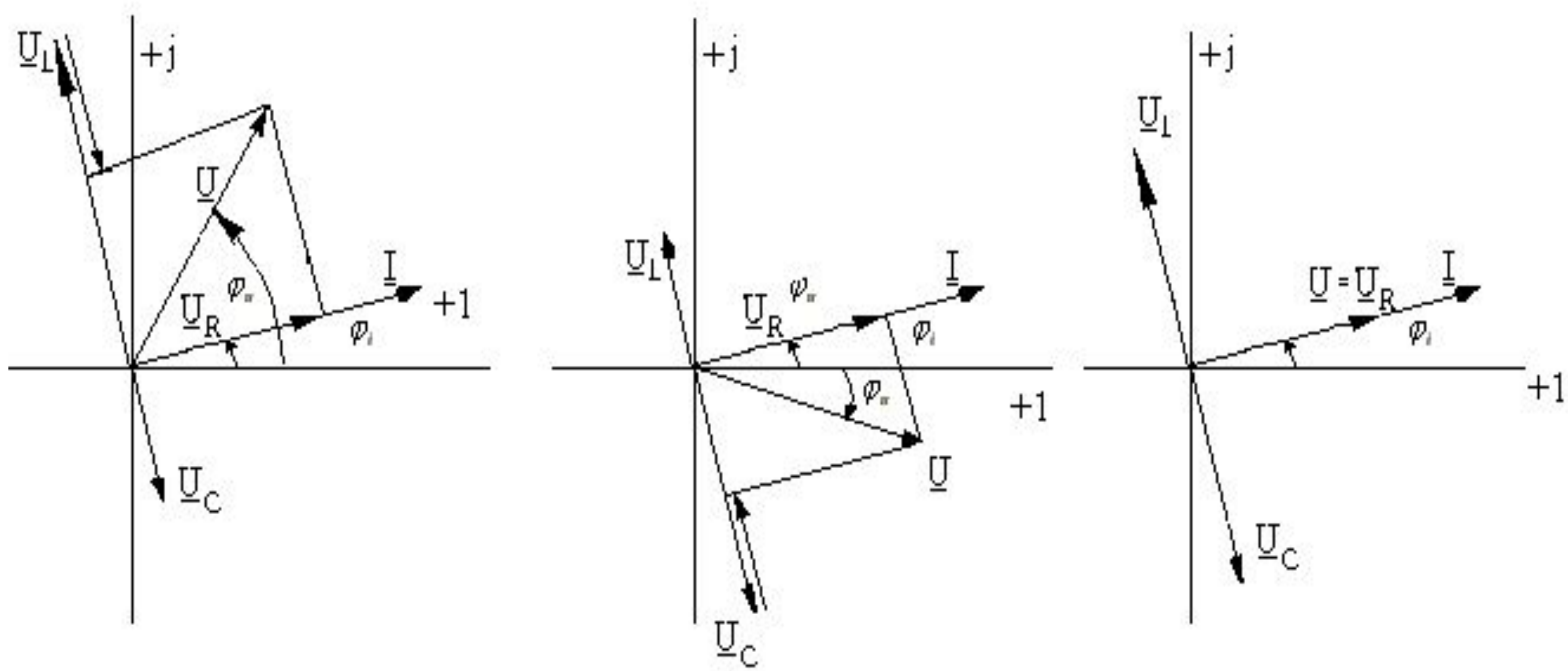
Векторлық диаграмма. Векторлық диаграммаларды үш жағдайға көрсетеміз.

1. $X_L > X_C,\ U_L > U_C,\ \varphi > 0$ ток кернеуден фаза бойынша артта қалады

2. $X_C > X_L,\ U_C > U_L,\quad \varphi < 0,$ ток кернеуден фаза бойынша озады.

