

Лекция 7. Айнымалы ток. Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивті кедергі. Айнымалы ток тізбегіндегі сыйымдылық кедергі. Айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы

Айнымалы ток, кең мағынасында — бағыты мен шамасы периодты түрде өзгеріп отыратын электр тогы. Ал *техникада* айнымалы ток деп ток күші мен кернеудің период ішіндегі орташа мәні нөлге тең болатын периодты ток түсініледі. Айнымалы ток байланыс құрылғыларында (радио, теледидар, телефон т.б.) кеңінен қолданылады.

Ток күші (және **кернеу**) өзгерісі қайталанатын уақыттың (секундпен берілген) ең қысқа аралығы **период** (T) деп аталады (1-сурет). Айнымалы токтың тағы бір маңызды сипаттамасы — **жиілік** (f). Дүние жүзі елдерінің көпшілігіндегі және Қазақстандағы электр энергетикалық жүйелерде пайдаланылатын стандартты жиілік — 50 Гц, ал АҚШ-та 60 Гц.

Айнымалы ток айнымалы кернеу арқылы өндіріледі. Ток жүріп тұрған сым төңірегінде пайда болатын айнымалы электрлі **магниттік өріс** айнымалы ток тізбегінде энергия тербелісін тудырады, яғни энергия магнит немесе электр өрісінде периодты түрде бірде жиналып, бірде электр энергиясы көзіне қайтып отырады. Энергияның тербелуі айнымалы ток тізбектерінде реактивті ток тудырады, ол сым мен ток көзіне артық ауырлық түсіреді және қосымша энергия шығынын жасайды. Бұл — айнымалы ток энергиясын берудегі кемшілік. Айнымалы ток күші сипаттамасының негізіне айнымалы токтың орташа жылулық әсерін, осындай ток күші бар тұрақты токтың жылулық әсерімен салыстыру алынған. Айнымалы ток күшінің осындай жолмен алынған мәні **әсерлік мән** (немесе эффективтік) деп аталады әрі ол период ішіндегі ток күші мәнінің математикалық орташа квадратын көрсетеді. Айнымалы токтың әсерлік кернеу (U) мәні де осы сияқты анықталады. Ток күші мен кернеудің осындай әсерлік мәндері айнымалы токтың **амперметрлері** және **вольтметрлері** арқылы өлшенеді.

Тәжірибеде жай және неғұрлым маңызды жағдайда айнымалы ток күшінің лездік мәні (i) синусоидалық заңға сәйкес белгілі бір уақыт (t) ішінде мынадай заң бойынша өзгереді:

$$i(t) = I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha), \text{ мұндағы } I_m \text{— ток амплитудасы, } \omega = 2\pi f \text{— токтың бұрыштық жиілігі, } \alpha \text{— бастапқы фаза.}$$

Сондай жиіліктегі кернеу де синусоидалық заң бойынша өзгереді:

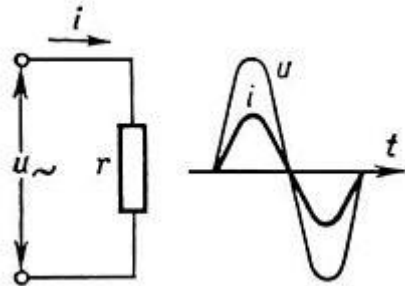
$$u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t + \beta), \text{ мұндағы } U_m \text{— кернеу амплитудасы, } \beta \text{— бастапқы фаза (2-сурет).}$$

Мұндай айнымалы токтың әсерлік мәндері мынаған тең болады:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 I_m,$$
$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \approx 0,707 U_m.$$

Айнымалы ток тізбегінде индуктивтілік сыйымдылықтың болуына байланысты ток күші () мен кернеу () арасында фаза ығысуы пайда болады. Фаза ығысуы салдарынан ваттметрмен өлшенетін айнымалы токтың орташа қуаты () әсерлік ток мәні мен әсерлік кернеу мәнінің көбейтіндісінен кем болады:

$$P = IU \cdot \cos(\varphi).$$



3-сурет.

R кедергіні айнымалы ток тізбегіндегі активті кедергі деп атайды.