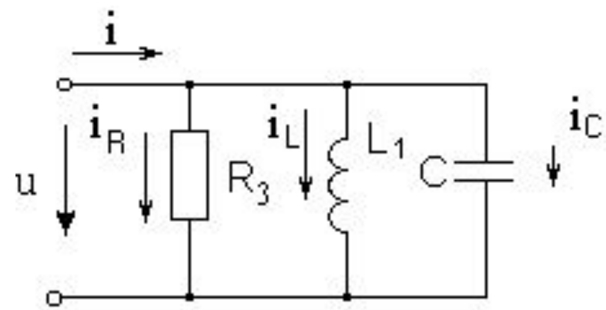
3. $X_L = X_C,\ U_L = U_C,\ \varphi = 0,$ ток кернеумен фаза бойынша бір-біріне үйлесіп келеді, тізбекте резонанс режімі болғандығын көреміз.

Жоғарыда айтқандай векторлық диаграммаларды   үш жағдайға көрсетеміз.



Параллель қосылған R, L және C элементтерден тұратын электр тізбегіне $u = U_m \sin(\omega t + \psi_u)$ кернеуін берсек, онда осы тізбек арқылы өтетін синусоидалы ток параллель тармақтар арқылы өтетін токтардың қосындысына тең болады:

$$i = i_R + i_L + i_C = \frac{u}{R} + \frac{1}{L}\int u dt + C\frac{du}{dt}.$$



$$u = u_R = u_L = u_C.$$

Комплекстік түрде:

$$\underline{I}_m = \frac{\underline{U}_m}{R} + \frac{\underline{U}_m}{j\omega L} + j\omega C\underline{U}_m = \underline{U}_m\left(G - j\left(B_L - B_C\right)\right) == \underline{U}_m\underline{Y} = U_m Y e^{j(\varphi_u - \varphi)} = I_m e^{j\varphi_i}.$$

мұндағы:

$$Y = \sqrt{(G)^2 + (B)^2}, \qquad \varphi = arct\frac{B_L - B_C}{G}, \quad I_m = U_m Y, \ \varphi_i = \varphi_u - \varphi.$$

Элементтерден өтетін токтар комплекстік түрде:

$$\underline{I}_{Rm} = \frac{\underline{U}_m}{R} = \frac{U_m e^{j\varphi}}{R} = I_{Rm} e^{j\varphi_i}, \quad \underline{I}_{Lm} = \frac{\underline{U}_m}{j\omega L} = \frac{U_m}{X_L} e^{j\left(\varphi_u - \frac{\pi}{2}\right)} = I_{Lm} e^{j\varphi_i},$$

$$\underline{I}_{Cm} = \frac{\underline{U}_m}{-j\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_m}{X_c} e^{j\left(\varphi_u + \frac{\pi}{2}\right)} = I_{Lm} e^{j\varphi_i},$$

Лездік мәндер:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi_i), \quad i_R = I_{Rm} \sin(\omega t + \varphi_R), \quad i_L = I_{Lm} \sin(\omega t + \varphi_L), \quad i_C = I_{Cm} \sin(\omega t + \varphi_c)$$

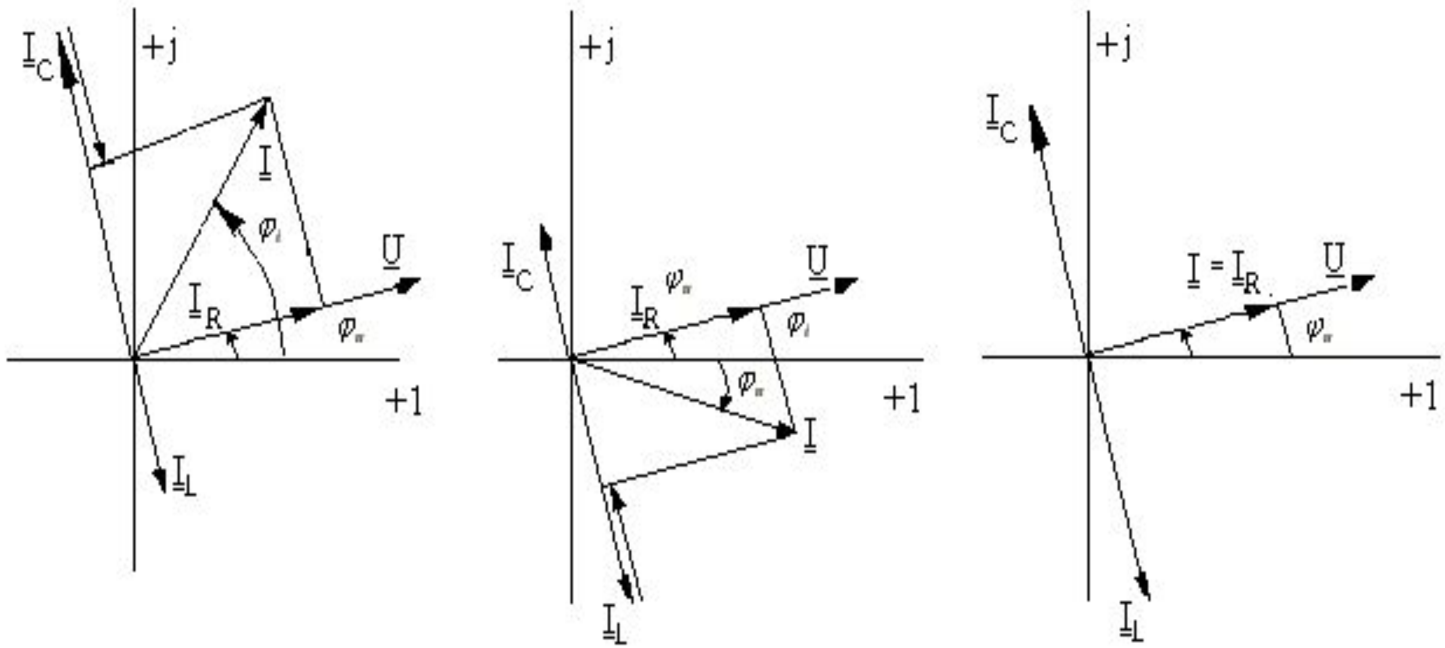
Реактивті өткізгіштер мәндеріне байланысты құрылған векторлық диаграммалар:

$$B > 0, \; B_L > B_C, \underline{I}_L > \underline{I}_C, \quad \varphi > 0.$$

$$B < 0, \; B_L < B_C, \underline{I}_L < \underline{I}_C \qquad \varphi < 0$$

$$B = 0, \; B_L = B_C, \underline{I}_L = \underline{I}_C \qquad \varphi = 0$$

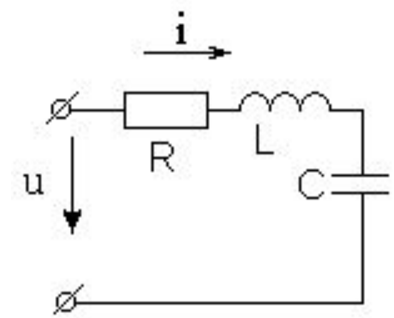
Реактивті өткізгіштер мәндеріне байланысты құрылған векторлық диаграммалар төмендегідей болады :



Тармақталмаған тізбектегі кернеу резонансы. Токтар резонансы. Резонанстық контурдың жиіліктік сипаттамалары.

Тізбектей қосылған бөліктері активті кедергіден, индуктивтіктен және сыйымдылықтан R, L, C тұратын электр тізбегінде кернеулер резонансы байқалады. Тізбектей қосылған R, L, C элементтерінен тұратын қарапайым тармақталмаған тізбекті радиотехникада тербелмелі контур деп атайды.

Кірер кернеу: $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$, $\underline{U} = U e^{j\varphi_u}$.



Тізбектің комплекстік кедергісі жиілікке

тәуелді болады:

$$\underline{Z} = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + jX, \quad X = 0, \ \omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\underline{Z} = R.$$

Кернеудің резонансы ω_0 -жиілігінде байқалады: $\omega_0 L = \dfrac{1}{\omega_0 C}$, $\omega_0 = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$.