Жылу энергиясы тек активті кедергіде бөлінеді, яғни тек активті кедергісі бар жүктеме ғана генератордан алынған энергияны жұтады. Ток күші мен кернеудің лездік мәндері үшін Ом заңы орындалады. Кернеумен ток күшінің тербеліс фазалары бірдей болады. Диаграммада айнымалы ток күшінің амплитудасы мен айнымалы кернеудің амплитудасы параллель векторлар түрінде кескінделеді.

Индуктивтілік те, сыйымдылық та болмайтын тізбекте ток фаза бойынша кернеумен сәйкес келеді (3-сурет). Токтың әсерлік мәндеріне арналған Ом заңы мұндай тізбекте тұрақты ток тізбегіндегідей пішінде болады:

$$I = \frac{U}{r},$$

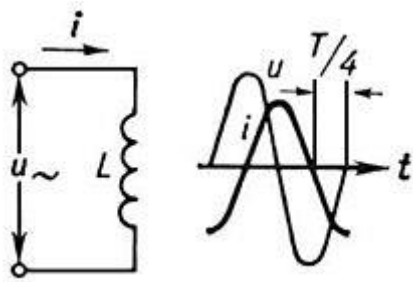
мұндағы r — тізбектегі актив қуат (P) бойынша анықталатын тізбектің актив кедергісі $r = \frac{P}{I^2}$.

Айнымалы ток тізбегіндегі индуктивті кедергі

Айнымалы ток тізбегінде катушка индуктивті қосымша кедергі тудырады. Индуктивті кедергі катушкадағы айнымалы кернеу амплитудасы мен айнымалы ток күшінің амплитудасының қатынасына тең. Катушкада лездік мәні $\varepsilon_L = -L \frac{dI}{dt}$ болатын өздік индукцияның ЭҚК-і пайда болады.

Тізбекте индуктивтілік (L) болған жағдайда айнымалы ток сол тізбекте өздік индукцияның ЭҚК-н (электр қозғаушы күші) индукциялайды:

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -\omega L I_m \cdot \cos(\omega t + \alpha) = \omega L I_m \cdot \sin(\omega t + \alpha - \frac{\pi}{2}).$$



4-сурет.

Өздік индукцияның ЭКК-і ток өзгерісіне кері әсер етеді, сондықтан тек индуктивтілік бар тізбекте ток фаза бойынша кернеуден ширек периодқа, яғни $\varphi = \frac{\pi}{2}$ -ге қалыс қалады (4-сурет). e_L -дің әсерлік мәні:

$$E_L = I\omega L = Ix_L, \text{ мұндағы } x_L = \omega L \text{— тізбектегі индуктивтік кедергі.}$$

Мұндай тізбекте Ом заңы былайша өрнектеледі:

$$I = \frac{U}{x_L} = \frac{U}{\omega L}.$$

Индуктивті кедергі айнымалы токтың циклдік жиілігі мен индуктивтігіне тура пропорционал. Индуктивтік артқан сайын кедергі де артады. Жиілік азайса, кедергі де кемиді. Тұрақты ток үшін жиілік $\omega = 0$, онда индуктивті кедергі де нөлге тең.

Айнымалы ток тізбегіндегі сыйымдылық кедергі

Конденсатор қосылған тізбектен тұрақты ток жүрмейді, бұл жағдайда тізбек тұйық емес, конденсатордың астарларының арасы диэлектрикпен бөлінген. Бірақ конденсаторды айнымалы кернеу көзіне қосса, ол үнемі қайта зарядталып отырады да тізбек арқылы ток жүреді.

Айнымалы $U = U_m \cos(\omega t)$ кернеу көзіне қосылған сыйымдылығы C конденсатордан тұратын өте қарапайым тізбекті қарастырайық.

Сыйымдылық (C) шамасы u -ге тең кернеуге қосылғанда, оның заряды:

$$q = Cu.$$

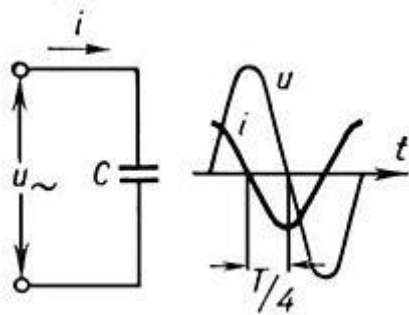
Периодты түрде өзгеріп отыратын кернеу периодты түрде өзгертін зарядты тудырады, сөйтіп мына формуламен анықталатын сыйымдылық тогі (i) пайда болады:

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = \omega C U_m \cdot \cos(\omega t + \beta) = \omega C U_m \cdot \sin(\omega t + \beta + \frac{\pi}{2}).$$

Сөйтіп сыйымдылық арқылы өтетін синусоидалы айнымалы ток, фаза бойынша оның

қысқыштарындағы кернеуден ширек периодқа, яғни $\varphi = -\frac{\pi}{2}$ озып кетеді (5-сурет). Мұндай тізбектегі әсерлік мәндер мына қатынаспен байланысты:

$$I = \omega C U = \frac{U}{x_C}, \text{ мұндағы } x_C = \frac{1}{\omega C} \text{ — тізбектің сыйымдылық кедергісі.$$



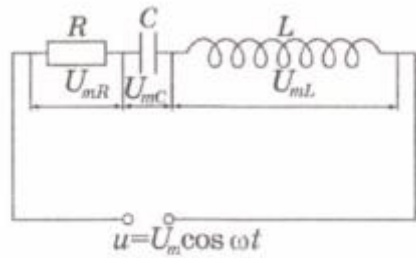
5-сурет.

Сыйымдылық кедергі тұрақты кернеу жағдайында сыйымдылық неғұрлым үлкен болса, конденсатор астарларындағы заряд та соғұрлым үлкен болады. Олай болса, қайта зарядталу ток күші де соғұрлым көп, яғни кедергі аз. Сонымен бірге, тербеліс жиілігі неғұрлым жоғары болса, сыйымдылық кедергі соғұрлым аз болады. Тұрақты ток үшін $\omega = 0$, ендеше $X_C = \infty$ - ке тең. Тізбекте ток жүрмейді.

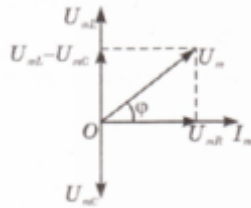
Айнымалы ток тізбегі үшін Ом заңы

Бір-біріне тізбектей жалғанған индуктивтігі катушкадан, сыйымдылығы C конденсатордан және кедергісі R резистордан тұратын тізбектің қысқаштарына $u = U_m \cos \omega t$ айнымалы кернеу түсірейік (2.15-сурет). Ток күшінің ілездік мәні де, I_m амплитудалық мәні де тізбектей жалғанған тізбектің барлық бөлігінде бірдей болады. Ал ток көзінің полюстеріндегі лездік кернеу оның жеке бөліктеріндегі кернеудің лездік мәндерінің қосындысына тең $u = u_R + u_C + u_L$ (2.14) Тізбектей жалғанған тізбектің барлық бөлігіндегі токтың тербелісі $i = I_m \cos \omega t$ заңы бойынша өзгерсін. Қарастырып отырған тізбекте еріксіз электромагниттік тербелістер, яғни айнымалы ток пайда болады. Резистордағы, конденсатордағы және катушкадағы кернеудің амплитудаларын сәйкесінше U_{mR} , U_{mC} және U_{mL} деп белгілеп, оларды векторлық диаграммаға салайық (2.15-сурет). Ток күшінің амплитудасын горизонталь ось бойымен бағытталған вектор түрінде кескіндейік. Онда горизонталь ось пен әрбір кернеу амплитудасы векторының арасындағы бұрыш ток күшімен ғана сәйкес кернеу тербелістерінің фазалық айырымына тең болады. Активті кедергідегі кернеудің тербеліс фазасы ток күшінің тербеліс фазасымен сәйкес келеді, ал конденсаторда кернеудің тербелісі ток күшінің тербелісінен фаза бойынша $\pi/2$ -ге озады. Сондықтан (2.14) өрнегін былай жазуға болады:

$$u = U_{mR} \cos \omega t + U_{mC} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) + U_{mL} \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$