Кернеулердің резонансы кезінде пайда болатын ток максималдық шамаға жетеді, оны тікелей Ом заңынан анықтауға болады: $I = \dfrac{U}{Z} = \dfrac{U}{R} = I_0$

$$Z^2 = R^2 + X^2, \ X = 0, \ Z = R.$$

Активті қуат максималды $P = I_0 U.$

Индуктивтіктегі кернеу сыйымдылықтағы кернеуге шама жағынан бір-біріне тең болғанымен таңбалары қарама-қарсы болады: $U_L = U_C$

Реактивті қуаттар бір-біріне тең: $Q_L = Q_C = \omega_0 L I^2 = \frac{1}{\omega_0 C} I^2.$

$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C} = \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{LC}} C} = \frac{1}{\sqrt{\frac{C}{L}}} = \sqrt{\frac{L}{C}} = \rho$ - тізбектің немесе контурдың сипаттамалық кедергісі

Сыйымдылықтағы кернеудің немесе индуктивтіктегі кернеудің кірер кернеуге қатынасы тізбектің сапалылығы деп аталады:

$\frac{U_C}{U} = \frac{U_L}{U} = \frac{1}{\omega_0 CR} = \frac{\omega_0 L}{R} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{\rho}{R} = Q$ - контурдың сапалылығы.

Сапалылық дегеніміз, ол резонанс режимі кезіндегі индуктивтіктегі немесе сыйымдылықтағы кернеу шамасының сұлбаға кіреберістегі кернеуіне қатынасын айтамыз, немесе U_L және U_C -ні U мен салыстырғанда қанша шамаға көп екендігін көрсететін резонанс режімін айтамыз. Бұл жағдай $R < \rho$ шарттылығы орындалған кезде ғана орындалады. Іс жүзінде Q бірнеше жүздеген шамаға жетуі мүмкін. Сапалылыққа кері шама $d = \frac{1}{Q}$ өшу коэффициенті деп аталады.

Параллель жалғанған R, L, C элементтерден тұратын тізбектегі резонанс құбылысын ток резонансы дейміз. Кіре берістегі кернеу $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$.

Тізбектің тармақталмаған бөлігіндегі ток: $\underline{I} = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}} = \underline{U}\,\underline{Y}$,

Мұндағы $\underline{Y}$ - кіре берістегі комплекстік өткізгіштік.

$$\underline{Y} = G - jB_L + jB_C = G - j(B_L - B_C) = G - jB$$

мұндағы B - кіре берістегі реактивті өткізгіштік.

Резонанс кезінде $B = 0$, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ - резонанс жиілігі.

Токтардың резонансы болған жағдайда сұлбадағы индуктивтік және сыйымдылық элементтеріндегі токтар шама жағынан бір-біріне тең болғанымен таңбалары қарама-қарсы болады: $I_L = I_C$

Тізбектің сапалылығы: $Q = \frac{I_C}{I} = \frac{I_L}{I}$

Жиілік сипаттамалары: $B_L(\omega)=\dfrac{1}{\omega L},\quad B_C(\omega)=\omega C,\quad B(\omega)=B_L(\omega)-B_C(\omega)=\dfrac{1}{\omega L}-\omega C=0.$

$$X_L(\omega)=\omega L\ ,\ X_C(\omega)=\frac{1}{\omega C},\ X(\omega)=\omega L-\frac{1}{\omega C}$$

$I(\omega),\quad U_L(\omega),\quad U_C(\omega)$ - резонанстық қисықтар.

$$I=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}=I(\omega),\quad U_L=I\cdot\omega L=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}\cdot\omega L=U_L(\omega),$$

$$U_C=I\cdot\frac{1}{\omega C}=\frac{U}{\sqrt{R^2+\left(\omega L-\dfrac{1}{\omega C}\right)^2}}\cdot\frac{1}{\omega C}=U_C(\omega).$$

Жиіліктік сипаттамалар және резонанстық қисықтар суретте көрсетілген.