2.15-сурет



2.16-сурет

Түсірілген кернеудің \vec{U}_m

амплитудасын векторлардың қосындысы ретінде табуға болады, яғни

$\vec{U}_m = \vec{U}_m R + \vec{U}_m C + \vec{U}_m L$ 2.16-суреттен, барлық тізбектегі кернеудің амплитудасы

Пифагор теоремасы бойынша $U_m = \sqrt{U_{mR}^2 + (U_{mL} - U_{mC})^2}$ тең. Ом заңына сәйкес

$U_{mL} = I_m X_L$, $U_{mC} = I_m X_C$ және $U_{mR} = I_m R$ сондықтан

$U_m = \sqrt{I_m R^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2} = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ осыдан

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} \quad (2.15)$$

Бұл айнымалы токтың толық тізбегі үшін Ом заңы.

$X_L = \omega L$ және $X_C = \frac{1}{\omega C}$ болғандықтан, (2.15) формуласын былай жазуға болады.

$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}$. $X_L - X_C = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ кедергісін реактивті кедергі, ал

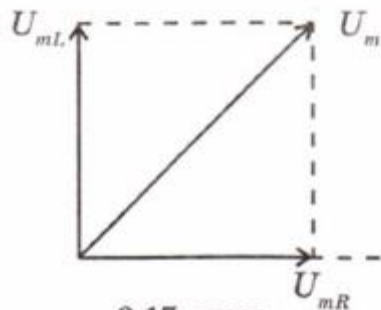
$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ кедергісі айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі деп

аталады. ϕ фазалар айырымын векторлық диаграмманы колданып анықтауға болады:

$$tg \phi = \frac{U_{mL} - U_{mC}}{U_{mR}} \quad \text{немесе} \quad tg \phi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (2.16)$$

Ток пен кернеудің $I = \frac{U}{Z}$ әсерлік мәндерін колдансақ, (2.15) өрнегін былай жазуға болады: Тізбекте конденсатор жоқ кездегі векторлық диаграмманы салайық (2.17-сурет). Бұл дербес

жағдайда $tg \phi = \frac{U_{mL}}{U_{mR}} = \frac{\omega L}{R}$, $I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$



2.17-сурет

Егер (2.15) пен (2.16) өрнектерінде $\frac{1}{\omega C} = 0$, яғни

$C = \infty$ деп алсақ, соңғы екі формула шығады. Олай болса, тізбекте конденсатор жоқ болса, сыйымдылық C нөлге емес, шексіздікке тең екен. Шынында да, егер тізбектегі конденсатордың астарларын бір-біріне шексіз жақындатса, конденсаторды жоқ деп

есептеуге болады. Ал жазық конденсатордың сыйымдылығы $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$. Бұл формуладан егер $d = 0$ болса, $C = \infty$ шығады.

Генератордан алынатын энергия тек активті кедергіде ғана жылу энергиясы түрінде бөлініп шығады. Реактивті кедергіде энергия жұтылмайды. Реактивті кедергіде периодты түрде электр өрісінің энергиясы магнит өрісінің энергиясына айналып, түрленіп отырады. Периодтың бірінші ширегінде, конденсатор зарядталып жатқанда энергия тізбекке электр өрісінің энергиясы түрінде түсіп, жинақталады. Ал периодтың келесі ширегінде, конденсатор разрядталып жатқанда, энергия қайтадан магнит өрісінің энергиясы түрінде желіге қайтарылады.^[2] Тағы да $R = \rho \cdot l/S$ - ке тең болады.

Кернеу резонансы. Резонанстық жиілік.

Айнымалы ток тізбегінің толық кедергісі $Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}$ өрнегімен анықталатыны белгілі болды. Бұл формуладағы индуктивтік кедергі мен сыйымдылық кедергі бір-біріне тең болса, толық кедергі Z ең аз мәнге ие болатынын көреміз. Сонымен,

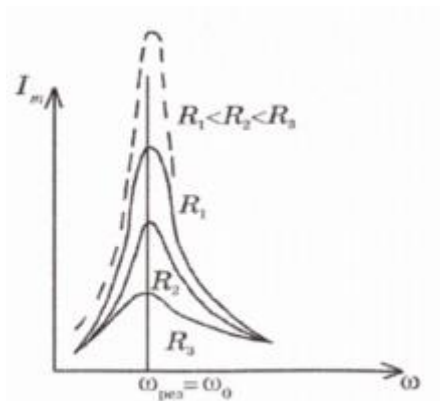
егер $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ (2.17) болса, $Z = R$. Мұндай жағдайда ток пен кернеудің тербеліс

фазаларының айырымы: $\text{tg}\phi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} = 0$, яғни ток пен кернеу тербелістері бірдей фазада жүреді. Активті кедергідегі кернеу тізбекке түсірілген кернеуге тең $U_R = U$, ал конденсатордағы U_C кернеу мен катушкадағы U_L кернеу амплитудалары бір-біріне тең

және фазалары қарама-қарсы. Ом заңы бойынша ток амплитудасы $I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{R}$. Бұл өрнектен, егер активті кедергі R аз болса, ток күшінің амплитудасы өте үлкен мәнге ие болатынын көреміз. Жоғарыда сипатталған құбылыс *электр тізбегіндегі резонанс* деп аталады. Резонанс байқалу үшін тізбекке түсірілген кернеудің жиілігі (2.17) өрнегін

қанағаттандыру керек: $\omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Біз активті кедергісі $R = 0$ идеал тербелмелі

контурдың меншікті тербелістерінің жиілігі $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ өрнегімен анықталатынын білеміз. Олай болса, электр тізбегінде резонанс тізбекке түсірілген сыртқы периодты кернеудің жиілігі тізбектің меншікті жиілігіне тең болғанда байқалады $\omega_{\text{рез}} = \omega$ (2.19-сурет). Осы кезде катушкадағы индуктивтік кедергі конденсатордың сыйымдылық кедергісіне тең болады: $X_L = X_C$. Активті кедергі неғұрлым аз болса, ток күшінің амплитудасы соғұрлым үлкен.



2.19-сурет

2.19-суретте $R_1 < R_2 < R_3$. Егер активті кедергі шексіз аз болса $R \rightarrow 0$, ток амплитудасы шексіз артады $I_m \rightarrow \infty$. Активті, индуктивтік және сыйымдылық кедергілер тізбектей жалғанғанда байқалатын резонансты кернеулер резонансы немесе тізбекті резонанс деп атайды. Себебі резонанс кезінде токтың өсуімен қатар, катушка мен конденсатордағы кернеулер де күрт өседі. Тізбектей жалғанған кезде конденсатор мен катушкадағы кернеулер қарама-қарсы фазада тербеледі, ал тізбектің барлық элементі арқылы өтетін токтың бағыты бірдей, сондықтан $X_L = X_C$ болғанда, яғни резонанс

кезінде кез келген уақыт мезеті үшін $u_L = -u_C$. Ал $\omega = \omega_{рез} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ екенін ескерсек, индуктивтік катушкадағы және конденсатордағы кернеу тербелістерінің

амплитудасы былай есептеледі: $U_{Lрез} = U_{Cрез} = I_m X_L = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$. Сонымен,

$U_{Lрез} = U_{Cрез} = \frac{U_m}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$. Тербелмелі контурда $\frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} > 1$ қатынасы орындалады, сондықтан конденсатор мен катушкадағы кернеулер тізбекке түсірілген кернеуден артық және R азайған сайын арта түседі. Жалпы, активті кедергісі R аз болғанда ғана резонанс құбылысын қарастырады.

Электр тербелістері

Тізбектегі зарядтың (ток күшінің, кернеудің) тербелісін электр тербелістері деп атайды.

Сыйымдылығы C конденсатордан және оған жалғанған индуктивтілігі L катушкadan тұратын электр тізбегін *тербелмелі контур* деп атайды. Зарядталған конденсаторды катушкаға жалғанғанда тізбекте электр тербелістері пайда болады, яғни контурда электр заряды, ал катушкада ток күші тербеледі.

Тербелмелі контурда актив кедергі болмаған жағдайда конденсатордағы электр өрісінің энергиясы толық түрде катушкадағы магнит өрісінің энергиясына айналады және керісінше жүреді.

Джоуль-Ленц заңы бойынша жылу бөлініп шығатын кедергіні актив кедергі деп атайды.

Актив кедергісі нольге тең тербелмелі контурды идеал контур деп атайды. Тербелмелі контурдағы конденсаторды зарядтайтын ток күшінің бағыты оң деп алынады.

Тербелмелі контурдағы еркін электр тербелістерінің дифференциалдық теңдеуі келесі түрде жазылады:

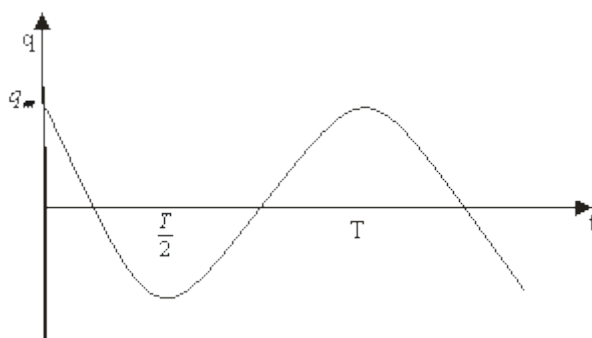
мұндағы: $\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$ - контурдағы электр тербелістерінің меншікті циклдiк жиілігі.

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + \omega_0^2 q = 0.$$

Еркін электр тербелістерінің дифференциалдық теңдеуінің шешімін тербеліс теңдеуі деп аталады. Зарядтың тербеліс теңдеуі

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0),$$

мұндағы: q_m - зарядтың амплитудасы.



Контурдағы зарядтың ең үлкен мәнін зарядтың амплитудасы деп атайды. Тербелмелі контурдағы процестердің нәтижесінде жүретін электр тербелісін еркін электр тербелістері деп атайды, ал тербеліс жиілігін контурдың меншікті жиілігі деп атайды.

Тербелмелі контурдағы еркін электр тербелістерінің меншікті жиілігі формуласымен және периоды Томсон формуласымен анықталады:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

Тербеліс заңдылықтары

Еркін электр тербелістерінің тербеліс теңдеуі:

$$q = q_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0).$$

Конденсатордағы кернеудің тербелісі келесі теңдеумен сипатталады:

$$u = \frac{q}{C} = \frac{q_m}{C} \cos(\omega_0 t + \alpha_0),$$

мұндағы: $u_m = \frac{q_m}{C}$ - кернеудің амплитудасы.

$$u = u_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0).$$

Ток күші зарядтың уақыт бойынша бірінші дифференциалы екенін ескерсек

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt} (q_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0)) = -q_m \omega_0 \sin(\omega_0 t + \alpha_0),$$

$$I = I_m \sin(\omega_0 t + \alpha_0) \quad \text{немесе} \quad I = I_m \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} + \alpha_0),$$

мұндағы: $I_m = q_m \omega_0$ - ток күшінің амплитудасы.

Контурдағы электр тербелістер кезінде конденсаторда ток күші кернеуден фаза бойынша $\frac{\pi}{2}$ -ге озады.

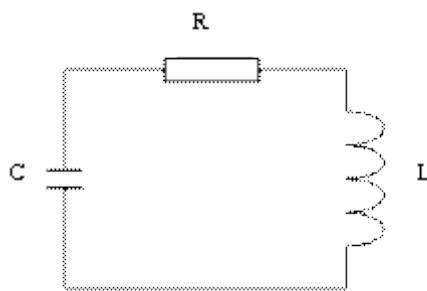
Электр тербелістер кезінде ток күші өзгереді, сондықтан тізбектегі электр және магнит ұйытқулары да өзгереді. Тізбектегі айнымалы тоқты квазистанционар деп есептеген жағдайда ғана Ом заңдарын, Кирхгоф ережелерін қолдануға болады. Егер тізбектің кез-келген нүктесіндегі ток күшінің лездік мәні бірдей өзгеретін болса, онда айнымалы тоқты квазистанционар ток деп қарастыруға болады.

Ток күші амплитудасының $I_m = q_m \omega_0$ мен кернеудің $u_m = \frac{q_m}{C}$ амплитудасына катынасы $\frac{u_m}{I_m} = \frac{q_m}{C q_m \omega_0}$ тең. Мұндағы $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ екенін ескерсек

$$\frac{u_m}{I_m} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{немесе} \quad I_m = \frac{u_m}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

мұндағы: $R_T = \sqrt{\frac{L}{C}}$ - тербелмелі контурдың толқындық кедергісі деп аталады.

Өшетін электр тербелістері



Тербелмелі контурда актив кедергі болған жағдайда әрбір тербеліс кезінде контур энергиясының бір бөлігі Джоуль-Ленцтік жылуға жұмсалады. Соның нәтижесінде контур энергиясы кемиді, яғни тербеліс өшеді.

Өшетін электр тербелістердің дифференциалдық теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\frac{d^2 q}{dt^2} + 2\beta \frac{dq}{dt} + \omega_0^2 q = 0$$

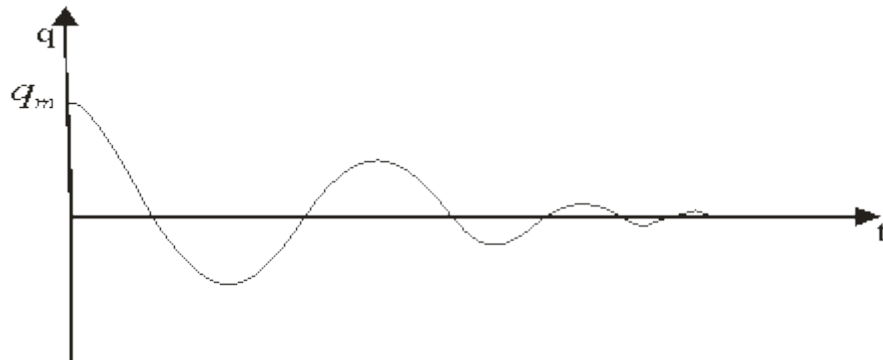
мұндағы: $\frac{R}{L} = 2\beta, \quad \frac{1}{CL} = \omega_0^2$.

Өшетін электр тербелістерінің дифференциалдық теңдеуінің шешімі өшетін электр тербелістерінің теңдеуі деп аталады.

$\beta^2 < \omega_0^2$, яғни $\frac{R^2}{4L^2} < \frac{1}{LC}$ - шарты орындалса, өшетін электр тербелістерінің теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha_0),$$

мұндағы: $\beta = \frac{R}{2L}$ - өшу коэффициенті деп аталады.



Тербелмелі контурдағы өшетін электр тербелістерінің циклдік жиілігі

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} \quad \text{немесе} \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Тербелістің өшу шапшаңдығын сипаттау үшін өшудің логарифмдік декременті енгізілген.

$$\delta = \ln \frac{q(t)}{q(t+T)} = \beta T.$$

Өшудің логарифмдік декременті тербелістің амплитудасы е есе азаятын N_e тербелістер санына кері пропорционал болады, яғни:

$$\delta = \frac{1}{N_e}.$$

$$\delta = \frac{R}{2L} \cdot \frac{2\pi}{\omega} = \frac{R\pi}{L\omega}.$$

$$\beta^2 \ll \omega_0^2 \quad \text{болған жағдайда} \quad \omega \approx \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

$\beta^2 \geq \omega_0^2$, яғни $\frac{R^2}{4L^2} \geq \frac{1}{LC}$ болған жағдайда контурда электр тербелістері болмайды, яғни конденсатордың апериодты разрядталуы жүреді.

Тербелмелі контурды сипаттайтын шамалардың бірі оның сенімділігі болып табылады. Контурдың сенімділігі өшудің логарифмдік декрементіне кері пропорционал болады.

$$Q = \frac{\pi}{\delta} = \frac{\pi}{\beta T} = \pi N_e$$